

# **RSK-STELLUNGNAHME zum Synthesebericht des BfS „Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich“**

13.09.2006 (395. Sitzung)

## **1 Einleitung**

### **1.1 Gegenstand der Stellungnahme/Hintergrund**

In der Anlage 4 zur „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000“ hat der Bund im Zusammenhang mit der Erkundung des Salzstockes in Gorleben einige Fragestellungen genannt, zu deren Klärung eine weitere Erkundung des Salzstockes Gorleben nichts mehr beitragen könne; deshalb werde dessen Erkundung für mindestens drei Jahre, längstens jedoch für zehn Jahre unterbrochen. Das Moratorium, während dessen konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen geklärt werden sollen, bedeute keine Aufgabe von Gorleben als Standort für ein Endlager.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat 12 Fragestellungen erarbeitet, die grundsätzlich für alle in Deutschland möglichen Wirtsgesteine gelten und geklärt werden sollten. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurde durch das BMU beauftragt, diese Fragestellungen zu bearbeiten und die Ergebnisse in einem Synthesebericht zusammen zu fassen. Dabei waren Wechselwirkungen zwischen den entsprechenden Arbeiten und u. a. denen des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) sowie zur Fortschreibung der Sicherheitskriterien von 1983 zu berücksichtigen.

Bis auf ein Thema sind die 12 Fragestellungen nach Ausschreibung und Auftragsvergabe durch das BfS in den Jahren 2002 bis 2005 bearbeitet worden. Für Fragen zur internationalen Kernmaterialüberwachung (Safeguards) von Endlagern ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zuständig. In Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) und dem BfS hat das BMWi im Jahr 2004 einen Bericht erstellt [Remagen et al. (2004)].

Die Vorhaben zu den 12 Fragestellungen lauteten im Einzelnen:

- 1 Auswertung von natürlichen und anthropogenen Analoga und ihre Bewertung als vertrauensbildendes Element bei Sicherheitsbewertungen für Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (**Naturbeobachtungen**).
- 2 Behandlung von Unsicherheiten, systematische Entwicklung von Szenarien und Rechenverfahren bei der Anwendung probabilistischer Methoden im Langzeitsicherheitsnachweis (**Modellrechnungen**).
- 3 Bestimmung des natürlichen Isolationspotenzials und des Nachweiszeitraums verschiedener geologischer Strukturen und Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (**Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum**).
- 4 Sicherheitsindikatoren zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagerung für radioaktive Abfälle (**Sicherheitsindikatoren**).

- 5 Geochemische Prozesse bei der Ausbreitung von Schadstoffen aus einem Endlager für radioaktive Abfälle (**Geochemische Prozesse**).
- 6 Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes (**Chemotoxische Stoffe**).
- 7 Untersuchung der Gasbildungsmechanismen in einem Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit (**Gasbildung**).
- 8 Untersuchung zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase eines Endlagers für ausgediente Brennelemente und radioaktive Abfälle (**Kritikalität**).
- 9 Untersuchung der menschlichen Einwirkungen auf ein Endlager für radioaktive Abfälle und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Führung des Nachweises der Endlagersicherheit (**Menschliche Einwirkungen**).
- 10 Bedeutung des Mehrbarrierenkonzeptes für ein Endlager für radioaktive Abfälle beim Nachweis der Einhaltung von Schutzzielen (**Mehrbarrierenkonzept**).
- 11 Untersuchung der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Konsequenzen einer Option zur Rückholung eingelagerter Abfälle aus einem Endlager (**Rückholbarkeit**).
- 12 Internationale Kernmaterialüberwachung (**Safeguards**) bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in relevanten geologischen Formationen in Deutschland.

Aufbauend auf den Ergebnissen der 12 Vorhaben hat das BfS einen Vergleich der Wirtsgesteine vorgenommen. Dazu wurden die Einzelberichte einem Peer-Review-Verfahren durch jeweils zwei externe Sachverständige unterzogen und die Ergebnisse in einem Workshop am 28./29.09.2005 in Hannover vorgestellt. In einem Expertenkreis mit rund 80 Teilnehmern wurden die Ergebnisse diskutiert.

In dem Synthesebericht „Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich“ [BfS (2005)] hat das BfS die Ergebnisse der 12 Einzelvorhaben, der Peer-Reviews und der Diskussion auf dem Workshop zusammengefasst, um damit eine fachliche und wissenschaftlich begründete Basis für weitergehende Entscheidungen zur Endlagerung zu liefern.

## 1.2 Beratungsauftrag

Mit Schreiben RS III 2 – 14843/27.3.0 vom 06.12.2005 hat das BMU die RSK gebeten, über den o. g. Synthesebericht zu beraten und eine fachliche Stellungnahme abzugeben. Dabei könnten bedarfsweise auch die diesem Synthesebericht zu Grunde liegenden Ergebnisberichte herangezogen werden. Des Weiteren teilt das BMU in dem o. g. Schreiben mit, dass es unabhängig von der Beauftragung der RSK auch die GRS um eine Stellungnahme zu dem Synthesebericht gebeten habe. Diese werde voraussichtlich Anfang 2006 vorliegen und soll nach Fertigstellung der RSK übersandt werden. Mit den Schreiben RS III 2-14843/27.3.0 vom 28.04.2006 und RS III 2 – 14843/27.3.0 vom 12.06.2006 hat das BMU seine Fragestellungen

konkretisiert. In diesen beiden Schreiben bittet das BMU die RSK, in ihrer Stellungnahme auf folgende Fragestellungen einzugehen:

- 1 Sind die wesentlichen Diskussionen sowie die vorgestellten Reviews aus dem BfS-Workshop am 28./29.09.2005 im Synthesebericht wissenschaftlich objektiv aufgearbeitet worden? Wenn nein, welche wichtigen Punkte fehlen?
- 2 Wurde die Kritik an den Studien „Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum“ sowie „Mehrbarrierenkonzept“ ausreichend berücksichtigt?
- 3 Sind die folgenden Ergebnisse des Syntheseberichts wissenschaftlich ausreichend belegt und fachlich nachvollziehbar abgeleitet?
  - a) „Danach gibt es kein Wirtsgestein, das grundsätzlich immer eine größte Endlagersicherheit gewährleistet. Für alle in Deutschland relevanten Wirtsgesteine können angepasste Endlagerkonzepte entwickelt werden.“
  - b) „Ein Vergleich verschiedener Optionen ist nur im Vergleich konkreter Standorte und Endlagerkonzepte möglich. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Standortvergleichs.“
- 4 Das BfS kommt hinsichtlich des F+E-Bedarfs zu folgendem Ergebnis: „Von wenigen Ausnahmen abgesehen, ergibt sich aus generischen Fragestellungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle kein grundsätzlicher Forschungsbedarf mehr. Die noch denkbaren Wissenslücken müssen endlagerspezifisch beantwortet werden.“ Teilt die RSK diese Einschätzung des F+E-Bedarfs? Zu welchen Fragestellungen sieht die RSK ggf. noch generischen Forschungsbedarf?

### **1.3 Beratungshergang**

Der RSK-Ausschuss VER- UND ENTSORGUNG hat sich bereits in seiner 45. Sitzung am 03.11.2005 über Inhalt, Verlauf und Durchführung des o. g. Workshops informiert und erste Eindrücke ausgetauscht. Die Mehrzahl der Ausschussmitglieder hat an dem Workshop teilgenommen. Nach Vorlage des im Anschluss an den Workshop erstellten Syntheseberichts [BfS(2005)] und des Beratungsauftrags des BMU fanden weitere Beratungen in der 46. Ausschuss-Sitzung am 08.12.2005, in der 47. Sitzung am 19.01.2006 und in den darauf folgenden sechs Sitzungen der eigens dazu eingerichteten Ad-hoc-Arbeitsgruppe ENDLAGERSPEZIFISCHE EINZELFRAGEN des RSK-Ausschusses VER- UND ENTSORGUNG (14.02.2006, 23.03.2006, 06.04.2006, 02.05.2006, 07.06.2006, 18.07.2006) statt. Die RSK wurde in ihrer 389. Sitzung am 15.12.2005 und in ihrer 393. Sitzung am 08.06.2006 über den Beratungsauftrag informiert und stimmte der vorgeschlagenen Vorgehensweise (Beratung und Erarbeitung eines Stellungnahme-Entwurfs im RSK-Ausschuss VER- UND ENTSORGUNG) zu.

Der in der Ad-hoc-Arbeitsgruppe erarbeitete Stellungnahme-Entwurf wurde vom RSK-Ausschuss VER- UND ENTSORGUNG in seiner 49. Sitzung am 30./31.08.2006 verabschiedet und der RSK in ihrer 395. Sitzung am 13.09.2006 zur Beratung und Verabschiedung vorgelegt.

## 2      **Bewertungsgrundlagen/Bewertungsmaßstäbe**

- Der Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich der Endlagerung ist im Gegensatz zu anderen Bereichen der Kerntechnik bisher fast durchgängig nicht in feste Regeln gefasst. Er lässt sich aber aus folgenden Komponenten ableiten:
  - Dem Stand der internationalen Fachdiskussion, mit konvergierenden Auffassungen hinsichtlich der in einem Zulassungsverfahren für ein Endlager zu führenden Nachweise,
  - den Dokumenten zum Stand von Wissenschaft und Technik von IAEA und OECD/NEA,
  - der Entwicklung der Nachweisführung beim Planfeststellungsverfahren für Schacht Konrad und
  - dem Stand der Diskussion in Deutschland, (z. B. neuere Entwürfe zu Sicherheitskriterien, Stellungnahmen der RSK aus den letzten Jahren (s. Literaturverzeichnis), sicherheitsrelevante Aspekte aus der Arbeit des AkEnd).
- Hinsichtlich der Frage, ob standortunabhängig weitere Klärungen erforderlich sind, werden folgende Aspekte bei den einzelnen Themenbereichen betrachtet:
  - Ist ein generischer Vergleich verschiedener Gesteinstypen bzw. Geosystemtypen mit belastbarem Ergebnis möglich oder streuen die Eigenschaften so, dass ein Vergleich zu keinem klaren Ergebnis führt?
  - Sind ohne Kenntnis der genauen Ausprägung einer Wirtsfornation an einem konkreten Standort vertiefte zielführende Aussagen möglich?
- Für die Frage, ob zu bestimmten Einzelfragen regulatorische Festlegungen getroffen werden sollen und können, spielen folgende Maßstäbe eine Rolle:
  - Eine regulatorische Festlegung ist zu erwägen, wenn nach dem Stand von Wissenschaft und Technik in Zulassungsverfahren derzeit üblicherweise zum jeweiligen Themenbereich ein Nachweis geführt wird.
  - Der Stand der Erkenntnisse in einem Themengebiet ist soweit fortgeschritten, dass die sicherheitstechnischen Fragestellungen hinreichend erfasst sind, um daraus klare Anforderungen und/oder Rahmenbedingungen an den zu führenden Nachweis formulieren zu können.
  - Beim Vorliegen verschiedener Optionen ist in bestimmten Fällen eine Festlegung erforderlich, um die zu verfolgende Lösung klarzustellen.

