



**Strahlenschutzkommission
Reaktor-Sicherheitskommission**

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission bzw.
Reaktor-Sicherheitskommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>
<http://www.rsk.de>

**Gemeinsame Stellungnahme der RSK und der SSK
zum GRS-Bericht „Sicherheitsanforderungen
an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in
tiefen geologischen Formationen“**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission
und der Reaktor-Sicherheitskommission

*Verabschiedet von der RSK auf ihrer 408. Sitzung am 09.05.2008
Verabschiedet von der SSK auf ihrer 224. Sitzung am 03.07.2008*

INHALT

1	Einleitung.....	3
1.1	Gegenstand der Beratungen/Hintergrund	3
1.2	Beratungsauftrag	3
1.3	Bisheriger Beratungshergang	4
1.4	Bewertungsmaßstäbe	5
2	Sicherheitsprinzipien und Schutzziele.....	5
3	Isolation als primäre Zielsetzung der Endlagerung – ein neues innovatives Nachweiskonzept	6
4	Anforderungen an die technischen und natürlichen Barrieren	8
4.1	Behälter	9
4.2	Geotechnische Verschlussbauwerke	10
4.3	Geologische Barriere	10
5	Sicherheitsnachweise und Beurteilungsmaßstäbe	11
5.1	Betriebliche Sicherheit	11
5.2	Langzeitsicherheit	12
5.2.1	Nachweislogik	12
5.2.2	Nachweiskonzept für radioaktive Stoffe	14
5.2.3	Chemotoxische Stoffe	18
5.2.4	Vor- und Nachteile von dosisbasierten und risikobasierten Nachweiskriterien	19
5.2.5	Umgang mit menschlichem Eindringen.....	22
6	Gestuftes Vorgehen.....	24
7	Anforderungen an den Optimierungsprozess.....	25
8	Beratungsergebnisse	26
8.1	Beantwortung der Fragen des BMU	26
8.2	Zusammenfassung und Fazit.....	32
9	Begriffsdefinitionen	34
	Beratungsunterlagen	35

1 Einleitung

1.1 Gegenstand der Beratungen/Hintergrund

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beabsichtigt, Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen festzulegen und in einer Rechtsverordnung verbindlich zu machen. Damit sollen für derartige Abfälle die Sicherheitskriterien, die 1983 vom Bundesministerium des Inneren (BMI) nach Beratung durch die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), die Strahlenschutzkommission (SSK) und den Länderausschuss Atomkernenergie veröffentlicht worden sind, abgelöst werden.

Im Jahre 2002 hat die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) einen Vorschlag zur Weiterentwicklung und Harmonisierung der deutschen Sicherheitskriterien vorgelegt, zu dem die RSK und die SSK beraten und im Jahre 2002 eine gemeinsame Stellungnahme [1] verabschiedet haben. In den letzten Jahren sind von internationalen Organisationen außerdem einschlägige Regelwerke und Empfehlungen vorgelegt worden [2-4], die in Zukunft berücksichtigt werden sollen.

Vor diesem Hintergrund hat das BMU die GRS im Herbst 2006 aufgefordert, Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen zu erarbeiten. Diese sollen die Grundlage für den Nachweis einer sicheren Endlagerung der radioaktiven Abfälle an einem festgelegten Standort bilden. Die GRS hat hierzu im Januar 2007 einen Bericht vorgelegt [5].

1.2 Beratungsauftrag

Mit den Schreiben vom 16.01.2007 [6] und 21.02.2007 [7] hat das BMU die RSK und die SSK gebeten, eine gemeinsame Stellungnahme zu der o. g. Thematik zu erarbeiten. Grundlage der Beratung sollte ein Bericht der GRS zum Betreffthema sein [5]. Konkret hat das BMU um Bearbeitung folgender Fragestellung ersucht:

„Sind die vorgeschlagenen Sicherheitsanforderungen nachvollziehbar, vollständig und entsprechen sie unter Einbeziehung der internationalen Entwicklung dem Stand von Wissenschaft und Technik?“

Mit Schreiben vom 06.09.2007 [8] hat das BMU seinen Beratungsauftrag erweitert. Auf der Grundlage der Beratungen einer Ad-hoc-Arbeitsgruppe und eines Zwischenberichts über die bisher erzielten Beratungsergebnisse [9] wurde der Beratungsbedarf des BMU mit folgenden fünf Fragen konkretisiert:

- 1 Die IAEO bezeichnet in ihren aktuellen Sicherheitsanforderungen an die geologische Endlagerung WS-R-4 unter Bezug auf die Empfehlung ICRP 81 die „constrained optimization“ als zentralen Ansatz zur Gewährleistung der radiologischen Sicherheit eines Endlagers in der Phase nach seiner Stilllegung (Constrained optimization is the central approach to ensure the radiological safety of a waste disposal facility). Entspricht der GRS-Vorschlag den Anforderungen der ICRP und IAEO? Wenn nicht, welche Aspekte sind zu ergänzen?

- 2 Ist der Vorschlag der GRS geeignet, um die Freisetzung von radiotoxischen und chemotoxischen Schadstoffen nach einheitlichen Maßstäben bewerten zu können?
- 3 Gemäß Empfehlung der ICRP soll menschliches Eindringen im Zeitraum nach der Stilllegung eines Endlagers berücksichtigt werden. Hohe Strahlenexpositionen für die in der Umgebung des Endlagers lebenden Menschen sollen nach Möglichkeit durch Reduzierung der Wahrscheinlichkeit für menschliches Eindringen oder durch Begrenzung seiner Konsequenzen vermieden werden. Berücksichtigt der Vorschlag der GRS die Empfehlungen der ICRP und der IAEO in ausreichendem Maße? Sollte, wie von GRS vorgeschlagen, auf eine quantitative Bewertung verzichtet werden? Sollten, wie vom BfS vorgeschlagen (Synthesebericht – Wirtsgesteine im Vergleich, 2005), Schlüsselszenarien zur Untersuchung der Robustheit des Endlagers definiert werden?
- 4 Enthält der GRS-Vorschlag ausreichende Vorgaben für die Festlegung von Auslegungsfällen für ein Endlager? Können diese Auslegungsfälle eindeutig identifiziert und festgelegt werden?
- 5 Enthält der GRS-Vorschlag hinreichend konkrete Anforderungen an das Mehrbarrierensystem des Endlagers?

Im Beratungsauftrag bat das BMU um Erarbeitung eines zweiten Zwischenberichts der Ad-hoc-Arbeitsgruppe bis Ende Oktober 2007. Dabei sei darauf zu achten, dass die Aussagen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe am Stand von Wissenschaft und Technik gespiegelt werden.

1.3 Bisheriger Beratungshergang

Eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe, in der Mitglieder von Ausschüssen der RSK und der SSK vertreten sind, hat sich zunächst mit dem ersten Beratungsauftrag des BMU [6,7] befasst und im Anschluss an ihre 6. Sitzung einen ersten Zwischenbericht über ihre Beratungsergebnisse erstellt [9]. Auf diesen Zwischenbericht folgte der erweiterte Beratungsauftrag des BMU [8] mit der Bitte, einen zweiten Zwischenbericht zu erstellen. In den Beratungsaufträgen ist dargestellt, dass das BMU beabsichtigt, u. a. auf Basis der Zwischenberichte eine Rechtsverordnung zu Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung für hochradioaktive Abfälle zu erstellen.

Die SSK wurde in ihrer 214. Sitzung am 23.02.2007 über den ersten BMU-Beratungsauftrag informiert. In ihrer 216. Sitzung am 05./06.07.2007 wurde der SSK der erste Zwischenbericht der Ad-hoc-Arbeitsgruppe vorgestellt; sie hat diesen zur Kenntnis genommen und das weitere Vorgehen gebilligt. Der erweiterte Beratungsauftrag und der Stand der Beratungen wurden in der 217. SSK-Sitzung am 21.09.2007 vorgestellt. Der SSK-Ausschuss RADIOÖKOLOGIE wurde in der 185. Sitzung am 15.05.2007 und der 186. Sitzung am 16.10.2007 über den Stand der Beratungen in der Ad-hoc-Arbeitsgruppe informiert.

Die RSK wurde in ihrer 398. Sitzung am 07.02.2007 über den ersten BMU-Beratungsauftrag und in ihrer 403. Sitzung am 08.11.2007 über den erweiterten Beratungsauftrag sowie über das Vorgehen informiert. Der RSK-Ausschuss VER- UND ENTSORGUNG wurde in folgenden Sitzungen über den Stand der Beratungen in der Ad-hoc-Arbeitsgruppe informiert: 52. Sitzung am 22.02.2007, 53. Sitzung am 29.03.2007, 54. Sitzung am 20./21.06.2007 und 55.

Sitzung am 06.09.2007. In seiner 54. Sitzung hat der RSK-Ausschuss VER- UND ENTSORGUNG den ersten Zwischenbericht der Ad-hoc-Arbeitsgruppe zur Kenntnis genommen und das weitere Vorgehen gebilligt.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe hat zur Thematik auf folgenden zwölf Sitzungen beraten: 12.02.2007, 14.03.2007, 30.03.2007, 27.04.2007, 07./08.05.2007, 04.06.2007, 30.08.2007, 19.09.2007, 10.10.2007, 25./26.10.2007, 12.11.2007 und 22.11.2007. Nach Abschluss der Beratungen in der Ad-hoc-Arbeitsgruppe wurde der zweite Zwischenbericht dem RSK-Ausschuss VER- UND ENTSORGUNG in seiner 56. Sitzung am 04.12.2007 und der RSK in ihrer 404. Sitzung am 11./12.12.2007 sowie der SSK auf ihrer 220. Sitzung am 05./06.12.2007 vorgestellt. Auf Basis der Diskussionen bei diesen Sitzungen wurde der Bericht in einer Redaktionssitzung am 16.01.2008, an der zwei Mitglieder des RSK-Ausschusses VER- UND ENTSORGUNG und zwei Mitglieder der SSK teilnahmen, überarbeitet und auf dieser Grundlage der Entwurf einer gemeinsamen Stellungnahme von RSK und SSK erstellt. Dieser Entwurf wurde von der RSK in ihrer 405. Sitzung am 13.02.2008, ihrer 406. Sitzung am 13.03.2008, ihrer 407. Sitzung am 10.04.2008 beraten und abschließend in ihrer 408. Sitzung am 09.05.2008 verabschiedet. Die SSK hat den Stellungnahme-Entwurf in ihrer 221. Sitzung am 21./22.02.2008 und in ihrer 222. Sitzung am 15./16.04.2008 beraten und abschließend in ihrer 224. Sitzung am 03.07.2008 verabschiedet.

1.4 Bewertungsmaßstäbe

Im internationalen Bereich finden seit einer ganzen Reihe von Jahren Diskussionen über Bewertungsmaßstäbe für Endlager statt. Der heutige Stand dieser Diskussion wurde 2006 in den IAEA Safety Requirements WS-R-4 „Geological Disposal of Radioactive Waste“ niedergelegt. Diese Safety Requirements stellen den Rahmen für den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik dar. Auch eine Reihe von Dokumenten anderer internationaler Organisationen enthält Beiträge zum heutigen Stand von Wissenschaft und Technik, z. B. NEA-3679 „Post-Closure Safety Case for Geological Repositories – Nature and Purpose“ [3] und ICRP-81: „Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste“ [10].

Diese internationalen Festlegungen sind allgemeiner gehalten als es für die nationale Anwendung erforderlich ist. Auf nationaler Ebene fehlen derzeit explizite Dokumente, die den Stand von Wissenschaft und Technik für ein Endlager festschreiben. Die mit dieser Stellungnahme zu kommentierenden Arbeiten dienen gerade dazu, die Anforderungen nach Stand von Wissenschaft und Technik in Deutschland zu erarbeiten. In der Bewertung haben RSK und SSK neben dem internationalen Stand daher den aktuellen Stand der Fachdiskussion in Deutschland herangezogen.

2 Sicherheitsprinzipien und Schutzziele

Grundlegende Anforderungen an die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle leiten sich aus den internationalen Empfehlungen zu den Sicherheitsprinzipien und Schutzziele ab. Den Sicherheitsprinzipien liegt das ethische Konzept zu Grunde, dass die Generationen, die den Nutzen aus der Kernenergie gewonnen haben, die Verantwortung für die sichere Endlagerung haben. Kern der Sicherheitsprinzipien ist die Forderung, dass radioaktive Abfälle so gehand-

habt und eingelagert werden müssen, dass Mensch und Umwelt in allen Phasen der Endlagerentwicklung vor den potenziell schädlichen Auswirkungen der eingelagerten radioaktiven Abfälle nach Stand von Wissenschaft und Technik geschützt sind sowie zukünftigen Generationen keine unzumutbaren Lasten und Verpflichtungen auferlegt werden. Daraus abgeleitet sind die Sicherheitsprinzipien, nach denen

- die aus der Endlagerung resultierenden potenziellen Auswirkungen für Mensch und Umwelt auch in Zukunft das Maß heute akzeptierter Auswirkungen nicht übersteigen dürfen,
- die potenziellen Auswirkungen für Mensch und Umwelt aus der Endlagerung radioaktiver Stoffe in Deutschland außerhalb der Grenzen Deutschlands nicht größer sind als innerhalb zulässig,
- die aus der Endlagerung resultierende Strahlenexposition für Mensch und Umwelt niedrig ist gegenüber der natürlichen Strahlung.

Schutzziele müssen die Sicherheitsprinzipien durch konkrete schutzgutbezogene Vorgaben untersetzen. Sie beziehen sich auf die radiotoxischen und chemotoxischen Auswirkungen des eingelagerten radioaktiven Abfalls. Die Einhaltung der Schutzziele ist Voraussetzung für den Nachweis der Sicherheit des Endlagers. Für die Nachbetriebsphase (Zeit nach erfolgtem endgültigem Verschluss des Endlagers) ist die Einhaltung der Schutzziele für den geforderten Nachweiszeitraum zu belegen.

