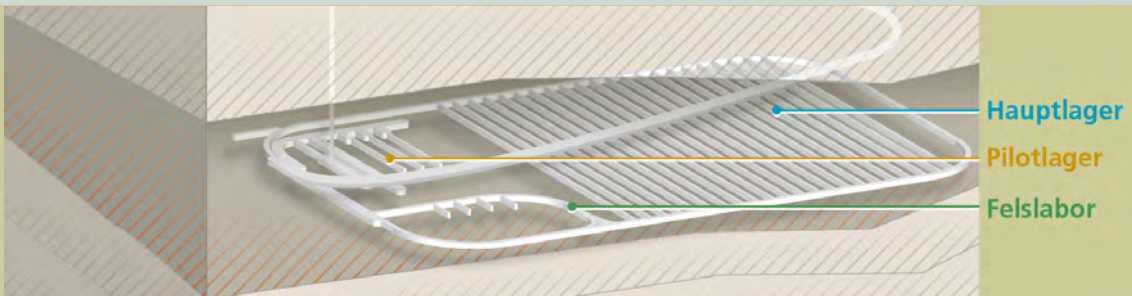




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



Stellungnahme zu NTB 08-02 «Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis»

ENSI 35/114

**Stellungnahme zum
«Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in
den Gutachten und Stellungnahmen zum
Entsorgungsnachweis» (NTB 08-02)**

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

CH-5200 Brugg

Telefon +41 (0)56 460 84 00

Telefax +41 (0)56 460 84 99

info@ensi.ch

www.ensi.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Beurteilungsgrundlagen	5
1.2	Vorgehensweise der Nagra und Struktur der Stellungnahme des ENSI	6
1.3	Umfang der Beurteilung	6
2	Themenbereich 1: Geologische Untersuchungen	9
2.1	Beurteilung der Vollständigkeit	9
2.2	Beurteilung der Bearbeitungszeiträume	11
2.3	Vergleich mit anderen Dokumenten	11
2.4	Berücksichtigung der Themen	12
3	Themenbereich 2: Beurteilung der Sicherheit	15
3.1	Beurteilung der Vollständigkeit	15
3.2	Beurteilung der Bearbeitungszeiträume	17
3.3	Vergleich mit anderen Dokumenten	17
3.4	Berücksichtigung der Themen	17
4	Themenbereich 3: Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen	19
4.1	Beurteilung der Vollständigkeit	19
4.2	Beurteilung der Bearbeitungszeiträume	21
4.3	Vergleich mit anderen Dokumenten	22
4.4	Berücksichtigung der Themen	22
5	Themenbereich 4: Barrieren- und Lagerkonzepte	25
5.1	Beurteilung der Vollständigkeit	25
5.2	Beurteilung der Bearbeitungszeiträume	30
5.3	Vergleich mit anderen Dokumenten	30
5.4	Berücksichtigung der Themen	30
6	Themenbereich 5: Weitere Aspekte	35
6.1	Beurteilung der Vollständigkeit	35
6.2	Beurteilung der Bearbeitungszeiträume	35
6.3	Vergleich mit anderen Dokumenten	36
6.4	Berücksichtigung der Themen	36
7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	37
8	Referenzen	40
9	Abkürzungen und Glossar	43

1 Einleitung

Im Rahmen der Beurteilung des Projekts Opalinuston für den Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle haben die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK¹, die Kommission für Nukleare Entsorgung KNE, die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen KSA², und eine internationale Expertengruppe der Nuclear Energy Agency (International Review Team, NEA-IRT) in ihren Gutachten, Stellungnahmen und Berichten zahlreiche Empfehlungen zum weiteren Vorgehen im Falle der Fortführung des Projekts gegeben (HSK 35/99; KNE 2005; KSA 2005; NEA 2004).

In der Verfügung des Bundesrats (Schweizerischer Bundesrat 2006), gemäss welcher der Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle erbracht worden ist, wurde von den Kernkraftwerkgesellschaften gleichzeitig mit dem Entsorgungsprogramm ein Bericht verlangt, welcher die offenen Fragen, Hinweise und Empfehlungen³ systematisch erfasst und aufzeigt, wie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht beantwortet werden. Die Nagra ist dieser Forderung im Oktober 2008 nachgekommen und hat zusammen mit dem Entsorgungsprogramm (NTB 08-01) ihren «Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis» (NTB 08-02) veröffentlicht. Das ENSI wurde beauftragt, zu diesem Bericht Stellung zu nehmen.

Seit der Beurteilung des Entsorgungsnachweises für HAA im Jahr 2005 wurde die geologische Tiefenlagerung weiterentwickelt. Mit der Richtlinie ENSI-G03 und Dokumenten zum Sachplan geologische Tiefenlager wurden weitere Vorgaben erarbeitet, nachdem die Nagra ihren Bericht NTB 08-02 eingereicht hatte. Das ENSI berücksichtigt für seine Beurteilung den aktuellen Stand der Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz. Es beurteilt, in welcher Form die damaligen Empfehlungen berücksichtigt wurden. Damit soll sichergestellt werden, dass die Umsetzung aller Empfehlungen nachvollziehbar bleibt.

1.1 Beurteilungsgrundlagen

Die Entsorgung der in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle wird durch das Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 und die Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 geregelt. Weitere behördliche Beurteilungsgrundlagen wurden nach den Berichten zum Entsorgungsnachweis, zum Teil auch erst nach dem Bericht NTB 08-02, erarbeitet bzw. publiziert:

- Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis (Richtlinie ENSI-G03 2009),
- Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT, BFE 2008),
- Herleitung, Beschreibung und Anwendung der sicherheitstechnischen Kriterien für die Standortevaluation (HSK 33/001 2007),
- Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich (ENSI 33/075 2010).

¹ Die HSK wurde 2009 vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI abgelöst.

² Die KSA wurde 2008 von der Eidgenössischen Kommission für Nukleare Sicherheit KNS abgelöst.

³ Unter dem Begriff «Empfehlungen» werden in dieser Stellungnahme alle Hinweise, Kommentare, Fragen und Bemerkungen zusammengefasst, aus denen ein Handlungsbedarf abgeleitet werden kann.

1.2 Vorgehensweise der Nagra und Struktur der Stellungnahme des ENSI

Die Nagra hat in NTB 08-02 alle rund 200 Empfehlungen einzeln aufgelistet, kommentiert und thematisch zusammengefasst. Die Stellungnahme des ENSI folgt dieser Themenaufteilung. Sie enthält die Gesamtbeurteilung des ENSI beim Umgang der Nagra mit den Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT. Ein Entwurf der Stellungnahme wurde der Nagra, der KNS und der KNE zur Sicherstellung der Faktentreue vorgelegt.

Zu jedem der rund 150 Themen hat das ENSI auf Grundlage von Beurteilungsblättern vier Leitfragen (s.u.) systematisch bearbeitet und dokumentiert (ENSI 35/116). In der vorliegenden Stellungnahme werden der Umgang mit allen Empfehlungen nachvollzogen und Themen, die für das laufende Sachplanverfahren und das Rahmenbewilligungsgesuch wichtig sind, eingehender diskutiert. Nach einer Zusammenfassung der Angaben der Nagra folgt jeweils eine Beurteilung des ENSI.

Während der Begutachtung der eingereichten Unterlagen wurden der Nagra Fragen gestellt. Die Fragen des ENSI und die Antworten der Nagra sind in einer Aktennotiz dokumentiert (ENSI 35/117). Die Antworten wurden in dieser Stellungnahme berücksichtigt.

1.3 Umfang der Beurteilung

Die Beurteilung und die vorliegende Stellungnahme des ENSI orientieren sich an folgenden Leitfragen:

1) *Wurden die Empfehlungen vollständig und nachvollziehbar aufgenommen?*

Der Verfügung des Bundesrats entsprechend hatte die Nagra in ihrem Bericht die Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT systematisch zu erfassen und aufzuzeigen, wie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht beantwortet werden. Teilweise überdecken oder überschneiden sich die Empfehlungen der einzelnen Institutionen. Um den Entsorgungspflichtigen eine konkrete Wegleitung zu geben, hatte die HSK ihre Empfehlungen in einer Aktennotiz zusammengefasst (HSK 35/104).

2) *Werden die Empfehlungen von der Nagra stufengerecht umgesetzt?*

Empfehlungen müssen stufengerecht bearbeitet werden. In NTB 08-02 nennt die Nagra dafür Meilensteine (z.B. Rahmenbewilligung, Baubewilligung). Das ENSI beurteilt, ob die Empfehlungen vor dem Hintergrund der behördlichen Vorgaben stufengerecht und zielführend umgesetzt werden bzw. umgesetzt werden können. Hierzu wurde das Forschungsprogramm der Nagra (NTB 09-06, 2009) berücksichtigt.

Über den Realisierungsplan in Kap. 5 des Entsorgungsprogramms NTB 08-01 sind die Meilensteine mit konkreten Zeitpunkten verknüpft. Diesen Zeitplan beurteilt das ENSI ausführlich in seiner Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm (ENSI 33/110).

3) *Steht der Inhalt im Einklang mit anderen Unterlagen zur geologischen Tiefenlagerung?*

Diverse damals zum Wirtgestein Opalinuston für ein Lager für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle (HAA-Lager) geäußerte Empfehlungen sind allgemeiner Natur. Sie betreffen auch ein geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) oder Techniken, die unabhängig vom Wirtgestein eingesetzt werden können, wie z.B. das Einbringen von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien.

In Etappe 1 SGT wurden von der Nagra neben dem Opalinuston ausschliesslich tonreiche Wirtgesteine mit ähnlichen Eigenschaften vorgeschlagen.

Der Opalinuston wurde als Wirtgestein in fünf der sechs Standortgebiete für ein SMA-Lager vorgeschlagen. Das Zürcher Weinland⁴ wurde als Standortgebiet sowohl für ein HAA- als auch für ein SMA-Lager vorgeschlagen. Die damaligen Empfehlungen und Erfahrungen können deshalb auch für ein SMA-Lager und für andere Standortgebiete wichtig sein.

In der Schweiz sind zahlreiche Aktivitäten im Hinblick auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle im Gang. Viele dieser Aktivitäten umfassen Empfehlungen aus dem Entsorgungsnachweis:

- Seit 2008 erfolgt unter Federführung des Bundesamts für Energie das Standortauswahlverfahren auf Basis des Sachplans geologische Tiefenlager (BFE 2008). Im Rahmen der Etappe 1 hat die Nagra umfangreiche Dokumente erstellt (z.B. NTB 08-03; NTB 08-04; NTB 08-05; NTB 10-01 und die darin zitierten Referenzberichte). Es fanden zahlreiche Fachdiskussionen statt, die auf Empfehlungen aus dem Entsorgungsnachweis Bezug nehmen und unter anderem im Nagra-Bericht NAB 09-29 und auf der Homepage des Technischen Forums Sicherheit (www.technischesforum.ch) dokumentiert sind.
- Periodisch ist von den Entsorgungspflichtigen ein Entsorgungsprogramm vorzulegen. Das ENSI nimmt dazu in ENSI 33/110 Stellung.
- Die Nagra hat ihre langfristige Planung zur Lagerrealisierung in einem Forschungsprogramm dargelegt (NTB 09-06).
- In den Felslaboratorien Grimsel und Mont Terri werden Forschungsexperimente durchgeführt und Techniken erprobt (z.B. Blechschmidt und Vomvoris 2009; Bossart und Thury 2008).

Das ENSI verfolgt diese Aktivitäten und hat geprüft, ob die Angaben der Nagra zum Umgang mit den Empfehlungen mit diesen Aktivitäten im Einklang sind.

4) *Wie werden die Themen in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt?*

Empfehlungen aus dem Entsorgungsnachweis können auf zwei Arten berücksichtigt sein:

- Viele Empfehlungen betreffen kontinuierliche Arbeiten und werden erst in Zukunft, z.B. erst nach dem Verschluss eines Tiefenlagers, vollständig abzuschliessen sein. Ihre Umsetzung muss regelmässig überprüft werden. Dies wird sichergestellt, indem die Empfehlungen in die behördlichen Anforderungen und Wegleitungen (z.B. Richtlinien des ENSI, Sachplan geologische Tiefenlager) oder in periodisch zu überprüfende Dokumente der Entsorgungspflichtigen (z.B. Forschungs- und Entwicklungsprogramm NTB 09-06, das künftig fester Bestandteil des Entsorgungsprogramms wird) aufgenommen wurden. So wird z.B. im Forschungs- und Entwicklungsprogramm beschrieben, wie das Prozessverständnis des Gastransports überprüft und verbessert werden kann (Thema 1.3.2 des NTB 08-02).
- Thematisch begrenzte Empfehlungen können bereits heute vollständig abgearbeitet sein. So wurden z.B. Aspekte der Umweltverträglichkeit und der Raumplanung bei der Vorbereitung der zweiten Etappe des Sachplanverfahrens orientierend abgeklärt (Thema 4.4). Einzelne Empfehlungen gehen von Annahmen aus, die für die aktuelle Planung nicht von Bedeutung sind. So wird z.B. bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit die mögliche Sorption von Radionukliden an Eisenkorrosionsprodukten nicht vorausgesetzt (Thema 4.2.1 des NTB 08-02). Solche Empfehlungen müssen nicht weiter verfolgt werden.