### **3 Bewertung der 12 Einzelfragen im Synthesebericht des BfS unter Berücksichtigung der Fragen 2 und 3 des BMU-Beratungsauftrags**

#### **3.1 Naturbeobachtungen und natürliche Analoga**

##### **Sachstand**

Unter den Bezeichnungen natürliche/anthropogene Analoga bzw. Naturbeobachtungen werden Aspekte mit unterschiedlicher Funktion bei der Behandlung bestimmter Prozesse bzw. bestimmter Sachverhalte bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit von Endlagern zusammengefasst:

Der Begriff (natürliches/anthropogenes) Analogon bezieht sich auf einen im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle zu erwartenden sicherheitsrelevanten natürlichen oder anthropogenen Prozess, der entweder wegen der zu berücksichtigten Zeiträume experimentell nicht genau genug erfassbar ist oder am Endlagerstandort selbst nicht erhoben und zuverlässig bewertet werden kann. Analoga können wichtige Beiträge zur Verbesserung des Verständnisses solcher Prozesse am Endlagerstandort liefern.

Davon sind Naturbeobachtungen am Endlagerstandort als Indikatoren für das Vorhandensein bestimmter sicherheitsrelevanter Standorteigenschaften zu unterscheiden, die selbst nicht, nur unzureichend oder um den Preis der möglichen Beeinträchtigung der geologischen Barrieren erhoben werden können. Solche Beobachtungen erhöhen insbesondere das Vertrauen in die Funktionstüchtigkeit der geologischen Barrieren.

Das BfS stellt in [BfS (2005)] insbesondere die Bedeutung von natürlichen und anthropogenen Analoga für die Erhöhung des Vertrauens in Darstellung und Bewertung der mit der Schadstoffausbreitung aus einem Endlager bzw. deren Verhinderung oder Behinderung verbundenen Prozesse sowie – auch mit Blick auf die Öffentlichkeit – für die Verbesserung der Akzeptanz der Endlagerung im Allgemeinen und spezieller Vorhaben im Besonderen heraus. Der Wert des Berichts „Naturbeobachtungen“ [Grundfelt & Smellie (2004)] wird in der umfassenden Zusammenstellung von Analoga und ihrer Zuordnung zu bestimmten Wirtsgesteinstypen gesehen. Das BfS kommt zu dem Schluss, dass weitere generische Untersuchungen zu natürlichen und anthropogenen Analoga nicht Ziel führend seien. Es konstatiert insbesondere Defizite hinsichtlich der Verfügbarkeit von Analoga zu Prozessen in Salzgestein, diese sollten aber erst auf Basis konzeptioneller Vorgaben und im Rahmen standortspezifischer Sicherheitsanalysen gezielt beseitigt bzw. reduziert werden.

Die RSK hat bereits in [RSK (2001)] die Notwendigkeit von Untersuchungen an natürlichen Analoga zur Absicherung von Modellansätzen und Daten sowie zur Übertragung der Erkenntnisse aus kleinräumigen und kurzzeitigen Untersuchungen auf die großräumigen und langzeitigen Vorgänge in einem Endlagersystem betont und die (Weiter-)Bearbeitung der Thematik empfohlen. In [RSK (2002)] hat sie gefordert, die Rolle von Naturbeobachtungen bzw. natürlichen Analoga in Nachweisverfahren festzulegen und Anforderungen hinsichtlich der Übertragung von Analoga auf bestimmte Endlagerverhältnisse zu formulieren.

##### **Bewertung**

Die RSK stimmt der Einschätzung des BfS zu, dass keine weiteren generischen Studien zu Analoga/Naturbeobachtungen für die Absicherung von Bedeutung und Wirkungsweise langzeitiger Prozesse notwendig sind. Allerdings besteht die Bedeutung von Analoga und Naturbeobachtungen für das Verständnis

langzeitiger Prozesse bzw. als Indikatoren für das Vorhandensein sicherheitsbezogener Eigenschaften der geologischen Barriere unverändert fort. Die RSK erneuert daher die Empfehlung aus dem Jahr 2002, die Bedeutung von Analoga bzw. Naturbeobachtungen in Nachweisverfahren für die Langzeitsicherheit von Endlagern festzulegen. Außerdem sind die Voraussetzungen für die Verwendung von Analoga, insbesondere hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf das zu beurteilende Endlagersystem und von Naturbeobachtungen als Indikator für die zu beurteilenden Standorteigenschaften zu definieren.

Die RSK empfiehlt außerdem, die internationale Weiterentwicklung im Bereich natürlicher/anthropogener Analoga und Naturbeobachtungen zu verfolgen sowie künftig identifizierte weitere Analoga und Naturbeobachtungen (Indikatoren) zu untersuchen und auf ihre Bedeutung für die Verbesserung des Verständnisses sicherheitsbezogener Prozesse sowie die Erhöhung des Vertrauens in Modellvorstellung bzw. in das Vorhandensein sicherheitsbezogener Standorteigenschaften zu prüfen.

## **3.2 Modellrechnungen**

### **Sachstand**

Der Nachweis, dass bei einem bestimmten Endlagerkonzept an einem Standort ein langfristiger Abschluss der Abfälle von der Biosphäre gewährleistet ist, basiert u. a. auf den Ergebnissen von umfassenden Modellrechnungen zur Langzeitsicherheitsanalyse. Derartige Rechnungen dienen auch zur sicherheitstechnischen Optimierung von Endlagerauslegungen.

Grundlage solcher umfassender Modellrechnungen sind Szenarien, die jeweils eine bestimmte mögliche Entwicklung des Endlagersystems beschreiben und durch einen Satz von Eigenschaften, Ereignissen und Prozessen (üblicherweise mit FEP abgekürzt nach den englischen Begriffen features, events, processes) charakterisiert sind. Im internationalen Rahmen existieren neben der generischen FEP-Liste der OECD-NEA auch weitere, formationsspezifische bzw. standortbezogene FEP-Kataloge.

Modellrechnungen zur Langzeitsicherheitsanalyse weisen eine Reihe von inhärenten Unsicherheiten auf, die durch zufallsabhängige physikalische Prozesse und Gegebenheiten begründet sind oder auf einer unvollständigen Kenntnis der zu Grunde liegenden Prozesse und Parameter beruhen. Die Auswirkungen der Unsicherheiten auf die Ergebnisse der deterministischen Modellrechnungen werden mit Monte-Carlo-Verfahren (Parameter-Variationen) quantifiziert. Dies entspricht der Praxis in den mit der Endlagerung befassten Ländern.

Geschlossene probabilistische Sicherheitsanalysen unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und der Auswirkungen von Szenarien wurden bisher bei der Endlagerung nur ansatzweise verfolgt. Daher forderte die RSK in ihrer Stellungnahme [RSK (2002)], dass die Anwendungsbereiche für probabilistische Sicherheitsnachweise geklärt und Vorgaben für die Durchführung getroffen werden. Dies bezieht sich sowohl auf geschlossene probabilistische Sicherheitsanalysen als auch auf die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen.

## **Bewertung**

Die Ergebnisse und Aussagen in [BfS (2005)] sind nur eingeschränkt verwendbar, da interessierende Punkte nicht Teil der beauftragten Arbeiten waren. Insbesondere wurde kein Beitrag zur Klärung der Anwendungsbereiche für geschlossene probabilistische Sicherheitsnachweise geliefert und keine Vorgaben für deren Durchführung entwickelt.

Aus Sicht der RSK sind die Methoden und Rechenprogramme für deterministische Modellrechnungen und Monte-Carlo-Verfahren vorhanden und weit entwickelt.

Es fehlen nach wie vor Vorgaben, wie die Ergebnisse von Monte-Carlo-Rechnungen zu bewerten sind. Die RSK empfiehlt in Übereinstimmung mit dem BfS daher, entsprechende regulatorische Festlegungen zu treffen. Dies betrifft Überschreitenswahrscheinlichkeiten und das geforderte Vertrauensintervall für die berechneten Sicherheitsindikatoren (z. B. Individualdosis, Risiko).

Im Gegensatz zum BfS ist die RSK der Meinung, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine generelle Festlegung getroffen werden sollte, welche statistischen Methoden für globale Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen geeignet sind. Bestimmte mathematische Methoden, zu denen auch die FAST<sup>1)</sup>-Methode gehört, liefern quantitative Aussagen zum Einfluss einzelner Parameter auf das Ergebnis und damit wertvolle Hinweise, ob eine Eingrenzung der Unsicherheiten dieser Parameter durch weiterführende F+E-Arbeiten sinnvoll ist.

In Bezug auf die für die Szenarienanalyse zu betrachtenden FEP unterstreicht die RSK die Aussage des BfS, dass standort- und konzeptspezifisch ggf. umfangreiche Anpassungen der vorhandenen FEP-Listen vorzunehmen sind. Aus Sicht der RSK gilt dies insbesondere für eine FEP-Liste für ein Endlager im Salinar.

Im Hinblick auf die weitere Entwicklung von Methoden und Rechenprogrammen für Sicherheitsbewertungen betont die RSK die Notwendigkeit, sich insbesondere mit der Entwicklung von Methoden zum Umgang mit den vielfältigen Unsicherheiten zu befassen, die auch auf internationaler Ebene Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeiten sind. Generell sind in projektbegleitenden F+E-Arbeiten die vorhandenen Modelle und Computerprogramme stets an den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik sowie an die konzept- und standortspezifischen Gegebenheiten anzupassen. Entwicklungsbedarf besteht noch bei der Modellierung des Radionuklidtransports in dichteschichtetem Grundwasser unter Berücksichtigung der geochemischen Wechselwirkungen.

### **3.3 Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum**

#### **Sachstand**

Bei der Behandlung von Anforderungen an die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen werden die Begriffe wie Isolationspotenzial, Isolationszeitraum oder Nachweiszeitraum kontextsensitiv verwendet. Daher wurde von der RSK [RSK(2002)] die Erarbeitung eines konsistenten Begriffskanons gefordert. Die in [BfS(2005)] vorgestellten Definitionen der obigen Begriffe sind in der Fachwelt noch nicht abschließend diskutiert worden.

Im Synthesebericht [BfS(2005)] werden Geosystemtypen identifiziert, die eine günstige geologische Gesamtsituation für die Endlagerung aufweisen. Zur Ermittlung der Isolationspotenziale dieser Geosysteme

---

<sup>1)</sup> FAST = Fourier Amplitude Sensitivity Test

sowie zur vergleichenden Bewertung untereinander sind sowohl Methoden als auch Kriterien entwickelt worden. Absolute oder relative Wertungen von Standorten sind auf dieser generischen Ebene jedoch nur sehr beschränkt möglich.

Das BfS kommt zum Schluss, dass eine Quantifizierung des Isolationszeitraums und des Nachweiszeitraums nur für konkrete Standorte möglich ist, da diese an die Prognostizierbarkeit der günstigen Eigenschaften des entsprechenden Endlagersystems gebunden ist. Eine zeitliche und relative Bewertung (Ranking im Sinne von besser/schlechter) ist auf der abstrakten Ebene von Geosystemtypen nicht sinnvoll. Grundsätzlich ist aber davon auszugehen, dass durchaus Standorte gefunden werden können, die eine wissenschaftlich fundierte Prognose über die Entwicklung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs für Zeiträume von etwa 1 Mio. Jahren erlauben.

## **Bewertung**

Die RSK empfiehlt die Schaffung eines konsistenten Begriffskanons. Die im Synthesebericht verwendeten Definitionen stellen eine gute Basis für eine abschließende Klärung dar. Insbesondere bedarf der Begriff der Isolation in der Endlagerung einer Definition. Die RSK weist darauf hin, dass im Rahmen der Eignungsuntersuchungen von Standorten die normativen Anforderungen Bewertungsgrundlage sind, welche vom Standort und seinen Gegebenheiten erfüllt werden müssen.

