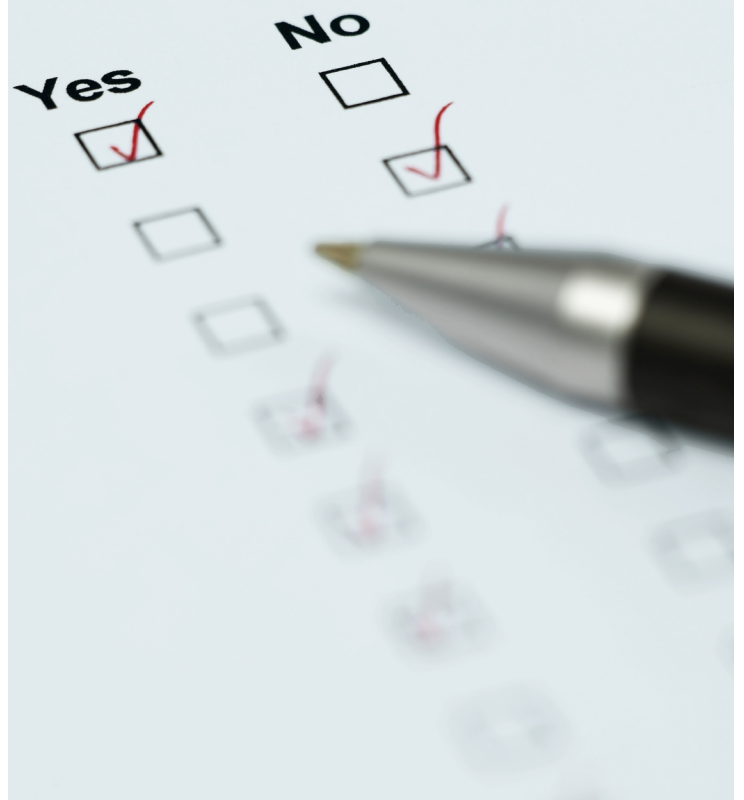


Stellungnahme zum

Entsorgungsprogramm der NAGRA





# STELLUNGNAHME ZUM ENTSORGUNGSPROGRAMM DER NAGRA

sowie zu den behördlichen Stellungnahmen im  
Rahmen der vom BFE durchgeführten  
dreimonatigen Anhörung

Helmut Hirsch

Erstellt im Auftrag des  
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,  
Umwelt und Wasserwirtschaft,  
Abteilung V/6 „Nuklearkoordination“  
GZ BMLFUW-UW.1.1.2/0022-V/6/2008



**Projektleitung**

Franz Meister, Umweltbundesamt

**Autor**

Helmut Hirsch, cervus nuclear consulting

**Lektorat**

Deweis Maria, Umweltbundesamt

**Satz/Layout**

Elisabeth Riss, Umweltbundesamt

**Umschlagfoto**

© iStockphoto.com/imagestock

Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,  
Abteilung V/6 „Nuklearkoordination“

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

*Eigenvervielfältigung, gedruckt auf CO<sub>2</sub>-neutralem 100 % Recyclingpapier*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012  
Alle Rechte vorbehalten

# INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	4
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	7
<b>2 KONZEPT DES TIEFENLAGERS</b> .....	9
<b>2.1 Umsetzung des EKRA-Konzepts</b> .....	9
2.1.1 Aussagen der Nagra .....	9
2.1.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS .....	10
2.1.3 Bewertung und Schlussfolgerungen .....	11
<b>2.2 Lagerkonzept der Nagra und Wirtgestein Opalinuston</b> .....	14
2.2.1 Aussagen der Nagra .....	14
2.2.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS .....	14
2.2.3 Bewertung und Schlussfolgerungen .....	14
<b>2.3 Erschließung der Tiefenlager (Schacht/Rampe)</b> .....	15
2.3.1 Aussagen der Nagra .....	15
2.3.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS .....	17
2.3.3 Bewertung und Schlussfolgerungen .....	17
<b>3 ZEITABLÄUFE UND OBERIRDISCHE ZWISCHENLAGERUNG</b> .....	20
<b>3.1 Zeitabläufe bis zur Inbetriebnahme eines Tiefenlagers</b> .....	20
3.1.1 Aussagen der Nagra .....	20
3.1.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS .....	20
3.1.3 Bewertung und Schlussfolgerungen .....	21
<b>3.2 Mögliche Konsequenzen der Abläufe für die Zwischenlagerung</b> ....	22
3.2.1 Aussagen der Nagra .....	22
3.2.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS .....	22
3.2.3 Bewertung und Schlussfolgerungen .....	23
<b>4 LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	26

## ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die vom Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) vom 15. Juni bis zum 28. September 2012 öffentlich zur Anhörung ausgelegten Unterlagen: Das Entsorgungsprogramm der Nagra, Stellungnahmen dazu und andere einschlägige Unterlagen.

Behandelt werden jene Aspekte, die aus österreichischer Sicht von besonderem Interesse sind. Dabei handelt es sich zum einen um das Konzept des Tiefenlagers – insbesondere das Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers der Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA). Des Weiteren wird die Frage der Zeitabläufe und möglicher Verzögerungen bis zur Inbetriebnahme der Tiefenlager betrachtet sowie deren Konsequenzen für oberirdische Zwischenlagerung und Konditionierung.

### Lagerkonzept

Wichtige Elemente des EKRA-Konzeptes der kontrollierten geologischen Langzeitlagerung werden bisher nicht vollständig oder angemessen berücksichtigt. Dies betrifft insb. die Trennung von Pilot- und Hauptlager und den selbsttätigen Verschluss von Schlüsselzonen sowie die Beobachtungsphase.

Diese Elemente sollten bei der weiteren Konzeptentwicklung vertieft betrachtet werden. Eine Modifikation bzw. ein Abgehen davon sollte nur nach detaillierten Untersuchungen und Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile erfolgen.

Die Berücksichtigung des EKRA-Konzeptes bei der Erarbeitung des Lagerkonzeptes für die Tiefenlager erfolgt zurzeit offenbar ohne hohe Priorität und mit einem gestreckten Zeitplan. Dieses Vorgehen birgt die Gefahr, dass wesentliche Grundzüge des EKRA-Konzeptes nur in minimaler bzw. nicht vollständiger Form umgesetzt werden. Zu befürchten ist weiterhin, dass die erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu spät in Gang gesetzt werden und sich weitere Zeitverzögerungen bei der Realisierung der Tiefenlager ergeben. Die Konzeptentwicklung und die daraus abzuleitenden F&E-Programme sollten frühzeitig und mit hoher Priorität durchgeführt werden. Dies betrifft Fragen des Monitoring, der Rückholung, der Ausgestaltung des Pilotlagers und anderes. Eine Betrachtung und Abwägung verschiedener Varianten des Lagerkonzeptes, die dem EKRA-Konzept genügen, wäre erforderlich.

Die Frage nach den Entscheidungsprozessen im Zusammenhang mit der Beendigung der Beobachtungsphase sollte frühzeitig in angemessener Form erörtert werden. Dabei ist insbesondere die Beteiligung der Öffentlichkeit zu beachten.

Das Lagerkonzept der Nagra wurde bisher erst in ziemlich allgemeiner Form an das Wirtgestein Opalinuston angepasst. Eine detaillierte Weiterentwicklung sollte – für verschiedene Varianten – frühzeitig erfolgen; sie ist die Voraussetzung für die Detailentwicklung jener Elemente, die für eine Umsetzung des EKRA-Konzeptes wesentlich sind.

Die Zugangsbauwerke sind für die Sicherheit eines Tiefenlagers von besonderer Bedeutung. Die Bewertung der Varianten Schacht und Rampe sollte sich primär an sicherheitstechnischen Kriterien orientieren. Ein alle sicherheitstech-

nischen Aspekte umfassender Vergleich über sämtliche Betriebsphasen ist erforderlich. Etwaige Unterschiede bei den Ungewissheiten und Schwierigkeiten bei der Vorhersage der jeweiligen Verschlussqualität sind in die Bewertung einzubeziehen. Die Unsicherheiten hinsichtlich der Wirksamkeit von Verschlüssen sollten zunehmend durch experimentelle Nachweise überprüft werden.

Bei der Analyse von Rechenfällen sollte ein breites Spektrum von Varianten herangezogen werden. Insbesondere bei jenen Fällen, die dem Vergleich der Auswirkungen von Schacht und Rampe dienen, sollten alle relevanten Parameter variiert werden.

Die definitive Entscheidung, ob neben Schächten auch Rampen verwendet werden, sollte erst dann gefällt werden, wenn es im Hinblick auf die Verschlüsse keine offenen Fragen mehr gibt.

## **Zeitabläufe und Zwischenlagerung**

Es ist wahrscheinlich, dass sich der Betriebsbeginn für das Tiefenlager für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle erheblich über das späteste offizielle Zieldatum (2050) hinaus verschieben wird; möglicherweise um mehrere Jahrzehnte.