Das ENSI hat in Kapitel 7 zusammengestellt, welche Themen noch in die weiteren Realisierungsschritte aufzunehmen sind.

⁴ Das Zürcher Weinland wurde in Zürich Nordost umbenannt. Weil sich die vorliegende Stellungnahme auf den Entsorgungsnachweis und die zugehörigen Gutachten und Stellungnahmen bezieht, wird die ursprüngliche Bezeichnung beibehalten.

2 Themenbereich 1: Geologische Untersuchungen

Unter diesem Themenbereich fasst die Nagra alle Empfehlungen zu regionalen geologischen Untersuchungen zum Opalinuston und seinen Rahmengesteinen, geologische Standortuntersuchungen (u.a. zur glazialen Tiefenerosion), Fragen zur geologischen Langzeitentwicklung und Langzeitstabilität sowie zur Vertiefung des Prozessverständnisses bezüglich Transportmechanismen, Gasfreisetzung/Gastransport, Selbstabdichtung und gekoppelter Prozesse im Opalinuston (Felsmechanik) zusammen und legt dar, wie sie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht berücksichtigen will.

2.1 Beurteilung der Vollständigkeit

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra alle Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT zum Themenbereich 1 aufgenommen hat und die Zusammenstellung im NTB 08-02 diesbezüglich vollständig ist. Im Folgenden geht das ENSI auf Empfehlungen ein, die für das laufende Sachplanverfahren und das Rahmenbewilligungsgesuch wichtig sind.

Verbesserung des Verständnisses der geologisch-tektonischen Entwicklung des Hegau-Bodensee-Grabens

Die Nagra verweist auf eine umfassende Literaturstudie zu diesem Thema, die im Gang ist. Aus den Ausführungen geht aber nicht hervor, ob zur Verbesserung des Verständnisses auch ergänzende Arbeiten geplant sind (Abklärung der Entwicklungsgeschichte der Grabenzone, zusätzliche Nivellementmessungen, ergänzende Untersuchungen zur Quartärgeschichte, Analyse der Herdflächenmechanismen rezenter Erdbeben, KNE 2005, S. 10).

Aus Sicht des ENSI sind solche Arbeiten für die Abklärung der geologisch-tektonischen Entwicklungsgeschichte der Nordschweiz wichtig und sollten in die geplanten Untersuchungen der Etappe 2 SGT integriert werden.

Vertiefte Abklärung der Bruchbildung, die durch Erdbeben induziert werden können

Die Nagra hat vorgesehen, die einschlägige Literatur periodisch zu analysieren und die Konsequenzen im Hinblick auf die spezifischen Verhältnisse an einem potenziellen Standort zu gegebener Zeit abzuschätzen.

Für das ENSI sind diese Angaben nicht genau genug. Es erwartet, dass zu diesem Thema die standort-spezifischen Verhältnisse einbezogen und die möglichen Konsequenzen aus erdbebeninduzierten Bruchvorgängen analysiert werden. Die Ergebnisse sollen für das Rahmenbewilligungsgesuch in einem Bericht dokumentiert werden, um die Sicherheitsabstände der Lagerstollen zu Störungszonen nachvollziehbar ableiten und begründen zu können.

Vertiefung des Prozessverständnisses bezüglich glazialer Tiefenerosion

Die Nagra plant, Datierungsmethoden neu zu evaluieren und in Etappe 3 SGT eine Bohrung im unteren Thurtal abzuteufen, falls das Zürcher Weinland im Auswahlverfahren bleibt.

Neben den verschiedenen laufenden Untersuchungen der Nagra zu diesem Thema werden vor der Standortfestlegung des HAA-Lagers und vor Einreichung eines Rahmenbewilligungsgesuchs standort-spezifische Untersuchungen bezüglich der Thurtal- und der Glatttalrinne nötig sein. Die mittlere Thurtal-Rinne hat zum Beispiel in der vorletzten Eiszeit eine Übertiefung von ca. 200 m erfahren und eine

Datierung ihrer Verfüllung im tiefsten Teil der westlichen Rinne könnte die Standortfestlegung massgeblich beeinflussen.

Das Prozessverständnis zur glazialen Tiefenerosion ist zielgerichtet zu vertiefen, damit es bei der Wahl des HAA-Standorts in Etappe 3 SGT berücksichtigt werden kann. Die vorgesehene Kernbohrung bis in den Felsuntergrund zwecks Aufschlüsselung der glazialen Geschichte der Nordschweiz sollte daher frühzeitig erfolgen.

Erweiterung der Datenbasis zur Homogenität/Variabilität der Gesteinseigenschaften des Opalinustons und seiner Rahmengesteine (Einfluss Fazies, Trennflächengefüge, Anisotropie, etc.)

Die Nagra verweist auf laufende Studien (sedimentologisch ausgerichtete Interpretationen geophysikalischer Logs, Seismostratigraphie, Labor- und Felduntersuchungen, Daten aus Untersuchungen Dritter, etc.).

Das ENSI erwartet, dass die sicherheitstechnischen Konsequenzen von Faziesänderungen und tektonischer Überprägung für Etappe 2 SGT aufgezeigt werden (u.a. in ihrem Einfluss auf das Sorptionsverhalten, auf die hydraulische Barrierenwirkung und das felsmechanische Verhalten). Die Nagra sieht solche Untersuchungen vor (NTB 10-01).

Vertiefung des Prozessverständnisses bezüglich Gasfreisetzung und Gastransport im Opalinuston

Die Nagra führt zu diesem Thema umfangreiche in situ-Versuche im Felslabor Mont Terri, Laborexperimente und Modellierungsarbeiten durch und beteiligt sich an verschiedenen internationalen Projekten (u.a. Projekt FORGE⁵, Projekt Gas-MOD⁶).

Hinsichtlich des Gastransportes im Opalinuston ist die Rolle der Auflockerungszone als mögliche präferenzielle Gaswegsamkeit für das Rahmenbewilligungsgesuch im Detail zu klären. Entsprechende Ergebnisse sind aus dem Experiment HG-A im Felslabor Mont Terri zu erwarten.

Vertiefte Untersuchung gekoppelter Prozesse im Nahfeld und in der Geosphäre während der thermischen Phase des Lagers (u.a. Wiederaufsättigung, thermisch induzierte Spannungen und Porenwasserdruck-erhöhung, Gasbildung und Gastransport)

Im aktuellen Forschungsprogramm der Nagra werden diese Fragestellungen in mehreren Projekten untersucht. Neben Labor- und in situ-Versuchen im Felslabor Mont Terri sollen numerische Simulationen mit THMC⁷-Kopplung gestartet werden.

Für das ENSI ist nicht klar, wie die Nagra mit der Komplexität der Modellierung von THMC-Kopplungen umgehen wird. Das ENSI erwartet, dass die Nagra das konzeptuelle Vorgehen in den Unterlagen zur Etappe 2 SGT darlegt. Diese Prozesse (Aufsättigung, Gasbildung, Gastransport, Entwicklung der pH-Fahne etc.) wurden bisher oft unter vereinfachenden Annahmen isoliert betrachtet. Ihre Beschreibung und gekoppelte Modellierung sollte künftig verstärkt werden.

⁵ FORGE: Fate of Repository Gases, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.bgs.ac.uk/forge/

⁶ Gas-MOD: Forschungs- und Entwicklungsprojekt der Nagra in Zusammenarbeit mit dem Lawrence Berkeley National Laboratory.

⁷ THMC: Thermisch-Hydraulisch-Mechanisch-Chemisch.

Vertiefung des Prozessverständnisses bezüglich Felsmechanik (Opalinuston) und Überprüfung der Ausbruchsicherung

Zu diesem Thema laufen umfangreiche Untersuchungen seitens der Nagra. Zur Abhängigkeit der bautechnischen Machbarkeit von der Tiefe und zur Evaluation der erforderlichen Stützmittel (z.B. Spritzbeton, Betonliner) hat die Nagra erste Ergebnisse vorgelegt (NAB 09-07).

Das ENSI vertritt die Auffassung, dass die Angaben zur Lagerauslegung und zur Ausbruchsicherung bereits im Hinblick auf die nächsten Entscheidungsschritte (Etappen 2 und 3 SGT, Rahmenbewilligungsgesuch) näher konkretisiert werden sollten, da sie einen Einfluss auf den Platzbedarf (z.B. Zwischensiegel) und den Standort des Tiefenlagers haben können. Zudem sollte das Verständnis der gekoppelten thermisch-hydraulisch-mechanischen Prozesse im Hinblick auf bruchhafte Verformungen vertieft werden. Inzwischen haben dazu weitere konkrete Aktivitäten stattgefunden: Die Nagra geht auf dieses Thema in ihrem Bericht NTB 10-01 ein und mehrere Fachsitzungen mit Experten des ENSI und des Technischen Forums Sicherheit haben stattgefunden.

2.2 Beurteilung der Bearbeitungszeiträume

Für die geologischen Untersuchungen hält die Nagra folgende Meilensteine fest:

- Innerhalb des Sachplanverfahrens: Die Empfehlungen werden im Rahmen der geologischen Untersuchungen in den Etappen 2 und 3 SGT (ca. 2011 - 2018) und der Forschungsarbeiten im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch umgesetzt.
- Nach Erteilung der Rahmenbewilligung: Die Empfehlungen werden im Rahmen der untertägigen Standortuntersuchungen (Bau des Felslabors) zur Charakterisierung und Bestätigung der standortspezifischen geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse und zur Erfassung der sicherheitsrelevanten Gesteinseigenschaften umgesetzt. Die Ergebnisse dieser untertägigen Untersuchungen sowie ergänzender Untersuchungen von der Oberfläche (u.a. Bohrungen, Seismik) bilden die Basis für das Baubewilligungsgesuch nach KEG. Vorgängig zu den untertägigen Untersuchungen ist dabei zur Beweissicherung mit einem Umweltüberwachungsprogramm der Ist-Zustand festzuhalten (ENSI-G03). Zieltermine für das Baubewilligungsgesuch nach KEG sind für das SMA-Lager 2026, für das HAA-Lager 2040 (NTB 08-01, Anhang A.4).
- Nach Erteilung der Baubewilligung: Die Gesteinseigenschaften werden im Hinblick auf die Vorbereitung des Sicherheitsberichts für das Gesuch für die Betriebsbewilligung baubegleitend eingehender charakterisiert.

Das ENSI beurteilt die dargelegten Bearbeitungszeiträume als geeignete Planungswerkzeuge und im Grundsatz als nachvollziehbar. Es liegt in der Natur langfristiger Planungen, dass die Zeitangaben für spätere Zeiten mit zunehmender Unsicherheit behaftet sind.

2.3 Vergleich mit anderen Dokumenten

Das ENSI hat die Angaben zum Themenbereich 1 «Geologische Untersuchungen» im Bericht NTB 08-02 mit denjenigen des NTB 08-01 (Entsorgungsprogramm 2008), des NTB 09-06 (Forschungsprogramm) und des Konzeptteils SGT (BFE 2008) verglichen. Es stellt fest, dass diese zueinander konsistent sind.

2.4 Berücksichtigung der Themen

Tabelle 1 zeigt auf, wie die Themen zu geologischen Untersuchungen in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt werden.

Das Verständnis der geologisch-tektonischen Entwicklung des Hegau-Bodensee-Grabens (Thema 1.2.1 c) ist zu verbessern, wenn die Standortregionen «Südranden» und «Zürcher Weinland» im Sachplan verbleiben. Das ENSI empfiehlt, dieses Thema in das Forschungs- und Entwicklungsprogramm zu integrieren und stellt fest, dass alle anderen Themen berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Berücksichtigung von Empfehlungen zum Themenbereich «Geologische Untersuchungen»