Aus Sicht von RSK und SSK stehen die Sicherheitsprinzipien gleichberechtigt nebeneinander.

3 Isolation als primäre Zielsetzung der Endlagerung – ein neues innovatives Nachweiskonzept

Das der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen zu Grunde liegende technische Konzept des Konzentrierens der Schadstoffe und ihrer Isolation trägt den Sicherheitsprinzipien inhärent Rechnung. Der Schutz der heute lebenden Menschen und der zukünftigen Generationen sowie der Umwelt soll auf diese Weise sichergestellt werden. Dieser Grundgedanke war bereits 1983 ein wichtiges Element der damaligen Sicherheitskriterien, und er bildet auch international die Basis für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle.

International relevant für den Sicherheitsnachweis ist der Mensch in seiner natürlichen Umgebung. Daher ist der übliche Ort der Beurteilung die Biosphäre.

Für das Endlager wird in [5] ein Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren genannt. Die Prognose der zukünftigen Entwicklungen am Endlagerstandort über einen derartig langen Zeitbereich weist aber unvermeidliche Unwägbarkeiten auf, die mit größerem Zeitabstand zu heute zunehmen. Dies betrifft unter anderem die hydrogeologischen Randbedingungen, etwa nachdem eine oder mehrere Kalt- bzw. Eiszeiten mit nachfolgenden Warmzeiten am Standort aufgetreten sind.

Die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft und deren Ernährungsgewohnheiten sind ebenfalls nicht verlässlich über mehr als einige Generationen zu prognostizieren. Aufgrund

der physiologischen Prozesse und Randbedingungen bei der Nahrungsaufnahme des Menschen sind hier die Ungewissheiten der Parameter für die Biosphärenmodelle allerdings deutlich geringer.

Als wichtiger Bestandteil des Nachweises der sicheren Endlagerung wird üblicherweise in einer modellgestützten Konsequenzenanalyse für erwartete und mögliche zukünftige Entwicklungen des Endlagersystems die effektive Dosis von Referenzpersonen (Individualdosis) berechnet und mit den radiologischen Schutzziele verglichen. Den Unwägbarkeiten in der Prognose der zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems kann methodisch nur durch die Verwendung von Referenzannahmen für bestimmte Teilsysteme Rechnung getragen werden. Daher besitzen die in der Konsequenzenanalyse berechneten Zahlenwerte für die Individualdosis nach internationalem Verständnis mit zunehmendem Zeithorizont einen orientierenden Charakter als Indikator.

RSK und SSK begrüßen ausdrücklich den in [5] gewählten Ansatz, die Isolation der Abfälle im Endlager zu einem wesentlichen Element der Nachweisführung zu machen, da mit diesem Ansatz die Behandlung der o.g. Unwägbarkeiten methodisch vereinfacht werden kann. Die Isolation ist dahingehend zu verstehen, dass nach Verschluss des Endlagers allenfalls geringfügige Freisetzungen zulässig sind. Zentrale Begriffe in diesem Zusammenhang sind der einschlusswirksame Gebirgsbereich (siehe Kapitel 9) und die Geringfügigkeit von Stofffreisetzungen, für die geeignete Festlegungen zu treffen sind.

Nach dem Verständnis der Kommissionen besteht das Endlager aus dem Endlagerbergwerk und dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Damit grenzt der Außenrand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs das Endlager als Anlage gegen seine vor den Auswirkungen von Stofffreisetzungen zu schützende Umgebung ab. Die Abmessungen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollten aus dem Aspekt der Eingrenzung der Anlage möglichst klein gehalten werden. Die mit diesem Ansatz im Zusammenhang stehenden rechtlichen (insbesondere wasserrechtlichen Fragen müssen bei der Abfassung einer Verordnung berücksichtigt werden.

Die Kommissionen sehen prinzipielle Vorteile gegenüber der bisher üblichen Vorgehensweise. So sollte die langfristige Prognose der Entwicklung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit zusätzlichen Aussagen über die Verschlüsse der Schächte und Bohrlöcher mit wesentlich geringeren Unwägbarkeiten verbunden sein als die Prognose des gesamten Endlagersystems einschließlich der oberflächennahen Hydrogeologie und Biosphäre.

RSK und SSK sehen Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich dann als geringfügig an, wenn sie allenfalls zu einer Änderung noch festzulegender Merkmale des bestehenden natürlichen Systems in einer Größenordnung führen, die nicht mit relevanten Auswirkungen für Mensch und Umwelt verbunden ist. Bei weniger wahrscheinlichen Entwicklungen des Endlagersystems sollte die geringere Eintrittswahrscheinlichkeit angemessen berücksichtigt werden. Für den Nachweis der Isolation sind geeignete Indikatoren zu verwenden, mit deren Hilfe die Geringfügigkeit der Störung des bestehenden natürlichen Systems in der Umgebung des Endlagers bewertet werden kann. Der in [5] vorgeschlagene Ansatz, die Änderung von ausgewählten Merkmalen des bestehenden natürlichen Systems als Maßstab für die Bewertung der Geringfügigkeit anzusetzen, erscheint plausibel. Wie dieser Ansatz in konkrete Bewertungsmaßstäbe von Indikatoren umzusetzen

ist, bedarf nach Einschätzung von RSK und SSK noch weiterer Überlegungen und abschließender Festlegungen.

Für die Freisetzung chemotoxischer Stoffe sind im Prinzip analoge Überlegungen zu Grunde zu legen, wobei die in den einschlägigen Fachgebieten üblichen Festlegungen von Geringfügigkeit zu berücksichtigen sind.

RSK und SSK betonen, dass es sich um ein innovatives Nachweiskonzept handelt. Erfahrungen in der umfassenden Anwendung des Konzepts zum Nachweis der Isolation bestehen bisher noch nicht. Aus Sicht von RSK und SSK sollte das Nachweiskonzept verfolgt werden.

4 Anforderungen an die technischen und natürlichen Barrieren

In [5] sind nur wenige konkrete Anforderungen an die technischen und natürlichen Barrieren aufgeführt. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln 4.1 bis 4.3 diskutiert. Die allgemeinen Anforderungen werden in [5] im Kapitel 6.1 genannt, insbesondere:

- „Der einschlusswirksame Gebirgsbereich sowie der Verschluss müssen über Eigenschaften derart verfügen, dass die Isolation über einen Zeitraum von mindestens einer Million Jahren sichergestellt werden kann.“ (Absatz 6.6)
- „Das Endlagersystem muss robust sein im Hinblick auf seine zentrale Sicherheitsfunktion, d. h. die Sensitivität gegenüber Einfluss nehmenden Ereignissen und Prozessen sowie gegenüber Unsicherheiten muss klein sein.“ (Absatz 6.7)
- „Das Endlagersystem muss die Sicherheit durch ein System gestaffelter Abwehrmaßnahmen mit ihren Sicherheitsfunktionen sowohl für die Betriebsphase als auch in der Phase nach dem Verschluss des Endlagers gewährleisten. Im Hinblick auf realistischere anzunehmende Veränderungen muss das System von Sicherheitsfunktionen insgesamt ausreichende Sicherheitsreserven aufweisen.“ (Absatz 6.8)
- „Die dem Sicherheitskonzept zu Grunde liegenden technischen Barrieren sind im Hinblick auf die an sie gestellten Anforderungen zu charakterisieren.“ (Absatz 6.8)

Zu den Anforderungen an die Barrieren nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

Das Ziel der deutschen Endlagerkonzeption ist die Isolation der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich über den gesamten Nachweiszeitraum. Die Isolation des Endlagers beruht auf verschiedenen Barrieren des Endlagersystems wie den technischen Barrieren, den geotechnischen Verschlüssen und dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich. In verschiedenen Zeitbereichen leisten die einzelnen Barrieren unterschiedliche Beiträge, langfristig wird aber die Isolation überwiegend durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich gewährleistet.

Bei einem Endlager muss das Gesamtsystem der Barrieren die Isolation der Radionuklide gewährleisten, wobei in der Anfangsphase (bis zu einigen Jahrtausenden) insbesondere auch von geotechnischen Barrieren Kredit genommen werden muss.

Aus Sicht von RSK und SSK ist ein robustes Sicherheitskonzept zu realisieren, dass vor dem Hintergrund der geologischen Situation und der langfristigen Entwicklungen am Standort die Isolation der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich über den gesamten Betrachtungszeitraum sicherstellt. Damit steht eine funktionale Anforderung im Vordergrund der Sicherheitsbetrachtungen, nämlich die Isolation der Abfälle als primäre Sicherheitsfunktion, die das Endlager zu erfüllen hat.

Die Isolation wird durch das Zusammenspiel von physikalischen und chemischen Prozessen oder Merkmalen erreicht, die komplementär oder zusammen wirken können. Es bleibt dem Antragsteller überlassen im Einzelnen die physikalischen und chemischen Prozesse, die mit bestimmten Barrieren verknüpft sind, zu identifizieren und ihren Beitrag zu den einzelnen Sicherheitsfunktionen zu quantifizieren. Es ist nachzuweisen, dass eine geringere oder fehlende Wirksamkeit einzelner physikalischer und chemischer Prozesse beziehungsweise der Ausfall einzelner technischer Barrieren nicht zu einer unzulässigen Verringerung der Isolationswirkung führt bzw. auszuschließen ist.

Die Anforderungen an die Sicherheitsfunktion Isolation leiten sich aus den-Schutzzielen und der damit im Zusammenhang stehenden Geringfügigkeit von stofflichen Emissionen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich ab und sind insofern konkret. Allerdings ergeben sich daraus nur indirekte quantitative Anforderungen an bestimmte Eigenschaften der geologischen oder technischen Barrieren. Aus Sicht von RSK und SSK sind daher in [5] richtigerweise keine direkten quantitativen Anforderungen für einzelne Barrieren aufgeführt.

Welche spezifischen Anforderungen in einzelnen Zeitbereichen an die einzelnen Barrieren zu stellen sind, ist maßgeblich abhängig vom gewählten Wirtsgestein und von der technischen Endlagerkonzeption.

4.1 Behälter

In [5] sind in Kapitel 6.3 Anforderungen an die Abfälle und Behälter aufgeführt. Im Absatz 6.26 wird gefordert: *„Für die hochradioaktiven Abfälle ist ein Behälterkonzept zu realisieren, das im Verbund mit den einschlusswirksamen Eigenschaften des Wirtsgesteins, den hermetischen Einschluss dieser Abfälle am Einlagerungsort für einen Zeitraum von 1.000 Jahren sicherstellt.“*

Hierzu nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

Die in [5] genannten Anforderungen an einen durch die Behälter zu realisierenden hermetischen Einschluss über 1000 Jahre halten die Kommissionen nicht für zielführend, da das Gesamtsystem aus Behälter, geotechnischen und geologischen Barrieren die zu leistende Isolationswirkung sicherstellen muss.

Bei den Anforderungen an die Behälter ist darauf zu achten, dass sie im Rahmen der Gesamtkonzeption ausreichend und angemessen sind, aber nicht zu prohibitiv, so dass konzeptionelle Optimierungen behindert werden (z. B. Kokillenendlagerung von bestrahlten Brennelementen und HAW).

Mindestanforderung an die Behälter als technische Barriere ist die Funktionsfähigkeit und

Integrität der Behälter, und damit auch deren sichere Handhabbarkeit während der Einlagerungsphase im Endlager, d. h. bis zur Verbringung der Abfälle an den Einlagerungsort und bis zu dessen sicherem Verschluss.

Eine Option der Rückholung der Abfälle nach Verschluss des Endlagers wird von den Kommissionen nach wie vor nicht empfohlen [1]. Daher ergeben sich aus diesem Aspekt auch keine Anforderungen an die Abfallbehälter.

Im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse ist die Einhaltung der Schutzziele zu jedem Zeitpunkt nachzuweisen. Dieser Nachweis soll durch die Betrachtung des Gesamtkonzepts, bestehend aus technischen, geologischen und geotechnischen Barrieren, geführt werden. Dabei ist in der so genannten „Transitionsphase“, in der einerseits noch das Gros der Spaltprodukte und eine relativ hohe Wärmebelastung vorhanden sind, andererseits aber die geotechnische Barriere – wirtsgesteinsabhängig – noch nicht ihren Endzustand erreicht hat, der Einschluss sicherzustellen. Es ist standort- und konzeptspezifisch zu analysieren und festzulegen, welche zusätzlichen Anforderungen an die Behälter sich in der Transitionsphase ergeben.

4.2 Geotechnische Verschlussbauwerke

In Bezug auf geotechnische Verschlussbauwerke betonen RSK und SSK, dass diese insbesondere einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Isolation der Abfälle im Endlager zu bewirken, solange die für die Isolation relevanten Eigenschaften im Bereich des Grubengebäudes noch nicht den für die langfristige Isolation erforderlichen Eigenschaften entsprechen.

Die geotechnischen Barrieren Schachtverschluss und Streckenverschlüsse sind während dieser Zeit von besonderer Bedeutung. Sie sollen insbesondere ein Zutreten von Lösungen in die verfüllten Grubenbaue und Einlagerungsbereiche wirksam behindern und einen Transport von Schadstoffen aus dem Endlager verhindern. Entsprechende Nachweise für die Wirksamkeit der geotechnischen Verschlussbauwerke sind für die Zeiträume, in denen sie als Barriere benötigt werden, zu führen.

4.3 Geologische Barriere

Nach Ansicht von RSK und SSK entsprechen die Ausführungen in [5] zur geologischen Barriere dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Aus Sicht von RSK und SSK ergeben sich aus dem Grundgedanken der Isolation der radioaktiven Abfälle in Verbindung mit dem Ansatz, dass die Isolation langfristig durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich gewährleistet wird und der Forderung, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich möglichst geringe Abmessungen haben soll, prinzipielle Anforderungen an die Eigenschaften der Gesteine im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Ihre transport- und rückhalterrelevanten Eigenschaften müssen so beschaffen sein, dass sie zu einer ausreichend geringen Ausbreitung von Schadstoffen innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs führen.