Varianten der Realisierungspläne für die Tiefenlager, die von Verzögerungen um bis zu mehrere Jahrzehnte gegenüber dem jetzigen Zeitplan ausgehen, sollten erstellt werden. Für diese Varianten sollte eine umfassende Analyse der Auswirkungen auf andere Bereiche (Zwischenlagerung, Konditionierung usw.) und deren Konsequenzen durchgeführt werden.

Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Tiefenlager führen zur Verlängerung der oberirdischen Zwischenlagerung, insb. auch bei abgebrannten Brennelementen. Die Gefahr von Unfällen mit radioaktiven Freisetzungen besteht damit für einen längeren Zeitraum.

Des Weiteren könnten Hüllrohrschäden in größerer Zahl auftreten. Dadurch werden die Abläufe bei der Umladung der Brennelemente von Transport- in Tiefenlagerbehälter komplizierter und störanfälliger. Die übertägigen Anlagen des Tiefenlagers werden damit komplexer. Ein größeres Pufferlager könnte erforderlich werden. Das Störfallrisiko erhöht sich tendenziell.

Ein potenzielles Problem stellt auch die Alterung der Transport- und Lagerbehälter dar. Umladungen an den Standorten der Zwischenlager könnten in größerer Zahl erforderlich werden. Bis zur Inbetriebnahme des Tiefenlagers werden Zwischenlagerzeiten erreicht werden, die ein Mehrfaches der bisherigen Zeiten betragen.

Die möglichen Gefahren und Probleme einer längeren Zwischenlagerung sollten untersucht werden. Dies betrifft insbesondere auch die Frage, inwieweit Änderungen des Kontrollsystems erforderlich werden, sowie die Konsequenzen einer längeren Zwischenlagerung für Transport und Konditionierung abgebrannter Brennelemente. Dabei wären verschiedene Szenarien mit Verzögerungen bei der Inbetriebnahme des Tiefenlagers zu betrachten. Etwaig erforderliche risikomindernde Maßnahmen sollten frühzeitig identifiziert werden.





# 1 EINLEITUNG

Das Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) legt vom 15. Juni bis zum 28. September 2012 folgende Unterlagen öffentlich zur Anhörung aus:

- Entsorgungsprogramm der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) (NAGRA 2008a),
- Stellungnahme des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates (ENSI) und des BFE zum Entsorgungsprogramm (ENSI 2011),
- Stellungnahme der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit zum Entsorgungsprogramm mit Beilage (KNS 2011a, b),
- Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis der Nagra (NAGRA 2008b),
- Bericht zum Umgang mit Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis der Nagra (NAGRA 2008b),
- Stellungnahme des ENSI zu dem Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen der Nagra (ENSI 2012),
- Stellungnahme der KNS zu dem Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen der Nagra (KNS 2012),
- Erläuterungsbericht des BFE (BFE 2012).

Im Entsorgungsprogramm dokumentieren die Entsorgungspflichtigen das grundsätzliche Vorgehen zur Realisierung geologischer Tiefenlager bis zum Verschluss der Lager. Das Entsorgungsprogramm ist getrennt von der laufenden Standortsuche gemäß dem Sachplan geologische Tiefenlager und nimmt deren Entscheidungen nicht vorweg, ebenso wenig wie die Entscheidungen in den späteren Bewilligungsverfahren.

Im Rahmen der Beurteilung des Projekts „Opalinuston für den Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle“ haben die Behörden viele Hinweise und Empfehlungen für das weitere Vorgehen gegeben. In dem Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen legt die Nagra dar, in welcher Form sie diese aufgegriffen und weiter behandelt hat.

Der Verfasser wurde vom österreichischen Umweltbundesamt, Wien, beauftragt, im Rahmen dieser Anhörung eine Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm der Nagra und den anderen ausgelegten Unterlagen zu verfassen.

Die Stellungnahme konzentriert sich auf jene Aspekte, die aus österreichischer Sicht von besonderem Interesse sind. Dabei handelt es sich zum einen um das Konzept des Tiefenlagers – insbesondere das Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers der Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA) – und andere konzeptuelle Fragen, die in diesem Zusammenhang relevant sind.

Des Weiteren wird die Frage der Zeitabläufe und möglicher Verzögerungen bis zur Inbetriebnahme der Tiefenlager sowie deren Konsequenzen für oberirdische Zwischenlagerung und Konditionierung betrachtet. Auf potenzielle Probleme und Gefahren, die sich ergeben können, wird hingewiesen.

Ebenfalls aus österreichischer Sicht von Interesse ist die Möglichkeit einer direkten Betroffenheit von österreichischem Staatsgebiet durch Freisetzungen aus einem Tiefenlager in der Nachverschlussphase. Der geeignete Rahmen zur

Behandlung dieses Themas ist jedoch das Sachplanverfahren im Verlaufe von Etappe 2, entsprechend dem Fortschritt der Datensammlung und -auswertung für die Standortgebiete sowie der provisorischen Sicherheitsanalysen.

## 2 KONZEPT DES TIEFENLAGERS

### 2.1 Umsetzung des EKRA-Konzepts

#### 2.1.1 Aussagen der Nagra

Die Nagra betont im Entsorgungsprogramm, dass ihr Lager auf dem Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers gemäß EKRA basiert. Dementsprechend besteht es aus Hauptlager und Pilotlager sowie Testbereichen. Wichtiger Bestandteil des EKRA-Konzeptes ist die Rückholbarkeit ohne großen Aufwand bis zum vollständigen Verschluss des Lagers. Dies soll durch entsprechende Auslegung der Sicherheitsbarrieren gewährleistet werden (NAGRA 2008a, S. 24f u. 35).

Zur Durchführung der Rückholung verweist das Entsorgungsprogramm auf einen Nagra-Bericht aus dem Jahr 2002 (NAGRA 2002). Dort befindet sich ein kurzer Abschnitt, in dem die Rückholung von BE-Behältern mit zu diesem Zeitpunkt verfügbarer Technologie skizziert wird.

Gemäß Konzeptskizze der EKRA sollen Pilot- und Hauptlager Zugänge aufweisen, die bereits über dem Wirtgestein getrennt sind (es handelt sich dabei allerdings um eine beispielhafte Darstellung des Konzeptes der EKRA, die nicht unbedingt als streng verbindlich anzusehen ist). Die Nagra verweist darauf, dass bei der Auslegung keine Kompromisse bzgl. Langzeitsicherheit gemacht werden dürfen; sie plant, bei der Optimierung des Designs des Tiefenlagers zu überprüfen, inwieweit eine solche Trennung unter Berücksichtigung der Priorität der Sicherheitsaspekte sinnvoll und machbar ist (NAGRA 2008b, S. A-70). In den im Entsorgungsprogramm dargestellten modellhaften Auslegungen von HAA- und SMA-Lager ist eine solche Trennung nicht vorgesehen (NAGRA 2008a, S. 31 u. 39).

Ein weiteres Element des EKRA-Konzeptes ist der selbsttätige Verschluss von Schlüsselzonen des Tiefenlagers bei drohender Gefahr eines Wassereintrages. Von der Nagra wird ein derartiger Verschluss nicht vorgesehen; es soll lediglich ein Konzept zum schnellen Verschluss ausgearbeitet werden (NAGRA 2008b, S. 31). Dies steht im Einklang mit der Richtlinie ENSI-G03 (ENSI 2009a), die Vorkehrungen für einen raschen temporären Verschluss fordert, jedoch keinen Selbstverschluss, bei dem das ENSI ungeklärte Fragen und Risiken sieht (ENSI 2009b).

In dem gleichen Bericht der Nagra wird auch kurz auf Monitoring und Rückholung eingegangen. Es werden Fragen angeführt, die in den nächsten Jahren bearbeitet werden sollen, wobei auch auf internationale Forschungsprojekte verwiesen wird. Konzepte sollen für das Rahmenbewilligungsgesuch vorgelegt und in den anschließenden Phasen detaillierter ausgearbeitet werden. Die Technik der Rückholung soll in den Testbereichen am Standort erprobt werden (NAGRA 2008b, S. 33 ff).

### 2.1.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS

In der ENSI-Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm (ENSI 2011) wird das EKRA-Konzept nicht explizit erwähnt. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass Überwachung und Rückholung der Abfälle bei der Konkretisierung der Konzepte bzw. Projekte Schwerpunkte darstellen. Des Weiteren wird die Frage der Kosten der Rückholung diskutiert und darauf hingewiesen, dass es bisher keine Kostenschätzung über den finanziellen Aufwand einer allfälligen Rückholung gibt.

Das ENSI empfiehlt, in den sogenannten Realisierungsplan für das Tiefenlager im Hinblick auf die Erteilung einer nuklearen Baubewilligung u. a. ein Rückholungskonzept, ein Markierungskonzept sowie ein Konzept für einen temporären Verschluss während der Betriebsphase aufzunehmen.

In der Stellungnahme zum Nagra-Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis wird kurz auf verschiedene Elemente des EKRA-Konzeptes eingegangen. Insbesondere wird die frühzeitige Erarbeitung eines Konzeptes zur Rückholung gefordert (ENSI 2012, S. 30).