Die RSK stellt fest, dass eine vergleichende Bewertung von Standorten anhand der zur Bewertung von Geosystemtypen erarbeiteten Kriterien nicht möglich ist. Sie geht konform mit der Analyse des BfS, dass auch die Bildung von Rangfolgen im Sinne besser/schlechter auf der abstrakten Ebene von Geosystemtypen im Hinblick auf die Auswahl zu bevorzugender Geosysteme bzw. Standorte nicht zielführend ist. Eine vergleichende Bewertung von Standorten bzw. Endlagersystemen kann nach Ansicht der RSK nur in einem Prozess der Abwägung der sicherheitsbezogenen, planerischen und gesellschaftlichen Aspekte auf der Basis eines qualifizierten Verfahrens, methodischer Grundlagen sowie anerkannter Bewertungsgrößen und Bewertungsmaßstäbe erfolgen.

Die RSK teilt die Auffassung des BfS, dass Standorte gefunden werden können, die einen Nachweiszeitraum von 1 Mio. Jahren zulassen.

## **3.4 Sicherheitsindikatoren**

### **Sachstand**

Nationale und internationale Projekte befassen sich mit dem Wesen der Langzeitsicherheitsanalyse und deren Aussagen im Hinblick auf die Langzeitsicherheit von Endlagern. Es besteht in der Fachwelt Einvernehmen, dass die in den Langzeitsicherheitsanalysen ermittelten radiologischen Auswirkungen keine Prognosen der Konsequenzen aus den betrachteten Szenarien darstellen. Die Ergebnisse der Analysen sind vielmehr als Indikatoren der Sicherheit und des Verhaltens des Endlagersystems und seiner Teilsysteme zu werten. Sicherheitsindikatoren stützen und ergänzen den Nachweis der Langzeitsicherheit. Im BfS-Synthesebericht [BfS(2005)] wird unterschieden nach vollständigen Sicherheitsindikatoren (Individualdosis, Individualrisiko, Konzentration), welche die integrale Bewertung des Verhaltens eines Endlagersystems erlauben, und weiteren Sicherheitsindikatoren (Funktionsindikatoren, natürliche Analoga) zur Beurteilung beispielsweise



der Wirkung von Teilsystemen, Einzelkomponenten oder Sicherheitsfunktionen. Die weiteren Indikatoren können - so das BfS - nur festgelegt werden, wenn konzeptionelle, standortspezifische und ggf. modellspezifische Besonderheiten bekannt sind. International wird die Anwendung von derartigen Sicherheitsindikatoren zur Erhöhung des Vertrauens in den Langzeitsicherheitsnachweis grundsätzlich empfohlen. Außerdem wird diskutiert, ob für die Auswahl von Sicherheitsindikatoren die Frage der Vermittelbarkeit oder die Frage des naturwissenschaftlichen Inhaltes im Vordergrund stehen soll.

Die Auswertung der internationalen Berichte zu Sicherheitsindikatoren und deren Anwendung in Langzeitsicherheitsnachweisen zeigt einen Wildwuchs an Begriffen, eindeutige Definitionen fehlen. Die Reviewer empfehlen, eine konsistente Terminologie anzustreben. Die Auswertung zeichnet ein umfassendes Bild von den derzeit gebräuchlichen Sicherheitsindikatoren und ihren Funktionen, speziell für Endlager im Kristallingestein. Sowohl die vollständigen Sicherheitsindikatoren als auch die weiteren Sicherheitsindikatoren sind Endlagersystem-spezifisch (Standort und Endlagerkonzept) angelegt.

Das BfS kommt im Synthesebericht zu der Auffassung, dass vollständige Sicherheitsindikatoren zu einer vergleichenden Bewertung von Standorten und Endlagersystem herangezogen werden können.

## **Bewertung**

Die RSK empfiehlt, eine konsistente Begriffswelt zum Inhalt und zur Anwendung der Indikatoren zu verwenden. Die Möglichkeiten und Grenzen solcher Indikatoren für den Sicherheitsnachweis sollten klar dargelegt werden. Insbesondere sollte die Definition des vollständigen Sicherheitsindikators in dem Sinne erweitert werden, dass diese Indikatoren eine integrale Bewertung des Endlagers ermöglichen. So kann beispielsweise das zeitliche Isolationsvermögen des Gesamtsystems Endlager an der zeitlichen Entwicklung der Individualdosis (des Individualrisikos) aufgezeigt werden.

Indikatoren sind Ersatzgrößen, die zur Beurteilung herangezogen werden, wenn die zu prüfenden Eigenschaften nicht direkt ermittelt werden können oder noch nicht ermittelt worden sind (AkEnd). Insofern tragen Indikatoren als wesentliche Größen zur ganzheitlichen Beurteilung der Sicherheit des Endlagersystems, seiner Entwicklung und seiner Robustheit bei. Die RSK empfiehlt ihre umfassende Einbeziehung in den Langzeitsicherheitsnachweis. Hierzu sollten verstärkt Systemindikatoren weiterentwickelt werden, die nicht auf radiologischen Berechnungen basieren.

Die RSK ist der Auffassung, dass sowohl die Sicherheits- als auch die Systemindikatoren eine standort- und endlagerkonzeptspezifische Ausprägung aufweisen. Daher fehlt einer vergleichenden Bewertung zur Abwägung von Endlagersystemen mittels Sicherheitsindikatoren auf generischer Ebene die gemeinsame Basis; damit ist auch eine vergleichende Bewertung mit der Entwicklung einer Rangfolge nicht möglich.

Eine vergleichende Bewertung von Standorten bzw. Endlagersystemen kann nach Ansicht der RSK nicht allein auf der Basis von Sicherheitsindikatoren erfolgen, sondern nur in einem Prozess der Abwägung der sicherheitsbezogenen, planerischen und gesellschaftlichen Aspekte auf der Basis eines qualifizierten Verfahrens, methodischer Grundlagen, anerkannter Bewertungsgrößen und Bewertungsmaßstäbe.

Im Hinblick auf die diskutierte Frage der Vermittelbarkeit von Indikatoren stimmt die RSK in der Beurteilung mit dem BfS überein, dass im Beurteilungsprozess aus naturwissenschaftlicher Sicht jene Indikatoren verwendet werden müssen, die relevant und notwendig sind. Zur besseren Vermittelbarkeit müssen adäquate Formen der Kommunikation gefunden werden.

### 3.5 Geochemische Prozesse

#### Sachstand

Geochemische Prozesse laufen in einem Endlagersystem ab, sobald eine treibende thermodynamische Kraft vorhanden ist. Dies ist dann der Fall, wenn sich ein System nicht im physikalisch-chemischen Gleichgewicht oder einem vergleichbaren stationären Zustand befindet. Die Errichtung eines Endlagers, das Einbringen von Abfällen sowie bestimmte Ereignisabläufe im Endlager führen zu einer mehr oder minder großen Auslenkung von der ursprünglichen Gleichgewichtslage bzw. vom stationären Zustand. Im Rahmen eines Sicherheitsnachweises sollten die Auswirkungen geochemischer Prozesse sowohl auf den Bereich um die eingelagerten Abfälle als auch auf das Verhalten der geologischen Barriere untersucht werden. Die ablaufenden geochemischen Prozesse hängen von Druck, Temperatur und insbesondere von Art und Zusammensetzung der vorhandenen festen, wässrigen und gasförmigen Phasen ab. Geochemische Prozesse sind auf der Basis fundamentaler Gesetzmäßigkeiten wie der Gleichgewichtsthermodynamik beschreib- und prognostizierbar. Zur Beschreibung nichtidealer, realer Systeme werden semiempirische Modelle und Parameter (Aktivitätskoeffizientenmodelle) herangezogen. Die Qualität der Modellierung geochemischer Prozesse hängt in erster Linie vom mechanistischen Verständnis und von der Qualität und Verfügbarkeit thermodynamischer Daten und Modellparameter ab.

Sicherheitstechnisch sind insbesondere die Prozesse von Bedeutung, die durch wässrige Lösungen ausgelöst bzw. beeinflusst werden. Dazu gehören die Korrosion von Behälter und Abfallmatrix, die Mobilisierung von Elementen und Verbindungen aus den Abfallgebänden (Quellterm) und die damit verbundene Veränderung der Eigenschaften der Stoffe. Die Änderungen hängen vom geochemischen Milieu ab und können neben dem Quellterm und den Rückhalteeigenschaften auch die Zusammensetzung sowie Porosität und Durchlässigkeit von geotechnischen Barrieren beeinflussen. Geochemische Prozesse wirken sich auf die Speziation von Radionukliden und damit auf deren Mobilität aus.

#### Bewertung

Die RSK ist in Übereinstimmung mit dem BfS der Auffassung, dass erst nach Vorliegen der relevanten Daten aus der Standorterkundung und nach Abschluss der Planungen zum Endlagerkonzept eine detaillierte und belastbare Modellierung der im Endlagersystem ablaufenden geochemischen Prozesse möglich ist.

Die RSK ist der Meinung, dass die Wissensbasis für Steinsalz weitgehend standortunabhängig ist. Für wichtige Systeme sind die geochemischen Modelle und die Datenbasis weit entwickelt, sodass eine Prognose des Quellterms unter Berücksichtigung definierter Randbedingungen möglich ist. Für Teilsysteme (z. B. einige Werkstofftypen und bestimmte Radionuklide) ist die Datenbasis noch nicht ausreichend. Insbesondere sind so gut wie keine Daten verfügbar für den in den ersten 1.000 Jahren nach erfolgter Einlagerung relevanten Bereich erhöhter Temperaturen. Die generelle Aussage des BfS, „dass derzeit Prozesse im Wirtsgestein Salz aufgrund des einfacheren Systems und der umfangreicheren Datenbasis am zuverlässigsten modelliert werden können“ ist aus Sicht der RSK nur für Teilsysteme zutreffend, lässt sich aber in seiner Gesamtheit nicht stützen.

In den im europäischen Ausland (z. B. Schweiz oder Frankreich) betrachteten Tongesteinen sind die Ionenstärken der wässrigen Phase niedriger als in Salzsystemen. Daher sind diese Systeme hinsichtlich der Aktivitätskoeffizientenmodelle einfacher beschreibbar. Allerdings ist die Anzahl der möglichen Reaktionen signifikant höher als in den Salzsystemen. Dies gilt besonders für den Einfluss von Spurenmineralen. Deshalb bestehen aus Sicht der RSK vielfältige Lücken in den vorhanden thermodynamischen Daten. Besonders ist auf die Unkenntnis bezüglich Speziation von diffundierenden Lösungskomponenten vor allem von Radionukliden hinzuweisen. Hinzu kommt die Tatsache, dass in einigen deutschen Tonsteinformationen ebenfalls mit hohen Ionenstärken zu rechnen ist, was durch die Datenbasis für z. B. Opalinuston nicht abgedeckt ist.

Im Hinblick auf die geochemischen Prozesse bei der Ausbreitung von Radionukliden in der geologischen Barriere sind neben gezielten Untersuchungen zur Verbreiterung der Datenlage noch Grundlagenforschungsarbeiten zum mechanistischen Verständnis von Rückhalte- und Transportprozessen erforderlich. Zur Radionuklidrückhaltung tragen überwiegend Sorptionsvorgänge bei. Inwieweit derartige Rückhalteprozesse durch thermodynamische Modelle, wie z. B. Oberflächenkomplexierungsmodelle, belastbar beschrieben werden können, wird derzeit intensiv untersucht. Gleiches gilt für die Bildung und Stabilität von Kolloiden, die als Träger von Radionukliden insbesondere in geklüfteten Medien fungieren und damit wesentlich zu deren Transport beitragen können.