Nr.	Themenbereich geologische Untersuchungen	Berücksichtigt durch
1.1	Standortuntersuchungen	
1.1.1	Standortuntersuchungen von der Oberfläche	
a-d	Vertiefte Charakterisierung der Rahmengesteine Weitere Untersuchungen des Opalinustons Erweiterung des Datensatzes bezüglich Zustandsparameter in den verschiedenen Gesteinsschichten Erfassung des Ist-Zustands	BFE 2008, Anh.1, Abs. 1.2.3: Überprüfung geologischer Informationen ENSI 33/115, div. Forderungen für Etappe 2 SGT KEV, Art. 62: ausschlaggebende Eigenschaften HSK 33/001, S.13: natürliche Mehrfachbarriere, Kriterien- gruppe 1, S.30: Rückhaltevermögen des Gesamtsystems NTB 09-06, Abs. 6.2: Geologische Daten
e	Standortbezogene Untersuchung der glazialen Tiefenerosion (geplante Bohrung in übertiefer Felsrinne - falls notwendig)	BFE 2008, Tab. A1-6: glaziale Tiefenerosion
1.2	Regionale geologische Untersuchungen	
1.2.1	Langzeitentwicklung und Langzeitstabilität	
a	Ergänzung der Datenbasis und Vertiefung des Verständnisses bezüglich Geodynamik und Neotektonik	BFE 2008, Tab. A1-5: Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften NTB 09-06, Abs. 6.2.3.3: Regionale Langzeitentwicklung
b	Weiterentwicklung der Beckenmodellierung als Evidenz der Versenkungs- und Hebungsgeschichte der Nordschweiz	BFE 2008, Tab. A1-6: Hebungsrate, Erosionsrate
c	Verbesserung des Verständnisses der geologisch-tektonischen Entwicklung des Hegau-Bodensee-Grabens	In das Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufzunehmen
d	Vertiefte Abklärung der Möglichkeit der Bruchbildung bei seismisch aktiven Störungszonen	NTB 09-06, Abs. 6.2.2: Standortuntersuchungen
e	Vertiefung des Prozessverständnisses der Glazialgeschichte des Alpenvorlands	BFE 2008, Tab. A1-6: glaziale Tiefenerosion
f	Erstellung eines digitalen Höhenmodells der Felsoberfläche (Basis Quartär)	Hierzu gibt es keine Empfehlung. Die Methode ist Teil der Untersuchungen zur glazialen Tiefenerosion.
1.2.2	Allgemeine Geologie	
a	Erweiterung der Datenbasis bezüglich lateraler Veränderungen der sedimentären Fazies des Opalinustons	NTB 09-06, Abs. 6.2.3: Regionalgeologische Untersuchungen NTB 09-06, Abs. 6.2.4: Schlüsselparameter der Wirtgesteine
b	Verfolgung der methodischen Entwicklung bezüglich Analyse der Paläotemperaturen im Opalinuston und Erweiterung der Datenbasis	KEG, Art. 4 Abs. 3 Bst. a: Stand von Wiss. und Technik
1.3	Vertiefung Prozessverständnis Wirtgestein	
1.3.1	Vertiefung des Prozessverständnisses bzgl. Transportmechanismen	
a	Vertiefte Analyse von Profilen natürlicher Tracer	HSK 33/001, Abs.4.2: Kriterium 3.3 Unabhängige Evidenzen
b	Verbesserte Erfassung der Diffusionseigenschaften	NTB 09-06, Abs.6.2.4.1: Transportprozesse
c	Verbesserung der Kenntnisse der Porenwasserchemie (Redox-Potenzial, pCO ₂)	NTB 09-06, Abs.6.2.4.1: Transportprozesse

1.3.2 Vertiefung des Prozessverständnisses bzgl. Gastransport / Gasfreisetzung		
a-c	Überprüfung und Verbesserung des Prozessverständnisses des Gastransports Erweiterung und Verbesserung der Datenbasis zur Modellierung der Gasfreisetzung Vertiefte Analyse möglicher Veränderungen des Porenraums in Stollennähe und deren Einfluss auf die Gasfreisetzung	NTB 09-06, Abs. 6.4.2: Gastransportprozesse ENSI 33/070, Abs. 3.3.4: Gasbildung und -transport
d	Vertiefte Untersuchung der Bedeutung der Heterogenität des Wirtgesteins auf die Gasfreisetzung	HSK 33/001, Abs.4.2: Kriterium 3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine NTB 09-06, Abs. 6.2.4.2: Gastransport in Wirtgesteinen
e	Vertiefte Untersuchung des möglichen Einflusses der Gasdrucke bzw. der Gasfreisetzung auf die Transporteigenschaften des Opalinustons	ENSI-G03, Abs. 7.2.2, Bst. c: Sicherheitsanalyse / Robustheit der Barrieren HSK 33/001, Abs. 4.2: Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.3: Gastransport durch Bentonitbarrieren
1.3.3 Vertiefung des Prozessverständnisses bzgl. Selbstabdichtung		
a	Verbessertes Verständnis zur Selbstabdichtung natürlicher Störungen	BFE 2008, Tab. A1-5: Freisetzungspfade NTB 09-06, Abs. 6.2.4.5: Selbstabdichtung
b-c	Verbessertes Verständnis zur Selbstabdichtung von (induzierten) Diskontinuitäten durch Versuche im Felslabor Mont Terri Vertiefte Analyse des Einflusses der Stollenventilation auf Diskontinuitäten in der Stollenwand	HSK 33/001, Tab. 4-8: Lagerbedingte Einflüsse NTB 09-06, Abs. 6.2.4.5: Selbstabdichtung NTB 09-06, Abs. 6.2.4.4: Ventilationsexperiment
d	Ergänzende Untersuchung der Bedeutung der Durchlässigkeit der Auflockerungszone in der Sicherheitsanalyse	HSK 33/001, Abs.4.2: Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse / Auflockerungszone NTB 09-06, Abs. 5.3.4.5: Prozessverständnis im Nahfeld NTB 09-06, Abs. 6.2.4.2: Gastransportprozesse NTB 09-06, Abs. 6.2.4.5: Selbstabdichtung
1.3.4 Vertiefung des Prozessverständnisses bezüglich gekoppelter Phänomene		
a	Analyse der Wiederaufsättigung unter Berücksichtigung der erhöhten Temperaturen	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.1: Modellierung der Wiederaufsättigung
b	Vertiefte Analyse des Einflusses der Temperaturerhöhung auf das Stollenumfeld und auf das geologische Umfeld	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.1: Thermische Effekte im Nahfeld
c	Vertiefte Untersuchung des Einflusses der Tunnelventilation (Feuchtigkeitstransfer, Rissbildung) auf die Entwicklung des Stollenumfelds	HSK 33/001, Tab. 4-8: Lagerbedingte Einflüsse NTB 09-06, Abs. 6.2.4.4: Ventilationsexperiment
d	Verbesserung der Datenbasis zu gekoppelten Prozessen	NTB 09-06, Abs. 6.2.4.2: Gastransport NTB 09-06, Abs. 6.2.4.4: Wiederaufsättigung NTB 09-06, Abs. 6.2.4.5: Selbstabdichtung
e	Überprüfung des Einflusses der Temperaturerhöhung auf die Mineralogie des Opalinustons	NTB 09-06, Abs. 6.2.4.4: Thermische Auswirkungen auf das Wirtgestein
1.3.5 Vertiefung des Prozessverständnisses bezüglich Felsmechanik		
a-c	Verbesserung des Verständnisses und Erweiterung der Datenbasis durch Versuche im Felslabor Mont Terri Weiterführung der Modellierungsstudien Erweiterung der Standortdaten	NTB 09-06, Abs.2.5: Felslaboratorien NTB 09-06, Abs. 6.5.4 Eigenschaften im Nahfeld, insb. Modellierungen BFE 2008, Gesamter Sachplan ist auf stufenweise Erhöhung des Kenntnisstandes ausgerichtet

3 Themenbereich 2: Beurteilung der Sicherheit

Unter diesem Themenbereich fasst die Nagra die Empfehlungen zu den Themen Methodik der Sicherheitsanalyse, zur Ableitung von Mindestanforderungen für ausgewählte Elemente des Barrierensystems, zur Biosphärenmodellierung und zu den Modellen und Daten für die Analyse der Langzeitsicherheit zusammen und legt dar, wie sie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht berücksichtigen will.

3.1 Beurteilung der Vollständigkeit

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra alle wesentlichen Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT zum Themenbereich 2 aufgenommen hat und die Zusammenstellung im NTB 08-02 diesbezüglich vollständig ist. Im Folgenden geht das ENSI auf Empfehlungen ein, die für das laufende Sachplanverfahren und das Rahmenbewilligungsgesuch wichtig sind.

Überprüfung der Methodik der Sicherheitsanalyse

Die Nagra prüft die Methodik zur Ableitung von Rechenfällen in einem internen Projekt als Teil einer umfassenden Überprüfung der verwendeten Methodik zur Erarbeitung des Sicherheitsnachweises. Dazu gehören

- die Notwendigkeit, das Spektrum der Rechenfälle zu erweitern, z.B. um kombinierte Effekte, alternative Konzeptualisierungen der Transportpfade im Nahfeld, Sensitivitätsbetrachtungen zum Radionuklidtransport bei Variation der hydraulischen Durchlässigkeit der Bentonitbarriere und der Versiegelungstrecken, die Freisetzung von Radionukliden in den ersten 10'000 Jahren und den Umgang mit sehr langen Zeiten (erosive Freilegung),
- die Methodik zur Quantifizierung des Risikos (Schutzkriterium 2 gemäss Richtlinie ENSI-G03) und
- die organisatorische Abwicklung von Sicherheitsanalysen (evtl. stärkere personelle Trennung für die Wahrnehmung von spezifischen Funktionen).

Aus Sicht des ENSI wurden die Empfehlungen zur Methodik der Sicherheitsanalyse bei der Erstellung der Richtlinie ENSI-G03 berücksichtigt und stellen deshalb heute Teil der Überprüfung der Sicherheitsberichte durch das ENSI dar. Dort ist unter anderem festgehalten, dass der Sicherheitsnachweis auf die Ergebnisse einer umfassenden Sicherheitsanalyse abzustützen und die sicherheitstechnische Relevanz von Ungewissheiten zu quantifizieren sind. Dazu gehören Ungewissheiten bezüglich Parametern, Szenarien und Modellkonzepten.

Ableitung von Mindestanforderungen für ausgewählte Elemente des Barrierensystems

In ihrer Stellungnahme zum Entsorgungsnachweis (KSA 2005) hielt die KSA fest, dass sie mit der generellen Beschreibung des Sicherheitskonzepts einverstanden ist. Nach ihrer Ansicht sollten jedoch die Funktionen der einzelnen Barrieren innerhalb des Barrierensystems festgehalten und daraus für die einzelnen Barrieren Mindestanforderungen bzw. Auslegungskriterien, wie beispielsweise Druckfestigkeit der Behälter oder Rückhaltevermögen des Verfüllmaterials, abgeleitet werden. Mit der generischen Sicherheitsbetrachtung in Etappe 1 SGT wurden von der Nagra die erwarteten Rückhaltebeiträge der verschiedenen Elemente des Barrierensystems aufgezeigt und quantitative Zielvorgaben an die Eigenschaften der geologischen Barriere festgelegt. Für die Herleitung der quantitativen Zielvorgaben an die geologische Barriere (z.B. Tiefenlage, Mächtigkeit, laterale Ausdehnung, hydraulische Durchlässigkeit) diente den Entsorgungspflichtigen das Dosis-Schutzkriterium der Richtlinie ENSI-G03 von 0.1 mSv/Jahr.

Für die Ableitung von Anforderungen für die Elemente des Barrierensystems und deren Umsetzung in den Projekten entwickelt die Nagra gegenwärtig ein «Requirements Management». Die Nagra ist daran, die Anforderungen und Vorgaben mit den dazugehörigen Elementen des geologischen Tiefenlagers in einer Datenbank zu integrieren und zu verknüpfen. Die Datenbank soll es erleichtern, die Zielkonflikte verschiedener Anforderungen sichtbar zu machen und den Bedarf an weiteren Vorgaben aufzuzeigen.

Aus Sicht des ENSI ist dieses systematische Vorgehen sicherheitsgerichtet und entspricht dem Inhalt der Empfehlung der KSA. Der Konzeptteil des Sachplans und die Richtlinie ENSI-G03 stellen sicher, dass die Beiträge der einzelnen Barrieren zu den Rückhalteeigenschaften eines geologischen Tiefenlagers und der umgebenden Geosphäre dargelegt werden und die grundlegenden Aspekte der Empfehlung auch in den weiteren Arbeiten der Nagra berücksichtigt werden. Die Richtlinie ENSI-G03 legt ausser der Einschlusszeit von 1000 Jahren für die Lagerbehälter für hochaktive Abfälle keine quantitativen Mindestanforderungen an einzelne Barrieren fest.

Biosphärenmodellierung

Die Nagra plant, die Auswirkungen der Geomorphologie und des Klimas mit Modellszenarien und -eigenschaften in den Langzeitsicherheitsanalysen zu berücksichtigen. Die Entwicklung der Radionuklidkonzentrationen in den verschiedenen Biosphärensystemen soll vertieft analysiert werden. Das Expertenwissen wird von der Nagra laufend gefördert, indem Vertreter der Nagra aktiv in internationalen Gremien mitarbeiten⁸.

Das ENSI hat in seine Richtlinie ENSI-G03 und in die «Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich» (ENSI 33/075) aufgenommen, dass die Entwicklung der Radionuklidkonzentrationen in den verschiedenen Biosphärensystemen vertieft zu untersuchen und typische Morphologien und Klimasituationen zu berücksichtigen sind. Mögliche Varianten der Klimaentwicklung und dazugehörige Biosphärenmodelle sind festzulegen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers ist zu untersuchen. Im weiteren Verlauf des Sachplanverfahrens werden die von der Nagra angekündigten Arbeiten stufengerecht geprüft. Der Einbezug von Expertenwissen wird durch die Forderung der Richtlinie ENSI-G03 sichergestellt, wonach der Sicherheitsnachweis gemäss aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik zu führen ist.

Weiter- und Neuentwicklung von Modellen und Daten für die Analyse der Langzeitsicherheit

Die Nagra entwickelt ein integriertes System für die Modellierung der Radionuklidausbreitung, das sowohl für probabilistische als auch für deterministische Analysen eingesetzt werden kann. Weiter wurde die Modellierung des Übergangs zwischen den technischen Barrieren und dem Wirtgestein verbessert (Neuentwicklung eines integrierten Nahfeld- und Geosphärentransportcodes für die SMA- und LMA-Lagerkammern, Modifikation des bestehenden Nahfeldcodes STMAN für BE/HAA/LMA mit expliziter Berücksichtigung eines advektiven Wasserflusses an der Schnittstelle zwischen den technischen Barrieren und dem Wirtgestein).