Die KNS geht in ihrer Stellungnahme explizit auf das EKRA-Konzept ein (KNS 2011a, S. 7ff). Die Kommission empfiehlt in diesem Zusammenhang, dass die Lagerkonzepte umgehend einer grundsätzlichen Überprüfung unterzogen und die entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit hoher Priorität bearbeitet werden sollen. In diese Überprüfung soll das gesamte Spektrum von machbaren Konzepten einbezogen werden, die dem EKRA-Konzept genügen. Die KNS legt weiterhin Wert darauf, dass wichtige Merkmale des EKRA-Konzeptes tatsächlich umgesetzt werden: Das Pilotlager soll vom Hauptlager hydraulisch vollständig isoliert sein und auch über den Verschluss des Hauptlagers hinaus betrieben werden können; Hauptlager und Pilotlager sollen über separate Zugänge erschlossen werden.

In ihrer Stellungnahme zum Nagra-Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis (KNS 2012, Kapitel 2.8) geht die KNS weiter auf die Umsetzung des EKRA-Konzeptes ein. Sie weist darauf hin, dass der Selbstverschluss ein wichtiges Element dieses Konzeptes ist. Die Kommission teilt nicht die Auffassung des ENSI, wegen ungeklärter Fragen und technischer Schwierigkeiten bereits heute auf den Selbstverschluss zu verzichten. Den vom ENSI in der Richtlinie G03 (ENSI 2009) geforderten temporären Verschluss sieht sie nicht als Ersatz für einen Selbstverschluss.

Zum Monitoringkonzept empfiehlt die KNS der Nagra in der o. g. Stellungnahme, die Entwicklung gezielt voranzutreiben, damit bereits für die Rahmenbewilligung erste Erfahrungen mit neuartigen Komponenten vorliegen.

Die KNS begrüßt die von der Nagra zur Rückholung vorgesehenen Konzeptabklärungen und Untersuchungen. Sie ist allerdings der Ansicht, dass Versuche im Maßstab 1:1 bereits im Felslabor Mont Terri durchgeführt werden sollten und nicht erst am Standort des Tiefenlagers. Dabei soll als Beitrag zur grundsätzlichen Überprüfung des Lagerkonzeptes insb. auch der Einfluss von Lagerbehältern verschiedener Größe auf die Rückholbarkeit untersucht werden.

### 2.1.3 Bewertung und Schlussfolgerungen

Das derzeitige Lagerkonzept der Nagra weicht in wesentlichen Punkten von dem EKRA-Konzept des kontrollierten geologischen Langzeitlagers ab. Dies betrifft u. a. das Pilotlager – ein Kernelement des EKRA-Konzeptes. Die von der EKRA geforderte räumliche Trennung, einschließlich bereits außerhalb des Wirtgesteins getrennter Zugänge, ist in den modellhaften Auslegungen der Tiefenlager im Entsorgungsprogramm der Nagra nicht vorgesehen. Zudem obliegt der Betrieb des Pilotlagers in der derzeitigen Konzeption der Nagra dem Betreiber des Tiefenlagers insgesamt, der sich insofern selbst kontrollieren würde.

Die Nagra plant noch eine Prüfung, inwieweit eine Trennung der Zugänge unter Berücksichtigung der Priorität der Sicherheitsaspekte sinnvoll und machbar ist. Die Nagra führt aus, dass sie im Interesse der Langzeitsicherheit versucht, die Anzahl der Tunnel, Rampen und Schächte zu minimieren, die die Wirksamkeit des Wirtgesteins beeinträchtigen könnten (NAGRA 2008b, S. A-70).

Die Priorität der Langzeitsicherheit steht außer Frage. Es bleibt jedoch unklar, wieso gerade im Zusammenhang mit der Umsetzung des EKRA-Konzeptes die Minimierung der Anzahl der Tunnel, Rampen und Schächte, die in das Wirtgestein führen, von der Nagra besonders betont wird. In einem anderen Kontext erklärt die Nagra, dass verfüllte Rampen oder Schächte voraussichtlich ohnehin nur einen geringen Beitrag zu den Freisetzungen aus dem Tiefenlager liefern werden (siehe Kapitel 2.3.1). Jedenfalls sollte die Frage der Trennung der Zugänge ergebnisoffen untersucht werden.

Bei einer engen Nachbarschaft von Pilot- und Hauptlager, wie in den modellhaften Auslegungen der Nagra vorgesehen, wird auch die Forderung der EKRA nach Ausschluss einer wechselseitigen Beeinflussung und hydraulischer Isolierung von Pilot- und Hauptlager kaum umgesetzt werden können. Die wechselseitige Beeinflussung der beiden Lager kann die Aussagekraft der in der Beobachtungsphase erhobenen Informationen zur Funktion des Endlagersystems reduzieren. Damit kann das übergeordnete Ziel der Beobachtung gefährdet werden – nämlich die für die Entscheidung zum endgültigen Verschluss des Lagers bzw. zur Rückholung von Abfällen erforderlichen Informationen zu erhalten bzw. zu erarbeiten.

Auch die KNS hat in ihrer Stellungnahme betont, dass diese Merkmale des EKRA-Konzeptes realisiert werden sollten.

Ein weiteres Element des EKRA-Konzeptes, das nicht umgesetzt werden soll, ist der selbsttätige Verschluss von Schlüsselzonen des Tiefenlagers. Dies beruht nicht auf einer Entscheidung der Nagra, sondern auf einer Richtlinie des ENSI. Darin wird wegen ungeklärter Fragen und Risiken beim Selbstverschluss lediglich ein rascher temporärer Verschluss gefordert.

An Problemen des Selbstverschlusses führt das ENSI an: Fragen des Unterhalts, um die selbsttätige Einsatzbereitschaft aufrechtzuerhalten; Feststellung und Verifizierung dieser Bereitschaft ohne Probeauslösung; Verhindern einer unbeabsichtigten Auslösung; Überwachung und Gewährleistung der Fähigkeit der Einrichtung und die geringere Versiegelungsqualität (ENSI 2009b). Die KNS teilt die Einschätzung des ENSI nicht und lehnt den Ausschluss des Selbstverschlusses zum jetzigen Zeitpunkt ab.

Angesichts der noch nicht festgelegten Dauer des Offenhaltens von Teilen des Tiefenlagers und der damit verbundenen Unsicherheiten hinsichtlich der zuverlässigen Aufrechterhaltung seiner Überwachung sowie der Durchführung etwa erforderlicher Notfallmaßnahmen ist die Forderung nach Selbstverschlusseinrichtungen für kritischer Lagerteile von erheblicher Bedeutung. Die vorgesehenen vorbereitenden Maßnahmen für den schnellen Verschluss des Lagers bei einem Störfall stellen wegen der für ihre ordnungsgemäße Durchführung ebenfalls bestehenden Unsicherheiten keinen vollständigen Ersatz dar, sondern eine wahrscheinlich unerlässliche Übergangslösung. Die Tatsache, dass derzeit keine technischen Lösungen für den Selbstverschluss existieren, darf keinesfalls von vornherein zum Verzicht darauf führen. Vielmehr muss gezielt nach Lösungsmöglichkeiten gesucht werden. Soweit bekannt, wurden bisher keine Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse das Abgehen vom Selbstverschluss definitiv rechtfertigen würden. Es bleibt unklar, wieso das ENSI ohne eine solche Basis den Verzicht auf den Selbstverschluss in einer Richtlinie festgeschrieben hat. Die identifizierten Probleme sollten genauer untersucht werden, um einen fundierten Überblick über die Vor- und Nachteile eines Selbstverschlusses und die Entwicklungsperspektiven entsprechender Einrichtungen zu bekommen, bevor eine endgültige Entscheidung getroffen wird.

Andere wichtige Elemente des EKRA-Konzeptes – Monitoring des Tiefenlagers, und Möglichkeit der Rückholung der Abfälle, beides während der Betriebs- und Beobachtungsphase – sind lt. Nagra vorgesehen, ihre Entwicklung im Detail soll jedoch relativ spät erfolgen. Konzepte sollen mit dem Rahmenbewilligungsgesuch vorgelegt werden; die detaillierte Ausarbeitung soll erst in den anschließenden Phasen erfolgen.

Bisher wurden offenbar noch keine genaueren Überlegungen angestellt. Im Entsorgungsprogramm verweist die Nagra auf einen älteren Bericht, in dem die Rückholung von BE-Behältern lediglich sehr knapp und allgemein dargestellt wird.

Zweifellos wird es erforderlich sein, bei allen Elementen des Lagerkonzeptes den jeweils aktuellen Stand der Technik zu berücksichtigen. Voraussetzung für eine zielgerichtete Verfolgung und Auswertung des Standes der Technik wäre es jedoch, bereits frühzeitig genauere Vorstellungen zu erarbeiten. Diese können im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen, z. B. im Felslabor von Mont Terri, gezielt weiterentwickelt werden.

Eine möglichst frühzeitige Entwicklung des Rückholungskonzeptes wird auch vom ENSI gefordert. Die KNS geht in ihrer Stellungnahme noch weiter und fordert zu verschiedenen Elementen des Lagerkonzeptes ein rascheres Vorgehen – u. a. Großversuche zur Rückholung zu einem früheren Zeitpunkt als von der Nagra geplant, etwa im Felslabor Mont Terri.