Generell empfiehlt die RSK, für die zu betrachtenden Endlagersysteme eine nationale, in sich konsistente Referenzdatenbasis für geochemische Modellrechnungen zusammenzustellen und verbindliche Festlegungen für deren Nutzung in einem Genehmigungsverfahren zu treffen. Die immanent vorhandenen Kenntnislücken und Datenunsicherheiten sind zu bewerten und ggf. durch gezielte Untersuchungen zu schließen oder einzugrenzen. Es sind allerdings keine Entwicklungen zu erwarten, die eine prinzipielle Eignung sowohl der Wirtsformation Salz als auch anderer potentieller Wirtsformationen in Frage stellen könnten.

Nach Einschätzung der RSK ergibt sich Bedarf sowohl an generischer Forschung insbesondere zum Verständnis der Mechanismen der Radionuklidrückhalte- und Transportprozesse als auch an projektbegleitender Forschung für alle potenziellen Wirtsformationen um Datenlücken zu schließen und Unsicherheiten abzubauen.

### **3.6 Chemotoxische Stoffe**

#### **Sachstand**

Der Umgang mit möglichen Freisetzungen chemotoxischer Stoffe aus einem Endlager in das Grundwasser ist für die Endlagerung radioaktiver Abfälle von erheblicher Bedeutung. Ausgenommen ist die Endlagerung in Steinsalz unter der Voraussetzung der erwarteten künftigen Entwicklung des Endlagersystems, weil dabei nicht mit Stoffeinträgen in das Grundwasser gerechnet werden muss. Die Auswirkungen der Freisetzung chemotoxischer Stoffe sind im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für ein Endlager wasserrechtlich zu beurteilen.

Einschlägige Anforderung für den Umgang mit nicht-radioaktiven Stoffen ist der immissionsbezogene Besorgnisgrundsatz des § 34, 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Danach dürfen Stoffe „nur so gelagert oder abgelagert werden, dass eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist“. Der Besorgnisgrundsatz bedeutet eine weit reichende Anforderung. Er ist zugleich unbestimmt, da die Begriffe schädliche Verunreinigung und

nachteilige Veränderung im WHG nicht definiert sind.<sup>2)</sup> Die Frage, ob bei einem Endlager die sich aus dem Besorgnisgrundsatz ergebenden Anforderungen eingehalten werden, ist derzeit während des Planfeststellungsverfahrens für ein Endlager im Rahmen einer einzelfallbezogenen Ermessensentscheidung unter Hinzuziehung der zuständigen wasserrechtlichen Behörde zu beantworten.

Der Besorgnisgrundsatz stellt die wasserrechtliche Ausprägung des auch für die Endlagerung radioaktiver Abfälle gültigen Isolationsprinzips dar. Der Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte [AkEnd (2002)] hat zu dessen konsequenter Umsetzung bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle die Modellvorstellung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs entwickelt, der - als Teil des Endlagersystems - den maßgeblichen Beitrag zur Langzeitsicherheit leisten soll: Während des Nachweiszeitraums dürfen bei der erwarteten Entwicklung in das Endlager eingebrachte Stoffe den einschlusswirksamen Gebirgsbereich als Folge advektiven Transports mit dem Grundwasser nicht verlassen. Der Außenrand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs definiert so die Grenze zwischen Endlager und zu schützendem Grundwasser in seiner Umgebung.

Im Rahmen der Bearbeitung endlagerungsspezifischer Einzelfragen ist das Inventar chemotoxischer Stoffe des Endlagers umfassend und detailliert erhoben worden [Buchheim et al. (2005)]. Zur Beurteilung der Freisetzung dieser Stoffe im Hinblick auf die Einhaltung des durch den Besorgnisgrundsatz definierten Schutzziels wurden auf Verdünnung beruhende Ansätze entwickelt und auf einzelne Stoffgruppen angewendet.

Das BfS kommt bei seiner Bewertung des Umgangs mit möglichen Freisetzungen chemotoxischer Stoffe zu dem Ergebnis [BfS (2005)], dass im Hinblick auf die chemotoxischen Stoffe im Endlager die Festlegung von Schutzzielen bei einer Freisetzung von chemotoxischen Stoffen erforderlich ist. Grundlegenden Forschungsbedarf sieht es hinsichtlich der Entwicklung von Bewertungsgrößen und eines Bewertungsmaßstabs für eine gemeinsame Bewertung der Konsequenzen freigesetzter chemotoxischer und radiotoxischer Schadstoffe aus dem Endlager.

## **Bewertung**

Die RSK begrüßt die umfassende Inventarisierung des nicht-radioaktiven Stoffbestands im Endlager. Sie hält daran fest, dass das Ziel der Endlagerung die Isolierung der Abfälle, auch ihrer chemotoxischen Inhaltsstoffe, ist. Vor diesem Hintergrund ist in dem Gutachten die Betrachtung der Freisetzung chemotoxischer Stoffe auf Basis von Verdünnungsfaktoren nicht zielführend. Sie weist darauf hin, dass der Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes nicht nur für chemotoxische, sondern im Prinzip für alle in das Endlager eingebrachten Stoffe gilt.

Aus Sicht der RSK resultieren die genehmigungsbezogenen Probleme im Umgang mit nicht-radioaktiven Stoffen im Endlager im Wesentlichen aus definatorischen bzw. regulatorischen Defiziten. In dieser Hinsicht stehen insbesondere Entscheidungen zu folgenden Aspekten aus:

- Festlegung, ob Ermessensentscheidung im Einzelfall oder normbasierte allgemeine Regelung,

---

<sup>2)</sup> Der Besorgnisgrundsatz wird durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000 nicht berührt, da sie keinen konkreten Anforderungen an den Grundwasserschutz enthält, die über den Besorgnisgrundsatz hinausgehen oder umgekehrt eine Einschränkung des Besorgnisgrundsatzes bedeuten.

- falls normbasierte Regelung, Definition der zu akzeptierenden Stoffkonzentrationen im Grundwasser (allgemeingültige Norm, z. B. definierte Geringfügigkeitsschwellen, oder konzentrationsbestimmte Einzelfallregelung, wie lokale Hintergrundkonzentration),
- Festlegung des zu schützenden Grundwassers nach Ort/Verfügbarkeit/Beschaffenheit oder Schutz jeglichen Grundwassers,
- Festlegung der bei der wasserrechtlichen Beurteilung zu berücksichtigenden Stoffe (nur chemotoxische/auch radioaktive/beliebige),
- Festlegung des methodischen Vorgehens bei der wasserrechtlichen Beurteilung. Abhängig vom Ergebnis der Festlegung ist dann zu beurteilen, inwieweit F+E-Bedarf besteht.

### **3.7 Gasbildung**

#### **Sachstand:**

Bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle ist bedingt durch verschiedene Prozesse die Entstehung von Gasen zu erwarten. Dabei hängen Art und Menge der gebildeten Gase vornehmlich von den reagierenden Stoffen und insbesondere der Verfügbarkeit von Wasser ab. Als Folge der Gasbildung können das chemische Milieu im Nahfeld der abgelagerten Abfälle verändert und insbesondere bei einem dichten Wirt- bzw. Barrieregestein sowie entsprechend verschlossenem Endlager die Wirksamkeit von Barrieren durch den entstehenden Gasdruck beeinträchtigt werden. Daraus könnten eine Begünstigung der Radionuklidfreisetzung aus den Abfällen und der Radionuklidmigration folgen.

In [RSK (2002)] werden bereits die Gasentwicklung und die daraus erwachsenden Folgen für das Endlager als wichtiger Forschungsgegenstand identifiziert. Dabei werden als zu beantwortende Fragestellungen Gasentwicklungsraten, Zusammensetzung und Verhalten der Gase sowie der resultierende Druckaufbau genannt. Im Umgang mit den Gasen werden als Fragestellungen thematisiert Reduzierung der Gasentwicklung, formationsabhängige Druckbegrenzung bzw. Zulässigkeit von Fracs mit Gasfreisetzung sowie Speicherung der Gase.

Mit den Mechanismen der Gasbildung, ihren Auswirkungen im Endlager wie auch mit Möglichkeiten des konzeptionellen Umgangs mit der Gasbildung in Abhängigkeit von den verschiedenen Abfallarten in unterschiedlichen Wirtsgesteinen befasst sich auch die RSK-Stellungnahme „Gase im Endlager“ vom 21.01.2005 [RSK (2005)].

Der langfristig sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle setzt die Beherrschung der Gasbildung insbesondere hinsichtlich der Gasmengen sowie der Folgewirkungen auf die geologischen und geotechnischen Barrieren und im Fall der Radionuklidfreisetzung auch auf die Umwelt voraus. Die quantitativ verlässliche Einschätzung der Gasbildungsprozesse und ihrer Folgewirkungen ist damit essentieller Bestandteil des Sicherheitsnachweises für ein Endlager.

Das BfS nimmt in [BfS (2005)] nicht explizit Bezug auf [RSK (2002)] und die dort formulierten Fragestellungen. In [BfS (2005)] wird unter dem Aspekt „Gasbildung“ die Nachweisführung zur Beherrschung der Gasbildung in den Vordergrund gestellt. Aus sicherheitstechnischer Sicht werden vier als

relevant erachtete Fragestellungen formuliert, die die Gasbildungsmechanismen, die Konzeption der Nachweisführung, die Zulässigkeit der gasdruckbedingten Rissbildung sowie die dadurch bedingten Konsequenzen auf das Endlagerkonzept betreffen. Konstatiert wird durch das BfS als Sachstand

- ein weitgehendes Verständnis der Gasbildungsmechanismen,
- die Existenz und Realisierbarkeit von Nachweiskonzepten zur Beherrschung der Gasbildung für alle Wirtsgesteine mit der Forderung nach Integration der Gasbildung in die Sicherheitsanalysen,
- eine zutreffende und erprobte Nachweisführung bei gering permeablen Gesteinen über eine Zweiphasenflussmodellierung,
- die noch weiter erforderliche Befassung mit den Grundlagen für die Nachweisführung bei impermeablen Gesteinen mit Ausbildung einer gasdruckbedingten Sekundärpermeabilität sowie
- ein noch bestehender Forschungsbedarf hinsichtlich der Rückbildungsfähigkeit von Sekundärwegsamkeiten.

Das BfS konstatiert abschließend, dass ein Nachweis zur Beherrschung der Gasbildung für alle Geosysteme möglich sei, so dass sich hieraus keine Anforderungen an die Standortauswahl ergäben. Ein minimales Wasserangebot wird als vorteilhaft angesehen. Explizit wird auf [RSK (2005)] Bezug genommen und Übereinstimmung festgestellt hinsichtlich der Bedeutung der Gasbildung für den Barrierenintegritätsnachweis insbesondere im Salinargestein und des hier noch bestehenden Forschungsbedarfs zur Modellierung/Simulation der Gasinfiltration und ihrer Folgewirkungen.

## **Bewertung**

Die in [RSK (2002)] genannten Fragestellungen werden mit [BfS (2005)] hinsichtlich Modellierung und Ansätzen zur Nachweisführung zwar nicht explizit aufgegriffen, aber doch zusammenfassend konkretisiert. Übereinstimmung besteht darin, dass die Gasbildung hinsichtlich der verschiedenen Mechanismen weitgehend verstanden wird und der Nachweis zur Beherrschung der Auswirkungen der Gasbildung für alle Geosystemtypen möglich ist. Der weitere in [RSK (2002)] identifizierte und in [RSK (2005)] aktualisierte präziserte Forschungsbedarf bleibt bestehen. Hiernach sind in naher Zukunft insbesondere für impermeable bzw. sehr gering permeable Formationen noch grundlegende F+E-Arbeiten durchzuführen. Im Zentrum dieser noch vorzunehmenden F+E-Arbeiten stehen dabei die Fragen nach

- der physikalischen Modellierung und numerischen Simulation der Infiltrations- und Ausbreitungsprozesse bei nicht primär permeablen Gesteinsarten (hydromechanische Kopplung mit Zweiphasenfluss) und
- dem Verhalten Gas infiltrierter geologischer Barrieren bei Gasdurchbruch in Wasser führende Gesteinshorizonte hinsichtlich der Bedeutung der sekundär geschaffenen Wegsamkeiten nunmehr vice versa als a priori nicht ausschließbare Zutrittspfade für externe Lösungen in das Endlager.