Die Kommissionen empfehlen, das Vorgehen für die Bestimmung der äußeren Abmessungen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in einer Leitlinie festzulegen.

Die Wirksamkeit der geologischen Barriere ist über den gesamten Nachweiszeitraum unter Berücksichtigung der möglichen Entwicklungen des Endlagersystems nachzuweisen. Es ist daher auch zu zeigen, dass der Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über den gesamten Zeitraum gewährleistet ist. Dieser Schutz wird durch Gesteinsschichten, die außerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs liegen, wahrgenommen. Diese Gesteinsschichten können zur gleichen Gesteinseinheit gehören wie die Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches selbst oder zu anderen Einheiten.

5 Sicherheitsnachweise und Beurteilungsmaßstäbe

5.1 Betriebliche Sicherheit

In [5] wird in Kapitel 3 (Definitionen) unter Absatz 3.7 definiert:

„Die Betriebsphase beginnt nach Erteilung der Betriebsgenehmigung zur planmäßigen Einlagerung der radioaktiven Abfälle und endet mit dem Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen des Endlagers einschließlich der Fertigstellung des Schachtverschlusses.“

Für die Betriebsphase wird in Kapitel 6.1 (Grundanforderungen) unter Absatz 6.11 gefordert:

„Im Sicherheitskonzept ist darzulegen und zu begründen, welche Betriebsstörungen und Störfälle im Endlager auftreten können. Die Entscheidung, welche Ereignisse als Auslegungstörfälle im Sinne des § 49 StrlSchV zu bewerten sind, hat sich insbesondere an den Ereignissen 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.“

Dazu wird in Absatz 6.12 weiterhin spezifiziert:

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

Im Hinblick auf die Optimierung des Strahlenschutzes für die Betriebsphase wird in Absatz 4.20 gefordert:

„Bei sehr kleinen Dosisbeiträgen von etwa 0,01 mSv pro Kalenderjahr oder kleiner ist eine Optimierung des Strahlenschutzes nicht mehr erforderlich.“

Hierzu nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

Bei sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignissen wird zwischen anomalem Betrieb, Störfällen und Ereignissen mit Mehrfachversagen von Sicherheitssystemen unterschieden. Für die erforderliche Störfallvorsorge für ein Endlager wird ein Hinweis auf § 49 StrlSchV als nicht ausreichend angesehen. Dort wird im Hinblick auf die Identifizierung und Bewertung von

Störfällen und die Festlegung, für welche Ereignisse der Nachweis zu führen ist, dass die Störfallplanungswerte eingehalten werden, auf die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke und Störfallleitlinien Bezug genommen. Die darin vorgenommene Spezifizierung im anomalen Betrieb und bei Störfällen bezieht sich auf Kernkraftwerke und ist für die Betriebsphase eines Endlagers aufgrund des anderen technischen Aufbaus nicht direkt anwendbar. Daher wird hierfür noch ein Regelungsbedarf gesehen.

Eine entsprechende Regelung kann dadurch erfolgen, dass auch für die Betriebsphase eines Endlagers für die Identifikation und Bewertung sicherheitstechnisch bedeutsamer Ereignisse eine Leitlinie erstellt wird, in der die Anwendung einer zu den Störfallleitlinien und zum kerntechnischen Regelwerk analogen Systematik vorgesehen wird. In dieser Leitlinie kann dann insbesondere auch vorgegeben werden, mit welchen Kriterien und welcher Methodik der Nachweis zu erbringen ist, dass ein Ereignis aufgrund seiner geringen Eintrittshäufigkeit oder entsprechender Vorsorgemaßnahmen hinreichend ausgeschlossen werden kann.

In dieser Hinsicht kann die beim Planfeststellungsverfahren Konrad praktizierte Vorgehensweise für die Betriebsphase eine wichtige Referenz darstellen.

Für den Normalbetrieb eines Endlagers gelten die Dosisgrenzwerte der §§ 46 und 47 StrlSchV. Außerdem ist das Reduzierungsgebot nach § 6 StrlSchV anzuwenden. Gemäß gängiger Praxis in Deutschland existiert dabei keine Dosisgrenze, bei deren Unterschreitung eine weitere Dosisreduzierung nicht mehr in Betracht zu ziehen wäre. Deshalb sollte der Anforderung 4.20 in [5] nicht gefolgt werden.

5.2 Langzeitsicherheit

5.2.1 Nachweislogik

Die in [5] konzipierte Nachweislogik zum Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers kann wie folgt umrissen werden:

- Die Langzeitsicherheit des Endlagers ist gewährleistet, wenn die Isolation der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich für den Nachweiszeitraum gegeben ist.
- Durch Erkenntnisse aus der Standortcharakterisierung und der geowissenschaftlichen Langzeitprognose ist sicherzustellen, dass das Verhalten des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches über den Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren hinreichend sicher prognostiziert werden kann und bei den als wahrscheinlich zu unterstellenden Entwicklungen eine Unversehrtheit des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches gegeben ist.
- Hierbei sind die nach naturwissenschaftlichen Erkenntnissen möglichen Entwicklungen des Endlagersystems, welche ihre Ursache in endogenen und exogenen Prozessen haben, zu betrachten und die relevanten Szenarien zu identifizieren. Mittels Konsequenzenanalysen ist für alle repräsentativen Szenarien auf der Basis naturwissenschaftlicher Methoden die potenzielle Freisetzung und Migration von Schadstoffen im Endlagersystem zu ermitteln.

- Für wahrscheinliche Entwicklungen des Endlagersystems wird postuliert, dass die Schutzziele eingehalten sind, wenn die Isolation der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich für den Nachweiszeitraum gegeben ist. Der Nachweis der Isolation ist mittels geeigneter Indikatoren zu führen.
- Der Maßstab für die Beurteilung der Indikatorwerte wird aus dem Gedanken abgeleitet, dass die Isolation gewährleistet ist, wenn das bestehende natürliche System so wenig wie möglich gestört ist („Geringfügigkeitskonzept“). Die Anforderungen an die Isolation gelten nur dann als erfüllt, wenn für alle Indikatoren der jeweilige Bewertungsmaßstab eingehalten ist.
- Auch für weniger wahrscheinliche Entwicklungen werden die Konsequenzen, die sich aus migrierten Radionukliden ergeben, in den jeweiligen Teilsystemen ermittelt. Als Bewertungsmaßstab werden die Bedingungen herangezogen, die sich aufgrund natürlicher, vom Endlager nicht beeinflusster Verhältnisse ermitteln lassen. Die Anforderungen an die Isolation gelten als erfüllt, wenn die ermittelten Konsequenzen aufgrund der aus dem Endlager freigesetzten Radionuklide nicht größer sind als diejenigen, welche sich aufgrund natürlicher, vom Endlager nicht beeinflusster Bedingungen ergeben.
- Sowohl in den Analysen als auch den Bewertungen der damit erhaltenen Ergebnisse sind die Szenarien-, Daten- und Modellunsicherheiten und ihre Wirkungen auf die Langzeitsicherheit zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist die natürliche Robustheit des Endlagersystems darzustellen.

Zu dieser Nachweislogik in [5] nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

Die Kommissionen begrüßen ausdrücklich den in [5] gewählten Ansatz der Nachweislogik. Die Isolation der Abfälle ist gewährleistet, wenn aus den Abfällen freigesetzte Schadstoffe während des Nachweiszeitraums den einschlusswirksamen Gebirgsbereich eines Endlagers nicht verlassen oder wenn die Schadstofffreisetzung aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich geringfügig ist. Der primäre Ort der Beurteilung wird damit an den Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches verlagert. Für den Nachweis der Isolation sind geeignete Indikatoren und zugehörige Beurteilungswerte („Indikatorwerte“) festzulegen. Über den Nachweis der Isolation der Abfälle wird damit auch der Nachweis erbracht, dass Schutzgüter in der Biosphäre nicht beeinträchtigt werden. Das Konzept der Isolation hat den Vorteil, dass nur für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich eine verlässliche Prognose der Entwicklung notwendig ist.

Da derzeit für RSK und SSK nicht absehbar ist, welche Konservativitäten in den späteren Konsequenzanalysen, mit denen die Freisetzung von Schadstoffen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich modelliert wird, enthalten sein werden, sehen sie die grundsätzliche Notwendigkeit, der Ermittlung der Individualdosis als Kriterium zur Einhaltung der Schutzziele besondere Bedeutung beizumessen. Dies begründet sich u. a. dadurch, dass eine geringfügige Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich zulässig ist.

Dazu sind mit standardisierten Biosphärenmodellen potenzielle Strahlenexpositionen einer Referenzperson auch für nur sehr unsicher prognostizierbare Zeiträume zu ermitteln. Die zur

Modellierung notwendigen Referenzbiosphären sind zu entwickeln und verbindlich vorzugeben.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist aber keine Bewertung der Kommissionen möglich, ob der Satz von Indikatoren mit seinen zugehörigen Bewertungsmaßstäben hinreichend und geeignet ist, den Nachweis der Isolation zu führen (s. auch Kapitel 5.2.2). In diesem Zusammenhang merken RSK und SSK an, dass die Handhabung der Indikatoren auch von der GRS bisher nur für wahrscheinliche Entwicklungen geprüft wurde. Ihre Anwendbarkeit für weniger wahrscheinliche Entwicklungen ist noch zu prüfen.

5.2.2 Nachweiskonzept für radioaktive Stoffe

In [5] wird als ein Indikator die „effektive Individualdosis“ zur direkten Bewertung des Schutzziels „Begrenzung der Strahlenexposition von Personen“ vorgeschlagen. Daneben werden in [5] weitere Größen und Kriterien vorgeschlagen, die dazu dienen sollen, das Isolationsvermögen des Endlagers für radioaktive Stoffe zu beurteilen. Insgesamt werden fünf weitere Indikatoren genannt, von denen sich vier direkt auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich beziehen – und damit dem Nachweis der Isolation dienen – und einer auf oberflächennahe Grundwasserleiter.

Indikatorensystem

Die Kommissionen haben das in [5] vorgeschlagene Indikatorensystem und die zugehörigen Bewertungsmaßstäbe diskutiert und sich insbesondere mit der Frage befasst, ob der Satz von Indikatoren mit seinen zugehörigen Indikatorwerten hinreichend und geeignet ist, den Nachweis der Isolation zu führen. Sie sind dabei zu dem Ergebnis gekommen, dass die Ausgestaltung des Indikatorsystems noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfordert und deshalb eine abschließende Bewertung derzeit nicht vorgenommen werden kann. Folgende Gesichtspunkte sind aus Sicht von RSK und SSK für die Bewertung dieser Indikatoren und Indikatorwerte von Bedeutung:

- Der Indikator „Rückhaltung“ ist konzipiert als Maßzahl des integralen Isolationsvermögens des Endlagers. Dieser Indikator ist auf die gesamte eingelagerte Aktivitätsmenge zu beziehen. Maßstab der Bewertung ist in diesem Fall kein natürlicher Bezugswert, sondern das eingelagerte Inventar. Dieser Indikator ist aus Sicht von RSK und SSK grundsätzlich geeignet, die Isolationswirkung des Endlagers unmittelbar zu bewerten. Allerdings gibt es keine Bezüge dieses Indikators zu radioökologischen oder anderen beurteilungsrelevanten Größen. Die Festlegung des anzuwendenden Beurteilungsmaßstabes ist deshalb schwierig zu begründen. RSK und SSK empfehlen daher, neben dem in [5] vorgeschlagenen Indikator auch andere Ansätze für einen Indikator zur Demonstration des Einschlusses im Endlager zu prüfen und auf ihre Brauchbarkeit im Rahmen der Sicherheitsnachweise hin zu bewerten.
- Der Indikator „Veränderung der Konzentration der Elemente Uran und Thorium in der Randzone des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ erlaubt einen Vergleich mit natürlich vorkommenden Gegebenheiten. Dieser Indikator könnte als Beurteilungsgröße für das Schutzgut Grundwasser interpretiert werden. In diesem Zusammenhang wäre zu klären, ob Mittelwerte der Uran- und Thoriumkonzentrationen für einen möglichen Endlagerstandort oder für Deutschland zu Grunde zu legen sind. Bisher liegen nur

wenige Messungen für Uran und Thorium in Tiefenwässern vor, so dass der Referenzwert bisher nur unzureichend bestimmt ist. Aus Sicht von RSK und SSK ist dieser Indikator lediglich ein Maß für die Freisetzung von Uran und Thorium aus dem Endlager in das Grundwasser. Eine Aussage für die Freisetzung anderer Stoffe ist aus diesem Indikator nicht ableitbar.

- Der Indikator „Beitrag zur Leistungsdichte aufgrund radioaktiver Strahlung im Porenwasser der Randzone des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch aus dem Endlagerbergwerk freigesetzte Radionuklide“ kann als Maßstab für einen Vergleich mit natürlichen Bedingungen dienen. Er bezieht sich auf natürlich vorkommende und künstlich erzeugte Radionuklide.

RSK und SSK konnten nicht klären, ob dieser Indikator notwendig ist, sie empfehlen aber, ihn als ergänzende Beurteilungsgröße zu betrachten. Die Kommissionen weisen darauf hin, dass der Term „radioaktive Strahlung“ in der Definition des Indikators durch „ionisierende Strahlung“ ersetzt werden sollte.

- Der Indikator „Radiotoxizität der aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich freigesetzten Radionuklide“ errechnet sich aus dem jährlichen Radionuklidstrom aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich, dem jährlichen Wasserverbrauch einer kritischen Gruppe und radionuklidspezifischen Konversionsfaktoren, die für gegebene Kontaminationen in nutzbaren Wässern bei deren Verwendung als Trink-, Tränk- und Beregnungswasser die Exposition eines Erwachsenen angeben. Dabei wird der Ort für die Ermittlung möglicher radiologischer Konsequenzen von der Biosphäre an den Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs verlegt. Der Indikator ist eng mit der Individualdosis verknüpft; er berücksichtigt alle Radionuklide und Expositionspfade und bietet damit die Möglichkeit, radiologische Konsequenzen abdeckend zu beschreiben.