Die KNS empfiehlt außerdem, das gesamte Spektrum der Lagerkonzepte zu untersuchen, die dem EKRA-Konzept genügen. Auf dieser Basis wäre der Vergleich verschiedener Varianten zur sicherheitstechnischen Optimierung möglich (siehe hierzu auch Kapitel 2.2.3).

Im EKRA-Konzept ist nicht festgelegt, wann die Beobachtungsphase beendet und das Lager geschlossen werden soll. Es wird lediglich ausgesagt, dass diese Phase einige Jahrzehnte bis mehr als hundert Jahre dauern kann. Die Beendigung der Beobachtungsphase wird auf Grundlage einer gesellschaftlichen Entscheidung zu erfolgen haben.

Diese Frage wird in den vorliegenden Unterlagen nicht behandelt. Es muss sichergestellt werden, dass sie frühzeitig und in ausreichender Form erörtert wird. Insbesondere wäre zu klären, wie dieser Entscheidungsprozess strukturiert und eine angemessene Beteiligung der Öffentlichkeit gewährleistet werden kann.

## **Fazit**

Soweit aus den vorliegenden Unterlagen ersichtlich, werden wichtige Elemente des EKRA-Konzeptes der kontrollierten geologischen Langzeitlagerung bisher nicht vollständig oder angemessen berücksichtigt. Dies betrifft insb. die Trennung von Pilot- und Hauptlager, den selbsttätigen Verschluss von Schlüsselzonen sowie die Ausgestaltung und Dauer der Beobachtungsphase.

Diese Elemente sollten bei der weiteren Konzeptentwicklung vertieft betrachtet werden. Eine Modifikation bzw. ein Abgehen davon sollte nur nach detaillierten Untersuchungen und nach Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile erfolgen. Dabei ist neben den hier betrachteten sicherheitstechnischen Aspekten zu berücksichtigen, dass das EKRA-Konzept auch mit der Absicht entwickelt wurde, gesellschaftlichen Gesichtspunkten (Handlungsspielraum für alle betroffenen Generationen, Akzeptanz) Rechnung zu tragen.

Die Berücksichtigung des EKRA-Konzeptes bei der Erarbeitung des Lagerkonzeptes für die Tiefenlager und die dazu erforderliche Konzeptentwicklung erfolgt zurzeit offenbar ohne hohe Priorität und mit einem gestreckten Zeitplan. Im Wesentlichen soll die Detailentwicklung nach Erteilung der Rahmenbewilligung erfolgen.

Dieses Vorgehen birgt die Gefahr, dass wesentliche Grundzüge des EKRA-Konzeptes nur in minimaler bzw. nicht vollständiger Form umgesetzt werden, weil andere – insb. rein pragmatische – Überlegungen in den Vordergrund treten. Zu befürchten ist außerdem, dass die erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dadurch zu spät in Gang gesetzt werden und sich weitere Zeitverzögerungen bei der Realisierung der Tiefenlager ergeben. Die Konzeptentwicklung und die daraus abzuleitenden FuE-Programme sollten daher frühzeitig und mit hoher Priorität durchgeführt werden. Dies betrifft Fragen des Monitoring, der Rückholung, der Ausgestaltung des Pilotlagers und andere Aspekte. Eine Betrachtung und Abwägung verschiedener Varianten des Lagerkonzeptes, die dem EKRA-Konzept genügen, wäre in diesem Zusammenhang erforderlich.

Die Frage nach den Entscheidungsprozessen im Zusammenhang mit der Beendigung der Beobachtungsphase sollte frühzeitig in angemessener Form erörtert werden. Dabei ist insbesondere die Beteiligung der Öffentlichkeit zu beachten.



## **2.2 Lagerkonzept der Nagra und Wirtgestein Opalinuston**

### **2.2.1 Aussagen der Nagra**

Die Aussagen der Nagra im Entsorgungsprogramm, die das Lagerkonzept und die mögliche konkrete Auslegung des Lagers für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle betreffen, stützen sich wesentlich auf einen Bericht aus dem Jahre 2002, der im Rahmen des Entsorgungsnachweises erstellt wurde (NAGRA 2002).

In diesem Bericht wird die Auslegung der unterirdischen Anlagen in genereller Form beschrieben.

### **2.2.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS**

In der ENSI-Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm (ENSI 2011) wird auf die Frage der Anpassung des Lagerkonzeptes an das Wirtgestein Opalinuston nicht speziell eingegangen.

Die KNS greift diesen Punkt auf und fordert eine bautechnisch optimale Anpassung der Lagerkonzepte an die Eigenschaften des Wirtgesteins. Unter anderem sollen Ausbrüche auf ein Minimum beschränkt und die Abfallgebinde so gewählt werden, dass die Querschnitte der Ausbrüche im Wirtgestein möglichst klein gehalten werden können (KNS 2011a, S. 25/26).

### **2.2.3 Bewertung und Schlussfolgerungen**

In den Jahren 1979–1995 konzentrierte sich die Nagra bei der Tiefenlagerung auf Kristallin. In der Zeit von 1985–1995 wurde auch Opalinuston als zusätzliche Option betrachtet. Seit 1995 erfolgte dann – jedenfalls für Brennelemente und hochaktive Abfälle – die ausschließliche Konzentration auf Opalinuston als Wirtgestein; 2002 wurde ein Konzept für ein Tiefenlager im Opalinuston vorgelegt (NAGRA 2002).

Es gab also bereits über längere Zeit Bemühungen, ein Lagerkonzept speziell für den Opalinuston zu entwickeln. Der Bericht aus 2002 erscheint allerdings lediglich als ein erster Schritt; er ist noch sehr allgemein gehalten. Dieser Bericht scheint nach wie vor dem neuesten Stand der Arbeiten der Nagra zu entsprechen. Er wird nicht nur im Entsorgungsprogramm zitiert, sondern auch in aktuelleren Unterlagen der Nagra. Eine Weiterentwicklung des Lagerkonzeptes ist bisher nicht erfolgt und erscheint dringend geboten.

Für eine Ausarbeitung des Lagerkonzeptes im Detail dürften auch noch weitere Untersuchungen über das Verhalten des Opalinustons – unter Berücksichtigung der verschiedenen Ausprägungen (insb. der Fazies: tonig, sandig, kalkreich, ...) – erforderlich sein. Als wichtiger Punkt erscheint u. a. das Konvergenzverhalten, nicht zuletzt auch im Hinblick auf das zeitweise Offenhalten von Hohlräumen (z. B. Lagerstollen während Bau und Einlagerung) (Buser, pers. Mitt. 2012<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup> Pers. Mitteilung von Dipl.-Geol. ETH Marcos Buser, INA GmbH, Zürich, Juni 2012.



Es stellt sich die Frage, ob die Weiterentwicklung und Ausarbeitung des Lagerkonzeptes ausschließlich im Rahmen der Vorgaben durch das Konzept von 2002 erfolgen sollte. Die Betrachtung von Varianten – wie auch schon in Kapitel 2.1 im Zusammenhang mit dem EKRA-Konzept angesprochen – erschiene als äußerst sinnvoll. Dabei können z. B. unterschiedliche Lösungen für die Einlagerung der Abfälle (Strecken oder Großbohrlöcher), die Positionierung des Einlagerungsbereiches innerhalb des Wirtgesteins oder für den Zugang (Schacht/Rampe) betrachtet werden. Von entscheidender Bedeutung sind in diesem Zusammenhang Größe, Gewicht und Ausführung der Lagerbehälter sowie die Techniken der Einbringung in die Lagerstollen und die Verfüllung der Stollen. Die Frage des Zugangs ist für die Sicherheit des Tiefenlagers von besonders großer potenzieller Bedeutung und wird daher gesondert in Kapitel 2.3 behandelt.

Eine detaillierte Entwicklung des Lagerkonzeptes insgesamt ist Voraussetzung für die Konkretisierung und Umsetzung der speziellen Elemente, die im Zusammenhang mit dem EKRA-Konzept von Bedeutung sind. Sie muss also möglichst frühzeitig erfolgen, auch wenn mit späteren Modifikationen zur Berücksichtigung des jeweils aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zu rechnen ist.

## **Fazit**

Das Lagerkonzept der Nagra wurde bisher erst in ziemlich allgemeiner Form an das Wirtgestein Opalinuston angepasst. Eine detaillierte Weiterentwicklung sollte – möglichst unter Berücksichtigung verschiedener Varianten – frühzeitig erfolgen; sie ist die Voraussetzung für die Detailentwicklung jener Elemente, die für eine Umsetzung des EKRA-Konzeptes von Bedeutung sind.