Die RSK stellt erneut fest (vgl. [RSK (2005)]), dass die Eignung der relevanten Wirtsgesteine zur Endlagerung radioaktiver Abfälle auch durch den noch bestehenden Forschungsbedarf nicht grundsätzlich in Frage gestellt wird, da Lösungsansätze zur Beherrschung der Gasbildung und ihrer Folgewirkungen

bestehen. Neben einer Verminderung der Gasmengen ist zur Beherrschung der Folgen der Gasbildung anzustreben, alternativ zu dem Konzept von zusätzlich aufzufahrenden Gassammelräumen die Speicherfähigkeit von Versatz und infiltriertem Gebirge zu untersuchen.

Die RSK empfiehlt, die in [BfS (2005)] bzw. [RSK (2005)] identifizierten Erkenntnisdefizite durch entsprechend angelegte Forschungsarbeiten in naher Zukunft zu bearbeiten, um das Prozessverständnis zu verbessern und die Grundlagen für die Durchführung der Sicherheitsanalysen auch in dieser Hinsicht weiter zu komplettieren.

### **3.8 Kritikalität**

#### **Sachstand**

Die Frage, ob in einem Endlager eine Kritikalität entstehen kann, stellt sich, weil Spaltstoffe in den einzulagernden Materialien vorhanden sind. Die Auslegung der Abfallgebinde verhindert in der ersten Phase der Endlagerung die Entstehung einer Kritikalität. Es ist aber zu prüfen, wieweit sich in späteren Perioden durch chemische oder hydrodynamische Prozesse in Bereichen des Endlagers eine kritische Spaltstoffansammlung bilden kann; auch die Änderungen des Spaltstoffinventars aufgrund des Zerfalls sind dabei zu berücksichtigen.

Bis auf einige Fragen der selektiven Sorption sind die relevanten Phänomene hinsichtlich der möglichen Bildung kritischer Spaltstoffansammlungen inzwischen gut verstanden. Davon ausgehend kommt der Synthesebericht [BfS(2005)] in Kapitel „4.7“ (muss „4.8“ heißen) zu Schlussfolgerungen mit dem Inhalt, dass durch die Auslegung eines Endlagers in verschiedenen Gesteinen die Bildung kritischer Spaltstoffansammlungen ausgeschlossen werden kann.

#### **Bewertung**

Die Auffassungen und getroffenen Bewertungen des BfS im Synthesebericht [BfS (2005)] werden von der RSK geteilt. Die RSK ist - wie auch schon früher angemerkt [(RSK (2002))] - der Auffassung, dass zum Thema Kritikalität die Fakten weitgehend bekannt sind und grundlegende Wissensdefizite mit Ausnahme einiger Sachverhalte zur wässrigen Chemie des Plutoniums nicht mehr bestehen. Auf der bestehenden Wissensbasis können die Rahmenbedingungen für die Führung des Kritikalitätssicherheitsnachweises in einem konkreten Endlager-Genehmigungsverfahren festgelegt werden. Die RSK empfiehlt deshalb, eine Richtlinie zu erstellen, die festlegt, wie ein Nachweis der Kritikalitätssicherheit bei einem konkreten Endlager geführt werden muss. Die zu betrachtenden Randbedingungen sollten sowohl die Wirtsgesteinseigenschaften als auch die Endlagerkonzeption berücksichtigen.

### **3.9 Menschliche Einwirkungen**

#### **Sachstand**

In Deutschland sollen alle Arten von radioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen endgelagert werden. Eine aktive Überwachungsphase des Endlagers ist nicht vorgesehen. Dieses Konzept der passiven

Sicherheit hat gegenüber einer Lagerung an der Erdoberfläche den Vorteil, dass menschliche Aktivitäten an der Erdoberfläche oder oberflächennah das Endlager in seiner Isolationswirkung nicht gefährden. Allerdings sind langfristig menschliche Aktivitäten - wie etwa Tiefbohrungen - auch im tiefen Untergrund nicht auszuschließen, die zu einer Schwächung bzw. Zerstörung der Barrieren eines Endlagers führen können. Im Falle menschlicher Aktivitäten, die zum Eindringen in das Endlagersystem führen, können Auswirkungen auf die handelnden Menschen nicht ausgeschlossen werden. Die Konsequenzen aus diesen Szenarien werden im Rahmen von Sicherheitsbeurteilungen analysiert. Menschliche Einwirkungen können beabsichtigt oder aber unbeabsichtigt aufgrund des Verlusts von Informationen über das Endlager eintreten. Bei der Sicherheitsbeurteilung werden nur solche menschlichen Einwirkungen betrachtet, die unbeabsichtigt erfolgen. Beabsichtigte Einwirkungen werden in die Verantwortung der jeweils handelnden Gesellschaft gestellt.

Die Entwicklung der Lebensweise und des Verhaltens von Menschen bzw. sozialer Gemeinschaften ist nur über einen sehr begrenzten Zeitraum von wenigen Generationen einschätzbar. Daher ist eine systematische Szenarientwicklung für die Szenariengruppe menschlicher Einwirkungen nicht möglich. Zur Beurteilung der Szenariengruppe menschlicher Einwirkungen im Sicherheitsnachweis sollten deshalb ausgewählte Szenarien, auf der Grundlage heutiger gesellschaftlicher Bedingungen und heutigem Stand von Wissenschaft und Technik, herangezogen werden, wie etwa das Abteufen einer Explorationsbohrung, das Auffahren eines neuen Bergwerks, die Solung einer Kaverne im Salinar. Diese ausgewählten Szenarien sind insbesondere bei der Planung und Auslegung des Endlagers zu berücksichtigen. In dieser Phase obliegt es dem hierfür Verantwortlichen, geeignete Gegenmaßnahmen gegen das unbeabsichtigte Eindringen in das Endlager zu treffen. Geeignete Gegenmaßnahmen sind insbesondere mit der konzeptionellen Endlagerauslegung, Standortwahl, Informationserhalt und Kennzeichnung, aber auch mit den Safeguards-Maßnahmen verbunden.

## **Bewertung**

Die RSK ist in Übereinstimmung mit dem BfS der Auffassung, dass die Behandlung unbeabsichtigter menschlicher Einwirkungen in der Sicherheitsbeurteilung eines Endlagers der regulatorischen Festlegung bedarf. Dabei sollte geregelt werden, inwieweit menschliche Einwirkungsszenarien zu betrachten sind, ggf. an welchen Maßstäben sie zu messen sind und in welcher Phase der Endlagerentscheidung sie zu berücksichtigen sind. Regulatorische Festlegungen sind erforderlich, da Szenarien dieser Art nach Verlust der Information über das Endlager und sein Gefährdungspotenzial nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden können. Gegenmaßnahmen sind nur sehr bedingt möglich. Sofern im Rahmen der regulatorischen Festlegung Szenarien menschlichen Einwirkens zu berücksichtigen sind, sollte dies nicht im Zuge der Sicherheitsanalysen zur Behandlung natürlicher Entwicklungen des Endlagersystems erfolgen, sondern eigenständig behandelt werden.

Die RSK empfiehlt die Erarbeitung von Konzepten zum Wissenserhalt um das Endlager und sein Gefährdungspotenzial. Diese müssen auch Vorkehrungen beinhalten, die dafür sorgen können, dass die Information über das Endlager zur Kenntnis der jeweils am Standort Handelnden gelangt.



### **3.10 Mehrbarrierenkonzept**

#### **Sachstand**

Die langfristige Isolation der Abfälle und die Einhaltung der Schutzziele bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen soll gemäß internationalem Verständnis durch ein gestaffeltes System von technischen, geotechnischen und geologischen Barrieren gewährleistet werden. Die verschiedenen Barrieren tragen in ihrer Gesamtheit zur Isolationswirkung bei.

In Deutschland gab es bislang weder zu der Frage, welche Wirkung die einzelnen Barrieren des Mehrbarrierensystems für die Isolation der Abfälle haben, noch zu den Zeiträumen, in der die verschiedenen Barrieren wirken sollen, Festlegungen. Auch in [BfS (2005)] werden dazu keine konkreten Vorschläge entwickelt. Nach dem in Deutschland vorherrschenden Verständnis soll die geologische Barriere in Verbindung mit dem Schachtverschluss als dazu parallel geschalteter geotechnischer Barriere die langfristige Sicherheit gewährleisten.

International richtet sich der Fokus in letzter Zeit zunehmend auf die Bedeutung von Sicherheitsfunktionen. Statt der bisherigen individuellen Betrachtung einzelner Barrieren rückt daher die Frage ins Zentrum, welchen Beitrag die verschiedenen Komponenten des Endlagersystems leisten können bzw. sollen. Dabei sind konkretisierende Anforderungen an die Bedeutung von technischen, geotechnischen und geologische Barrieren sowie die Festlegung von Zeitmarken, in denen bestimmte Sicherheitsfunktionen erfüllt sein müssen, möglich.

#### **Bewertung**

Die RSK empfiehlt, in Übereinstimmung mit der aktuellen internationalen Diskussion, eine methodische Betrachtung auf der Basis von Sicherheitsfunktionen, die die verschiedenen Bestandteile des Endlagersystems erfüllen sollen. Die Sicherheitsfunktionen und Anforderungen an ihre zeitliche Wirksamkeit sind zu benennen. Das integrale Sicherheitsniveau sollte dabei zu jeder Zeit annähernd gleich sein, unabhängig von der Art und Anzahl der Barrieren.

In diesem Zusammenhang übernimmt aus Sicht der RSK der einschlusswirksame Gebirgsbereich die Sicherheitsfunktion, die Abfälle zu isolieren. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich für ein bestimmtes Endlager kann nur standort- und konzeptspezifisch ermittelt werden.

In Anlehnung an die vom AkEnd vorgeschlagene Definition betrachtet die RSK den einschlusswirksamen Gebirgsbereich als den Teilbereich des geologischen Systems des Endlagers, der bei normaler Entwicklung des Endlagers für den Isolationszeitraum den Einschluss der Abfälle über den geforderten Nachweiszeitraum sicherstellen muss. Der Schachtverschluss als zur geologischen Barriere parallel geschaltete technische Barriere ist in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung. Auch ist eine Definition des Begriffes Einschluss in Verbindung mit der Festlegung eines Betrachtungszeitraums erforderlich.

Der einschlusswirksame Gebirgsbereich wird von weiterem Gestein umgeben, das sowohl eine Barrierenfunktion als auch eine Sicherheitsfunktion (Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereich) besitzt. Ausdehnung und weitere Eigenschaften dieser zusätzlichen geologischen Barriere(n) erlauben auf

Basis der geologischen Gesamtsituation am Standort sowie der zu erwartenden Entwicklung, der möglichen oder der nicht sicher auszuschließenden Szenarien eine Abschätzung über die Zeitdauer und Wirksamkeit dieses Schutzes. Eine derartige Abschätzung ist nur standortbezogen möglich.