Da der Indikator aber ein fiktives Nutzungsszenario unterstellt, ist es sinnvoller, einen dimensionslosen Indikator einzuführen, damit nicht der irreführende Eindruck entsteht, es handle sich um eine effektive Individualdosis. Ein besser geeigneter Indikator wäre z. B. ein Radiotoxizitätsindex RTI, der den berechneten Wert in Relation zu einem Schwellenwert (0,1 mSv/a oder einem natürlichen Vergleichswert) angibt („Ausschöpfungsgrad“). Die Nutzung dieses Indikators wird auch für die Beurteilung weniger wahrscheinlicher Entwicklungen des Endlagersystems als konsequent angesehen. Für die konkrete Ausgestaltung dieses Indikators bestehen unterschiedliche Möglichkeiten. Als Konsequenz aus dem Isolationsansatz sehen RSK und SSK die Notwendigkeit, diese Ausgestaltung so vorzunehmen, dass die Einhaltung des Schutzkriteriums effektive Individualdosis inhärent gewährleistet ist. Dabei ist zu beachten, dass der angenommene Wasserverbrauch einer kritischen Bevölkerungsgruppe sensitiv ins Ergebnis eingeht. Es bedarf daher sorgfältiger Analysen, um die Korrelationen zwischen der errechneten Radiotoxizität, dem zu Grunde liegenden Wasserverbrauch und dem für die Berechnung der Dosiskonversionsfaktoren verwendeten Biosphärenmodell korrekt zu verarbeiten.

- Der Indikator „Natürliche Radionuklide im oberflächennahen Grundwasser“ vergleicht die Konzentrationen von aus dem Endlager ausgetretenen natürlichen Radionukliden im

oberflächennahen Grundwasser mit deren Hintergrundkonzentrationen. Für diesen Vergleich bleibt auch hier unklar, ob der Referenzwert standortspezifisch zu ermitteln ist oder ob Mittelwerte für Deutschland heranzuziehen und mit welcher Genauigkeit diese zu bestimmen sind. Sollten sich die Referenzwerte auf den Standort beziehen, wäre die Einhaltung der Indikatorwerte möglicherweise von den Konzentrationen der natürlichen Radionuklide im Deckgebirge abhängig.

Für diesen Indikator werden in [5] Werte für acht Radionuklide angegeben; die jedoch das Spektrum der natürlichen Radionuklide im Grundwasser nicht abdecken. Für jedes der Radionuklide ist der nuklidspezifische Indikatorwert einzuhalten. Insofern handelt es sich streng genommen nicht um einen, sondern um acht Indikatoren, die einzeln zu bewerten sind.

Der Indikator setzt zur Vorhersage der Ausbreitung der Radionuklide im Deckgebirge die Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse voraus, was mit der Zunahme des Prognosezeitraumes schwieriger wird und letztlich zu sehr hypothetischen Aussagen führen muss. Insgesamt sehen RSK und SSK in der Veränderung der Aktivitätskonzentration von Radionukliden im oberflächennahen Grundwasser daher keinen verwertbaren Indikator zum Nachweis der Isolation. Allerdings könnten die Radionuklidkonzentrationen im Grundwasser ergänzend zur Veranschaulichung genutzt werden.

Aus Sicht von RSK und SSK stellt der GRS-Vorschlag einen guten Startpunkt für eine vertiefte fachliche Diskussion dieser Thematik in Deutschland dar. Die hier von den Kommissionen vorgebrachten Einschätzungen sind daher auch als Beitrag für die zu führende Diskussionen zu verstehen. Aus Sicht von RSK und SSK betrifft dies insbesondere die Identifizierung geeigneter Indikatoren und die Festlegung zweckmäßiger Indikatorwerte, mit denen die Isolation der radioaktiven Abfälle bewertet werden kann. Die Kommissionen empfehlen, die notwendigen Grundlagen für diese Diskussion durch entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu schaffen.

Neben dem Nachweis der Isolation sind die langfristigen Auswirkungen eines Endlagers in der Biosphäre zu bewerten. RSK und SSK sind der Auffassung, dass der Indikator „Effektive Individualdosis“ dafür eine geeignete Größe ist. Dieser Indikator hat einen direkten Bezug zur Strahlenschutzverordnung, die als eine Genehmigungsvoraussetzung für kerntechnische Anlagen die Einhaltung bestimmter Dosisgrenzwerte vorschreibt. In die Ermittlung dieses Indiktors fließen die Ergebnisse aller Untersuchungen zum Transport radioaktiver Stoffe im einschlusswirksamen Gebirgsbereich, im Deck- und Nebengebirge sowie im oberflächennahen Grundwassersystem ein. Zur Modellierung bei der Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition stellen RSK und SSK fest:

- Plausible Annahmen zur zukünftigen Hydrogeologie im Deck- und Nebengebirge sollen vorrangig in die Modellierung einfließen. Für Zeitpunkte nach einer oder mehrerer Kalt- oder Eiszeiten, die zu schwer quantitativ prognostizierbaren Änderungen der hydrogeologischen Verhältnisse führen können, sind Referenzannahmen zu treffen.
- Für längere Prognosezeiträume sind Annahmen zu landwirtschaftlichen und Umweltbedingungen mit zunehmenden Unsicherheiten behaftet. In die resultierende Dosis gehen jedoch eine Reihe von Parametern ein, die physiologisch bedingt sind, wie zum

Beispiel die Aufnahme von Trinkwasser und Nahrung. Auch wenn diese Größen für zukünftige Verhältnisse nicht genau vorherzusagen sind, so bewegt sich deren Variabilität doch in relativ engen, weil physiologisch bedingten Grenzen. Ferner unterliegen auch alle Prozesse, die den Transfer von Radionukliden in die Umwelt bedingen, universalen physiologischen und chemisch-physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die von den jeweiligen Umweltbedingungen modifiziert werden können, so dass die Bandbreite der möglichen Exposition auch für in ferner Zukunft liegende Szenarien hinreichend gut abgeschätzt werden kann.

- In Deutschland liegt bisher keine verbindliche Vorgabe zur Ermittlung der Strahlenexposition nach Verschluss eines Endlagers vor. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV, mit der die Dosis einer Referenzperson durch Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen ermittelt wird, wurde nicht für diesen Zweck entwickelt. Es wird daher empfohlen eine neue Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der Strahlenexposition nach Verschluss eines Endlagers zu entwickeln, in der die folgenden Aspekte berücksichtigt werden sollten:
 - Die zu modellierenden Expositionspfade sollen auf die Pfade eingeschränkt sein, die im Hinblick auf Freisetzungen von Radionukliden aus einem Endlager von Bedeutung sein können (insbesondere Trinkwasserkonsum, Beregnung von zur Nahrungsmittelgewinnung genutzten Flächen, Viehtränke).
 - Parameterwerte sollen so realistisch wie möglich oder im Sinne bester Schätzwerte angesetzt werden.
 - Eine Referenzperson soll im Sinne des repräsentativen Individuums nach ICRP festgelegt werden.. Die Referenzperson soll keine extremen Verhaltensweisen und keine singulären Eigenschaften aufweisen. Die Definition einer kritischen Gruppe exponierter Personen und die Festlegung der Größe eines zu betrachtenden Kollektivs von Menschen sind dann entbehrlich.
- Ein standardisiertes Biosphärenmodell ist ebenfalls festzulegen. Es liegen international Modelle vor, die den Stand von Wissenschaft und Technik widerspiegeln (z. B. BioMosa). Die Modellierung soll in Anlehnung an diese Modelle vorgenommen werden.

Radiologischer Bewertungsmaßstab

RSK und SSK empfehlen, in Übereinstimmung mit ihrer Stellungnahme aus dem Jahre 2002, [1] für das Überprüfungskriterium „Effektive Individualdosis“ 0,1 mSv im Jahr bei wahrscheinlichen Entwicklungen und 1 mSv im Jahr bei weniger wahrscheinlichen Entwicklungen zu Grunde zu legen. Aus den Sicherheitsprinzipien ergibt sich, dass durch die Auslegung des Endlagers für zukünftige Generationen dasselbe Schutzniveau wie für die heute lebenden Menschen gewährleistet ist. Daraus folgt, dass die weniger wahrscheinlichen Entwicklungen höchstens zu einem Wert von 1 mSv für die effektive Individualdosis führen. Dieser Wert entspricht heute gängigen Grenzwerten für die jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen. Da das Endlager aber so ausgelegt und der Standort so gewählt werden sollte, dass diese Anforderungen übertroffen werden, sollte bei den wahrscheinlichen Entwicklungen im Endlager der Wert von 0,1 mSv pro Jahr nicht überschritten

werden. Dieser Wert ist auch unter Berücksichtigung der Schwankungsbreite der heutigen natürlich bedingten Strahlenexposition in Deutschland angemessen. In diesem Zusammenhang weisen RSK und SSK darauf hin, dass ein Vergleich von wahrscheinlichen Entwicklungen des Endlagersystems mit dem Normalbetrieb bei kerntechnischen Anlagen und von weniger wahrscheinlichen Entwicklungen mit dortigen Störfällen nicht sachgerecht ist. Daher sollte sowohl konzeptionell als auch bei der Festlegung von Kriterien für die Individualdosis ein Bezug zu den §§ 47 und 49 StrlSchV nicht hergestellt werden.

Der Schutz der belebten Umwelt mit dem Überprüfungskriterium „effektive Individualdosis“ des Menschen von 0,1 mSv bzw. 1 mSv pro Jahr wird für terrestrische Öko-Systeme, in denen Menschen, Tiere und Pflanzen leben, als gegeben angesehen. Die Möglichkeit, dass eine oder mehrere Arten und die Artenvielfalt geschädigt werden und die Funktionalität dieses Öko-Systems beeinträchtigt wird, ist als sehr gering anzusehen, wenn das für den Menschen empfohlene Schutzziel eingehalten ist.

RSK und SSK weisen darauf hin, dass die zur Quantifizierung der Isolation erforderlichen Modellrechnungen im Rahmen der Konsequenzanalysen auf standortkonkreten messbaren Parametern aufgebaut werden müssen (s. [5] Nr. 7.26). Die Qualität dieser Daten und der Grad der Konservativität ihrer Festlegung bestimmen entscheidend die Ergebnisse. Erfahrungsgemäß muss damit gerechnet werden, dass im Zuge eines realen Genehmigungsverfahrens stets vorhandene Unsicherheiten durch Konservativitäten kompensiert werden. Aus Sicht von RSK und SSK, ist es erforderlich, für bestimmte Sachzusammenhänge, die in die Berechnung eingehen, standardisierte Verfahren zu entwickeln. Soweit dazu nicht bereits Standards existieren, sollte der Gesetzgeber einen Rahmen für entsprechende Festlegungen über untergesetzliche Regelwerke ausdrücklich offen halten. Bei der Erstellung solcher Standards sind Überkonservativitäten zu vermeiden. Derartige später zu treffende Festlegungen sollten in jedem Fall die (statistische) Datenbehandlung und Datenaggregation einschließen. Der Nachvollziehbarkeit (Transparenz) aller Arbeitsschritte sollte dabei hohe Bedeutung eingeräumt werden.

Schlussfolgerungen zum Nachweiskonzept für radioaktive Stoffe

Zusammenfassend weisen RSK und SSK darauf hin, dass es nach ihrer Einschätzung notwendig ist, den Satz von Indikatoren mit seinen zugehörigen Indikatorwerten weiter zu entwickeln, um damit den Nachweis der Isolation führen zu können.

In diesem Zusammenhang merken RSK und SSK an, dass die Handhabung der Indikatoren auch von der GRS bisher nur für wahrscheinliche Entwicklungen beschrieben wurde. Ihre Anwendbarkeit für weniger wahrscheinliche Entwicklungen ist noch zu prüfen. Im Sinne einer konsistenten Vorgehensweise beim Sicherheitsnachweis sollte aus Sicht der Kommissionen auch bei weniger wahrscheinlichen Entwicklungen die Isolation der Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich nachgewiesen werden. Ob dies mit den vorgeschlagenen Indikatoren möglich ist, konnte durch RSK und SSK nicht geklärt werden.

5.2.3 Chemotoxische Stoffe

Grundsätzlich enthalten die in ein Endlager verbrachten radioaktiven Abfälle auch nicht

radioaktive, chemotoxische Stoffe. Durch den radioaktiven Zerfall nimmt die Stoffmenge stabiler Nuklide zu. Von diesen Nukliden ist allerdings nur ein Teil als chemotoxisch zu klassifizieren. Zusätzlich zu den mit den Abfällen unmittelbar eingebrachten Stoffen können Behälter sowie Bau- und Versatzstoffe Substanzen enthalten, die chemotoxische Eigenschaften besitzen.

Eine gezielte Auseinandersetzung mit der Frage der Bewertung chemotoxischer Stoffe und ihrer potenziellen Freisetzung aus einem Endlager ist in [5] nicht enthalten. Im Zusammenhang mit der Abwägung der Verhältnismäßigkeit beim Aufwand der Schutzmaßnahmen gegen die Wirkung ionisierender Strahlung wird in [5] aber darauf hingewiesen, dass auch die Auswirkungen sonstiger toxischer Stoffe bedeutsam sein können.

Die Kommissionen sind der Auffassung, dass der Schutz vor einer Freisetzung chemotoxischer Stoffe aus dem Endlager ein relevanter Aspekt ist, der bei der Abfassung von Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung einbezogen werden sollte. Die Befassung mit der Frage, in welcher Weise dies rechtlich umgesetzt werden kann, war aber nicht Aufgabe der Kommissionen.

Nach Ansicht von RSK und SSK muss auch für die chemotoxischen Stoffe die Isolation im Endlager hinreichend sichergestellt werden. Das an den einschlusswirksamen Gebirgsbereich grenzende Grundwasser darf demnach auch mit chemotoxischen Stoffen nur in einem Maße kontaminiert werden, das nach einem geeigneten und noch festzulegenden Maßstab als geringfügig einzustufen ist.