Aus Sicht des ENSI hat die Nagra bereits für die generischen Sicherheitsbetrachtungen in Etappe 1 SGT mit neuen Versionen von STMAN und VPAC Programme entwickelt, die den Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis Rechnung tragen. Die geplante Neuentwicklung von Programmsystemen für die probabilistischen Sicherheitsanalysen durch die Nagra für das Rahmenbewilligungsgesuch ist aus Sicht des ENSI

⁸ Darunter BIOPROTA: Key issues in biosphere aspects of assessment of the long-term impact of contaminant releases associated with radioactive waste management, IAEA / EMRAS: Environmental Modelling for Radiation Safety.

sinnvoll, um Aussagen zur Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers für wenig wahrscheinliche zukünftige Entwicklungen zu machen und um Kombinationen von Ungewissheiten in Prozessen und Parametern in der Sicherheitsanalysen zu berücksichtigen.

Das ENSI hat bei seiner Durchsicht der Unterlagen der Nagra geprüft, ob die Empfehlungen von der Richtlinie ENSI-G03 abgedeckt sind. Die Sicherheitsanalyse ist gemäss Richtlinie ENSI-G03 als systematischer Nachweis für die Einhaltung der Schutzkriterien zu führen. Sie umfasst Begründungen für die verwendeten Rechenmodelle und vereinfachte Annahmen, Darstellungen, inwiefern Änderungen in den Parameterwerten die Berechnungsergebnisse beeinflussen und eine Analyse der Ungewissheiten in den Daten, Prozessen, Modellen und berechneten Dosen. Die Inhalte der Empfehlungen sind also aus Sicht des ENSI in die Richtlinie aufgenommen worden und müssen deshalb auch in den weiteren Arbeiten der Nagra berücksichtigt werden.

3.2 Beurteilung der Bearbeitungszeiträume

Die Nagra hält fest, dass der Inhalt der Empfehlungen im laufenden Verfahren stetig umgesetzt wird. Der Kenntnisstand der relevanten Prozesse und Parameter wird im Hinblick auf die Einreichung der Rahmenbewilligungsgesuche schrittweise vertieft werden. Dieses Vorgehen ist aus Sicht des ENSI zielführend.

Die angesprochenen Aspekte zur Methodik der Sicherheitsanalyse, zur Ableitung von Mindestanforderungen für ausgewählte Elemente des Barrierensystems, zur Biosphärenmodellierung und zu den Modellen und Daten für die Analyse der Langzeitsicherheit werden aufgrund der Anforderungen im Konzeptteil des Sachplans und in der Richtlinie ENSI-G03 zudem bei jeder Etappe des SGT durch das ENSI geprüft.

3.3 Vergleich mit anderen Dokumenten

Das ENSI hat die Angaben zum Themenbereich 2 «Beurteilung der Sicherheit» im Bericht NTB 08-02 mit denjenigen des NTB 08-01 (Entsorgungsprogramm 2008), des NTB 09-06 (Forschungsprogramm) und des Konzeptteils SGT (BFE 2008) verglichen. Die Angaben der Nagra sind mit den Angaben in diesen Unterlagen konsistent.

3.4 Berücksichtigung der Themen

Tabelle 2 zeigt auf, wie die Themen zur Beurteilung der Sicherheit in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt werden. Das ENSI stellt fest, dass alle Themen berücksichtigt werden.

Tabelle 2: Berücksichtigung von Empfehlungen zum Themenbereich «Beurteilung der Sicherheit»

Nr.	Themenbereich Beurteilung der Sicherheit	Berücksichtigt durch
2.1	Methodik der Sicherheitsanalyse	
2.1.1	Methodik	
a-b	Überprüfung der Methodik zur Ableitung von Rechenfällen Überprüfung des FEP-Managements	ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Sicherheitsanalyse NTB 09-06, Abs. 6.3.1: Weiterentwicklung und Verbesserung der Methodik
c	Vertiefte Analyse des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens in das Lager	KEG, Art. 40: Schutz des geologischen Tiefenlagers ENSI-G03, Abs. 5.3.2: Markierung ENSI-G03, Abs. 6.3: Langzeitarchivierung ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Sicherheitsanalyse
d	Analyse des Einflusses der Erosion nach sehr langen Zeiten	ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Sicherheitsanalyse
e	Weiterentwicklung von probabilistischen Methoden und Codes sowie Weiterentwicklung der Instrumente für Sensitivitätsanalysen	NTB 09-06, Abs. 6.3.1: Methoden der Sicherheitsanalyse
f	Sicherstellung des aktuellen Stands von Technik und Wissenschaft für die Methodik der Sicherheitsanalyse	ENSI-G03, Abs.7.2.2: Sicherheitsanalyse
2.1.2	Ableitung von Mindestanforderungen für ausgewählte Elemente des Barrierensystems	
a	Festlegung von Mindestanforderungen bzw. Auslegungskriterien	BFE 2008: Etappe 1 SGT NTB 09-06, Abs.6.3.2: «Requirements Management»
2.1.3	Biosphärenmodellierung	
a	Vertiefte Analyse der Auswirkungen der Geomorphologie und des Klimas	ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Sicherheitsanalyse
b	Vertiefte Analyse der Entwicklung der Radionuklidkonzentrationen in den verschiedenen Biosphärensystemen	ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Annahmen zur Klimaentwicklung und Bevölkerung NTB 09-06, Abs. 6.3.4: Biosphärenmodell
c	Einbezug des Expertenwissens über die Biosphärenmodellierung	ENSI-G03, Abs. 7.2.1: Sicherheitsnachweis NTB 09-06, Abs. 6.3.4: Biosphärenmodell
2.2	Modelle und Daten für die Analyse der Langzeitsicherheit	
a	Weiterentwicklung von Werkzeugen für die Sicherheitsanalyse	ENSI-G03, Abs.7.2.1: Sicherheitsnachweis
b	Aktueller Kenntnisstand	ENSI-G03, Abs.7.2.1: Sicherheitsnachweis

4 Themenbereich 3: Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen

Unter diesem Themenbereich fasst die Nagra alle Empfehlungen zum Abfallinventar, zur Abfalllogistik, zur Glaskorrosion, zum Verhalten der abgebrannten Brennelemente, zur Abfallkonditionierung und zur Gasbildung zusammen und legt dar, wie sie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht berücksichtigen will.

4.1 Beurteilung der Vollständigkeit

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra alle wesentlichen Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT zum Themenbereich 3 aufgenommen hat und die Zusammenstellung im NTB 08-02 diesbezüglich vollständig ist. Im Folgenden geht das ENSI auf Empfehlungen ein, die für das laufende Sachplanverfahren und das Rahmenbewilligungsgesuch wichtig sind.

Abschätzung der Nuklidinventare für HAA und LMA

Die Nagra arbeitet mit den Abfallproduzenten und ausländischen Organisationen auf allen Gebieten der Abfallinventarisierung zusammen. Im Rahmen der z.T. bereits erfolgten (HAA-) bzw. in den nächsten Jahren anstehenden (LMA-) Rückführung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung aus dem Ausland liefern und liefern die Organisationen der Wiederaufarbeiter neue Abfallspezifikationen und weitere Dokumente mit Inventaren wichtiger Nuklide, die auf Messungen oder den Materialflüssen in den Wiederaufarbeitungsanlagen beruhen. Mit dem «Modelhaften Inventar Radioaktiver Materialien (MIRAM) führt die Nagra eine zentralisierte Datenbank, in dieser bestehende und zukünftige Abfälle inventarisiert sind.

Die Abfallspezifikationen für die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden vom ENSI im Rahmen von Vorabklärungsgesuchen zuhanden des BFE begutachtet. Die individuelle Dokumentation jedes Abfallgebundes wird vom ENSI im Rahmen von Übertrittsgenehmigungen gemäss Richtlinie HSK-B05 geprüft. Aus Sicht des ENSI ist es sinnvoll, einen Vergleich zwischen Aktivitäten von Radionukliden aus ähnlichen Abfallströmen von verschiedenen Ländern (Empfehlung des NEA-IRT) durchzuführen und zu dokumentieren. Das ENSI begrüsst die Bemühungen der Nagra, die Datenbank mit den aktuellsten Kenntnissen zu aktualisieren. In diesem Zusammenhang ist die Charakterisierung des Nuklidinventars und Materialstroms der Abfälle aus Grossforschungsanlagen weiterzuführen; die aktualisierten Daten sind für die weiteren Schritte im Sachplanverfahren zu dokumentieren.

Einlagerungslogistik von Brennelementen und von verglasten hochaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung

Nach Angaben der Nagra werden die aktuellen Brennelement-Entladedaten der Kernkraftwerke laufend nachgeführt, um die künftigen Abbrandstrategien inklusive Letzt kern hinsichtlich der Wärmeleistungsbegrenzung in Endlagerbehältern optimal zu berücksichtigen. Dazu verwendet die Nagra das Programm SIMAN. Zusätzlich werden gemäss Nagra weitere Studien, die sich u. a. mit Inventaren von Radionukliden in MOX- und UO₂-Brennelemente mit hohen Abbränden befassen, durchgeführt (ENSI 35/117). Dazu sollen spezialisierte Werkzeuge eingesetzt werden. Die Resultate werden gemäss Nagra mit Messdaten von hohen Abbränden validiert. Bei den gegenwärtig vorliegenden abgebrannten Brennelementen ist aus Sicht der Nagra eine optimierte Verpackung der abgebrannten Brennelemente nicht in Frage gestellt, da genügend abgebrannte Brennelemente mit niedrigen Abbränden bzw. langen Abklingzeiten für die Beladung der Behälter vorliegen.

Der hinsichtlich einer optimalen und auch wirtschaftlichen Entsorgung maximal zu wählende Abbrand ist Gegenstand der erwähnten Studien.

Für das ENSI ist das von der Nagra beschriebene Vorgehen nachvollziehbar. Das ENSI wird die Ergebnisse der Untersuchungen und die Beladestrategie im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch erneut überprüfen.

Weiterführung der Experimente zur Glaskorrosion

Die am PSI seit 1990 laufenden Langzeitversuche werden gemäss Nagra fortgesetzt, um die Entwicklung der Auflösungsraten über möglichst lange Zeiträume verfolgen zu können. Die Langzeitauflösung von Glas unter Tiefenlagerbedingungen (z.B. Einfluss von Tonmineralen, Eisenkorrosionsprodukten und der Temperatur auf die Glasauflösung) wurde u.a. im EU-Projekt «NF-PRO⁹» untersucht. Ergebnisse der Experimente und der Modellierung zeigen, dass die Glasauflösungsraten je nach Bedingungen in der Grössenordnung der pessimistischen Annahmen der Nagra im Projekt Entsorgungsnachweis liegen (European Commission 2008).

Das ENSI empfiehlt der Nagra, die Untersuchungen zur Glasauflösung unter Tiefenlagerbedingungen weiterzuverfolgen und die Ergebnisse in das Rahmenbewilligungsgesuch einfließen zu lassen. Das ENSI wird die Raten für die Glasauflösung im Rahmen weiterer Sicherheitsanalysen und des Rahmenbewilligungsgesuchs erneut überprüfen.

Verhalten der abgebrannten Brennelemente hinsichtlich Kritikalität, Eigenschaften der Hüllrohre, IRF-Werte, Verhalten der Brennstoffmatrix und Brennstoffauflösung

Diese Aspekte wurden von der Nagra in ihr Forschungsprogramm (NTB 09-06) aufgenommen. Entsprechende Versuche zum Verhalten der Hüllrohre, der IRF-Werte und dem Verhalten der Brennstoffmatrix wurden am Paul Scherrer Institut gestartet.

Das ENSI wird die Berücksichtigung der Empfehlungen durch die Nagra im Rahmen weiterer Sicherheitsanalysen und des Rahmenbewilligungsgesuchs überprüfen. Die Integrität der Hüllrohre wurde bei den quantitativen Berechnungen des Sicherheitsnachweises konservativerweise nicht vorausgesetzt. Aus Sicht des ENSI sind intakte Hüllrohre eine wertvolle zusätzliche Barriere des Gesamtsystems. Es ist deshalb wichtig, ihr Verhalten unter realistischen Bedingungen beschreiben zu können. Auf Nachfrage des ENSI werden gemäss Nagra Abklärungen und bei Bedarf neue Berechnungen zur Einhaltung der Grenztemperatur von 350°C am Brennelement für das Rahmenbewilligungsgesuch durchgeführt (ENSI 35/117). Diese Berechnungen wird das ENSI im Rahmen weiterer Sicherheitsanalysen und des Rahmenbewilligungsgesuchs beurteilen.

Abfallkonditionierung zur Vermeidung und Reduzierung von organischen Materialien

Der Organikagehalt der LMA wurde nach Angaben der Nagra seit Einreichung des Entsorgungsnachweises reduziert und wird voraussichtlich weiter abnehmen (z.B. Substitution der organikahaltigen LMA von Sellafield Ltd durch wenige HAA, keine organischen Beimischungen in metallischen Abfällen aus der Wiederaufarbeitung bzw. geplanter Ersatz der Bituminierung durch eine Methode ohne Organika bei

⁹ NF-PRO: Abgeschlossenes Projekt zur Untersuchung der relevanten Prozesse, die den Beitrag der Nahfeldbarrieren zur Gewährung der Langzeitsicherheit beeinflussen. <http://www.nf-pro.org/eng>

AREVA). Aus Sicht des ENSI ist die Umsetzung der Empfehlungen für LMA demnach schon weit fortgeschritten¹⁰.