In [BfS (2005)] wird gefordert, dass ein Mehrbarrierenkonzept robust sein müsse. Aus Sicht der RSK bedeutet Robustheit eines Endlagersystems, dass die Isolationswirkung unter Berücksichtigung der Gewichtung der verschiedenen zu betrachtenden Entwicklungen weitgehend gewährleistet wird und die Ergebnisse sicherheitsanalytischer Modellrechnungen unempfindlich auf die nicht vermeidbaren Unsicherheiten der Modellparameter reagieren. Zum Aspekt Robustheit sind keine quantitativen Anforderungen sinnvoll. Vielmehr muss vor dem Hintergrund der geologischen Gesamtsituation am Standort für die zu betrachtenden Szenarien nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich wirksam vor einer Beeinträchtigung geschützt ist und seine Sicherheitsfunktion erfüllen kann.

Die RSK empfiehlt, regulatorische Festlegungen zur Definition des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sowie des zu betrachtenden Zeitraumes zu treffen und die Erfüllung der Sicherheitsfunktion Isolation der Abfälle unter Beachtung der Szenariengruppen als wesentliche Aufgabe herauszustellen. Die RSK unterstreicht die Aussage des BfS, dass regulatorische Festlegungen getroffen werden müssen, welchen Stellenwert unter Berücksichtigung der Entwicklungen des Endlagersystems die verschiedenen, zu betrachtenden Szenarien im Nachweiskonzept für die Langzeitsicherheit haben. Die vom BfS vorgeschlagene Rangfolge ist sinnvoll.

Die RSK geht davon aus, dass eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher geologischer Systeme an verschiedenen Standorten bzw. für Endlager in unterschiedlichen Wirtsgesteinen, falls überhaupt, nur mit Hilfe standort- und konzeptspezifischer Sicherheitsanalysen möglich ist. Eine Betrachtung auf Ebene von Geosystemtypen liefert für einen Standort keine Aussagen in Bezug auf die Sicherheitsfunktion Isolation.

### **3.11 Rückholbarkeit**

#### **Sachstand**

Die Frage der Rückholbarkeit der Abfälle aus einem Endlager wird aus verschiedenen Gründen immer wieder diskutiert. Grundsätzlich sind technische Lösungen für eine Rückholbarkeit denkbar.

Konzepte zur Rückholbarkeit können einerseits auf der Offenhaltung des Endlagerbergwerks beruhen. Dies bringt aber einen erhöhten Unterhaltaufwand mit sich, da die verbleibenden Hohlräume (Schacht, Strecken, Einlagerungskammern) sich durch den Einfluss des Gebirgsdrucks verändern können. Wesentlicher Nachteil ist, dass mit den offen gehaltenen Hohlräumen auch Wegsamkeiten für eindringende Flüssigkeiten und Transportwege nach außen gegeben sind.

Andere Konzepte zur Rückholbarkeit basieren darauf, dass bei einem verschlossenen Endlagerbergwerk bergmännisch neue Zugänge zu den Einlagerungsorten aufgeföhren werden. In diesem Fall ist vor allem eine genaue Dokumentierung der Geometrie des verschlossenen Endlagerbergwerkes erforderlich, eventuell verbunden mit besonderen Markierungsmaßnahmen.

## **Bewertung**

Für zukünftige Diskussionen des Themas Rückholbarkeit sollte aus Sicht der RSK schärfer zwischen der Phase bis zum Abschluss der Einlagerung und der Phase nach Beendigung der Einlagerung unterschieden werden, da diese Aspekte immer wieder vermischt werden, gleichzeitig aber der Einfluss der Rückholbarkeit auf Sicherheitsfragen in den beiden Phasen sehr unterschiedlich zu sehen ist.

Für die Einlagerungsphase sollten aus Sicht der RSK im Rahmen der endgültigen Konzeption des Endlagers für hochradioaktive Abfälle Aspekte behandelt werden wie beispielsweise „Zeitpunkt für Teileinschluss fertig beladener Einlagerungsbereiche“, „Monitoring zuerst beladener Einlagerungsbereiche“ und „Rückfluss der Erfahrungen aus dem Monitoring für Konzeption und Betrieb später zu beladender Einlagerungsbezirke“. Konzeptentwicklungen unter Berücksichtigung der o. g. Aspekte sind aus Sicht der RSK erforderlich, da sie die Sicherheit des Endlagers verbessern können und hinsichtlich der Vertrauenswürdigkeit und Belastbarkeit von Voraussagen zum konkreten Endlagersystem eine wichtige Rolle spielen.

Hinsichtlich der Phase nach Beendigung der Einlagerung zeigen die Untersuchungen, die dem Synthesebericht [BfS(2005)] zu Grunde liegen, dass die Rückholbarkeit grundsätzlich technisch machbar ist. Sie muss aber konzeptionell von Anfang an berücksichtigt werden, da sie die Endlagerplanung und vor allem die Endlagerausführung aufwendiger macht. Die RSK teilt die Bewertungen des BfS in Kapitel 4.11 des Syntheseberichtes [BfS (2005)] grundsätzlich. Sie unterstützt auch die Empfehlung des BfS, eine Rückholbarkeitsoption nicht vorzusehen. Die RSK bleibt damit bei ihrer bereits in der RSK-SSK-Stellungnahme aus dem Jahr 2002 [RSK/SSK (2002)] ausgeführten Position.

Aus wissenschaftlich-technischer Sicht sieht die RSK es als notwendig an, frühzeitig eine Festlegung zur Frage der Rückholbarkeit zu treffen, da dies die Auslegung eines Endlagers deutlich beeinflusst.

### **3.12 Safeguards**

#### **Sachstand**

Bereits seit Ende der 80-er Jahre wurde innerhalb der IAEO unter Beteiligung der Mitgliedsstaaten die Frage der Endlagerung von bestrahlten Brennelementen und kernbrennstoffhaltigen Abfällen umfassend diskutiert. In diesem Rahmen wurden Safeguards-Maßnahmen zur effektiven Überwachung der Endlageranlagen betrachtet. Frühzeitig wurde in diesem Zusammenhang seitens der IAEO klar gemacht, dass bestrahlte Brennelemente auch im Endlager der Safeguards-Überwachung unterliegen werden. Konkrete Festlegungen wurden von der IAEO dazu bisher aber nicht getroffen, weil noch keine derartigen Anlagen in das Überwachungsregime einbezogen wurden.

Das im Synthesebericht [BfS(2005)] erwähnte Safeguards-Referenzkonzept für die Endlagerung von bestrahlten Brennelementen in Steinsalz basiert auf den Erkenntnissen obiger Diskussionen und Betrachtungen und sieht für den übertägigen Bereich und für den Schachteingang den Einsatz von instrumentellen Safeguards-Maßnahmen vor. Weiterhin stellt die wiederholte Überprüfung der ‚Grundlegenden Technischen Maßnahmen‘ für die Tagesanlagen und insbesondere für das während des Betriebes sich ändernde Grubengebäude ein wesentliches Element der Überwachung dar. Dieses Safeguards-Konzept wurde der IAEO im Rahmen des deutschen Unterstützungsprogramms bekannt gemacht. Nach

[BfS (2005)] können mit entsprechenden Anpassungen derartige Überwachungsmaßnahmen grundsätzlich auch auf abweichende Endlagerkonzepte, z. B. für andere Wirtsgesteine, übertragen werden.

Anders als im Basisdokument [Remagen et al. (2004)] dargestellt, beginnt die Überwachung nicht mit Vorliegen des Planfeststellungsbeschlusses, sondern gemäß Kommissionsverordnung (EURATOM) 200 Tage vor dem voraussichtlichen Eingang der ersten Kernmateriallieferung mit der Erklärung über die grundlegenden technischen Merkmale (eine Informationspflicht besteht 200 Tage vor Baubeginn).

## **Bewertung**

Nach Meinung der RSK gilt auch im Endlager – unabhängig vom Wirtsgestein – der Grundsatz, dass sich Safeguards-Maßnahmen den betrieblichen und insbesondere den sicherheitstechnischen Notwendigkeiten unterordnen müssen. Dazu dient die Mitteilung der Grundlegenden Technischen Merkmale der Anlage, mit der die Überwachungsorganisationen ihre Kontrollmaßnahmen auf der Basis des sicherheitstechnisch optimierten Anlagendesigns und der geplanten Betriebsabläufe festlegen können, und nicht umgekehrt. Falls die räumlich zusammengefasste Lagerung von Brennelementen und Abfällen sinnvoll ist (z. B. BSK3 mit Glaskokillen oder mit CSD-C zur Vergleichmäßigung der Wärmelast), kann und sollte dies nicht mit formalen Safeguards-Argumenten verhindert werden. Eine Anpassung des Anlagendesigns an Safeguards-Maßnahmen ist nur dann angebracht, wenn Überwachungsziele anders nicht oder nur mit unververtretbar großem Aufwand erreichbar wären. Diese Situation ist aber in einem Endlager nicht gegeben.

In diesem Zusammenhang muss die Aussage im Synthesebericht [BfS(2005)] betont werden, dass durch die im Rahmen des Zusatzprotokolls (INFCIRC/540) sich ergebende erweiterte Informationspflicht und erweiterten Zugangsrechte Überwachungsmaßnahmen möglich wurden, welche die Notwendigkeit der untertägigen Kontrollen nochmals deutlich reduzieren.

Die RSK teilt die Auffassung des BfS zur Anpassbarkeit des in Deutschland vorliegenden Safeguard-Konzeptes für die Endlagerung in Steinsalz auf andere Geosystemtypen.

Selbst bei einer bisher nicht geplanten Rückholbarkeit der bestrahlten Brennelemente und sonstigen radioaktiven Abfälle ist kein Problem aus der Safeguards-Thematik für ein Endlager zu erwarten. Je nach Konzept – Rückholbarkeit während der aktiven Betriebsphase oder nach Verschluss des Endlagers – können die Safeguards-Elemente analog denen bei einem Langzeitzwischenlager bzw. bei einem Endlager ohne Rückholbarkeit ausgestaltet werden.

In folgendem Punkt nimmt die RSK eine abweichende Position als im Basisdokument [Remagen et al. (2004)] formuliert ein:

Die vorgeschlagene getrennte Lagerung von Spaltmaterial und nichtspaltbarem Material ist nicht zielführend, da unter Safeguards-Aspekten der Überwachungsaufwand nur davon abhängig ist, ob das Material als überwachungspflichtig oder nicht überwachungspflichtig einzustufen ist. Es ist allgemeines Verständnis, dass bestrahlte Brennelemente überwachungspflichtig bleiben. Spaltmaterialhaltige Abfälle<sup>3)</sup> hingegen unterliegen, wenn überhaupt, nur der Aufzeichnungspflicht (keine Materialbilanzierung!), konkrete

---

<sup>3)</sup> Abfälle bleiben in der Regel dann überwachungspflichtig, wenn sie aus Prozessen stammen, bei denen Spaltmaterial verarbeitet wird (z. B. Wiederaufarbeitung, MOX-Herstellung, Brennelementfertigung). Nicht überwachungspflichtig sind z. B. KKW-Betriebsabfälle.

technische Überwachungsmaßnahmen sind nicht Praxis. Wenn, wie im Referenzkonzept vorgesehen, keine untertägigen technischen Maßnahmen stattfinden (von einer Verifikation der Mitteilung der Grundlegenden Technischen Merkmale der Anlage gemäß Verifikationsabkommen abgesehen), gibt es keinen Grund eine räumliche Trennung der Endlagerung vorzunehmen.

Ergänzend ist anzumerken, dass das Endlager Konrad nicht überwachungspflichtig sein wird im Sinne der Anwendung von technischen Safeguards-Maßnahmen sowie regelmäßigen Safeguards-Meldungen und -Kontrollen. Für die Endlagerung von spaltmaterialhaltigen Abfällen gilt auch hier allenfalls die bereits erwähnte betriebliche Aufzeichnungspflicht.