## **2.3 Erschließung der Tiefenlager (Schacht/Rampe)**

### **2.3.1 Aussagen der Nagra**

Im Entsorgungsprogramm der Nagra sowie auch in dem Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis wird offen gelassen, ob die untertägige Erschließung der Lager über Zugangstunnel (Rampen), Schächte oder eine Kombination beider erfolgen soll. Die im Entsorgungsprogramm dargestellten modellhaften Auslegungen von HAA- und SMA-Lager weisen jeweils eine Rampe und einen Schacht auf (NAGRA 2008a, S. 30f und 38f). Es erfolgt keine sicherheitstechnische Diskussion der jeweiligen Vor- und Nachteile von Schacht und Rampe; es wird lediglich darauf hingewiesen, dass die Erschließung über Zugangstunnel eine gewisse Entkoppelung des untertägigen Lagerbereichs vom Standort der Empfangsanlagen an der Oberfläche erlaubt (NAGRA 2008a, S. 25).

Dem Verfasser stehen weitere Informationen zu den Vor- und Nachteilen und der Langzeitsicherheit beider Zugangsvarianten zur Verfügung (Zuidema, pers. Mitteilung 2012<sup>2</sup>), auf die sich der Rest dieses Abschnittes stützt.

Im Hinblick auf die Gefahr von Wassereintrüben in der Bau- und Betriebsphase werden von der Nagra folgende Vorteile aufgeführt:

### **Rampe**

- Flexibilität für Anordnung der Oberflächenanlage,
- Flexibilität bei Bau und Betrieb,
- Flexibilität für Reparatur, Intervention, Rettung und beim Unterhalt des Bauwerks,
- sehr stark begrenzte mögliche Fallhöhe von Gegenständen.

### **Schacht**

- einfachere Exploration von der Oberfläche,
- kleinere Raumbeanspruchung,
- kleinere Anzahl potenziell angetroffener (sub-)vertikaler Störungszonen,
- kürzere Strecke durch schwierige Gesteinsschichten (Ausnahme: steil stehende Elemente).

Außerdem wird je nach den standortspezifischen Bedingungen bei der Variante mit Rampe ein Mehraufwand erwartet.

Laut Nagra zeigen Dosisberechnungen, dass der Beitrag von Freisetzungen über Schacht oder Rampe um Größenordnungen geringer ist als die Freisetzungen über das Gestein. Die Ergebnisse neuer Modellrechnungen, die den aktuellen Planungsstand bei der Anordnung der Zugänge berücksichtigen, lagen Mitte 2012 vor.

Bei diesen Berechnungen wurden ein Basisfall und verschiedene Varianten untersucht. Variiert wurden die Durchlässigkeiten (bis auf jene des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches). Dabei wurden folgende Szenarien betrachtet:

- Bentonit-Verfüllungen für die Lagerkammern sowie für die Versiegelungen (Verschlüsse, an die besonders hohe Ansprüche im Hinblick auf niedrige Durchlässigkeit gestellt werden) von horizontalen Bauwerken und Rampen,
- Bentonit-/Sandverfüllung für jene Bereiche horizontaler Bauwerke und Rampen, an denen sich keine Versiegelung befindet,
- Verschluss der Schächte.

Bei den Durchlässigkeiten wurde jeweils zwischen dem Verschluss selbst und der umgebenden Auflockerungszone im Wirtgestein unterschieden. Für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich wurde in jedem Fall eine Durchlässigkeit von  $2\text{E-}14$  m/s angenommen. Für Bauwerke mit Bentonit-Verfüllung (einschl. Rampen und Schächte) wurden im Basisfall  $1\text{E-}13$  m/s für den Tunnel und  $1\text{E-}12$  m/s für die Auflockerungszone angesetzt, für Bauwerke mit Bentonit-/Sandverfüllung  $5\text{E-}11$  bzw.  $1\text{E-}10$  m/s. In verschiedenen Varianten wurden höhere Werte für die Durchlässigkeit der Bauwerke betrachtet.

---

<sup>2</sup> Pers. Mitteilungen von Dr. Piet Zuidema, Leiter des Bereiches Technik und Wissenschaft der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Juli 2012.

Als Zugangsbauwerke wurden in fast allen Rechenfällen eine Rampe und zwei Schächte (Ventilations- und Bauschacht) angenommen.

Im Basisfall zeigt sich, dass die Freisetzungen aus Rampe und Schächten jeweils in der gleichen Größenordnung liegen, wobei die Freisetzung aus der Rampe erheblich später einsetzt. Die Freisetzungen aus Rampe und Schächten liegen um mehr als zwei Größenordnungen unter jenen aus dem Wirtgestein.

In einem Rechenfall wurde die Durchlässigkeit der Bentonit-Verfüllungen und -Versiegelungen in den horizontalen Bauwerken und Rampen um zwei Größenordnungen erhöht, während die Durchlässigkeit der Schächte unverändert blieb. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Freisetzung über die Rampe deutlich höher (um ca. eine Größenordnung) ist als jene über die Schächte. Die Freisetzung über die Rampe liegt aber immer noch um mehr als eine Größenordnung unter der Freisetzung über das Wirtgestein.

Zusammenfassend stellt die Nagra fest, dass die Langzeitsicherheit bei beiden Varianten der Zugangsbauwerke bei geeigneter Auslegung der Verfüllung gewährleistet ist. Die Art des Zugangs zur Lagerebene im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ist aus Sicht der Nagra für die Langzeitsicherheit irrelevant.

### **2.3.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS**

Das ENSI geht in der Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm sowie in der Stellungnahme zum Nagra-Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis auf die Frage „Schacht oder Rampe“ nicht ein (ENSI 2011; 2012).

Die KNS bezieht in dieser Frage klar Stellung. Die Kommission fordert, dass im Rahmen der Optimierung zur Erhöhung der Langzeitsicherheit u. a. die Erschließung der untertägigen Bauten wenn immer möglich ausschließlich mit Schächten erfolgen soll (KNS 2011a, S. 10). Die Kommission fordert außerdem einen Vergleich Rampe/Schacht durch eine quantitative Risikoanalyse nach Stand von Wissenschaft und Technik (BFE 2012).

### **2.3.3 Bewertung und Schlussfolgerungen**

Bei der Betrachtung der Varianten Schacht und Rampe deutet einiges darauf hin, dass Schächte grundlegende Vorteile aufweisen. Dies betrifft auch die Langzeitsicherheit von Tiefenlagern und ihrem Nachweis. Das kann schon aus den von der Nagra den Schächten zugeschriebenen Vorteilen in der Betriebsphase (siehe Kapitel 2.3.1) abgeleitet werden; denn sie beruhen im Gegensatz zu den Rampen in Bezug auf die Langzeitsicherheit auf geologischen Sachverhalten.

In Schächten wirkt die Schwerkraft durchgängig auf die Verfüllung und Versiegelung. Daher ist anzunehmen, dass sie besser und einfacher verdichtet werden können als Verfüllungen und Versiegelungen in horizontalen oder nur leicht geneigten Bauwerken. Die Situation bei Rampen ist insgesamt komplizierter, es sind mehr Ungewissheiten im Spiel, wodurch auch der Sicherheitsnachweis schwieriger zu führen ist. Dies betrifft in erster Linie den Anschnitt wasserführender Zonen; die Anschnittsfläche ist um ein Vielfaches größer als bei Schächten. Auch im Opalinuston könnte das Anschneiden durch eine gering geneigte

Rampe zu Problemen führen. Für einen nennenswerten Teil der Länge der Rampe ist die Mächtigkeit des Opalinuston über der Rampe relativ gering. Dies stellt eine potenzielle Schwachstelle dar; es könnten Risse, Brüche und Lücken entstehen, die das Eindringen von Wasser begünstigen.

Der Hauptvorteil von Rampen liegt in der größeren Flexibilität, die sie u. a. für den Anschluss an Oberflächenanlagen bieten. Wenn – wie im Sachplanverfahren – die Orte für die Oberflächenanlagen festgelegt werden, bevor die zugehörigen Tiefenlagerbereiche identifiziert sind, wächst gleichzeitig die Gefahr, dass diese Flexibilität zu Lasten der Sicherheit geht. Zugunsten von Rampen ist allerdings zu berücksichtigen, dass deren Länge es gestattet, auch mehrere Siegel einzusetzen, wenn dies erforderlich scheint. Die längere Distanz für die Migration von Radionukliden trägt zur Barrierenwirkung bei.

Die Nagra geht grundsätzlich davon aus, dass in beiden Fällen (Schacht oder Rampe) ein sicherer Verschluss möglich ist. In dem Basisfall, den sie bei ihren Berechnungen heranzieht, wird die Durchlässigkeit der Versiegelungen der Rampe als gleich niedrig wie jene der Schachtverschlüsse angenommen. Die Freisetzungen aus Rampe und Schächten liegen bei diesen Berechnungen in der gleichen Größenordnung und jeweils weit unter den Freisetzungen über das Gestein. Ein Vorteil der Schächte ist in diesem Fall nicht zu erkennen.

Die sicherheitstechnische Gleichwertigkeit von Schacht und Rampe im Hinblick auf die Radionuklidfreisetzung ist damit jedoch noch nicht belegt. Sie wäre vielmehr erst dann gegeben, wenn auch die zuverlässige Einhaltung der Auslegungsanforderungen an die Verschlüsse und ihre Funktionstüchtigkeit für den geforderten Zeitraum gezeigt werden kann.