5.2.4 Vor- und Nachteile von dosisbasierten und risikobasierten Nachweiskriterien

In [5] werden zur Bewertung von wahrscheinlichen und weniger wahrscheinlichen Entwicklungen dosisbasierte Kriterien verwendet. Die Klassifizierung der in der Konsequenzanalyse zu betrachtenden Szenarien erfolgt in Bezug auf deren Eintrittswahrscheinlichkeit:

- „Wahrscheinliche Szenarien [sind] Szenarien, deren Eintreten im Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren eine hohe Wahrscheinlichkeit zuzuordnen ist.“ ([5] Absatz 7.20)
- „Weniger wahrscheinliche Szenarien [sind] Szenarien, deren Eintreten im Nachweiszeitraum von 1 Million Jahren eine wesentlich geringere Eintrittswahrscheinlichkeit zuzuordnen ist als den wahrscheinlichen Szenarien.“ ([5] Absatz 7.21)

Beim Indikator „effektive Individualdosis“ wird in [5, Anhang] ein um den Faktor 10 höherer Wert für die Bewertung der weniger wahrscheinlichen Entwicklungen genannt. Gleiches gilt für den Indikator „Radiotoxizität der aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich freigesetzten Radionuklide“. Die übrigen Indikatoren und Kriterien sollen entsprechend zur Anwendung gelangen. Dieser Ansatz entspricht einer risikoorientierten Vorgehensweise, bei der die geringere Eintrittswahrscheinlichkeit für das Szenarium berücksichtigt wird, die berechneten Konsequenzen aber trotzdem in jedem Fall begrenzt werden.

RSK und SSK sehen die Aufteilung der Szenarien in [5] in zwei Klassen mit unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit als sinnvoll und als dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend an. Eine solche Aufteilung wird auch in anderen Ländern vorgenom-

men. Eine weitere Aufteilung innerhalb der Klassen ist nicht sinnvoll, da für den Eintritt bestimmter Szenarien konkrete quantitative Wahrscheinlichkeiten nicht abgeleitet werden können.

Wegen der Unterschiede in der Wahrscheinlichkeit der beiden Klassen ist es auch gerechtfertigt, für die wahrscheinlichen Entwicklungen einerseits und die weniger wahrscheinlichen Entwicklungen andererseits unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe anzusetzen. Dieses Vorgehen ist in Übereinstimmung mit der Praxis in einer ganzen Reihe von Ländern und entspricht auch heute dem Stand von Wissenschaft und Technik. RSK und SSK haben die Frage der unterschiedlichen Bewertungsmaßstäbe für die zwei Klassen in ihrer Stellungnahme von 2002 [1] bereits ausführlich diskutiert. Auch aus heutiger Sicht ergibt sich keine andere Einschätzung, sodass auf die Ausführungen in [1] verwiesen werden kann.

Zur Bewertung der Langzeitsicherheit auf Basis von Risikoäquivalenten nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

Wie RSK/SSK in ihrer Stellungnahme von 2002 [1] bereits ausgeführt haben, entspricht die Verwendung von Risikokriterien bei der Bewertung komplexer Anlagen dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Auch für den Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern werden in einigen Ländern (z. B. Großbritannien, Schweiz) Risikokriterien ergänzend zu Dosiskriterien herangezogen. Nur in Schweden wird ein vorrangig risikobezogener Ansatz verfolgt [13]. In einem risikobasierten Ansatz wird das Risiko eines gesundheitlichen Schadens durch die Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Dosis ausgedrückt.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass verschiedene konzeptionelle Ansätze zur Bewertung von Umwelttoxinen auf Risikobezügen aufbauen. So benutzt die WHO in ihren aktuellen Ableitungen von Anforderungen an die Trinkwasserqualität [16] ein Referenzniveau von 10^{-6} „disability-adjusted life-years (DALYs)“ pro Person und Jahr. Dieser Ansatz wird sowohl für kanzerogene Stoffe ohne Schwellenwert als auch für andere Noxen angewandt und wichtet Lebenszeitverluste durch Tod und gesundheitliche Beeinträchtigungen in eine aggregierte Maßzahl („DALY“). Aus diesem Ansatz leitet sich auch die inzwischen eingeführte Richtdosis für Trinkwasser von 0,1 mSv pro Jahr ab.

Für die Berechnung der Prüfwerte von Bodenkontaminationen durch kanzerogene Stoffe (z. B. As, Benzol) wird im vorsorgenden Bodenschutz in Deutschland ein zusätzliches akzeptiertes Risiko von 10^{-5} pro Lebenszeit zu Grunde gelegt [11].

Die vorgenannten Risikoansätze beziehen sich aber ausschließlich auf gesundheitliche Wirkungen von Einzelnoxen. Zusätzliche Risikowichtungen, die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten dieser Stoffe beinhalten, sind nicht Inhalt dieser Regelungen.

Als Vorteil eines risikobasierten Ansatzes wird immer wieder genannt, dass ein Vergleich des Risikos bei der Endlagerung radioaktiver Stoffe mit anderen Risikogrößen möglich und inhärenter Bestandteil des Konzeptes ist. Für chemotoxische Stoffe, die mit den radioaktiven Abfällen eingebracht werden und ein kanzerogenes Potenzial aufweisen, könnten auf diese Weise die potenziellen Auswirkungen nach einheitlichen Maßstäben bei Sicherheits-

bewertungen mit berücksichtigt werden.

Trotz dieser möglichen Vorteile ist eine risikobasierte Vorgehensweise zur Bewertung der Sicherheit eines Endlagers aus Sicht von RSK und SSK aus verschiedenen Gründen nach wie vor mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet und an die Schaffung von Voraussetzungen geknüpft, so dass eine derartige Vorgehensweise zum gegenwärtigen Zeitpunkt von RSK und SSK nicht empfohlen wird.

Neben den bereits in der Stellungnahme von 2002 [1] genannten Argumenten gegen eine Verwendung von Risikokriterien weisen die Kommissionen darauf hin, dass die den Risikowerten zu Grunde liegenden Bewertungskonzepte vergleichbar sein müssen, wenn das Risiko einer Freisetzung von Radionukliden und von chemotoxischen Stoffen in die Biosphäre in einem einheitlichen Maßstab zusammengefasst werden soll. Bereits bei der alleinigen Bewertung radiologischer Auswirkungen gibt es Einschränkungen, da bei der Berechnung des Risikowertes ein funktionaler Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung (in der Regel eine lineare Beziehung) unterstellt wird, deren Funktionswerte von einem bestimmten Dosisbereich abgeleitet und auf niedrige Dosisbereiche extrapoliert werden.

Über diese grundsätzlichen Argumente gegen die Verwendung von Risikowerten hinaus weisen RSK und SSK darauf hin, dass für eine Berechnung von Risikoäquivalenten noch vielfältige methodische Schwierigkeiten bestehen und entsprechende Voraussetzungen erst noch zu schaffen sind:

- Unter Annahme einer definierten Dosis-Wirkungsbeziehung kann eine Individualdosis in ein Risikoäquivalent umgerechnet werden. International werden verschiedene Werte für den Umrechnungsfaktor herangezogen; in einigen Ländern sind die Werte regulatorisch festgelegt und liegen im Bereich zwischen 0,05 pro Sv und 0,073 pro Sv. Die Umrechnungsfaktoren unterscheiden sich vor allem darin, aus welchen Untersuchungen sie abgeleitet wurden, welche schwerwiegenden Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit sie als Wirkung betrachten und wie sie die verschiedenen Wirkungen wichten. Die ICRP gibt in [15] das auf die Gesamtbevölkerung bezogene Detriment („Detriment adjusted nominal risk coefficient for cancer and hereditary effects“) mit 0,057 pro Sv an. Bei diesem Risikokoeffizienten sind nichttödliche Krebserkrankungen gewichtet einbezogen, wobei die Wichtung vom Verhältnis zwischen Inzidenz und Mortalität abhängt. Bezogen auf die Inzidenz würde der Risikokoeffizient bei gleicher Datenbasis 0,1715 pro Sv betragen, davon 0,1 pro Sv durch Hautkrebs.
- Bei Festlegung eines verbindlichen maximalen Risikowerts muss daher zuvor festgelegt werden, auf welcher Basis die Dosis-Wirkungsbeziehung ermittelt wird, welche Effekte einbezogen werden und wie diese gegebenenfalls zu wichten sind. Diesbezügliche Empfehlungen der ICRP wurden, was die quantitative Höhe des Risikokoeffizienten betrifft, von der SSK bereits mehrfach als nicht sachgerecht bewertet. Es gibt daher derzeit keine entsprechenden Empfehlungen der ICRP oder anderer Gremien, deren Übernahme vorbehaltlos empfohlen werden kann.
- Eine Aggregation der nicht-radiologischen Risiken, die vom eingelagerten Abfall und den mit der Einlagerung inhärent verbundenen chemotoxischen Stoffen ausgehen können, ist nach Auffassung der Kommissionen derzeit aus methodischen Gründen

nicht möglich. So liegen nur für einzelne chemotoxische Stoffe überhaupt Dosis-Wirkungsbeziehungen oder Risikowerte vor, aber nicht für die Gesamtheit der relevanten Stoffe. Voraussetzung für die Festlegung von Risikowerten, die gemeinsam auf radioaktive und chemotoxische Stoffe angewendet werden sollen, wäre daher die Schaffung einer belastbaren und vollständigen Datenbasis zu Dosis-Wirkungsbeziehungen aller bei der Endlagerung relevanten chemotoxischen Stoffe.

Wegen der inhärenten Unsicherheiten in den berechneten Werten ist ein direkter Vergleich solcher möglichen, zukünftigen Risiken mit tatsächlichen, heute existierenden Risiken aus prinzipiellen Gründen nicht möglich.

Für alle kerntechnischen Einrichtungen wird nach Strahlenschutzverordnung die Dosis als Kriterium für die Genehmigung herangezogen. Dies ist für die Betriebsphase des Endlagers schon wegen der Festlegung in der Strahlenschutzverordnung notwendig. RSK und SSK halten es für sinnvoll, dies auch für die Nachbetriebsphase so zu handhaben. Die Verwendung eines Risikoäquivalents bietet demgegenüber keinen Vorteil, was die Beurteilung der Expositionen durch ionisierende Strahlung betrifft. Allerdings ist es aus Sicht von RSK und SSK sinnvoll, dosisbasierte Prüfwerte auch auf Basis der Kenntnisse zum Strahlenrisiko abzuleiten.

5.2.5 Umgang mit menschlichem Eindringen

Nach [5] ist das unbeabsichtigte menschliche Eindringen in das Endlagersystem nach Verlust der Information über die Existenz des Endlagers nicht auszuschließen (Absatz 7.42). Wegen des gezielten Konzentrierens und der Isolation der hochradioaktiven Abfälle im Endlager besteht in einem solchen Falle das Risiko einer Strahlenexposition. Dieses Risiko kann nur bedingt reduziert werden.

Das unbeabsichtigte Eindringen in das Endlagersystem soll bereits bei der Auswahl des Standortes und zur Erfüllung der Anforderungen im Sicherheitskonzept im Hinblick auf die Optimierung der Sicherheit behandelt werden. Das beabsichtigte Eindringen in das Endlager bleibt dagegen außer Betracht. Entsprechende Eingriffe werden in die Verantwortung der jeweils handelnden Gesellschaft gestellt.

Zur Bewertung des unbeabsichtigten Eindringens sollen Referenzszenarien herangezogen werden. Sie sind unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse, der heutigen gesellschaftlichen Bedingungen in Deutschland sowie des heutigen Standes von Wissenschaft und Technik zu analysieren und zu bewerten. In die Bewertung sind die Anzahl der betroffenen Personen, das räumliche und zeitliche Ausmaß einer möglichen Kontamination und die Möglichkeit der Reduzierung der Auswirkungen durch planerische Gegenmaßnahmen einzubeziehen. Es ist zu zeigen, dass bei der Planung und Auslegung des Endlagers alle praktikablen Gegenmaßnahmen getroffen worden sind. Nach [5] sind Maßnahmen zu ergreifen, damit das Wissen über das Endlager mindestens 500 Jahre erhalten bleibt, so dass als Zeitpunkt für ein Eingriffsszenarium kein früherer Zeitpunkt gewählt zu werden braucht.

Hierzu nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

Die Kommissionen haben bereits in ihrer Stellungnahme zum Entwurf der GRS zu den

Sicherheitskriterien von 2002 betont [1], dass die Berücksichtigung von unbeabsichtigten menschlichen Aktivitäten, die die Funktion des Endlagers beeinträchtigen könnten, dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Das beabsichtigte Eindringen in das Endlager - also das gezielte Eindringen bei Kenntnis über das Endlager - ist dagegen nicht zu betrachten. Dies ist nach wie vor die Position von RSK und SSK. Sie sind außerdem der Meinung, dass die Betrachtung eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens auf den Zeitraum jenseits 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers beschränkt werden sollte. Es sind deshalb Maßnahmen zu ergreifen, die das Wissen über die Existenz des Endlagers und seines Gefährdungspotenzials sowie seine Berücksichtigung bei Aktivitäten am Standort mindestens bis dahin sicherstellen.

Das unbeabsichtigte menschliche Eindringen muss im Langzeitsicherheitsnachweis behandelt werden. Für die Beurteilung der Auswirkungen auf das Endlagersystem sollten nur Referenzszenarien herangezogen werden, die auf der Grundlage heutiger gesellschaftlicher Bedingungen und nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik abgeleitet werden. Diese sollten in geeigneter Weise, beispielsweise in einer Leitlinie, festgelegt werden. Solche Szenarien können beispielsweise das Abteufen einer Explorationsbohrung, das Auffahren eines neuen Bergwerks und die Solung einer Kaverne in Salzgestein sein.