Entsprechend den Endlagerungsbedingungen für das Endlager Konrad ist nur die Annahme von endlagergerecht konditionierten Abfällen zulässig. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass derartig konditionierte Abfälle bereits in der Versenderanlage in den Status „Konditionierter Abfall“ gemäß KommVO Nr. 302/2005 überführt und damit aus der Bilanzierung genommen wurden. Dies betrifft nur spaltmaterialhaltige Abfälle und ist mit einem entsprechenden Formblatt zu melden.

Aus Sicht der RSK besteht zur Safeguards-Thematik weder regulatorischer noch F+E-Bedarf.

## **4 Bewertung der Zusammenfassenden Schlussfolgerungen im Synthesebericht des BfS**

### **4.1 Aufarbeitung im Synthesebericht**

Die Frage 1 aus dem BMU-Beratungsauftrag lautet:

*„Sind die wesentlichen Diskussionen sowie die vorgestellten Reviews aus dem BfS-Workshop am 28./29.09.2005 im Synthesebericht wissenschaftlich objektiv aufgearbeitet worden? Wenn nein, welche wichtigen Punkte fehlen?“*

#### **Bewertung der RSK**

Die wesentlichen Diskussionen sowie die Inhalte der vorgestellten Reviews aus dem BfS-Workshop am 28./29.09.2005 sind im Synthesebericht (Kapitel 3 und Anhang) dargestellt und in den auswertenden Teil des Syntheseberichtes (Kapitel 4) eingeflossen. Aus Sicht der RSK werden die aus der schriftlichen Darstellung des Syntheseberichtes erkennbaren Argumente und Diskussionsstränge in einer wissenschaftlich adäquaten Form aufgegriffen. Die Diskussion und die Bewertung des BfS zu den Einzelfragen wurden im Kapitel 3 dieser Stellungnahme von der RSK bewertet. Soweit die RSK zu einer anderen Auffassung als der Synthesebericht kommt, ist dies dort dargelegt. Diese Unterschiede sind Ausdruck der wissenschaftlichen Meinungsvielfalt und bedeuten nicht, dass das BfS im Synthesebericht von den Anforderungen an wissenschaftliche Berichte abgewichen wäre.

Soweit die Frage des BMU auf mündliche Darstellungen und Diskussionsbeiträge auf dem Workshop abzielt, ist darauf hinzuweisen, dass nur ein Teil der Mitglieder des Ausschusses VER- UND ENTSORGUNG der RSK eine Einladung zum Workshop erhalten hat. Soweit kann dieser Teil der Frage nicht beantwortet werden. Der RSK sind allerdings explizit keine relevanten Argumente, die auf dem Workshop vorgetragen worden sind, bekannt, die nicht in den Synthesebericht eingeflossen sind.

Die Frage 2 aus dem BMU-Beratungsauftrag lautet:

*„Wurde die Kritik an den Studien ‚Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum‘ sowie ‚Mehrbarrierenkonzept‘ ausreichend berücksichtigt?“*

### **Bewertung der RSK**

Die RSK hat sich mit der Darstellung und Diskussion zu den beiden Studien „Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum“ sowie „Mehrbarrierenkonzept“ in den Kapitel 3.3 und 3.10 dieser Stellungnahme eingehend auseinandergesetzt. Aus Sicht der RSK wurde die Diskussion auf dem Workshop ausreichend berücksichtigt und bedarf keiner Vertiefung über die in dieser Stellungnahme getätigten Empfehlungen hinaus. Hinsichtlich der Informationsbasis zu dieser Aussage wird auf die Antwort zu Frage 1 verwiesen.

### **4.2 Notwendigkeit eines Standortvergleichs**

Die Frage 3 aus dem BMU-Beratungsauftrag lautet:

*Sind die folgenden Ergebnisse des Syntheseberichts wissenschaftlich ausreichend belegt und fachlich nachvollziehbar abgeleitet?*

- *„Danach gibt es kein Wirtsgestein, das grundsätzlich immer eine größte Endlagersicherheit gewährleistet. Für alle in Deutschland relevanten Wirtsgesteine können angepasste Endlagerkonzepte entwickelt werden.“*
- *„Ein Vergleich verschiedener Optionen ist nur im Vergleich konkreter Standorte und Endlagerkonzepte möglich. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Standortvergleichs.“*

In den Kernaussagen stellt das BfS u. a. fest, dass „Keine eindeutigen Vorteile eines Wirtsgesteins aufgrund generischer Betrachtungen“ gefunden werden konnten und „Vorteile von Wirtsgesteinen (...) nur im Vergleich von Standorten zu ermitteln“ sind. Es wird weiter gefolgert, dass die Möglichkeiten und Grenzen eines generischen - d. h. abstrakten - Vergleichs von Wirtsgesteinen aufgezeigt wurden und die Aufstellung einer Rangfolge von Wirtsgesteinen auf generischer Basis nicht sinnvoll ist. Ein Vergleich von Wirtsgesteinen kann nach BfS nur „standortspezifisch erfolgen und ist damit erforderlich“.

### **Bewertung der RSK**

Die RSK ist der Auffassung, dass die sicherheitstechnischen Einzelfragen weitgehend auf generischer Basis beantwortet werden können und im Wesentlichen auch beantwortet wurden. Im Einzelfall erfolgte die Beantwortung nach Wirtsgesteinen differenziert, wie z. B. bei der Bearbeitung der Rückholbarkeit.

Die RSK ist jedoch der Auffassung, dass die Auswahl der konzeptionellen und sicherheitstechnischen Einzelfragen einerseits und ihre Beantwortung auf generischer Basis andererseits einen alle bewertungsrelevanten Aspekte umfassenden Vergleich mit dem Ziel der Erarbeitung einer Präferenz oder einer Rangfolge für Wirtsgesteine nicht erlauben; denn Fragen zu dafür wesentlichen Aspekten, wie etwa

zum Einfluss der Wärmeentwicklung auf das Wirtsgestein, zum Wirtsgesteinsvolumen oder zu Anforderungen an das Endlagerkonzept, sind vom BMU in diesem Zusammenhang nicht aufgeworfen worden.

Bei der Beantwortung einiger Einzelfragen kommen durchaus Eigenschaften von Wirtsgesteinen bzw. Merkmale von Geosystemtypen bzw. Wirtsgesteinen zum Tragen, die sich auf die Sicherheit eines Endlagers mehr oder weniger günstig oder ungünstig auswirken. Einer umfassenden vergleichenden Bewertung von Geosystemtypen bzw. Wirtsgesteinen auf der Basis ihrer charakteristischen Eigenschaften mit dem Ziel einer Abwägung oder Rangfolge steht jedoch entgegen, dass alle Geosystemtypen bzw. Wirtsgesteine durch erhebliche Bandbreiten wichtiger sicherheitsbezogener Eigenschaften gekennzeichnet sind. Außerdem ist das Ergebnis von der Schwerpunktsetzung des Vergleichs abhängig.

Grundsätzlich ist der Aussage des BfS im Synthesebericht zuzustimmen, dass kein Wirtsgesteinstyp immer eine größte Endlagersicherheit gewährleistet und jeweils angepasste Endlagerkonzepte entwickelt werden können. Unter der Prämisse, dass in einem Endlager der einschlusswirksame Gebirgsbereich die Hauptlast der Isolation über den Nachweiszeitraum von etwa einer Million Jahren tragen muss, sind allerdings durchaus Geosystemtypen (Wirtsgesteintypen) mit eindeutigen Vorteilen gegenüber anderen benennbar; denn für die Endlagerung radioaktiver Abfälle kommen insbesondere diejenigen Geosystemtypen bzw. Wirtsgesteine in Frage, die die geforderte Isolation auf Grund ihrer charakteristischen Eigenschaften mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleisten können (Steinsalz, Tonstein), während andere Gesteinstypen in dieser Hinsicht Nachteile aufweisen (z. B. kristalline Gesteine, insbesondere Granit).

Die RSK teilt die Einschätzung des BfS, dass die überwiegende Anzahl der Bewertungsgrößen der Wirtsgesteine standortspezifisch erhoben werden muss. Sie ist der Auffassung, dass mit den standortspezifischen Befunden zwar eine Abwägung von Standorten angegangen, eine definitive Rangfolge für Geosystemtypen bzw. Wirtsgesteine im Sinne von besser oder schlechter aber nicht abgeleitet werden kann. Dazu fehlen die methodischen Voraussetzungen.

Die auf generischer Ebene feststellbaren Unterschiede zwischen den Gesteinstypen erlauben es aber, die insgesamt zu betrachtende Palette möglicher Wirtsgesteinstypen einzuengen: In Deutschland wird das Schwergewicht der Langzeitsicherheit auf die geologische (und die zur Wiederherstellung ihrer Wirksamkeit erforderlichen geotechnische) Barriere gelegt. Dies ist damit begründet, dass eine geologische Barriere in der langen Sicht des erforderlichen Nachweiszeitraums von einer Million Jahre als zuverlässiger anzusehen ist als technische Barrieren und dass die Entwicklung ihrer Eigenschaften bei einer guten Kenntnis des konkreten Standortes zuverlässiger vorhersagbar ist als für eine technische Barriere. Allerdings ist bei Granit (und vergleichbaren anderen kristallinen Gesteinstypen) wegen des Auftretens wassergängiger Klüfte die Wahrscheinlichkeit, einen ausreichend großen Gebirgsbereich mit dem für die Isolation der Abfälle erforderlichen Barriereigenschaften ausweisen zu können, deutlich geringer als bei den anderen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle ins Auge gefassten Wirtsgesteinstypen, insbesondere Steinsalz und Tonstein. Daher liegt das Schwergewicht hinsichtlich der Langzeitsicherheit bei Granit auf dem Funktionieren der technischen Barrieren (Abfallgebinde und direkt darum herum eingebrachte künstliche abdichtende Materialien). Für Deutschland ist aber von dem Vorhandensein einer ausreichenden Anzahl von Standorten mit den Wirtsgesteinen Steinsalz bzw. Tonstein, an denen die gesuchte günstige geologische Gesamtsituation gegeben ist, auszugehen. Aus Sicht der RSK kann daher auf eine Prüfung von potenziellen Endlagerstandorten in Granit in Deutschland verzichtet werden.

### 4.3 F+E-Bedarf

Die Frage 4 des BMU-Beratungsauftrags lautet:

*Das BfS kommt hinsichtlich des F+E-Bedarfs zu folgendem Ergebnis: „Von wenigen Ausnahmen abgesehen, ergibt sich aus generischen Fragestellungen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle kein grundsätzlicher Forschungsbedarf mehr. Die noch denkbaren Wissenslücken müssen endlagerspezifisch beantwortet werden.“ Teilt die RSK diese Einschätzung des F+E-Bedarfs? Zu welchen Fragestellungen sieht die RSK ggf. noch generischen Forschungsbedarf?*

#### **Bewertung der RSK**

Die RSK teilt die Einschätzung des BfS in [BfS (2005)], wonach in Bezug auf einen Vergleich von Wirtsgesteinen oder Geosystemtypen kein Bedarf an weiteren generischen Untersuchungen besteht, da sie keine entscheidungsrelevanten Erkenntnisse zur Klärung von Standortfragen beisteuern können. Nach Meinung der RSK sind jedoch einige Schlussfolgerungen bezüglich des Forschungs- und Entwicklungsbedarfs in [BfS (2005)] zu wenig differenziert. Insbesondere der Aussage, dass „von wenigen Ausnahmen abgesehen, (...) sich aus generischen Fragestellungen zur Endlagerung kein grundsätzlicher Forschungsbedarf mehr (ergibt)“, stimmt die RSK nicht zu.