Gasbildung

Nach Auskunft der Nagra laufen Experimente zur Bestimmung des Gasquellterms aus Metallen im Rahmen des EU-Projekts «FORGE». Zusätzliche Experimente zur Gasbildung durch den Abbau von organischem Material sind seitens Nagra nicht geplant (ENSI 35/117). Aus Sicht der Nagra werden die bisher verwendeten Abbauraten für organische Materialien genügend hoch angesetzt, um die vorhandenen Ungewissheiten abzudecken. Zusätzlich lässt die Nagra eine Literaturstudie durchführen, mit welcher die bisher verwendeten Abbau- bzw. Gasbildungsraten überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Es wird auch evaluiert, ob mit experimentellen Studien Ungewissheiten verringert werden könnten (ENSI 35/117).

Die Stellungnahme der Nagra zu dieser Empfehlung ist aus Sicht des ENSI zu wenig detailliert. Aus den Unterlagen der Nagra geht nicht hervor, welche Forschungsarbeiten zur genaueren Bestimmung des Gasquellterms geplant sind (siehe ENSI 35/117). Berechnungen der Nagra und des ENSI zum Gastransport in Etappe 1 SGT haben gezeigt, dass Variationen der Gasbildungsrate in einem SMA-Lager aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Wirtgesteins mit einem sicherheitstechnisch relevanten Druckaufbau verbunden sind. Ein ähnlicher Einfluss wurde auch für das LMA-Lager gezeigt (NTB 04-06). Bis jetzt gibt es nur wenige belastbare Experimente, die die Raten für den Abbau von organischem Material unter Tiefenlagerbedingungen (z.B. erhöhte Temperaturen, chemische Bedingungen) bestimmen. Das ENSI empfiehlt daher der Nagra, zur Reduktion der Ungewissheiten (Parameterbandbreiten) die Abbauraten von organischem Material mit zusätzlichen experimentellen Daten abzustützen.

Die Nagra erläutert darüber hinaus, dass die Gasbildung aus der Korrosion metallischer Materialien aufgrund der grossen Mengen an Metallen in einem geologischen Tiefenlager besonders wichtig ist. Das ENSI stimmt dieser Einschätzung zu und stuft die von der Nagra geplante Evaluation der Gasbildung aus metallischen Materialien im Rahmen des EU-Projekts «FORGE» und zusätzlicher geplanter Experimente (Korrosion von Stahl in kompaktiertem, mit Opalinustonwasser gesättigtem Bentonit bei 60°C und in einem Zementumfeld unter gesättigten und ungesättigten Bedingungen bei 50°C) als notwendig ein.

4.2 Beurteilung der Bearbeitungszeiträume

Die Empfehlungen bezüglich der Abfalllogistik, der Auflösung der Glasmatrix und des Verhaltens der abgebrannten Brennelemente werden im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch umgesetzt. Für das ENSI ist dieser Bearbeitungszeitraum den weiteren Schritten zur Lagerrealisierung angemessen.

Die Abklärungen zum Inventar und zu den Konditionierungsmethoden von radioaktiven Materialien und Abfällen ist eine laufende Arbeit der Nagra in enger Zusammenarbeit mit den Abfallverursachern. Für die weiteren Etappen des SGT und die Bewilligungsschritte gemäss KEG wird seitens der Nagra jeweils eine Wertung vorgenommen, deren Resultate in die Anlagenplanung und den Sicherheitsbericht einfließen. Das ENSI überprüft die Berücksichtigung der Empfehlungen im Rahmen dieser Etappen bzw. Bewilligungsschritte, zum Beispiel im Rahmen der Genehmigung neuer Abfallbindetypen.

¹⁰ Der Aspekt bleibt weiterhin aktuell für SMA. Gemäss Nagra wurde ein Projekt gestartet, um alternative Behandlungen organischer Materialien zu untersuchen. Das ENSI überprüft die Behandlung von radioaktiven Abfällen gemäss Richtlinie HSK-B05 im Rahmen der Abfallbindetypengenehmigung.

Die Empfehlungen bezüglich Gasbildung aufgrund des Abbaus von Organika und die erneute Evaluation der Gasbildung aufgrund der Korrosion metallischer Materialien werden gemäss Nagra in erster Linie im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch bearbeitet. Die Resultate werden aber schon davor, in den Etappen 2 und 3 SGT verwendet, insofern die Gasbildung einen Einfluss auf die Wahl von Wirtgestein und Standort hat.

Das ENSI begrüsst, dass die Nagra mit diesen Arbeiten begonnen hat und erwartet, dass die Resultate bereits in den weiteren Etappen des SGT einfließen. Da in Etappe 1 SGT nur tonreiche Gesteine als potenzielle Wirtgesteine für SMA, LMA und HAA vorgeschlagen wurden, werden Fragen zu Gasbildung und -transport in den weiteren Schritten der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers einen hohen Stellenwert haben.

4.3 Vergleich mit anderen Dokumenten

Das ENSI hat die Angaben der Nagra zum Themenbereich 3 «Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen» im NTB 08-02 mit denjenigen des NTB 08-01 (Entsorgungsprogramm 2008), des NTB 09-06 (Forschungsprogramm), des Konzeptteils SGT (BFE 2008) und Berichten zu EU-Forschungsprojekten (NF-PRO, MICADO¹¹, FORGE, SFS¹²) verglichen. Die Angaben der Nagra sind mit den Angaben in diesen Unterlagen konsistent.

4.4 Berücksichtigung der Themen

Tabelle 3 zeigt auf, wie die Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt wird.

Der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich des Verhaltens der Brennelement-Hüllrohre ist zu verfolgen (Thema 3.3 e). Das ENSI empfiehlt, dieses Thema in das Forschungs- und Entwicklungsprogramm zu integrieren und stellt fest, dass alle anderen Themen berücksichtigt werden.

¹¹ Model uncertainty for the mechanism of dissolution of spent fuel in a nuclear waste repository, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.sckcen.be/en/Our-Research/Research-projects/EU-projects-FP6-FP7/MICADO

¹² SFS: Spent fuel stability under repository conditions, Abgeschlossenes Forschungsprojekt der Europäischen Union (5th EURATOM Framework Programme 1998-2002).

Tabelle 3: Berücksichtigung von Empfehlungen zum Themenbereich «Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen»

Nr.	Themenbereich Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen	Berücksichtigt durch
3	Aktualisierung der Informationen zu den radioaktiven Abfällen	
3.1	Abfallinventar und Abfalllogistik	
a	Überprüfung des Inventars von kritischen Radionukliden	HSK-B05, Abs. 4.2.1.5: keine kritischen Radionuklide
b	Vertiefung von Fragen zur Abfalllogistik	NTB 09-06, Abs. 6.4: Abfälle
3.2	Glaskorrosion	
a	Weiterführung der Glaskorrosionsexperimente	NTB 09-06, Abs.6.4.3.3: Glaskorrosion
b	Weiterführung der Zusammenarbeit mit international anerkannten Experten	NTB 09-06, Abs.6.4.3.3: Glaskorrosion
c	Vertiefte Evaluation des Verständnisses im Hinblick auf die Modellierung der Glasauflösung	NTB 09-06, Abs.6.4.3.3: Glaskorrosion
3.3	Verhalten der abgebrannten Brennelemente	
a	Weitere Untersuchungen zur Kritikalität	ENSI-G03, Abs. 5.1.1 Bst. a: Kritikalität NTB 09-06, Abs. 6.4.3.2: Kritikalität
b	Vertiefung des Verständnisses zu Veränderungen in den Brennstoffeigenschaften bis zum Ende des vollständigen Einschlusses im Endlagerbehälter	NTB 09-06, Abs. 6.4.3.1: Brennstoffeigenschaften
c	Vertiefung des Verständnisses zur Freisetzung von C-14 aus den Hüllrohren	NTB 09-06, S.86: EU Spent Fuel Stability Project NTB 09-06, Abs. 6.4.3.1: Verhalten von Zircaloy-Hüllrohren
d	Verbesserung der Datengrundlagen zur bevorzugten Freisetzung ('Instant Release Fraction', IRF)	NTB 09-06, Abs. 6.4.3.1: SF, IRF und «matrix dissolution»
e	Verfolgen des Stands von Wissenschaft und Technik bezüglich Verhalten der Brennelement-Hüllrohre	In das Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufzunehmen ENSI 35/117, Frage 3.3-1
f	Vertiefung des Verständnisses zur Brennstoffauflösung	NTB 09-06, Abs. 6.4.3.1: SF, IRF und Matrixauflösung
3.4	Abfallkonditionierung	
a	Vermeidung von Organika	ENSI-G03, Abs. 6.1: Optimierung bei jedem Schritt Substitution von Abfällen, Weitgehende Verglasung
b	Reduzierung von Organika während der Konditionierung von Abfällen	ENSI-G03, Abs. 6.1: Optimierung bei jedem Schritt HSK-B05, Abs. 4.4.5: Reduzierung Organika Substitution von Abfällen, Weitgehende Verglasung
c	Kernauslegung und Festlegung des maximalen Abbrands	NTB 09-06, Abs. 6.4: Abfälle
3.5	Abklärungen zur Gasbildung	
	Gasbildung	ENSI-G03, Abs. 7.2.2, Bst. e: Sicherheitsanalyse / Entwicklung der Materialien im Tiefenlager HSK 33/001, Abs.4.2: Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse NTB 09-06, Abs. 6.4.3.4: Gasproduktion

5 Themenbereich 4: Barrieren- und Lagerkonzepte

Unter diesem Themenbereich fasst die Nagra alle Empfehlungen zu den Konzepten der Lagerauslegung und des Betriebs, der technischen Barrieren, des Monitoring und der Rückholung der Abfälle zusammen. Zudem erläutert die Nagra ihre Vorgehensweise hinsichtlich der bentonit- und zementhaltigen Verfüllmaterialien und der Versiegelung und des Verschlusses des Tiefenlagers. Weitere Empfehlungen betreffen die BE/HAA-Endlagerbehälter und das Prozessverständnis im Nahfeld. Die Nagra legt dar, wie sie die Empfehlungen im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht berücksichtigen will.

5.1 Beurteilung der Vollständigkeit

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra alle wesentlichen Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT zum Themenbereich 4 aufgenommen hat und die Zusammenstellung im NTB 08-02 diesbezüglich vollständig ist. Die in NTB 08-02 von der Nagra vorgelegte Vorgehensweise ist aus Sicht des ENSI geeignet, die Beurteilungsgrundlagen für die Gesuche stufengerecht zu erarbeiten. Das ENSI empfiehlt der Nagra, die entsprechenden Empfehlungen in ihr «Requirements Management» aufzunehmen. Im Folgenden geht das ENSI auf Empfehlungen ein, die für das laufende Sachplanverfahren und das Rahmenbewilligungsgesuch wichtig sind.

Festhalten an Eigenschaften einzelner technischer Barrieren und Weiterführung der Arbeiten zur Verringerung der Ungewissheiten

Die Nagra hält in NTB 08-02 fest, dass die vorhandenen Konzepte im Grundsatz beibehalten werden, auch wenn wegen der sehr günstigen Eigenschaften des Opalinuston eine grosse Bandbreite von Ungewissheiten im Verhalten der technischen Barrieren toleriert werden kann, ohne damit die Sicherheit eines Tiefenlagers im Opalinuston in Frage zu stellen. Die definitive Auslegung der technischen Barrieren erfolgt aus Sicht der Nagra mit dem Baubewilligungsgesuch nach KEG.

Dieses Vorgehen ist aus Sicht des ENSI sicherheitsgerichtet, weil die Nagra mit dem Konzept des Mehrfachbarrierensystems die behördlichen Vorgaben umsetzt (Richtlinie ENSI-G03; ENSI 33/075; HSK 33/001). Die Nagra hat die sicherheitstechnische Bedeutung der bautechnischen Auslegung und lagerbedingten Einflüsse zu bewerten, insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den Barrieren und den lagerinduzierten Prozessen (z.B. Temperaturentwicklung, Gasbildung bzw. Gasdruckaufbau, Hoch-pH-Fahne). Das ENSI hat zudem im Oktober 2010 das Projekt «Lagerauslegung» gestartet, um entsprechende regulatorische Anforderungen abzuleiten.

Bentonithaltige Verfüllmaterialien

Die Empfehlungen zu bentonithaltigen Verfüllmaterialien betreffen weiterführende Untersuchungen zur Radionuklid-Rückhaltung, vertiefte Abklärungen der Eigenschaften, der Herstellung und des Einbringens von Bentonitgranulat, der Langzeitbeständigkeit von Bentonit, des Gastransports im Bentonit und des Behälterabsinkens.