Bei der Bewertung der Referenzszenarien ist zwischen Auswirkungen des direkten Eindringens in das Endlager auf die handelnden oder indirekt betroffenen Personen und der Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit der Barrieren des Endlagers und der damit verbundenen Auswirkungen zu unterscheiden. Im ersten Fall kann davon ausgegangen werden, dass das Eindringen in ein Endlager radioaktiver Abfälle erkannt wird und Schutzmaßnahmen sowie Maßnahmen gegen einen weiteren Eintrag radioaktiver Stoffe in die Biosphäre getroffen werden. Für den zweiten Fall kann beurteilt werden, ob angemessene Maßnahmen vorgesehen sind, die darauf abzielen, die Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens zu verringern bzw. dessen Auswirkungen zu reduzieren, wie es unter anderem die ICRP in [10] fordert.

Ein Dosisgrenzwert zur Bewertung der Auswirkungen eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens sollte nicht festgelegt werden. Im Langzeitsicherheitsnachweis sind gleichwohl mögliche Auswirkungen zu diskutieren und angemessene Maßnahmen zu betrachten. Letztere sind insbesondere mit der konzeptionellen Endlagerauslegung, der Standortwahl, dem Informationserhalt und der Kennzeichnung des Standortes, aber auch mit Safeguards-Maßnahmen verbunden [14]. Derartige Maßnahmen müssen aber wegen ihrer möglichen Wechselwirkungen mit dem Sicherheitskonzept insgesamt abgewogen werden. Bestimmte für ein deutsches Endlager vorgesehene Randbedingungen tragen bereits zu einer Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens sowie zur Verringerung möglicher damit verbundener Auswirkungen bei. Dies betrifft vor allem die Wahl einer tiefen geologischen Formation für ein Endlager, die Wahl eines zuvor nicht genutzten Wirtsgesteinskörpers sowie die Abfallkonditionierung.

RSK und SSK betonen, dass nur ein „möglichst langer Erhalt der Kenntnis über das Endlager“ als eindeutig sicherheitsgerichtete Maßnahme gegen ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen angesehen werden kann. Bei allen übrigen heute diskutierten Maßnahmen ist zwischen Vor- und Nachteilen abzuwägen und zu bewerten, ob die damit verknüpften Ziele

tatsächlich erreichbar sind. So führe beispielsweise eine alleine durch die Möglichkeit des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens motivierte stärkere Abtrennung der einzelnen Einlagerungsbereiche zu einem größeren Endlager, wodurch die Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens erhöht würde. Der Ausschluss heute oder in Zukunft absehbar interessanter Ressourcen am Standort reduziert die Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten Eindringens nur solange sich entsprechende Randbedingungen nicht ändern; über Zeiträume von tausenden Jahren und länger kann dieser Maßnahme aber keine verlässliche Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens zugesprochen werden. Auch bei der Kennzeichnung des Endlagers ist ein Zielkonflikt möglich, da die Kennzeichnung zukünftig nicht als Warnung interpretiert werden könnte, sondern zur weiteren Erkundung erst verleiten kann.

6 Gestuftes Vorgehen

Das in [5] vorgeschlagene gestufte Verfahren mit Haltepunkten, an denen Sicherheitsbewertungen durchgeführt werden und über die weitere Vorgehensweise entschieden werden soll, wird von RSK und SSK für sinnvoll erachtet und ausdrücklich begrüßt. Zum einen werden damit internationale Ansätze in geeigneter Weise aufgegriffen, zum anderen begründet sich ein derartiges gestuftes Vorgehen vor dem Hintergrund der langen Zeitdauer von Beginn der Standortfestlegung bis zur Stilllegung des Endlagers.

Aus Sicht von RSK und SSK ist eine derartige Vorgehensweise nicht nur im Rahmen eines gestuften Genehmigungsverfahrens umsetzbar. Dies steht auch nicht im Widerspruch zu den internationalen Empfehlungen der IAEA [2] oder der OECD/NEA [3], die von einer Umsetzung im Rahmen des jeweils geltenden nationalen Rechts ausgehen. Daher gehen RSK und SSK davon aus, dass ein gestuftes Verfahren auch unter bestehenden rechtlichen Randbedingungen realisierbar ist.

Die Kommissionen sehen wichtige Haltepunkte zu folgenden Zeitpunkten:

- Vorläufige Standortfestlegung,
- Abschluss der Eignungsuntersuchungen des Standortes,
- Beginn der Errichtung,
- Betriebsbeginn und
- vor Verschluss des Endlagers.

Während der Betriebsphase empfehlen RSK und SSK die Durchführung von periodischen Sicherheitsbewertungen im Zeitintervall von etwa zehn Jahren.

Zu den festgelegten Haltepunkten ist von Antragsteller bzw. Betreiber des Endlagers ein dem jeweiligen Kenntnisstand angepasster Sicherheitsnachweis zu erbringen, der mit zunehmendem Projektfortschritt immer konkreter und realitätsnäher wird und in dem alle qualitativen und quantitativen Argumente und Analysen zur Begründung der Sicherheit des Endlagersystems sowie zum Vertrauen in die Sicherheitsaussage zusammengeführt und dokumentiert werden. Dabei sind auch das Sicherheitskonzept und das gewählte Endlagerkonzept

darzulegen und zu begründen sowie der Nachweis zu führen, dass Betrieb und Nachbetrieb ohne Gefährdung verlaufen. Die Darlegungen müssen den jeweiligen, aktuellen Erkenntnissen Rechnung tragen. Alle Annahmen müssen plausibel begründet werden. Aus Sicht von RSK und SSK sind alle wesentlichen Elemente eines Sicherheitsnachweises in [5] aufgeführt.

7 Anforderungen an den Optimierungsprozess

In [5] wird die Forderung nach einem schrittweisen Optimierungsprozess bei der Endlagerentwicklung aufgestellt. Unter anderem wird in Absatz 1.6 festgehalten, dass gemäß den IAEA Safety Requirements WS-R-4 [2] an Halte- und Kontrollpunkten („schrittweises Vorgehen“) Bewertungen von Optionen hinsichtlich der Endlagerauslegung, des Einlagebetriebs, der Stilllegung, des Verschlusses und des Managements u. a. im Hinblick auf Funktion und Sicherheit des Endlagersystems stattfinden sollen. Hierbei sind Entscheidungen bezüglich des weiteren Projektverlaufs zu treffen, wobei u. a. die jeweils verfügbaren Optionen abzuwägen sind.

In Absatz 1.8 wird ausgesagt: *„Die schrittweise Entwicklung des Sicherheitsnachweises und die Interaktion mit der zuständigen Behörde und/oder Entscheidungsträgern an festgelegten Halte- und Kontrollpunkten ist ein wesentliches Element des von der ICRP in ihrer Publikation 81 empfohlenen Optimierungsprozesses zum Erreichen der Sicherheit, da im Sicherheitsnachweis das Verständnis hinsichtlich der sicherheitstechnischen Bedeutung der jeweils zur Entscheidung anstehenden Optionen entwickelt und dargelegt wird (WS-R-4, 3.15).“*

Absatz 1.11 enthält u. a. die Aussage: *„Die technische Sicherheit ist im Sinne dieser Sicherheitsanforderungen gewährleistet, wenn der Prozess der Endlagerentwicklung und der Abwägung von Optionen und Optimierung sicherheitstechnischer, technischer, ökonomischer, planerischer, sozialer und anderer Zielgrößen unter Einhaltung der in diesen Sicherheitsanforderungen festgelegten sicherheitstechnischen Randbedingungen durchlaufen wurde.“*

Der Optimierungsprozess wird dann in Absatz 1.12 etwas präziser gefasst: *„Entsprechend den Anforderungen der ICRP 81 erfolgt der Optimierungsprozess auf im Wesentlichen qualitative Weise unter Berücksichtigung der Schutzziele und der für ihre Einhaltung wesentlichen wissenschaftlich-technischen Grundlagen und Planungs- und Managementprinzipien wie auch anderer, z. B. sozialer und ökonomischer Faktoren.“*

Hierzu nehmen RSK und SSK wie folgt Stellung:

RSK und SSK halten die Festschreibung der Optimierung als Anforderung in dem aufzustellenden Regelwerk für notwendig und sinnvoll. Sie stimmen darin grundsätzlich mit dem Ansatz des GRS-Entwurfs [5] überein.

Eine Analyse der Anforderungen aus den IAEA Safety Requirements WS-R-4 [2] und aus ICRP 81 [10] zeigt aber, dass diese zu allgemein gehalten sind als dass daraus konkrete Anforderungen an den Optimierungsprozess und Beurteilungsmaßstäbe für das Ergebnis einer Optimierung direkt ersichtlich sein könnten. Die Einführung des Optimierungsprozesses in deutsche Vorschriften erfordert eine Präzisierung der Anforderungen im Hinblick auf die durchzuführenden Prozesse und zu fertigenden Dokumente für den Antragsteller und die beurteilende Behörde.

Aus Sicht von RSK und SSK betrifft die Optimierung mehrere Gebiete, die unterschiedliche Herangehensweisen erfordern und in dem aufzustellenden Regelwerk in folgender Weise unterschieden werden sollten:

- Die Optimierung hinsichtlich der Sicherheitskultur beim Antragsteller bzw. Betreiber sollte permanent während des gesamten Zeitraums von Planung und Betrieb des Endlagers erfolgen. Die Maßstäbe ergeben sich aus den Anforderungen insbesondere an das Sicherheitsmanagement, so wie sie derzeit bei anderen kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen bestehen.
- Die Optimierung hinsichtlich des Strahlenschutzes während des Endlagerbetriebs muss nach Maßgabe der Strahlenschutzverordnung und der zugehörigen Richtlinien erfolgen. Auch hier ergeben sich keine anderen Vorgehensweisen und Maßstäbe als bei anderen kerntechnischen Anlagen. Deshalb sollten spezielle Anforderungen mit Abweichungen vom Vorgehen bei anderen kerntechnischen Anlagen, anders als in [5] vorgeschlagen, nicht weiterverfolgt werden.
- Die Optimierung des Endlagers hinsichtlich der Langzeitsicherheit sollte dem schrittweisen Vorgehen angepasst werden. Dies bedeutet insbesondere, dass in dem vorzulegenden Langzeitsicherheitsnachweis für den jeweiligen Haltepunkt die Darlegung der durchgeführten Optimierung enthalten sein muss. Die Ergebnisse der Optimierungen aus vorangegangenen Schritten können beibehalten werden, außer in dem Fall, wenn sich erhebliche neue Sachverhalte ergeben haben.

Aus Sicht von RSK und SSK muss die Optimierung hinsichtlich der Langzeitsicherheit Faktoren berücksichtigen wie errechnete Strahlenexposition des Menschen, Robustheit der Annahmen, geologische Prognostizierbarkeit, Schwierigkeitsgrad bei der Realisierung bestimmter Einrichtungen und Einfluss bestimmter Sachverhalte auf die Sicherheit. Dies bedeutet, dass die Optimierung als Abwägung zwischen den verschiedenen Faktoren zu verstehen ist. In dem aufzustellenden Regelwerk sollten das Vorgehen bei der Optimierung und die bei der Abwägung zu berücksichtigenden Faktoren festgelegt werden. Außerdem sind die anzuwendenden Abwägungsprinzipien zu benennen. Eine Optimierung hinsichtlich der Langzeitsicherheit kann nicht aus der Minimierung der berechneten Individualdosis auch unterhalb festgelegter Richt- oder Grenzwerte bestehen. Die berechnete Individualdosis stellt einen Einzelwert dar, der auf einer Vielzahl von einzelnen Modellannahmen beruht. Eine Abbildung anderer relevanter Faktoren, die für die Sicherheit eine Rolle spielen, ist in der Individualdosis nur sehr begrenzt enthalten. Vergleichbares gilt auch für andere Indikatoren zur Bewertung der Sicherheit des Endlagers.

8 Beratungsergebnisse

8.1 Beantwortung der Fragen des BMU

Die übergeordnete Frage im Beratungsauftrag vom 16.01.2007 [6] und 21.02.2007 [7] „*Sind die vorgeschlagenen Sicherheitsanforderungen nachvollziehbar, vollständig und entsprechen sie unter Einbeziehung der internationalen Entwicklung dem Stand von Wissenschaft und Technik?*“ wird wie folgt beantwortet:

Der GRS-Vorschlag umfasst alle relevanten Themengebiete, die die Sicherheitsanforderungen

im Hinblick auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen betreffen. Die Sicherheitsanforderungen sind nachvollziehbar, allerdings sind bei bestimmten Einzelaspekten Einschränkungen zu machen. Diese werden detailliert in den voranstehenden Kapiteln angesprochen.

Der GRS-Vorschlag greift die internationalen Entwicklungen sowohl im Hinblick auf die Verfahrensgestaltung als auch im Hinblick auf die Inhalte des umfassenden Sicherheitsnachweises für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen in geeigneter Weise auf. Mit der vorgeschlagenen Konkretisierung in der Bewertung der Isolation der Abfälle geht der Vorschlag über den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik hinaus. Die Kommissionen begrüßen diesen Ansatz ausdrücklich.

Aus Sicht von RSK und SSK stellt der GRS-Vorschlag einen guten Startpunkt für eine vertiefte fachliche Diskussion dieser Thematik in Deutschland dar, die aus Sicht der Kommissionen noch nicht abgeschlossen ist und weitergeführt werden muss. Die hier von den Kommissionen angebrachten Empfehlungen sind daher auch als Beitrag für die zu führenden Diskussionen zu verstehen. Aus Sicht von RSK und SSK betrifft dies insbesondere die Identifizierung geeigneter Indikatoren und die Festlegung zweckmäßiger Indikatorwerte, mit denen die Isolation der radioaktiven Abfälle bewertet werden kann. Die Kommissionen empfehlen, die notwendigen Grundlagen für diese Diskussion durch entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu schaffen.