Die Aussage, dass „die noch erkennbaren Wissenslücken und ihre Relevanz für die Sicherheit des Endlagers (...) nur mit standort- und anlagenspezifischen Sicherheitsanalysen ermittelt werden (können)“, trägt den internationalen Entwicklungen sowie den zu Grunde liegenden Problemen zu wenig Rechnung. Aus Sicht der RSK muss sich der Bedarf an wissenschaftlichen Forschungs- und technischen Entwicklungsarbeiten (F+E-Arbeiten) aus den Anforderungen an den Langzeitsicherheitsnachweis (Safety Case) ableiten, zu dem Langzeitsicherheitsanalysen zwar einen wichtigen, aber doch nur einen Teilbeitrag liefern. Unsicherheiten, die naturgemäß in jedem Langzeitsicherheitsnachweis enthalten sind, können durch weitergehende Forschungsarbeiten – auch generischer Natur – deutlich verringert werden. Hierzu zählen insbesondere Forschungsarbeiten zum grundlegenden mechanistischen Verständnis der in einem Endlager ablaufenden Prozesse, insbesondere der Prozesse, die zu einer Mobilisierung bzw. Freisetzung von Radionukliden führen können. Im Resultat solcher Forschungsarbeiten ist in der Regel keine grundsätzlich andere Aussage zur Eignung einer Endlagerformation oder eines Endlagerstandortes zu erwarten. Die Qualität der Aussage bzw. deren Sicherheit wird jedoch deutlich erhöht.

Darüber hinaus tragen F+E-Arbeiten in allen Phasen des Endlagerprozesses (ausgehend von der Standortfestlegung für ein Endlager, dem Eignungsnachweis, der Errichtung des Endlagers bis zu dessen Verschluss) zu einer permanenten Erhöhung der Sicherheit bei.

Daher und weil grundsätzlich nicht erwartet werden kann, dass sämtliche Fragestellungen im Vorfeld bekannt sind und geklärt werden können, werden F+E-Arbeiten aus Sicht der RSK auch weiterhin und längerfristig in einem bestimmten Maße erforderlich sein. Dabei sind manche F+E-Arbeiten überhaupt nur standort- und konzeptbezogen durchführbar. Andererseits gibt es eine Reihe von Fragestellungen, die zwar standort- und konzeptspezifisch von großer Bedeutung sind, aber möglicherweise auch auf generischer Ebene geklärt werden können.

Zu einigen Themenkomplexen gibt es aus heutiger Sicht Bedarf an weiteren generischen Untersuchungen, der im Einzelnen im Kapitel 3 beschrieben ist. Aus Sicht der RSK besteht aber keine Notwendigkeit für die



Durchführung dieser F+E-Arbeiten vor einer Entscheidung über die weiteren Schritte zur Endlagerung, da nach Einschätzung der RSK nicht zu erwarten ist, dass die Ergebnisse dieser Untersuchungen die prinzipielle Eignung des Wirtsgesteins Steinsalz oder anderer potenzieller Wirtsgesteine in Frage stellen könnten.

Wegen der langen Zeitspanne bis zum Verschluss des Endlagers und der besonderen Thematik sind gezielte Anstrengungen notwendig, um die benötigte wissenschaftliche Infrastruktur verfügbar zu halten bzw. ggf. verfügbar zu machen sowie qualifiziertes Personal auszubilden. Die RSK empfiehlt, dies bei der Planung der staatlichen Forschungsausgaben angemessen zu berücksichtigen.

#### **4.4 Regelungsbedarf**

In seiner Kernaussage zum Regelungsbedarf stellt das BfS [BfS 2005] Regelungs- bzw. Entscheidungsbedarf hinsichtlich folgender Themen fest: Stellenwert der einzelnen Barrieren im Mehrbarrierenkonzept, Nachweiszeitraum, Schutzziele für Mensch und Umwelt bei Freisetzung von chemotoxischen und radioaktiven Stoffen, Bewertung probabilistischer Sicherheitsanalysen, Stellenwert von Szenariengruppen für zu erwartende und außergewöhnliche Ereignisse, Beurteilung unbeabsichtigter menschlicher Einwirkungen sowie Rückholbarkeit.

#### **Bewertung der RSK**

Die RSK teilt die Auffassung des BfS, dass zur Erarbeitung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes durch politische und fachliche Festlegungen zu schaffende Rahmenbedingungen erforderlich sind.

Für das Konzept zum Nachweis der Langzeitsicherheit eines Endlagers sind insbesondere die Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle von Bedeutung; denn darin werden die Anforderungen festgelegt, deren Einhaltung beim Nachweis der Langzeitsicherheit zu belegen ist. Darüber hinaus werden in ihnen der Nachweiszeitraum und die Behandlung menschlicher Einwirkungen festgelegt.

Mit Blick auf die zügige Bearbeitung der Endlagerung sowie von Endlagerkonzepten sind nach Meinung der RSK in Übereinstimmung mit dem BfS aber weitere Vorgaben und Regelungen erforderlich. Sie betreffen einzelne Aspekte der in Kapitel 3 behandelten Themenbereiche Naturbeobachtungen, Isolationspotenzial und Nachweiszeitraum, chemotoxische Stoffe, Kritikalität, Menschliche Einwirkungen, Mehrbarrierenkonzept und Rückholbarkeit. Besonders dringlich sind aus Sicht der RSK Regelungen in solchen Bereichen, die den Standortfestlegungsprozess, die Auslegung des Endlagers oder den Sicherheitsnachweis eines Endlagers beeinflussen können oder bei denen sich das Fehlen klarer Vorgaben nachteilig auf die Langzeitsicherheit oder die Genehmigungsfähigkeit eines Endlagers auswirken kann. Diese Gründe machen Festlegungen insbesondere erforderlich für

- das Vorgehen bei der Beurteilung möglicher Freisetzung von chemotoxischen Stoffen aus einem Endlager unter Beachtung wasserrechtlicher Normen,
- die Behandlung unbeabsichtigter menschlicher Einwirkungen auf ein Endlager im Rahmen des Nachweises der Langzeitsicherheit,

- die Entscheidung ob und wenn ja in welcher Form die Rückholbarkeit von Abfällen zu berücksichtigen ist.

#### **4.5 Zusammenfassende Bewertung**

Insgesamt werden zu den 12 Fragestellungen im Synthesebericht [BfS(2005)] die Ergebnisse der Berichte, der Reviews und des Workshops am 28./29.09.2005 umfassend dargestellt. Die Ankündigung des BfS im Einleitungskapitel des Syntheseberichtes, dass „eine Bewertung des Sachstandes wirtsgesteinsübergreifend vorgenommen und verbliebene offene Fragen identifiziert“ werden, wird mit dem Synthesebericht grundsätzlich erfüllt. Aus Sicht der RSK wären in einigen Fällen zusätzliche oder differenziertere Schlussfolgerungen wünschenswert gewesen. Dies wurde in den betreffenden Fällen in Kapitel 3 dieser Stellungnahme ausgeführt.

Ungeachtet der Anmerkungen in den genannten Fällen ist die RSK der Auffassung, dass die im Synthesebericht zusammengefassten Untersuchungsergebnisse und Diskussionen zu den 12 Fragestellungen zeigen, dass keine Fragen in einer Weise offen geblieben sind, die eine weitere wissenschaftliche Klärung vor der Weiterführung der Arbeiten zur Realisierung der Endlagerung für radioaktive Abfälle erforderlich machen würde.

Aus Sicht der RSK kann bestätigt werden, dass eine Weiterführung eines generischen Vergleiches von Wirtsgesteinen keine für eine Standortentscheidung nutzbaren Ergebnisse mehr bringt. Vielmehr kann die Entscheidung für einen Endlagerstandort hinsichtlich der geologischen und sicherheitsbezogenen Fragestellungen nur unter Einbeziehung und Beurteilung konkreter Standortdaten und -sachverhalte gefällt werden. Eine belastbare sicherheitsbezogene Bewertung eines Standorts ist nur nach einer abgeschlossenen Standorterkundung auf der Grundlage einer standort- und konzeptspezifischen Sicherheitsanalyse möglich.

Zu der Erforderlichkeit eines Standortauswahlverfahrens nimmt die RSK nicht Stellung.

## Literatur

- BfS (2005) Bundesamt für Strahlenschutz  
Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich – Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz  
Salzgitter 04.11.2005
- RSK (2001) RSK-Stellungnahme: Schwerpunkte zukünftiger F+E-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle (343. RSK-Sitzung am 13.09.2001, Anlage 2)
- RSK (2002) RSK-Stellungnahme zu aktuellen Fragen zur Endlagerung im Salzgestein (349. RSK-Sitzung am 07.03.2002, Anlage 2)
- RSK (2005) RSK-Stellungnahme: Gase im Endlager (379. RSK-Sitzung am 27.01.2005, Anlage 3)
- RSK/SSK(2002) Gemeinsame Stellungnahme der RSK und der SSK betreffend BMU-Fragen zur Fortschreibung der Endlager-Sicherheitskriterien. 05/06.12.2002
- AkEnd (2002) Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte  
Empfehlungen des AkEnd-Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), Abschlussbericht, Langfassung, Dezember 2002
- Buchheim et al.(2005) Buchheim, Fellenberg & Rohr  
Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes, Buchheim Engineering, Bericht vom 28.06.2005, Fällanden
- Gmal et al. (2004) Gmal, Hesse, Hummelsheim, Kilger, Krzykacz-Hausmann, Moser  
Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase eines Endlagers für ausgediente Kernbrennstoffe in unterschiedlichen Wirtsgesteinsformationen, GRS-A-3240, GRS Dezember 2004
- Grundfelt & Smellie (2004) Grundfelt, Smellie  
Prozessorientierte Auswertung von natürlichen und anthropogenen Analoga und ihre Bewertung als vertrauensbildendes Element bei Sicherheitsbewertungen für Analoga zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, Kemakta Konsult AB, Bericht Kemakta AR 2004-16, Stockholm
- Remagen et al.(2004) Remagen, Richter, Kranz, Stier-Friedland  
Internationale Kernmaterialüberwachung („Safeguards“) bei der direkten Endlagerung in relevanten geologischen Formationen in Deutschland (2004)

**Anmerkung zur Verabschiedung der RSK-Stellungnahme zum Synthesebericht des BfS  
„Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle –  
Wirtsgesteine im Vergleich“ auf der 395. RSK-Sitzung am 13.09.2006**

*Betr.: Aussage im Kap. 3.11 (Rückholbarkeit) der o. a. RSK-Stellungnahme zum BfS-Synthesebericht :*

„Die RSK teilt die Bewertungen des BfS in Kapitel 4.11 des Syntheseberichtes [BfS (2005)] grundsätzlich. Sie unterstützt auch die Empfehlung des BfS, eine Rückholbarkeitsoption nicht vorzusehen. Die RSK bleibt damit bei ihrer bereits in der RSK-SSK-Stellungnahme aus dem Jahr 2002 [RSK/SSK (2002)] ausgeführten Position“.

Die Bewertung zur Rückholbarkeit tragen die Herren Dr. Lauer und Prof. Weiß nicht mit. Zudem waren sie 2002 nicht Mitglieder der RSK und infolgedessen auch nicht an der Verabschiedung der zitierten RSK-SSK-Stellungnahme von 2002 beteiligt.

Ansonsten haben sie der o. a. RSK-Stellungnahme zugestimmt.