Die Vorgehensweise der Nagra zum Umgang mit den Empfehlungen setzt sich zusammen aus

- der Teilnahme an Programmen der EU wie EB¹³ und ESDRED¹⁴ (Abklärungen zur Herstellung und zum Einbringen von Bentonitgranulat), PEBS¹⁵ (Abklärungen zu Eigenschaften von Bentonitgranulat), NF-PRO (Nahfeld-Untersuchungen) und FORGE (Abklärungen zum Gastransport im Bentonit);
- Forschungsarbeiten in Felslaboratorien (Mont Terri, Grimsel, Äspö) zur Langzeitbeständigkeit von Bentonit und seiner Eigenschaften (z.B. 1:1 Einlagerungsdemonstrationsversuch unter erhöhten Temperaturen über einen langen Zeitraum im Felslabor Mont Terri);
- Modellberechnungen zur Frage des Behälterabsinkens (Pusch und Adley 1999, Börgesson und Hernelind 2006, Mayor et al. 2005, siehe auch Antwort zu Frage 25 im Technischen Forum Sicherheit);
- und Laborversuchen (EPF Lausanne) zur Abklärung der Eigenschaften von Bentonitgranulat.

Das Bestreben der Nagra, die experimentellen Grundlagen für das Verständnis des Verhaltens von Bentonit zu erweitern ist aus Sicht des ENSI bezüglich der Empfehlungen zielführend und sicherheitsgerichtet. Das ENSI verfolgt die entsprechenden internationalen Forschungsaktivitäten.

Entwicklung alternativer zementhaltiger Verfüllmaterialien inkl. Zementverkleidungen zur Verringerung der chemischen Wechselwirkung mit der Geosphäre

Die Nagra weist auf die Arbeiten im Rahmen des EU-FP6 Projekt ESDRED und auf Erfahrungen mit Spritzbeton im Felslabor Mont Terri hin. In ihren Ausführungen zur Frage 7 im Technischen Forum Sicherheit weist die Nagra darauf hin, dass die langfristig potenziell unerwünschten Auswirkungen alkalischer Porenwässer von degradierenden, zementhaltigen Ausbauten auf das Wirtgestein bereits im Rahmen der Arbeiten für den Entsorgungsnachweis Gegenstand eingehender Untersuchungen waren. Die Nagra konnte darlegen, dass die Auswirkungen auf den Opalinuston räumlich sehr beschränkt sind und die Eigenschaften des Wirtgesteins als effiziente Transportbarriere nicht beeinträchtigen (z.B. NTB 02-03, Kapitel 7.5.2). Im Rahmen von internationalen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen werden diese Fragen, einschliesslich der möglichen Wirkung auf Bentonit, weiter untersucht. Die Arbeiten umfassen namentlich die Entwicklung von Niedrig-pH-Zement¹⁶ und -Beton (ESDRED-Teilprojekt «Low pH Shotcrete for Rock Support»). Dazu gehören auch umfangreiche Eignungs- und Demonstrationsversuche mit Niedrig-pH-Spritzbeton zur Felssicherung (u.a. 2006 im Versuchsstollen Hagerbach; s. NAB 07-02). Die Verwendung von Niedrig-pH-Spritzbeton wurde schliesslich im Felslabor Mont Terri getestet und demonstriert; die Veröffentlichung dieser Ergebnisse ist in Bearbeitung.

Aus Sicht des ENSI ist festzuhalten, dass Zementporenwässer in der Regel hoch-alkalisch (pH>13) sind und quellbare Tonminerale im Bentonit und Schichtsilikate in tonreichen Wirtgesteinen lösen. Unter solchen Bedingungen erfolgt im Wirtgestein anschliessend eine Ausfällung von Sekundärmineralien wie Calcit, Zeolithen und Ca-Al-Silikat-Hydraten, welche die Selbstabdichtung und Sorptionseigenschaften des Wirtgesteins reduzieren. Montmorillonit im Bentonit wandelt sich vermutlich in Illit um, was die Permeabilität und Kationenaustauschkapazität verringert. Da sich die mineralogischen Veränderungen im Wirtgestein nur wenige Meter ausbreiten, sind die Auswirkungen dieser zementgebundenen Stützmittel auf die Bentonitbarriere grösser als auf die Geosphäre.

Massiver Stahleinbau erhöht die Menge der produzierten Korrosionsgase. Die Auswirkungen solcher Ausbaukonzepte (insbesondere Tübbinge und Spritzbeton) auf die Langzeitsicherheit des

¹³ Engineered barrier emplacement experiment in opalinus clay, Abgeschlossenes Forschungsprojekt der Europäischen Union.

¹⁴ Engineering studies and demonstrations of repository designs, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.esdred.info

¹⁵ Long-term performance of engineered barrier systems.

¹⁶ Niedrig-pH-Zement bzw. -(Spritz-)Beton hat einen pH-Wert zwischen 10 und 12 im Porenwasser. Im Vergleich dazu hat das Porenwasser von einem Portlandzement einen pH-Wert zwischen 12.5 und 13.5.

HAA-Tiefenlagern sind darum von der Nagra für die weiteren Schritte bei der Realisierung von Tiefenlagern im Detail zu überprüfen.

Erneute Evaluation der Behältermaterialien und die Herstellung von Prototypen

Die Nagra plant, die Behältermaterialien für das Rahmenbewilligungsgesuch noch einmal zu evaluieren. Sie sieht vor, für das Baubewilligungsgesuch das Behältermaterial definitiv festzulegen. Die Nagra hat in den Berichten NTB 09-02 und NTB 09-04 die aktuelle Sichtweise internationaler Materialexperten vorgelegt und diskutiert darin die Vor- und Nachteile der verschiedenen Behältermaterialien.

Die gasrelevanten Aspekte für ein HAA-Lager im Opalinuston wurden bereits im Rahmen des Entsorgungsnachweises beurteilt (HSK 35/99). Die Überprüfung zeigte, dass irreversible Schäden im Wirtgestein durch die auftretenden Gasdrücke nicht zu erwarten sind. Aus Sicht des ENSI ist es zielführend, die Entwicklung des Stands von Wissenschaft und Technik hinsichtlich Behältermaterialien weiterhin eng zu verfolgen, denn eine Verringerung der Gasproduktion durch eine geeignete Wahl des Behältermaterials ist eine sicherheitsgerichtete Massnahme. Die durch Behälterkorrosion bedingte Gasentwicklung wird im Sachplanverfahren mit den Kriterien «Lagerbedingte Einflüsse» und «Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften» beurteilt.

Die Nagra sieht vor, die Planung zur Prototypenherstellung erst nach der Rahmenbewilligung im Detail festzulegen. Nach Auskunft der Nagra wurde 2010 eine Konzeptstudie für die Behälterentwicklung (Auslegung, Herstellung, Verschluss) in Auftrag gegeben. Die Ergebnisse der Konzeptstudie sollen in einem NTB dokumentiert werden und in das Rahmenbewilligungsgesuch einfließen.

Das ENSI empfiehlt diesbezüglich, möglichst frühzeitig ein Konzept zur Prototypenherstellung vorzulegen, um dem erforderlichen Zeitbedarf für die Behälterherstellung Rechnung zu tragen. Die Beibehaltung der Option Kupfer als alternatives Behältermaterial betrachtet das ENSI als sinnvoll.

Überprüfung des Versiegelungskonzepts, detailliertere Auslegung der Verschlussbauwerke, Erarbeiten eines Konzepts zum schnellen Verschluss

Die Nagra plant, die Konzepte für Versiegelung und Verschluss für das Rahmenbewilligungsgesuch weiter zu konkretisieren und für die weiteren Bewilligungsschritte nach KEG stufengerecht zu verfeinern. Wichtige Erkenntnisse zum Versiegelungskonzept werden auch bei den Versuchen SB, EZ-A und HG-A im Felslabor Mont Terri und GAST im Felslabor Grimsel erwartet.

Die konzeptuellen und experimentellen Arbeiten der Nagra stellen aus Sicht des ENSI ein zielgerichtetes Vorgehen dar. Das ENSI erwartet, dass die Nagra im Rahmen der Bewilligungsschritte zur Realisierung eines HAA-Lagers im Opalinuston die Verfüll- und Versiegelungskonzepte konkretisiert und eine Bestätigung der materialtechnischen Kennwerte vorlegt. Zu einem Versiegelungskonzept gehört nach Ansicht des ENSI auch eine Darlegung möglicher Unzulänglichkeiten und Abweichungen beim Einbau von Siegelstrecken und deren Konsequenzen auf die Langzeitsicherheit.

Die Nagra geht auf die Empfehlung zum Selbstverschluss nicht ein. Ein solcher Verschluss würde innert einer angemessenen Zeit in Aktion treten, falls bestimmte regelmässige Unterhaltsarbeiten nicht ausgeführt werden.

Hinsichtlich eines Selbstverschlussbauwerks weist die Nagra auf die Richtlinie ENSI-G03 hin, wo die Möglichkeit eines temporären Verschlusses des geologischen Tiefenlagers vorgesehen ist. Die Nagra plant, im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch ein Konzept zum temporären Verschluss zu erarbeiten.

Von der Forderung eines Selbstverschlusses wurde in der Richtlinie ENSI-G03 abgesehen, da damit zu viele Risiken und ungeklärte Fragen verbunden sind: Fragen des Unterhalts, um die selbsttätige Einsatzbereitschaft aufrechtzuerhalten, die Feststellung und Verifizierung dieser Bereitschaft ohne eine Probeauslösung, das Verhindern einer unbeabsichtigten Auslösung, die Überwachung und Gewährleistung der Funktion und die mit einer Selbstverschlusseinrichtung verbundene geringere Versiegelungsqualität. Die Richtlinie ENSI-G03 fordert für den Fall einer ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen, welche die Sicherheit des Lagers oder einen ordnungsgemässen Verschluss in Frage stellen, technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss, um die Einlagerungsbereiche eines geologischen Tiefenlagers während der Betriebsphase jederzeit rasch in einen passiv sicheren Zustand überführen zu können. Der temporäre unterscheidet sich vom ordnungsgemässen Verschluss durch das schnelle Handeln und die Möglichkeit der Reversibilität der getroffenen Massnahmen. Für den temporären Verschluss sollte von einem Zeitbedarf entsprechend einer vereinfachten (Teil-) Versiegelung der Anlage ausgegangen werden.

Prozessverständnis im Nahfeld

Die Nagra wird für das Rahmenbewilligungsgesuch die Arbeiten an internationalen thermodynamischen Datenbanken (TDB-Projekt der NEA) weiterhin unterstützen. Dabei wird auch der Einfluss erhöhter Temperaturen (im HAA-Lager) und pH-Werte (im LMA-Lager) auf die Porenwasserzusammensetzung und die Löslichkeit und Sorption von Radionukliden berücksichtigt. Für weitere Bewilligungsschritte nach KEG werden geochemische Parameter (z.B. Löslichkeitslimiten, Sorptions- und Diffusionskonstanten) in Zusammenarbeit mit dem PSI stufengerecht evaluiert. Gemäss Nagra werden für die Nagra/PSI-Datenbank Methoden entwickelt, um die thermodynamischen Daten für höhere Temperaturen zu extrapolieren (ENSI 35/117).

Das ENSI empfiehlt der Nagra, die abgeleiteten geochemischen Parameterwerte für erhöhte Temperaturen (für das HAA-Lager) und hohe pH-Werte (für das LMA-Lager) für die Sicherheitsanalysen punktuell durch Experimente zu überprüfen.

Gemäss Nagra ist das Verständnis des Transports im Porenraum von Tonsystemen ebenfalls ein Schwerpunkt der Nagra-PSI-Forschung. Der Einfluss von Komplexbildnern auf die Radionuklid-Retention wurde auch innerhalb der EU-Projekte NF-PRO und FUNMIG¹⁷ abgeklärt. Die Erarbeitung neuer Erkenntnisse für den Opalinuston, Bentonit und Zement werden mit verschiedenen Untersuchungsmethoden gewonnen. Dazu dienen Messungen der Sorption in wässrigen Suspensionen, Diffusionsmessungen im Labor und im Felslabor Mont Terri, thermodynamische Modellierungen und Modellierungen auf molekularer Ebene.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra durch die Kombination von experimenteller Forschung und Modellierungen den bereits guten Kenntnisstand des Chemismus in Tonsystemen wie Bentonit oder Opalinuston weiter verbessern wird. In Etappe 2 SGT wird das ENSI prüfen, ob das Prozessverständnis im Nahfeld für die Durchführung von provisorischen Sicherheitsanalysen ausreicht.

Die Ausdehnung der pH-Fahne um die LMA-Lagertunnel wird von der Nagra auf maximal 4 m geschätzt (NTB 02-03, S. 486). Da die Tonminerale des Opalinustons gegenüber den pH-Werten des verdrängten Wassers instabil sind, ist entlang der Transportwege des verdrängten Wassers mit chemischen Umwandlungsprozessen zu rechnen.

¹⁷ Fundamental Processes of Radionuclide Migration, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.funmig.com

Aus Sicht des ENSI hat die Nagra die zeitliche und räumliche Entwicklung der Porosität und der Durchlässigkeit des Wirtgesteins innerhalb der pH-Fahne eingehend zu untersuchen (z.B. laufende Versuche im Felslabor Mont Terri, analoge Studien der Andra im Ausland) und dabei die Konsequenzen für den Gas-transport durch den Opalinuston zu evaluieren. Durch die filigrane Geometrie des Porenraums können bereits geringe Ausfällungen einen starken Einfluss auf die Durchlässigkeit haben. Eine solche Versiegelung könnte einen signifikanten Einfluss auf den Gasfluss in den Opalinuston hinein und damit auf die Druckentwicklung um das LMA-Lager haben. Das hierzu notwendige Verständnis zu gekoppelten Phänomenen im Nahfeld eines Tiefenlagers erfordert aus Sicht des ENSI verstärkte Anstrengungen im Lauf der nächsten Jahre. Das konzeptuelle Vorgehen sollte in Etappe 2 SGT dargelegt werden (siehe Abschnitt 2.1). Notwendige Berechnungen zur Gasbildung und zum Gas- und Nuklidtransport durch die technischen Barrieren und zur thermischen Belastung der Verfüllmaterialien und des Wirtgesteins sind sowohl vom konzeptuellen Ansatz wie auch von den Anforderungen an die Rechenleistung anspruchsvoll. Das ENSI begrüsst deshalb die Forschungsaktivitäten der Nagra und ihre Mitarbeit in EU-Projekten wie z.B. NF-PRO und FORGE.