Die Einzelfragen aus dem Beratungsauftrag vom 6. September 2007 [8] werden wie folgt beantwortet:

- 1 *Die IAEO bezeichnet in ihren aktuellen Sicherheitsanforderungen an die geologische Endlagerung WS-R-4 unter Bezug auf die Empfehlung ICRP 81 die „constrained optimization“ als zentralen Ansatz zur Gewährleistung der radiologischen Sicherheit eines Endlagers in der Phase nach seiner Stilllegung (Constrained optimization is the central approach to ensure the radiological safety of a waste disposal facility). Entspricht der GRS-Vorschlag den Anforderungen der ICRP und IAEO? Wenn nicht, welche Aspekte sind zu ergänzen?*

Im GRS-Vorschlag [5] wird die Forderung nach einem schrittweisen Optimierungsprozess bei der Endlagerentwicklung aufgestellt. RSK und SSK halten die Festschreibung der Optimierung als Anforderung in dem aufzustellenden Regelwerk für notwendig und sinnvoll. Sie stimmen darin grundsätzlich mit dem Ansatz des GRS-Entwurfs [5] überein.

Eine Analyse der Anforderungen aus den IAEA Safety Requirements WS-R-4 [2] und aus ICRP 81 [10] zeigt aber, dass diese zu allgemein gehalten sind als dass daraus konkrete Anforderungen an den Optimierungsprozess und Beurteilungsmaßstäbe für das Ergebnis einer Optimierung unmittelbar ableitbar sind. Die Einführung des Optimierungsprozesses in deutsche Vorschriften erfordert eine Präzisierung der Anforderungen im Hinblick auf die durchzuführenden Prozesse und zu fertigenden Dokumente für den Antragsteller und die beurteilende Behörde.

Aus Sicht von RSK und SSK betrifft die Optimierung mehrere Gebiete, die unterschiedliche Herangehensweisen erfordern und in dem aufzustellenden Regelwerk in folgender

Weise unterschieden werden sollten:

- Die Optimierung hinsichtlich der Sicherheitskultur beim Antragsteller bzw. Betreiber sollte permanent während des gesamten Zeitraums von Planung und Betrieb des Endlagers erfolgen, genauso wie bei anderen kerntechnischen Anlagen.
 - Die Optimierung hinsichtlich des Strahlenschutzes während des Endlagerbetriebs muss nach Maßgabe der Strahlenschutzverordnung und der zugehörigen Richtlinien erfolgen. Deshalb sollten spezielle Anforderungen mit Abweichungen vom Vorgehen bei anderen kerntechnischen Anlagen, anders als im GRS-Vorschlag angeregt, nicht weiterverfolgt werden.
 - Die Optimierung des Endlagers hinsichtlich der Langzeitsicherheit sollte dem schrittweisen Vorgehen angepasst werden. Dies bedeutet insbesondere, dass in dem vorzulegenden Langzeitsicherheitsnachweis für den jeweiligen Haltepunkt die Darlegung der durchgeführten Optimierung enthalten sein muss. Diese Optimierung muss als Abwägung zwischen verschiedenen Faktoren erfolgen. Zu berücksichtigende Faktoren sind insbesondere: errechnete Strahlenexposition des Menschen, Robustheit der Annahmen, geologische Prognostizierbarkeit, Schwierigkeitsgrad bei der Realisierung bestimmter Einrichtungen und Einfluss bestimmter Sachverhalte auf die Sicherheit.
- 2 *Ist der Vorschlag der GRS geeignet, um die Freisetzung von radiotoxischen und chemotoxischen Schadstoffen nach einheitlichen Maßstäben bewerten zu können?*

Der Auftragstellung gemäß standen bei dem Bericht der GRS [5] atomrechtliche und strahlenschutzfachliche Aspekte im Vordergrund. Chemotoxische Stoffe und ihre potenzielle Freisetzung aus einem Endlager werden daher in [5] weitgehend ausgeklammert.

Zur Ableitung von Maßstäben für die Bewertung der gemäß Isolationskonzept zulässigen Freisetzungen über die Grenze des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs wurde ein Geringfügigkeitsansatz vorgeschlagen (Absatz 7.28 in [5]), der sich in seiner Umsetzung durch Indikatoren an Vergleichswerten ausgewählter Merkmale in bestehenden natürlichen Systemen orientiert. Dieser Vorschlag wird von den Kommissionen grundsätzlich für plausibel angesehen. Bei seiner Umsetzung muss gewährleistet sein, dass keine relevanten Risiken für Mensch und Umwelt auftreten.

Die konkrete Umsetzung des Geringfügigkeitsansatzes in Bewertungsmaßstäbe für radio-toxische Stoffe wurde intensiv diskutiert. Es konnte nicht bewertet werden, ob der in [5] vorgeschlagene Satz von Indikatoren mit seinen zugehörigen Indikatorwerten hinreichend und geeignet ist, den Nachweis der Isolation zu führen. Für einige Indikatoren bestehen grundsätzliche Zweifel an der Eignung, für andere wird ein Bedarf an weiterer Ausgestaltung festgestellt.

Ein Indikator für die gezielte Bewertung von Freisetzungen chemotoxischer Stoffe wird in [5] nicht formuliert. Nach Auffassung von RSK und SSK darf aber das an den einschluss-wirksamen Gebirgsbereich grenzende Grundwasser auch mit chemotoxischen Stoffen nur in einem Maße kontaminiert werden, das nach einem geeigneten und noch festzulegenden Maßstab als geringfügig einzustufen ist. Die Befassung mit der Frage, in welcher Weise

dies rechtlich umgesetzt werden kann, war aber nicht Aufgabe von RSK und SSK.

In Hinblick auf die Bewertung von Entwicklungen des Endlagersystems über einen Zeitraum von einer Million Jahren werden in [5] wahrscheinliche und weniger wahrscheinliche Szenarien betrachtet und unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe angesetzt. Wegen der Unterschiede in der Wahrscheinlichkeit der beiden Klassen ist dieses Herangehen nach Meinung von RSK und SSK gerechtfertigt und in Übereinstimmung mit der Praxis in einer ganzen Reihe von Ländern. Es entspricht damit, wie bereits in der Stellungnahme von 2002 [1] diskutiert, dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Durch eine Rückführung von radiologischen und chemotoxischen Wirkungen auf eine Risikogröße könnte ein einheitlicher Maßstab geschaffen werden, der die potenziellen Auswirkungen von radiotoxischen und chemotoxischen Stofffreisetzungen bei Sicherheitsbewertungen berücksichtigt. Trotz dieser möglichen Vorteile ist eine risikobasierte Vorgehensweise zur Bewertung der Sicherheit eines Endlagers aus Sicht von RSK und SSK aus verschiedenen Gründen nach wie vor mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet und an die Schaffung von Voraussetzungen geknüpft, so dass eine derartige Vorgehensweise zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht empfohlen wird. So liegen nur für einzelne chemotoxische Stoffe überhaupt Dosis-Wirkungsbeziehungen oder Risikowerte vor, aber nicht für die Gesamtheit der relevanten Stoffe. Voraussetzung für die Festlegung von Risikowerten, die gemeinsam auf radioaktive und chemotoxische Stoffe angewendet werden sollen, wäre daher die Schaffung einer belastbaren und vollständigen Datenbasis zu Dosis-Wirkungsbeziehungen aller bei der Endlagerung relevanten chemotoxischen Stoffe. Allerdings ist es aus Sicht der Kommissionen sinnvoll, dosisbasierte Prüfwerte auch auf Basis der Kenntnisse zum Strahlenrisiko abzuleiten.

- 3 *Gemäß Empfehlung der ICRP soll menschliches Eindringen im Zeitraum nach der Stilllegung eines Endlagers berücksichtigt werden. Hohe Strahlenexpositionen für die in der Umgebung des Endlagers lebenden Menschen sollen nach Möglichkeit durch Reduzierung der Wahrscheinlichkeit für menschliches Eindringen oder durch Begrenzung seiner Konsequenzen vermieden werden. Berücksichtigt der Vorschlag der GRS die Empfehlungen der ICRP und der IAEO in ausreichendem Maße? Sollte, wie von GRS vorgeschlagen, auf eine quantitative Bewertung verzichtet werden? Sollten, wie vom BfS in [12] vorgeschlagen, Schlüsselszenarien zur Untersuchung der Robustheit des Endlagers definiert werden?*

RSK und SSK folgen dem Vorschlag der GRS, das unbeabsichtigte menschliche Eindringen in das Endlager im Langzeitsicherheitsnachweis zu behandeln. Dies trägt den internationalen Empfehlungen angemessen Rechnung. Im GRS-Vorschlag wird die Vorgehensweise bei der Behandlung dieser Thematik aber wesentlich detaillierter behandelt als international üblich. RSK und SSK unterstützen diesen Ansatz und gehen in einzelnen Punkten noch darüber hinaus.

Ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in das Endlager kann nach Verlust des Wissens über die Existenz des Endlagers und seines Gefährdungspotential prinzipiell nicht ausgeschlossen werden. RSK und SSK betonen, dass nur ein „möglichst langer Erhalt der Kenntnis über das Endlager“ als eindeutig sicherheitsgerichtete Maßnahme gegen ein

unbeabsichtigtes menschliches Eindringen angesehen werden kann. Bei allen übrigen heute diskutierten Maßnahmen ist zwischen Vor- und Nachteilen abzuwägen und zu bewerten, ob die damit verknüpften Ziele tatsächlich erreichbar sind. Die Kommissionen sind der Meinung, dass die Betrachtung eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens auf den Zeitraum jenseits 500 Jahre nach Verschluss des Endlagers beschränkt werden sollte.

Zur Bewertung der Auswirkungen auf das Endlagersystem sollten nur Referenzszenarien herangezogen werden. Diese sollten auf der Grundlage heutiger gesellschaftlicher Bedingungen und nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik abgeleitet werden. RSK und SSK unterstützen den Vorschlag der GRS, keinen Dosisgrenzwert zur Bewertung der Auswirkungen eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens festzulegen. Dies begründet sich damit, dass durch das unbeabsichtigte menschliche Eindringen die Barrieren, insbesondere die geologische Barriere, die nach dem Sicherheitskonzept für die Isolation der Abfälle sorgen soll, kurzgeschlossen werden. Im Langzeitsicherheitsnachweis sind gleichwohl mögliche Auswirkungen zu diskutieren und angemessene Maßnahmen zu betrachten. Derartige Maßnahmen, die darauf abzielen, die Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens zu verringern bzw. dessen Auswirkungen zu reduzieren, wie es international gefordert wird, müssen aber wegen ihrer möglichen Wechselwirkungen mit dem Sicherheitskonzept insgesamt abgewogen werden. Bestimmte für ein deutsches Endlager vorgesehene Randbedingungen tragen bereits zu einer Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens sowie zur Verringerung möglicher damit verbundener Auswirkungen bei. Dies betrifft vor allem die Wahl einer tiefen geologischen Formation für ein Endlager, die Wahl eines zuvor nicht genutzten Wirtsgesteinskörpers sowie die Abfallkonditionierung.

- 4 *Enthält der GRS-Vorschlag ausreichende Vorgaben für die Festlegung von Auslegungstörfällen für ein Endlager? Können diese Auslegungstörfälle eindeutig identifiziert und festgelegt werden?*

Gemäß den Forderungen des Atomgesetzes ist für die Betriebsphase eines Endlagers eine dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Störfallvorsorge nachzuweisen. Ein wesentliches Element der Vorgehensweise und Systematik für den Nachweis der Störfallvorsorge ist dabei – als Bestandteil der Sicherheitsanalyse – die Identifizierung und Analyse von Auslegungstörfällen. Dazu wird in [5] auf die spezifischen Anforderungen des § 49 StrlSchV verwiesen. Darin wird auf die Sicherheitskriterien und Leitlinien für Kernkraftwerke Bezug genommen im Hinblick auf die Identifizierung und Bewertung von Störfällen und die Festlegung, für welche Ereignisse der Nachweis zu führen ist, dass die Störfallplanungswerte eingehalten sind.

Die Kommissionen weisen darauf hin, dass die dort für Kernkraftwerke durchgeführte Einstufung von Auslegungstörfällen für die Betriebsphase eines Endlagers aufgrund des anderen technischen Aufbaus nicht direkt anwendbar ist und folglich noch ein Regelungsbedarf besteht. Dieser kann mit einer zu den Störfallleitlinien und dem kerntechnischen Regelwerk analogen Systematik für die Betriebsphase eines Endlagers durch eine Leitlinie erfüllt werden. Diese Leitlinie sollte die Systematik der Identifikation und Einstufung von sicherheitstechnisch bedeutsamen Ereignissen enthalten sowie eine generische Liste von

zu betrachtenden Störfallereignissen als Grundlage für die Störfallanalyse für die Betriebsphase eines konkreten Endlagers. Die Kommissionen weisen darauf hin, dass in diesem Zusammenhang die beim Endlager Konrad praktizierte Vorgehensweise eine wichtige Referenz darstellt.

5 *Enthält der GRS-Vorschlag hinreichend konkrete Anforderungen an das Mehrbarrierensystem des Endlagers?*

Im GRS-Vorschlag [5] sind nur wenige konkrete Anforderungen an die technischen und natürlichen Barrieren und damit an das Barrierensystem des Endlagers aufgeführt.

Aus Sicht von RSK und SSK muss das Ziel der deutschen Endlagerkonzeption die Isolation der radioaktiven Abfälle im einschlusswirksamen Gebirgsbereich über den gesamten Nachweiszeitraum sein. In verschiedenen Zeitbereichen leisten die einzelnen Barrieren unterschiedliche Beiträge, langfristig wird aber die Isolation überwiegend durch den einschlusswirksamen Gebirgsbereich gewährleistet. Daraus und aus der Forderung, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich möglichst geringe Abmessungen haben soll, ergeben sich prinzipielle Anforderungen an die Eigenschaften der Gesteine im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Ihre transport- und rückhalterrelevanten Eigenschaften müssen so beschaffen sein, dass sie zu einer ausreichend geringen Ausbreitung von Schadstoffen innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs führen.