Die Nagra betrachtet u. a. auch eine Variante (V7a), in der die Durchlässigkeit der Versiegelungen der Rampe um zwei Größenordnungen über jener der Schächte liegt. Diese wird von der Nagra als ein „What if?“-Fall eingestuft, d. h. als ein Fall, der auf wissenschaftlich nicht zu begründenden Annahmen beruht, aber die Robustheit des Systems demonstrieren soll. Diese Einstufung ist strittig, angesichts der eingangs erwähnten grundlegenden Vorteile von Schächten, insb. auch im Hinblick auf den Verschluss, und angesichts fehlender experimenteller Langzeitsicherheits-Nachweise von Verschlussbauwerken. Es ist durchaus wahrscheinlich, dass in einer Rampe nicht die gleiche niedrige Durchlässigkeit erreicht werden kann wie in einem Schacht.

Jedenfalls sind die Freisetzungen über die Rampe beim Rechenfall V7a zwar deutlich höher als jene über die Schächte, sie liegen aber immer noch um mehr als eine Größenordnung unter den Freisetzungen über das Wirtgestein. Der Unterschied zwischen Schächten und Rampen könnte insofern als sicherheitstechnisch weitgehend bedeutungslos angesehen werden.

Allerdings wird beim Fall V7a lediglich die Durchlässigkeit der Bentonit-Versiegelungen in der Rampe erhöht (einschließlich jene der dazugehörigen Auflockerungszone), nicht aber jene der Bentonit-/Sandverfüllungen, die den weitaus größten Teil der verschlossenen Rampe einnehmen. Bei einer Erhöhung der Durchlässigkeit der Versiegelung um zwei Größenordnungen wird der Wasserfluss durch die verschlossene Rampe primär durch die Eigenschaften der Verfüllung bestimmt, nicht durch jene der Versiegelung. Soweit dieser Rechenfall also die möglichen Schwächen des Verschlusses von Rampen untersuchen soll, geschieht dies nur unvollständig. (Als Reaktion auf einen Hinweis des Ver-

fassers plant die Nagra nunmehr, auch einen Fall mit erhöhter Durchlässigkeit der Bentonit-/Sandverfüllungen der Rampe durchzurechnen; Zuidema, pers. Mitteilung 2012<sup>3</sup>).

Die gesamte Diskussion dieses Themas ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Verschlusskonzepte für Rampen und Schächte zurzeit noch in Entwicklung sind und vor allem experimentelle Daten zur hydraulischen Langzeit-Wirksamkeit von Verschlüssen fehlen (Buser, pers. Mitteilung 2012<sup>4</sup>). Ein potenzielles Problem stellen in diesem Zusammenhang u. a. die bereits genannten Auflockerungszonen dar, die sich entlang der Zugangsbauwerke im durchfahrenen Gestein bilden. Erste Experimente zu Verfüllungen und Versiegelungen wurden bereits in den Felslaboratorien Grimsel und Mont Terri durchgeführt. Es sind jedoch dringend weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich; die im geologischen Tiefenlager anzuwendenden Techniken müssen vor Ort erprobt werden. Die Details der Verschlussbauwerke werden in späteren Schritten standortspezifisch festgelegt (TFS 2012, Frage 28).

Die Nagra plant die Durchführung eines Versiegelungsversuches (inkl. Untersuchung des Verhaltens der Auflockerungszone) für die Zeit nach der Erteilung der Rahmenbewilligung (NAGRA 2008a, S. 59).

Beim Basisfall der Nagra ist vorausgesetzt, dass die noch erforderlichen Entwicklungsarbeiten zum Verschluss erfolgreich abgeschlossen werden können und keine Probleme dabei auftreten. Die zurzeit noch bestehenden Unsicherheiten betreffen sowohl den Verschluss von Schächten als auch den von Rampen. Bei Rampen sind sie jedoch wegen der insgesamt komplizierteren Situation größer. Eine Abklärung der offenen Fragen ist dringlich. Ebenfalls sollte festgelegt werden, welche F&E-Arbeiten notwendig sind, um die Wissensdefizite soweit zu vermindern, dass robuste Sicherheitsanalysen gerechnet werden können.

## Fazit

Die Bewertung der Varianten Schacht und Rampe sollte sich primär an sicherheitstechnischen Kriterien orientieren. Ein alle sicherheitstechnischen Aspekte umfassender Vergleich der beiden Erschließungsvarianten über alle Betriebsphasen ist erforderlich. Etwaige Unterschiede bei den Ungewissheiten und Schwierigkeiten bei der Vorhersage der jeweiligen Verschlussqualität sind in die Bewertung einzubeziehen. Die offenen Fragen hinsichtlich der Wirksamkeit von Verschlüssen sollten zunehmend durch experimentelle Nachweise überprüft werden.

Bei der Analyse von Rechenfällen sollte ein breites Spektrum von Varianten betrachtet werden. Insbesondere bei jenen Fällen, die dem Vergleich der Auswirkungen von Schacht und Rampe dienen, sollten alle relevanten Parameter variiert werden.

Die definitive Entscheidung, ob neben Schächten auch Rampen verwendet werden, sollte erst dann gefällt werden, wenn es im Hinblick auf die Verschlüsse keine offenen Fragen und keinen Entwicklungsbedarf mehr gibt.

---

<sup>3</sup> Pers. Mitteilungen von Dr. Piet Zuidema, Leiter des Bereiches Technik und Wissenschaft der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Juli 2012.

<sup>4</sup> Pers. Mitteilung von Dipl.-Geol. ETH Marcos Buser, INA GmbH, Zürich, Juni 2012

## **3 ZEITABLÄUFE UND OBERIRDISCHE ZWISCHENLAGERUNG**

### **3.1 Zeitabläufe bis zur Inbetriebnahme eines Tiefenlagers**

#### **3.1.1 Aussagen der Nagra**

Die Nagra geht davon aus, dass das Tiefenlager für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle (auf die der größte Teil des radioaktiven Inventars entfällt) zwischen 2040 und 2050 in Betrieb gehen wird (NAGRA 2008a, S. 52). Dies entspricht weitgehend den Angaben im Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008), wo für die Inbetriebnahme eine Bandbreite von 2040 bis 2048 angegeben wird. (Das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle soll zehn Jahre früher in Betrieb gehen.)

Die Nagra weist darauf hin, dass die Angaben im Sachplan nur eingehalten werden können, wenn sich alle beteiligten Stellen aktiv für eine verzugslose Abwicklung der Arbeiten einsetzen und die Rechtsmittel in den kommenden Bewilligungsverfahren nicht ausgeschöpft werden (NAGRA 2008a, S. 51).

Bei der Ermittlung des möglichen Inbetriebnahmezeitpunktes geht die Nagra davon aus, dass das Sachplanverfahren mit seinen drei Etappen einschließlich Erteilung der Rahmenbewilligung 2019–2020 abgeschlossen ist (NAGRA 2008a, S. 52). Dies entspricht einer Dauer des Verfahrens, das Mitte 2008 begonnen hat, von 11,5 bis 12,5 Jahren.

#### **3.1.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS**

Das ENSI kommt in seiner Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm u. a. zu dem Schluss, dass der Realisierungsplan der Nagra in seinen Grundzügen korrekt und vollständig ist. Im Zusammenhang mit dem Zeitplan der Nagra geht das ENSI lediglich auf die Planung für das SMA-Lager in der Phase nach Abschluss des Sachplanverfahrens ein. Diese Planung wird als zu optimistisch angesehen. Das ENSI fordert von der Nagra, diesen Punkt bei der Erstellung des nächsten Entsorgungsprogramms vertieft darzulegen (ENSI 2011, S. 24f).

Zu den zeitlichen Abläufen insgesamt, insbesondere zur Frage des Inbetriebnahmezeitpunktes für das HAA-Lager, nimmt das ENSI nicht genauere Stellung.

Die KNS verweist zum Thema der Realisierungszeiten im Hauptteil ihrer Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm auf eine Expertise zum Zeitaufwand, die von der Kommission in Auftrag gegeben wurde. Diese kam zu Werten, die weit über den Zeitvorgaben lt. Sachplan liegen (KNS 2011a, S. 12).

Diese Expertise ist der KNS-Stellungnahme als Beilage beigegeben (Kns 2011b). Auf der Grundlage von Nagra-eigenen Erfahrungswerten für die Dauer von seismischen Untersuchungen und Tiefbohrungen und der Planungen für die Etappen 2 und 3 wird darin der zu erwartende Zeitbedarf für diese Etappen plus Rahmenbewilligung abgeschätzt. Das Ergebnis: Eine Realisierungszeit von 17 Jahren für ein mittleres Szenario (Bandbreite: 15 bis 23 Jahre).

### 3.1.3 Bewertung und Schlussfolgerungen

Die Nagra geht davon aus, dass das Sachplanverfahren (Standortsuche) einschl. Rahmenbewilligung 2019–2020 abgeschlossen wird, entsprechend einer Dauer des Verfahrens von 11,5 bis 12,5 Jahren.