Forschung und Entwicklung für den Einsatz geeigneter langzeitstabiler Messsysteme für das das Monitoring, Weiterentwicklung der Monitoringkonzepte

Fragen zum Monitoring werden international im EU-Projekt MoDeRn¹⁸ diskutiert. Das vierjährige Projekt startete 2009 unter Beteiligung der Nagra. Im Projekt werden auch Konzepte für das Überwachen eines Lagers von der Oberfläche betrachtet. Die Ergebnisse dieses Projekts werden in die Konzepte der Nagra für das Rahmenbewilligungsgesuch einfließen. Die Nagra weist hinsichtlich der Evaluation langzeitstabiler, zuverlässiger Instrumente darauf hin, dass wichtige Monitoringkomponenten (kabellose Datenübertragung, dauerhafte wartungsfreie Energiequellen) im EU-Projekt MoDeRn evaluiert werden. In-situ-Versuche mit Beiträgen zu Monitoringmethoden sind zurzeit bereits im Felslabor Mont Terri (Versuche FE, HG-A und MB) und im Felslabor Grimsel (Versuche TEM und GAST) im Gange oder in Vorbereitung. Eine Analyse der Langzeitstabilität von existierenden Sensoren und Datenübertragungssystemen soll im Rahmen einer Literaturstudie durchgeführt werden. Möglichkeiten zur Verbesserung sollen mit Herstellern diskutiert werden. Eine direkte Weiterentwicklung von Sensoren erfolgt erst, wenn absehbar ist, welche Parameter gemessen werden sollen.

Aus Sicht des ENSI ist das Vorgehen der Nagra zielführend. Die schrittweise Entwicklung eines Monitoringkonzepts kann aufgrund der entsprechenden Resultate von MoDeRn angepasst werden. Das ENSI leitet das Agneb-Forschungsprojekt zur Überwachung («Monitoring») eines Tiefenlagers. Ziel dieses Projekt ist es, den Bedarf an behördlichen Anforderungen an das Monitoring abzuklären und allenfalls in das Regelwerk zu integrieren. Zudem leitet das ENSI das Agneb-Forschungsprojekt zur Auslegung des Pilotlagers, dessen Resultate voraussichtlich 2012 vorliegen werden. Die Diskussion der Beladung, Anordnung und Ausgestaltung des Pilotlagers und die daraus abgeleiteten Anforderungen an die Überwachung sind ebenfalls bei der Erarbeitung eines Monitoring-Konzepts der Nagra zu berücksichtigen.

Weiterentwicklung der Konzepte für die Rückholung

Die Nagra wird vertiefte Projektkonzepte für die Rückholung im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch entwickeln. Die Konzepte zur Handhabung zurückgeholter Behälter werden hinsichtlich ihrer Auslegung, inkl. Ableitung von Anforderungen, stufengerecht präzisiert.

¹⁸ Monitoring developments for safe repository operation and staged closure

Dieses Vorgehen ist nach Ansicht des ENSI sinnvoll. Die frühzeitige Erarbeitung eines Konzepts der Rückholung ist wichtig: Die Randbedingungen, die beim Entsorgen eines Rückholens der Abfälle vorliegen können, sind zu definieren und das Vorgehen der Rückholung ist detaillierter zu erarbeiten, insbesondere die Vorgehensweise bei bereits erhöhten Temperaturen in den Lagerstollen. Das ENSI erwartet, dass die Empfehlungen zur Rückholung von der Nagra systematisch erfasst werden und im Rahmen des «Requirements Managements» der Nagra bei den weiteren Schritten der Realisierung von Tiefenlagern stufengerecht einfließen. Art. 65 KEV hält fest, dass vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers die sicherheitsrelevanten Techniken in den Testbereichen zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen sind. Das betrifft das Entfernen des Verfüllmaterials und die Technik zur Rückholung von Abfallgebinden.

Vertiefung der Planung der Anlagenkonzepte, Betriebsabläufe und Optimierung der Lagerelemente unter dem Gesichtspunkt baulicher, betrieblicher und sicherheitsrelevanter Aspekte

Die Nagra sieht vor, die Anlagen und Betriebsplanung soweit zu vertiefen, wie dies im Hinblick auf das Rahmenbewilligungsgesuch für die Festlegung der Grundzüge des Projekts notwendig ist. Zurzeit laufen die Arbeiten für die verschiedenen Anlagenmodule an der Oberfläche (Erschliessung, Installationsplätze, Empfangsanlage, Schachtköpfe) und die Untertagebauten. Bereits für Etappe 2 SGT sind die Module der Oberflächenanlagen auszuarbeiten, für das Rahmenbewilligungsgesuch dazu alle untertägigen Module. Anschliessend ist für den Bau eines Felslabors vorgesehen, die Gesuchsunterlagen für eine behördliche Prüfung bereitzustellen. Die definitive Auslegung der Gesamtanlage erfolgt im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs nach KEG.

Aus Sicht des ENSI ist das Vorgehen stufengerecht und berücksichtigt den Inhalt der Empfehlungen. Die Entwicklung der Anlagenauslegung, die Dimensionierung der hohlraumsichernden Massnahmen und die Planung der hydrogeologischen Überwachung während Bau und Betrieb eines Tiefenlagers haben eine grosse Bedeutung. Ein Eintritt von Wasser aus den Deckschichten in den Tiefenlagerbereich entlang der Zugangsbauwerke muss zuverlässig verhindert werden.

5.2 Beurteilung der Bearbeitungszeiträume

Die von der Nagra dargelegte schrittweise Vorgehensweise zum Umgang mit den Empfehlungen zu Barrieren- und Lagerkonzepten sind nach Ansicht des ENSI angemessen. In den nächsten Jahren werden der Nagra zusätzliche Informationen aus den europäischen Forschungsprogrammen und der regulatorischen Sicherheitsforschung des ENSI zur Planung zur Verfügung stehen. Das ENSI erwartet, dass diese neuen Erkenntnisse in die Planung der Nagra einfließen werden.

5.3 Vergleich mit anderen Dokumenten

Das ENSI hat die Angaben zum Themenbereich 4 «Barrieren- und Lagerkonzepte» im Bericht NTB 08-02 mit denjenigen des NTB 08-01 (Entsorgungsprogramm 2008), des NTB 09-06 (Forschungsprogramm) und des Konzeptteils SGT (BFE 2008) verglichen. Die Angaben der Nagra sind mit den Angaben in diesen Unterlagen konsistent.

5.4 Berücksichtigung der Themen

Tabelle 4 zeigt auf, wie die Themen zu Barrieren- und Lagerkonzepten in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt werden. Das ENSI stellt fest, dass alle wesentlichen Themen berücksichtigt werden.

Aus Sicht des ENSI stellt die vertiefte Untersuchung der gekoppelten Phänomene im Nahfeld aus konzeptueller und rechentechnischer Sicht eine grosse Herausforderung dar (Modellierung gekoppelter Prozesse siehe Kapitel 2). Es empfiehlt der Nagra, die Konzepte und Modellierung dieser Prozesse (Aufsättigung, Gasbildung, Gastransport, Entwicklung der pH-Fahne etc.) weiterhin mit Priorität durchzuführen.

In Zusammenarbeit zwischen PSI und EMPA werden im Rahmen einer Dissertation zum Thema «Fate of iron during the hydration of cement» die Grundlagen der Eisenspezierung in Zement untersucht. Es ist geplant, die Arbeiten anschliessend auf Fe(II) auszudehnen, sowie das Verhalten von Eisen im Zement unter reduzierenden Bedingungen und die Interaktion der Produkte der Eisenkorrosion mit Zement zu untersuchen. Die Ergebnisse aus diesen Projekten sollten aus Sicht des ENSI in das Rahmenbewilligungsgesuch einfließen. Die Rolle der Zementminerale bei der Speziierung und Stabilisierung von Fe(II) und Fe(III) kann Einfluss auf das Redoxpotenzial und auf die Korrosionsraten von Eisen in Zement haben (Antwort 4.2.1-3 in ENSI 35/117). Das ENSI empfiehlt, dieses Thema in das Forschungs- und Entwicklungsprogramm zu integrieren.

Die mögliche Sorption von Radionukliden an Eisenkorrosionsprodukten wie Magnetit und Siderit wird bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit konservativerweise nicht berücksichtigt (Thema 4.2.1). Im Rahmen des Sicherheitsnachweises für das Rahmenbewilligungsgesuch wird von der Nagra evaluiert, wie weit diese zur Sicherheit beitragende Reserve verwendet werden kann. Das ENSI ist mit diesem Vorgehen einverstanden. Das ENSI stellt fest, dass alle anderen Themen berücksichtigt werden.

Tabelle 4: Berücksichtigung von Empfehlungen zum Themenbereich «Barrieren- und Lagerkonzepte»

Nr.	Themenbereich Barrieren- und Lagerkonzepte	Berücksichtigt durch
4.1	Konzepte für die technischen Barrieren	
A	Robustheit des Systems der technischen Barrieren	ENSI-G03, Abs. 7.2.2, Bst. c und k: Sicherheitsanalyse / Robustheit / Ungewissheiten ENSI 33/075, Abs. 2.2: Umfang prov. SA
4.1.1	Bentonithaltige Verfüllmaterialien	
a	Weiterführung der Untersuchungen zur Radionuklid-Rückhaltung im Bentonit	wird unter 4.2.1 diskutiert
b	Abklärungen zur Herstellung und zum Einbringen von Bentonitgranulat	NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.2: Einbringtechnik für Bentonitgranulat
c	Vertiefte Abklärung der Eigenschaften von Bentonitgranulat	NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.1: Entwicklung des Materials
d	Vertiefte Abklärung der Langzeitbeständigkeit von Bentonit (Temperatureinfluss)	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.2: Temperatureinfluss auf Bentonit
e	Vertiefte Abklärung der Langzeitbeständigkeit von Bentonit (Einfluss der Interaktion mit anderen Materialien)	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.2: Interaktion mit Eisen
f	Vertiefte Abklärung des Gastransports im Bentonit	ENSI-G03, Abs. 7.2.2, Bst. e: Sicherheitsanalyse / Entwicklungen HSK 33/001, Abs. 4.2: Kriterium 2.3 Lagerbedingte Einflüsse NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.3: Gastransport durch Bentonitbarrieren
g	Vertiefte Abklärung des Behälterabsinkens	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.2: Bentonitkonsolidation und -kriechen
4.1.2	Zementhaltige Verfüllmaterialien	
a	Abklärung der Einsatzmöglichkeit von Zement mit abgeschwächter Reaktivität gegenüber Tonmineralen (tieferer pH-Wert des Porenwassers)	ENSI-G03, Abs. 6.1: Optimierung NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.3: Materialien
b	Vertiefung des Verständnisses der Wechselwirkung verschiedener Zemente mit dem Wirtgestein und tonhaltigen Verfüllmaterialien	ENSI-G03, Abs. 6.1: Optimierung NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.3: Materialien NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.4: Materialien NTB 09-06, Abs. 6.5.4.1: Tonsysteme
4.1.3	BE- / HAA-Endlagerbehälter	
a	Erneute Evaluation von Behältermaterialien	ENSI-G03, Abs. 6.1: Optimierung NTB 09-06, Abs. 6.5.3.1: Entwicklung der Behälter
b-d	Re-Evaluation des Stahlbehälters Ableitung der Anforderungen an die mechanische Festigkeit der BE-Behälter Herstellung von Prototypen	KEV, Art. 65 Abs.2: Testbereiche, Techniken erproben NTB 09-06, Abs. 6.5.3.1: Entwicklung der Behälter
e	Einfluss von aus der Korrosion gebildeter Wasserstoff auf die chemischen Reaktionsvorgänge	NTB 09-06, Abs. 6.4.3.1: Eigenschaften der BE NTB 09-06, Abs. 6.5.3.1: Entwicklung der Behälter
4.1.5	Versiegelung und Verschluss	
a	Überprüfung des Versiegelungskonzepts	KEV, Art. 65 Abs.3: Versiegelungstechnik erproben u. nachweisen ENSI-G03, Abs. 5.2.3: In Testbereichen Funktionstüchtigkeit nachweisen NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.5: Versiegelung und Verschluss
b	Detailliertere Auslegung der Verschlussbauwerke (inkl. Ableitung von Anforderungen)	KEV, Art. 65 Abs.3: Versiegelungstechnik erproben u. nachweisen
c	Überprüfung der Sensitivität auf Abweichungen bei der Versiegelung	ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Sicherheitsanalyse
d	Erarbeitung eines Konzepts zum schnellen Verschluss	ENSI-G03, Abs. 5.1.6: Temporärer Verschluss NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.5: Versiegelung und Verschluss