Die Anforderungen an die Sicherheitsfunktion Isolation leiten sich aus den anzuwendenden Nachweiskriterien für die Bewertung der Isolationswirkung bzw. der Geringfügigkeit von stofflichen Emissionen aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich ab und sind insofern konkret. Allerdings ergeben sich aus ihnen keine direkten quantitativen Anforderungen an bestimmte Eigenschaften der Barrieren. Deshalb sind in [5] richtigerweise keine quantitativen Anforderungen für einzelne Barrieren aufgeführt. Allerdings halten RSK und SSK eine Vertiefung der qualitativen Anforderungen an die Barrieren für erforderlich.

Welche Anforderungen in bestimmten Zeitbereichen an die einzelnen Barrieren zu stellen sind, ist maßgeblich abhängig vom gewählten Wirtsgestein und von der technischen Endlagerkonzeption. Im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse ist die Einhaltung der Schutzziele zu jedem Zeitpunkt nachzuweisen. Dieser Nachweis soll durch die Betrachtung des Gesamtkonzepts, bestehend aus technischen, geotechnischen und geologischen Barrieren, geführt werden.

Für die technischen Barrieren gilt aus Sicht von RSK und SSK: Zentrale Anforderung an die Behälter als technische Barriere sind die Funktionsfähigkeit und Integrität der Behälter, und damit auch deren sichere Handhabbarkeit während der Einlagerungsphase, d. h. bis zur Verbringung der Abfälle an den Einlagerungsort und dessen sicheren Verschluss. Außerdem hat die technische Barriere möglicherweise eine Bedeutung in der so genannten „Transitionsphase“, in der einerseits noch das Gros der Spaltprodukte und eine relativ hohe Wärmebelastung vorhanden sind, andererseits aber die geotechnische Barriere – wirtsgesteinsabhängig – noch nicht ihren Endzustand erreicht hat. Es ist deshalb standort- und konzeptspezifisch zu analysieren, ob sich in der Transitionsphase Anforderungen an die

Behälter als technische Barriere ergeben.

Geotechnische Verschlussbauwerke müssen aus Sicht von RSK und SSK einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Isolation der Abfälle im Endlager zu bewirken, solange die für die Isolation relevanten Eigenschaften im Bereich des Grubengebäudes noch nicht den für die langfristige Isolation erforderlichen Eigenschaften entsprechen. Die geotechnischen Barrieren Schachtverschluss und Streckenverschlüsse sind während dieser Zeit von besonderer Bedeutung. Entsprechende Nachweise für die Wirksamkeit der geotechnischen Verschlussbauwerke sind für die Zeiträume, in denen sie als Barriere benötigt werden, zu führen.

Aus Sicht von RSK und SSK ist die Wirksamkeit der geologischen Barriere über den gesamten Nachweiszeitraum unter Berücksichtigung der möglichen Entwicklungen des Endlagersystems nachzuweisen. Es ist daher auch zu zeigen, dass der Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über den gesamten Zeitraum gewährleistet ist. Dieser Schutz wird durch Gesteinsschichten, die außerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs liegen, wahrgenommen. Diese Gesteinsschichten können zur gleichen Gesteins-einheit gehören wie die Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches selbst oder zu anderen Einheiten. Insofern ist aber keine weitergehende Forderung nach einer diversitären natürlichen Barriere zu stellen.

Zur Begrifflichkeit: Aus Sicht von RSK und SSK sollte der Begriff „Mehrbarrierensystem“ nicht mehr verwendet werden und durch den Begriff „Barrierensystem“ ersetzt werden. Der Begriff „Mehrbarrierensystem“ impliziert im deutschen Sprachverständnis Forderungen nach Redundanz (gegebenenfalls sogar Diversität) bei jeder einzelnen Barriere. Dies ist aber dem zu betrachtenden Endlagersystem nicht angemessen. Es kommt vielmehr insgesamt auf die Robustheit des Barrierensystems gegenüber den möglichen Einwirkungen und Entwicklungen im Zeitverlauf von einer Million Jahren an. Auch aus den internationalen Empfehlungen lassen sich keine Vorgaben für die Anzahl von technischen oder geologischen Barrieren ableiten.

8.2 Zusammenfassung und Fazit

Die bisherigen intensiven Beratungen haben ein großes Maß an grundsätzlicher Zustimmung zu dem Konzept ergeben, die Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle an einem Standort über den Nachweis der Isolation im einschlusswirksamen Gebirgsbereich sowie über den ergänzenden Nachweis, dass radiologische Schutzziele in der Biosphäre eingehalten werden, zu belegen. Die bisherige Vorgehensweise mit alleinigem Bezug auf ein radiologisches Schutzziel wird aus Sicht von RSK und SSK dadurch sinnvoll erweitert. Den inhärenten Ungewissheiten bei Prognosen der zukünftigen Entwicklungen an einem Standort, insbesondere im Bezug auf die Entwicklung der hydrogeologischen Verhältnisse und der Biosphäre, die mit der Zeit erheblich zunehmen, wird damit angemessen Rechnung getragen. Die Kommissionen betonen, dass das in [5] vorgeschlagene Nachweiskonzept innovativ ist. Erfahrungen in der umfassenden Anwendung dieses Nachweiskonzeptes bestehen bisher noch nicht. Aus Sicht von RSK und SSK sollte das Nachweiskonzept verfolgt werden.

Der Ansatz, die Isolationswirkung technisch zu definieren und damit geringfügige Freiset-

zungen zuzulassen, wird von den Kommissionen ausdrücklich begrüßt. Für den Nachweis der Isolation sind geeignete Indikatoren und Indikatorwerte festzulegen. Die Diskussionen zu den in [5] vorgeschlagenen Indikatoren und deren Werte konnten bisher nicht abgeschlossen werden. Es wurden jedoch erhebliche Zweifel an der Notwendigkeit und Eignung einzelner Indikatoren geäußert. RSK und SSK halten daher eine Überprüfung der vorgeschlagenen Indikatoren, Indikatorwerte und der Methoden ihrer Ermittlung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und Handhabung für verschiedene Wirtsgesteine und im Hinblick auf die wahrscheinliche Entwicklung und die weniger wahrscheinlichen Entwicklungen für dringend geboten. Einige der dabei zu berücksichtigenden Aspekte werden in der vorliegenden Stellungnahme diskutiert. Vor einer endgültigen Festlegung sollte aus Sicht der Kommissionen eine weitere intensive Diskussion des Indikatorkonzeptes sowie der abgeleiteten Indikatorwerte in der Fachwelt erfolgen. Wegen der Bedeutung der Indikatorwerte für den Nachweis der Isolation und damit auch für den Nachweis der radiologischen Sicherheit empfehlen die Kommissionen schließlich, eindeutige Vorschriften zur Berechnung der Indikatorwerte zu erstellen.

RSK und SSK unterstützen ein gestuftes Vorgehen mit einer Reihe von Haltepunkten, an denen der Sicherheitsnachweis erarbeitet bzw. aktualisiert wird. Inhalt und Tiefgang dieser Sicherheitsnachweise werden vom Haltepunkt und dem jeweiligen aktuellen Kenntnisstand abhängen. Sie empfehlen, die genauen Anforderungen in geeigneter Weise festzulegen. Weiterhin empfehlen sie, mit zunehmender Kenntnis über das Endlagersystem auch zunehmend realistischere Betrachtungsweisen und Parametersätze in einem gestuften Vorgehen anzuwenden.

Verbesserungsbedarf in Bezug auf die in [5] vorgeschlagenen Sicherheitsanforderungen sehen RSK und SSK in einer ganzen Reihe von Punkten. So sind unter anderem eine eindeutige Definition der relevanten Begriffe und die dazu widerspruchsfreie Verwendung der Begriffe im Text von besonderer Bedeutung. Die Ausführungen in [5] in Bezug auf die Anforderungen an das Sicherheitsmanagement und das Sicherheitskonzept sind nach Meinung der Kommissionen zu detailliert. In dem zu erstellenden Regelwerk ist es ausreichend, die allgemeinen Anforderungen aufzuführen, auch weil Sicherheitsmanagementsysteme bereits in anderen Bereichen etabliert sind. Grundsätzlich umfasst das Sicherheitsmanagement die Gesamtheit der Maßnahmen zu sachgerechter Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung des Endlagers. Deren Ziele sind die Gewährleistung der Sicherheit des Endlagers und die Förderung der Sicherheitskultur aller Beteiligten. Dies führt zu spezifischen Anforderungen an den Antragsteller, den Betreiber des Endlagers und die zuständigen Behörden. Das Sicherheitsmanagementsystem ist in den verschiedenen Phasen den jeweiligen spezifischen Anforderungen anzupassen.

Die Optimierung des Endlagers hinsichtlich der Langzeitsicherheit sollte dem schrittweisen Vorgehen angepasst werden, deshalb sollte für den jeweiligen Haltepunkt die durchgeführte Optimierung dargestellt werden. Die Optimierung ist als Abwägung zwischen verschiedenen Faktoren, die beispielhaft in Kapitel 7 aufgeführt sind, zu verstehen. In dem aufzustellenden Regelwerk sollten das Vorgehen bei der Optimierung, die bei der Abwägung zu berücksichtigenden Faktoren und die anzuwendenden Abwägungsprinzipien festgelegt werden.

Die Verwendung von Risikowerten als Prüfwerte wird von RSK und SSK wegen inhärenter methodischer Probleme nicht empfohlen. Eine konsistente Bewertung der potenziellen Aus-

wirkungen der radioaktiven Stoffe und aller in das Endlager eingebrachten chemotoxischen Stoffe mit einem einheitlichen Maßstab erscheint derzeit nicht möglich. Für alle kerntechnischen Einrichtungen wird nach Strahlenschutzverordnung die Dosis als Kriterium für die Genehmigung herangezogen. Die Verwendung eines Risikoäquivalents bietet demgegenüber keinen Vorteil, was die Beurteilung der Expositionen durch ionisierende Strahlung betrifft. Allerdings ist es aus Sicht der Kommissionen sinnvoll, dosisbasierte Prüfwerte auch auf Basis der Kenntnisse zum Strahlenrisiko abzuleiten.

9 Begriffsdefinitionen

Im Rahmen dieser Stellungnahme werden die folgenden Begriffe wie hier definiert verwendet.

Einschlusswirksamer Gebirgsbereich:

Geologischer Teilbereich des Endlagersystems, der im Zusammenwirken mit den geotechnischen Barrieren die Isolation der Abfälle sicherstellt. Er darf nur die zum Gewährleisten seiner Funktion notwendige Ausdehnung besitzen.

Endlager:

Anlage, die aus dem Endlagerbergwerk, in das die hochradioaktiven Abfälle eingelagert werden, und dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich besteht.

Endlagersystem:

Einheit aus Endlager und allen Bereichen, die für den Nachweis der Einhaltung der Sicherheitsprinzipien und Schutzziele der Endlagerung betrachtet werden müssen.

Isolation:

Begrenzung der Freisetzung von Schadstoffen aus dem Endlager derart, dass die Einhaltung der Sicherheitsprinzipien und Schutzziele innerhalb des Nachweiszeitraums gewährleistet wird.

Indikator:

Bewertungsgröße zur Beurteilung einer Eigenschaft.

Effektive Individualdosis:

Effektive Dosis einer erwachsenen Referenzperson.

Beratungsunterlagen

- [1] Gemeinsame Stellungnahme der RSK und der SSK betreffend BMU-Fragen zur Fortschreibung der Endlager-Sicherheitskriterien. Anlage 2 zum Ergebnisprotokoll der 357. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 05.12.2002 (einschließlich der Beratungsergebnisse der 182. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 04. – 06.12.2002), Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 50
- [2] IAEA: Geological Disposal of Radioactive Waste, Safety Requirements No. WS-R-4. – IAEA, 2006
- [3] OECD/NEA: Post-Closure Safety Case for Geological Repositories – Nature and Purpose. – NEA-3679, 2004
- [4] ICRP-101: The Optimisation of Radiological Protection – Broadening the Process. Jan. 2007
- [5] Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen
Entwurf der GRS , GRS – A - 3358 , Januar 2007
- [6] BMU-RS III 2 – 17015/1 vom 16.01.2007
Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen
Beratungsauftrag und Bitte um gemeinsame Stellungnahme der RSK/SSK
- [7] BMU-RS III 2 – 17015/1 vom 21.02.2007
Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen
Beratungsauftrag und Bitte um gemeinsame Stellungnahme der RSK/SSK vom 16.01.2007
- [8] BMU-RS III 2- 17015/1 vom 06.09.2007
Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle
Bitte um weiteren Zwischenbericht bis Ende Oktober 2007
- [9] Ad-hoc-Arbeitsgruppe Sicherheitsanforderungen Endlagerung:
Zwischenstand der Beratungen in der Ad-hoc-Arbeitsgruppe des RSK-Ausschusses VER- UND ENTSORGUNG und der STRAHLENSCHUTZKOMMISSION vom 17.06.2007
- [10] ICRP-81: Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. Sep. 1999
- [11] Berechnung von Prüfwerten von Altlasten. Herausgeber: Umweltbundesamt (Bearbeiter: G. Bachmann, J. Oltmanns, R. Konietzka, K. Schneider)
Erich Schmidt Verlag , Berlin 1999

- [12] Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Wirtsgesteine im Vergleich
Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-17/05, Salzgitter, November 2005

- [13] Regulations on the Protection of Human Health and the Environment in connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste. Swedish Radiation Protection Institute's SSI FS 1998:1 (1998). Guidelines on the application of the regulations (SSI FS 1998:1) concerning protection of human health and the environment in connection with the final management of spent nuclear fuel and nuclear waste. Swedish Radiation Protection Authority's (Unofficial translation). SSI FS 2005:5 (2005)

- [14] RSK-STELLUNGNAHME zum Synthesebericht des BfS „Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich“
verabschiedet auf der 395. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 13.09.2006

- [15] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Biological and Epidemiological Information on Health Risks Attributable to Ionising Radiation: A Summary of Judgements for the Purposes of Radiological Protection of Humans, Committee 1 Task Group Report: C1 Foundation Document (Annex A of Main Recommendations), 12/180/06, 16.02.2006

- [16] World Health Organization (WHO): Guidelines for Drinking-water Quality, incorporating 1st addendum. 3rd ed. (2006)