Gemäß der ursprünglichen Planung sollte dieses Verfahren 9 bis 11 Jahre in Anspruch nehmen (BFE 2008):

- Etappe 1: 2,5 Jahre
- Etappe 2: 2,5 Jahre
- Etappe 3: 2,5 bis 4,5 Jahre
- Rahmenbewilligung: 1,5 Jahre

Bei der Etappe 1 gab es bereits eine Verzögerung von mehr als einem Jahr; sie wurde Ende 2011 abgeschlossen. Für die Etappe 2 wurde die vorgesehene Dauer zum gleichen Zeitpunkt auf 4 Jahre verlängert. Somit ist bereits nach heutigem Stand in Frage gestellt, dass die Zeitvorgabe der Nagra für die Rahmenbewilligung eingehalten werden kann.

Die in der KNS-Expertise abgeschätzte Bandbreite für die Etappen 2 und 3 sowie die Rahmenbewilligung entspricht einem Abschluss des Sachplanverfahrens in den Jahren um 2030, also mit einer Verzögerung von ca. 10 Jahren. Die Obergrenze der Bandbreite entspricht einer Verlängerung der für die Umsetzung des Sachplans erforderlichen Zeit auf mehr als das Doppelte.

Zwischen dem Abschluss des Sachplanverfahrens und dem Beginn der Einlagerung in das Tiefenlager liegen noch folgende Schritte (NAGRA 2008a, S. 52):

- Bau eines Felslabors,
- Betrieb eines Felslabors, Untersuchungen unter Tage,
- nukleare Baubewilligung (Vorbereitung und Verfahren),
- Bau inklusive Betriebsbewilligungsverfahren.

Jeder einzelne dieser Schritte beinhaltet komplexe Abläufe und kann zu unvorhergesehenen Problemen führen.

#### Fazit

Es ist wahrscheinlich, dass der Betriebsbeginn für das Tiefenlager für abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle sich erheblich auch noch über das späteste Zieldatum (2050) hinaus verschieben wird; möglicherweise um mehrere Jahrzehnte.

Es sollten Varianten der Realisierungspläne für die Tiefenlager, die von Verzögerungen um bis zu mehrere Jahrzehnte gegenüber dem jetzigen Zeitplan ausgehen, erstellt werden. Für diese Varianten sollte eine umfassende Analyse der Auswirkungen auf andere Bereiche (Zwischenlagerung, Konditionierung usw.) und deren Konsequenzen durchgeführt werden.



## **3.2 Mögliche Konsequenzen der Abläufe für die Zwischenlagerung**

### **3.2.1 Aussagen der Nagra**

Die Nagra verweist darauf, dass für die bestehenden Kernkraftwerke ausreichende Zwischenlagerkapazitäten vorhanden sind. Dabei wird von einem 50-jährigen Betrieb ausgegangen. Auch für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung werden ausreichende Kapazitäten angenommen.

Abgebrannte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, auf die der Löwenanteil des radioaktiven Inventars entfällt, werden im Zwischenlager Würenlingen (ZWILAG) und im Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau (ZWIBEZ) gelagert, nachdem sie in den Brennelementbecken der Kernkraftwerke genügend abgekühlt sind. Die Nagra geht davon aus, dass durch die Einhaltung geeigneter Rahmenbedingungen sichergestellt werden kann, dass die Hüllrohre der abgebrannten Brennelemente während der Zwischenlagerung nicht beschädigt werden. Eine Schädigung der Transport- und Lagerbehälter kann lt. Nagra aufgrund von Auslegung und Überwachung ausgeschlossen werden.

Unter der Voraussetzung, dass eine Einlagerung der abgebrannten Brennelemente und hochaktiven Abfälle in das Tiefenlager ab ca. 2050 möglich ist, rechnet die Nagra mit einer Betriebszeit des ZWILAG bis 2065, des ZWIBEZ bis 2062.

Nach Ansicht der Nagra können die Zwischenlager auch länger betrieben werden, falls sich die Inbetriebnahme der Tiefenlager weiter nach hinten verschiebt. Für den Transport zum Tiefenlager sollen die bestehenden Transport- und Lagerbehälter verwendet werden. Falls nach längerer Lagerzeit eine Re-Zertifizierung dieser Behälter für den Transport nicht mehr möglich ist, müssen Brennelemente und hochaktive Abfälle in geeignete Transportbehälter umgeladen werden. (NAGRA 2008a, S. 65ff)

In ihrem Bericht zu den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis weist die Nagra darauf hin, dass sie den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich Verhalten der Brennelement-Hüllrohre während der Zwischenlagerung verfolgt. Besonderer Schwerpunkt dabei ist der Einfluss erhöhter Temperaturen (besonders relevant für Brennelemente mit hohem Abbrand). Mögliche Versagensmechanismen für die Hüllrohre werden in Zusammenarbeit mit den Betreibern bearbeitet. Auf diesem Gebiet wird in den nächsten Jahren international ein erheblicher Fortschritt erwartet. Für die Analyse der Langzeitsicherheit wird die Integrität der Hüllrohre jedoch nicht vorausgesetzt (NAGRA 2008b, S. 26 u. A-44).

### **3.2.2 Stellungnahmen von ENSI und KNS**

Das ENSI sieht die Angaben der Nagra zu den Betriebszeiten und Kapazitäten der Zwischenlager als nachvollziehbar an und weist darauf hin, dass für die Sanierung von nicht mehr spezifikationskonformen Gebinden Konzepte vorhanden sind (ENSI 2011, S. 30).



Die KNS führt zur Zwischenlagerung lediglich aus, dass die Nagra im Entsorgungsprogramm neben der maximalen auch die aktuelle Belegung der einzelnen Lagereinrichtungen angeben sollte. Zudem sollte lt. KNS eine Prognose für die Belegung zum Zeitpunkt der nächsten Aktualisierung des Entsorgungsprogramms erstellt werden (KNS 2011a, S. 13). Zu den möglichen Problemen der Trockenlagerung und Fragen der Hüllrohrbeschädigung hat sich die Kommission bisher nicht im Detail geäußert.

Die KNS weist darauf hin, dass eine Vorbehandlung der Brennelemente vor der Tiefenlagerung – von der Nagra nicht vorgesehen – sicherheitstechnische Vorteile bringen könnte (KNS 2011a, S. 5). In einer früheren Stellungnahme hat die Kommission auch festgestellt, dass Forschung im Bereich der Behältermaterialien durchgeführt werden sollte (KNS 2010, S. 45).

### 3.2.3 Bewertung und Schlussfolgerungen

Wie in Kapitel 3.1 ausgeführt, erscheint eine Verzögerung der Inbetriebnahme der Tiefenlager um mehrere Jahrzehnte als durchaus möglich. Damit würde sich auch die Zeit, in der die Zwischenlager in Betrieb sind, verlängern. Die folgende Diskussion konzentriert sich auf die Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen und hochaktiven Abfällen, auf die der größte Teil des radioaktiven Inventars entfällt.

Eine Verlängerung der oberirdischen Zwischenlagerung bedeutet zwangsläufig, dass die Gefahr von Unfällen mit radioaktiven Freisetzungen aus den Zwischenlagern ebenfalls für einen längeren Zeitraum besteht. Ein Transportbehälterlager mit passiver Kühlung durch Naturzug ist allerdings erheblich weniger verwundbar gegen interne auslösende Ereignisse als ein Lager mit aktiven Kühleinrichtungen (wie die meisten Nasslager). Auch gegenüber Einwirkungen von außen sind Behälterlager grundsätzlich robuster als Nasslager. Beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs mit darauf folgendem längerem Treibstoffbrand (unfallbedingt oder beabsichtigt) oder bei böswilligen Aktionen wie z. B. Beschuss oder Einsatz von Sprengmitteln gegen Behälter sind jedoch größere radioaktive Freisetzungen möglich.

Bei längerer Zwischenlagerung stellt sich weiterhin das Problem der Alterung der Brennelemente, insbesondere des Hüllrohr-Versagens. Einerseits geht die Nagra davon aus, dass eine Schädigung der Hüllrohre während der Zwischenlagerung nicht anzunehmen ist. Andererseits weist sie aber auch darauf hin, dass mögliche Versagensmechanismen für die Hüllrohre, insbesondere bei hohem Abbrand, Gegenstand internationaler Untersuchungen sowie auch von Arbeiten der Nagra in Zusammenarbeit mit den Betreibern sind. In den nächsten Jahren werden hier von der Nagra erhebliche Fortschritte erwartet.

Die Annahme, dass während der Zwischenlagerung keine Schädigung der Hüllrohre eintritt, kann daher lediglich als vorläufig und noch nicht als definitiv abgesichert angesehen werden. Es kann keineswegs ausgeschlossen werden, dass gerade bei längerer Zwischenlagerung – für die noch keine Erfahrungen vorliegen – zunehmend Schäden auftreten. Die Temperatur der Brennelemente nimmt zwar mit dem Abklingen der Zerfallsleistung über die Zeit ab. Jedoch könnten sich Vorschädigungen aus der frühen Phase der Lagerung, die noch nicht zu einem Verlust der Integrität führen, längerfristig weiterentwickeln und ausweiten.

Die Integrität der Hüllrohre wird zwar lt. Aussage der Nagra für die Langzeitsicherheit nicht vorausgesetzt. Deren Verlust führt auch während der Zwischenlagerung – sofern die Behälter dicht bleiben – nicht zu direkten Problemen. Die Entladung der Behälter und die weitere Hantierung mit den abgebrannten Brennelementen kann dadurch jedoch deutlich erschwert werden.

Bei einer Beschädigung der Hüllrohre treten gasförmige Spaltprodukte aus den Brennstäben in das Behälterinnere aus. Das radioaktive Inventar in der Behälteratmosphäre kann sich dadurch erheblich erhöhen. Die Zelle, in der die Behälter zum Umladen geöffnet werden, wird dadurch stärker kontaminiert; an die Reinigung der Abluft müssen höhere Anforderungen gestellt werden.

Darüber hinaus kann bei stärkeren Schäden an den Hüllrohren u. U. auch die Hantierbarkeit der Brennelemente beeinträchtigt sein; die Entnahme aus dem Behälter kann erheblich aufwändiger und damit auch anfälliger für Pannen und Störungen werden.

Wenn, wie von der KNS vorgeschlagen, beschädigte Brennelemente vor der Verbringung in den Tiefenlagerbehälter auch noch vorbehandelt werden sollen, bedeutet dies weitere Hantierungsvorgänge, die eine Anpassung (Ausweitung) der Behandlungseinrichtungen erfordern würden.

Insgesamt werden durch Hüllrohrschäden die Abläufe bei der Umladung der Brennelemente von Transport- in Tiefenlagerbehälter komplexer und störanfälliger. Die übertägigen Anlagen des Tiefenlagers werden damit umfangreicher und komplexer. Möglicherweise wäre damit auch die Notwendigkeit einer Vergrößerung der Pufferlager-Kapazität am Standort verbunden. Das Störfallrisiko erhöht sich damit tendenziell.

Ein potenzielles Problem stellt auch die Alterung der Transport- und Lagerbehälter dar. Das bestehende System der Genehmigung und Aufsicht soll diesem Aspekt Rechnung tragen. Die Anforderungen an die Transport-/Lagerbehälter betreffen insgesamt die Auslegung gegen statische und dynamische Belastungen, Deckelsystem und Behälterdichtheit, Unterkritikalität, die Alterungsbeständigkeit der Werkstoffe, die Ausführung der Druck tragenden Barrieren, den Schutz gegen Flugzeugabsturz, das Verhalten im Erdbebenfall, die Dosisleistung, die Temperatur im Lagergut und in den Behälterwerkstoffen, die Temperaturen an den Behälteroberflächen und in den Gebäudeteilen des Zwischenlagers, die verkehrsrechtliche Zulassung und die Entnahmefähigkeit des Lagergutes.

Die auf Sicherheitsberichten beruhenden Genehmigungen des ENSI für Einlagerung der Brennelemente in Transport-/Lagerbehälter in einem der Zwischenlager sind nicht befristet. Gemäß den Bestimmungen in Kernenergiegesetz und Kernenergieverordnung hat jedoch der Bewilligungsinhaber während der ganzen Lebensdauer einer Kernanlage systematische Sicherheitsbewertungen durchzuführen. Der Aufsichtsbehörde (ENSI) ist dazu im „Jahresbericht Sicherheit“ Bericht zu erstatten. In diesem Bericht sind auch die Resultate des Programms der wiederkehrenden Prüfungen (WKP) der Transport-/Lagerbehälter zu berücksichtigen. Dadurch soll gewährleistet sein, dass die Aufsichtsbehörde ständig über den Zustand der Zwischenlager und Behälter informiert ist und nötigenfalls Auflagen erteilen kann (Zuidema, pers. Mitteilung 2012<sup>5</sup>).

---

<sup>5</sup> Pers. Mitteilungen von Dr. Piet Zuidema, Leiter des Bereiches Technik und Wissenschaft der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Juli 2012.

Allerdings werden bis zur Inbetriebnahme des Tiefenlagers Zwischenlagerzeiten erreicht werden, die ein Mehrfaches der bisherigen darstellen. Dies stellt eine besondere Herausforderung für Betreiber und Aufsichtsbehörde dar.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass in Deutschland Behälter, wie sie auch in der Schweiz eingesetzt werden, bisher lediglich für eine Zwischenlagerzeit von 40 Jahren zugelassen wurden. Diese Zeitspanne würde in einigen Fällen bereits bei einer planmäßigen Inbetriebnahme des Tiefenlagers überschritten werden; bei Verzögerungen könnte eine erheblich größere Zahl von Behältern betroffen sein. Am Standort der Zwischenlager müsste eine Umladung in neue Behälter erfolgen, soweit eine Qualifikation der Behälter für einen längeren Zeitraum nicht möglich ist bzw. eine Eignung für den Transport zum Tiefenlager nicht mehr gegeben ist. Somit können Verzögerungen bei den Tiefenlagern auch zu komplexeren Abläufen an den Standorten der Zwischenlager führen.

### **Fazit**

Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Tiefenlager führen zur Verlängerung der oberirdischen Zwischenlagerung, insbesondere auch bei abgebrannten Brennelementen. Die Gefahr von Unfällen mit radioaktiven Freisetzungen aus den Zwischenlagern besteht damit für einen längeren Zeitraum.

Des Weiteren könnten Hüllrohrschäden in größerer Zahl auftreten. Dadurch werden die Abläufe bei der Umladung der Brennelemente von Transport- in Tiefenlagerbehälter komplizierter und stör anfälliger. Die übertragigen Anlagen des Tiefenlagers werden damit komplexer. Ein größeres Pufferlager könnte erforderlich werden. Das Störfallrisiko erhöht sich tendenziell.

Ein potenzielles Problem stellt auch die Alterung der Transport- und Lagerbehälter dar. Umladungen an den Standorten der Zwischenlager könnten in größerer Zahl erforderlich werden. Das bestehende System der Genehmigung und Aufsicht sieht eine regelmäßige Kontrolle des Zustandes von Zwischenlager und Behältern vor. Bis zur Inbetriebnahme des Tiefenlagers werden allerdings Zwischenlagerzeiten erreicht werden, die ein Mehrfaches der bisherigen darstellen.

Die möglichen Gefahren und Probleme einer längeren Zwischenlagerung sollten untersucht werden. Dies betrifft insbesondere auch die Frage, inwieweit Änderungen des Systems der aufsichtlichen Kontrolle erforderlich werden. Auch die Konsequenzen einer längeren Zwischenlagerung für Transport und Konditionierung abgebrannter Brennelemente sollten untersucht werden. Dabei wären verschiedene Szenarien mit Verzögerungen bei der Inbetriebnahme des Tiefenlagers zu betrachten (siehe Kapitel 3.1.3). Etwaige erforderlich werdende risikomindernde Maßnahmen sollten frühzeitig identifiziert werden.

## 4 LITERATURVERZEICHNIS

### Unterlagen zur Anhörung

- BFE – Bundesamt für Energie (2012): Entsorgungsprogramm vom Oktober 2008 und Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis. Erläuterungsbericht; Bern, Mai 2012.
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Bundesamt für Energie (2011): Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen. ENSI 33/110, Brugg und Bern, Dezember 2011.
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2012): Stellungnahme zu NTB 08-02 „Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis“. ENSI 35/114, Brugg, März 2012.
- KNS – Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (2011a): Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008. KNS 23/262, Brugg, Dezember 2011.
- KNS – Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (2011b): Beilage zur KNS-Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008. KNS 23/262. M. Buser: Erfahrungswerte bei der Planung und Umsetzung des Sachplans und des Realisierungsplans geologische Tiefenlager und Planungsgrundlagen für das weitere Vorgehen. KNS 23/263.01, Zürich, September 2011.
- KNS – Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (2012): Stellungnahme zum Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis (NTB 08-02); KNS 23/270, Brugg, März 2012.
- NAGRA – Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (2008a): Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen. Technischer Bericht NTB 08-01, Wettingen, Oktober 2008.
- NAGRA – Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (2008b): Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis. Technischer Bericht NTB 08-02, Wettingen, Oktober 2008.

### Andere Quellen

- BFE – Bundesamt für Energie (2008): Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil. Bern, April 2008.
- BFE – Bundesamt für Energie (2012): Newsletter Tiefenlager Mai 2012/No. 3.  
<http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/05182/05531/index.html?lang=de>.
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2009a): Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03, Brugg, April 2009.
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2009b): Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G03 (siehe ENSI 2009a). Brugg, April 2009.

KNS – Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (2010): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 1 – Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag geologischer Standortgebiete. KNS 23/219, Brugg, April 2010.

NAGRA – Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (2002): Projekt Opalinuston – Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers. Technischer Bericht NTB 02-02, Dezember 2002.

TFS – Technisches Forum Sicherheit (2012): Fragen und Antworten (Stand: 19. Juli 2012).

[http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/01309/01327/02622/index.html?lang=de&dossier\\_id=04335](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/01309/01327/02622/index.html?lang=de&dossier_id=04335).



**Umweltbundesamt GmbH**

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

[office@umweltbundesamt.at](mailto:office@umweltbundesamt.at)

[www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)