4.2	Prozessverständnis im Nahfeld	
4.2.1	Geochemische Immobilisierung und Retardierung	
a	Weiterentwicklung der thermodynamischen Datenbank	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.1: Thermodynamische Datenbank
b	Vertiefte Abklärung des Einflusses erhöhter Temperaturen auf den Chemismus des Porenwassers und die Radionuklidrückhaltung	ENSI-G03, Abs. 7.2.2: Sicherheitsanalyse NTB 09-06, Abs. 6.5.4.1: Sorptionsexperimente bei höheren Temperaturen
c	Vertiefung des Verständnisses der geochemisch bedingten Radionuklidretention im Opalinuston, Bentonit und Zement	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.1: Sorptionsexperimente mit Tonmineralen
d	Erarbeitung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse	KEG, Art. 4 Abs. 3 Bst. a: Stand von Wissenschaft und Technik
e	Vertiefung des mechanistischen Verständnisses und Quantifizierung der Radionuklidsorption	NTB 09-06, Abs. 6.2.4.1: Experimente zum Radionuklidtransport
f	Vertiefung des Verständnisses des Transports im Porenraum von Tonsystemen	NTB 09-06, Abs. 6.2.4.1: Verständnis des Radionuklidtransports
g	Vertiefung des Verständnisses bezüglich Löslichkeit wichtiger Isotope	NTB 09-06, Abs. 6.5.4.1: Mischphasen
h	Sorption der Radionuklide an Eisenkorrosionsprodukten wie Magnetit und Siderit	Rückhaltung wird als Reserve behandelt
i	Rolle der Zementminerale bei der Spezierung und Stabilisierung von Fe(II) und Fe(III)	In das Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufzunehmen ENSI 35/117, Frage 4.2.1-3 bis Anf. 2012 geplant
j	Modellierung der Quellterme im Zementsystem unter Berücksichtigung der Diffusionsprozesse anstatt Mischtank-Modelle.	NTB 09-06, Abs. 6.2.4.1: Diffusion Organika, Nahfeld
4.2.2	Gekoppelte Phänomene im Nahfeld	
a	Überprüfung und Verbesserung des Verständnisses bezüglich der Entwicklung des Nahfelds eines BE / HAA-Lagersystems in der frühen Nachverschlussphase (THMC-Prozesse im Bentonit während der Aufsättigungsphase)	NTB 09-06, Abs. 6.5.4: Sicherheitsrelevante Eigenschaften des Nahfelds
b	Überprüfung und Verbesserung des Verständnisses bezüglich der Langzeitentwicklung des Nahfelds	NTB 09-06, Abs. 6.2.4.2: Gastransport NTB 09-06, Abs. 6.2.4.4: Wiederaufsättigung NTB 09-06, Abs. 6.2.4.5: Selbstabdichtung NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.1: Modellierung der Wiederaufsättigung NTB 09-06, Abs. 6.5.4.2.1: Thermische Effekte im Nahfeld
4.3	Konzepte für Monitoring und Rückholbarkeit	
4.3.1	Monitoring	
a	Vertiefung des Konzepts für die Überwachung (Pilotlager, weitere Massnahmen)	KEV, Art. 11 Abs. 2 Bst. c: Auslegung im Hinblick auf Überwachung NTB 09-06, Abs. 5.3.4.5: Monitoringkonzept NTB 09-06, Abs. 6.5.5: Monitoring
b	Vertiefung des Konzepts für die Überwachung nach Lagerverschluss von der Oberfläche	KEG, Art.21: Überwachung der Umgebung (Betriebsbewilligung) KEV, Art. 11 Abs. 2 Bst. c: Auslegung im Hinblick auf Überwachung
c	Evaluation langzeitstabiler, zuverlässiger Instrumente (inkl. Analyse der Bedeutung der Wartungs- bzw. Reparaturmöglichkeiten)	KEV, Art. 11 Abs. 2 Bst. c: Auslegung für Überwachung NTB 09-06, Abs. 6.5.5: Monitoring
d	Überprüfung der Ausgestaltung des Lagers für die Überwachung (z.B. Linienführung Zugangstunnel, Empfehlung der EKRA bezüglich unabhängiger Zugänge zum Pilotlager)	AGNEB 2011, Abs. 6.9: Agneb-Forschungsprogramm
e	Durchführung von Nullmessungen von der Oberfläche	ENSI-G03, Abs. 5.2.1: Überwachung (der Umwelt)

4.3.2	Rückholung	
a	Überprüfung und Vertiefung des Rückholungskonzepts	KEV, Art. 65 Abs.2 Bst. c: Technik zur Rückholung nachweisen ENSI-G03, Abs. 5.1.4: Rückholung ohne grossen Aufwand NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Auslegungskonzepte inklusive Rückholung
b	Vertiefte Untersuchung und Beschreibung der Abläufe zur Rückholung bis und mit Klärung des Umgangs mit den rückgeholten Abfällen	KEV, Art. 65 Abs.2 Bst. c: Technik zur Rückholung nachweisen ENSI-G03, Abs. 5.1.4: Rückholung ohne grossen Aufwand NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Auslegungskonzepte inklusive Rückholung
c	Abklärung der erwarteten Bedingungen für die Rückholung	KEV, Art. 65 Abs.2 Bst. c: Technik zur Rückholung nachweisen NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Auslegungskonzepte inklusive Rückholung
4.4	Anlagenkonzepte und Betriebsabläufe	
a	Überprüfung und Anpassung der Anlagenauslegung	KEV, Art. 52: Auslegungskonzept ENSI-G03, Gesamte Richtlinie NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Anlagenkonzepte
b	Überprüfung und orientierende Dimensionierung der hohlraumsichernden Massnahmen	BFE 2008, Tab. A1-12 und A1-13: Kriterien- gruppe «Bautechnische Eignung» NTB 09-06, Abs. 6.5.3.3.3: Technologie für hohlraumsichernde Massnahmen
c	Überprüfung der Bauverfahren (Vortriebskonzepte, Ausbruchsicherung)	NTB 09-06, Abs. 6.5.2: Standortabhängige Anpassung der Anlagenkonzepte
d	Überprüfung und Optimierung der Lüftungskonzepte	NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Anlagenkonzepte
e	Überprüfung und vertiefte Beschreibung der Abläufe (Prozesse)	NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Anlagenkonzepte
f	Vertiefte Analyse der Betriebssicherheit	NTB 09-06, Abs. 6.5.1: Anlagenkonzepte
g	Modellhafte modulare Konzepte der Oberflächeninfrastruktur	BFE 2008, Abs. 3.1.2: Ausgestaltung Ober- flächeninfrastruktur
h	Orientierende Abklärungen von Aspekten der Umweltverträglichkeit und der Raumplanung	Orientierende Abklärungen in den Etappen des SGT

6 Themenbereich 5: Weitere Aspekte

Unter diesem Themenbereich fasst die Nagra alle Empfehlungen zum Managementsystem der Nagra (Qualitätssicherung, Einbezug von Experten, Information) und zu organisatorischen Aspekten (Langzeitarchivierung, durch die Behörden zu treffende Massnahmen) zusammen und legt dar, wie sie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht berücksichtigen will.

6.1 Beurteilung der Vollständigkeit

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra alle Empfehlungen zum Themenbereich 5 aufgenommen hat und die Zusammenstellung im NTB 08-02 diesbezüglich vollständig ist.

Im Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle standen wissenschaftlich-technische Fragen im Vordergrund. Deshalb wurden vergleichsweise wenige darüber hinaus gehende Empfehlungen abgegeben.

Ausbau des Qualitätsmanagement-Systems

Die Nagra ergänzt und rezertifiziert ihr Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001:2000 laufend und sieht nicht vor, dieses grundsätzlich weiter auszubauen. Auf die von der HSK bemängelte fehlende personelle Trennung bei Tätigkeiten zur Bereitstellung der Wissensbasis einerseits und zur Entwicklung der Sicherheitsanalysen andererseits (HSK 35/99, S. 111) geht die Nagra im Themenbereich 2 (Beurteilung der Sicherheit) ein.

Das ENSI beurteilt dieses Vorgehen für eine kontinuierliche Qualitätssicherung als ausreichend. In der Schweiz werden durch die Zertifizierungsstellen zum Teil Bestätigungen ausgestellt, die eine Kompatibilität mit ISO 9004:2000 feststellen. Diese sind jedoch international nicht anerkannt. Eine zusätzliche Zertifizierung nach ISO 9004:2000 ist nicht möglich. In Art. 16 und 20 KEG bzw. Art. 25 und 31 KEV ist ausserdem festgehalten, dass für sämtliche sicherheitsrelevanten Arbeiten zu Projektierung, Bau, Betrieb, Beobachtung und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers ein Qualitätsmanagementprogramm zu erstellen, anzuwenden und dessen Umsetzung zu dokumentieren ist, das international anerkannten Standards entspricht.

Abklärungen zur Langzeitarchivierung

Die von der KSA geforderten Forschungsarbeiten zur Weitergabe der Information über ein verschlossenes Tiefenlager will die Nagra im Rahmen internationaler Kooperationen durchführen.

Zusätzlich zur Dokumentation des Baus gemäss Art. 27 KEV und des Betriebs gemäss Art. 41 KEV muss eine Dokumentation zur langfristigen Sicherstellung der Kenntnisse über das geologische Tiefenlager gemäss Art. 71 KEV erstellt und nach dem ordnungsgemässen Verschluss abgegeben werden (ENSI-G03). Aus KEG, KEV und ENSI-G03 ergeben sich jedoch keine zeitlichen Vorgaben zur Einreichung eines Archivierungskonzeptes.

6.2 Beurteilung der Bearbeitungszeiträume

Die Hinweise und Empfehlungen zum Management-System der Nagra und die weiteren organisatorischen Aspekte wurden aus Sicht des ENSI bereits umgesetzt (teilweise durch die Nagra, teilweise im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager) oder werden im Hinblick auf die Einreichung der Rahmenbewilligungsgesuche schrittweise vertieft.

Ein Archivierungskonzept für die Unterlagen über die geologischen Tiefenlager ist auf den Zeitpunkt des Rahmenbewilligungsgesuchs vorgesehen. Das ENSI ist mit dieser Terminierung einverstanden.

6.3 Vergleich mit anderen Dokumenten

Das ENSI hat die Angaben zum Themenbereich 5 «Weitere Aspekte» im Bericht NTB 08-02 mit denjenigen des NTB 08-01 (Entsorgungsprogramm 2008), des NTB 09-06 (Forschungsprogramm) und des Konzeptteils SGT (BFE 2008) verglichen. Die Angaben der Nagra sind mit den Angaben in diesen Unterlagen konsistent.

6.4 Berücksichtigung der Themen

Tabelle 5 zeigt auf, wie die weiteren Aspekte in den kommenden Realisierungsschritten berücksichtigt werden.

Die Zertifizierung des Qualitätsmanagement-Systems der Nagra, der Beizug von externen Experten, die Ergänzung des Informationsmanagements und die Publikation von Forschungsergebnissen wurden von der Nagra bisher stufengerecht umgesetzt. Das ENSI stellt fest, dass auch alle anderen Themen berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Berücksichtigung von Empfehlungen zum Themenbereich «Weitere Aspekte»

Nr.	Themenbereich zu weiteren Aspekten	Berücksichtigt durch
5.1	Das Management-System der Nagra	
a	Zertifizierung des Qualitätsmanagement-Systems der Nagra	stufengerecht umgesetzt
b	Ausbau des Qualitätsmanagement-Systems	Umsetzung ist nicht notwendig
c	Beizug von externen Experten	stufengerecht umgesetzt
d	Ergänzung des Informationsmanagements	stufengerecht umgesetzt
5.2	Weitere organisatorische Aspekte	
a	Abklärungen zur Langzeitarchivierung	KEV, Art. 71 Abs.1: langfristige Sicherstellung ENSI-G03, Abs. 6.3: Dokumentation
b	Publikation von Forschungsergebnissen	stufengerecht umgesetzt
c	Durch die Behörden zu treffende Massnahmen	BFE 2008: Partizipation, Federführung Bund ENSI 33/110: RD&D als fester Bestandteil des Entsorgungsprogramms NTB 08-01, Abs. 5: Realisierungsplan

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kommt das ENSI bei der Überprüfung des NTB 08-02 und Beantwortung der vier Leitfragen zu folgenden Schlussfolgerungen:

1) *Wurden die Empfehlungen vollständig und nachvollziehbar aufgenommen?*

Das ENSI stellt fest, dass die Nagra alle Empfehlungen der HSK, der KNE, der KSA und des NEA-IRT in den vom Schweizerischen Bundesrat geforderten Bericht NTB 08-02 aufgenommen hat.

Wichtige Empfehlungen sind bereits in den Konzeptteil des SGT (HSK 33/001, BFE 2008) und in die Richtlinie ENSI-G03 eingeflossen. Die Nagra hat diese Vorgaben bei der Ausarbeitung der Vorschläge geologischer Standortgebiete in Etappe 1 des SGT berücksichtigt.

2) *Werden die Empfehlungen von der Nagra stufengerecht umgesetzt?*

Das ENSI stellt fest, dass die zum Entsorgungsnachweis aufgeführten Empfehlungen stufengerecht und zielführend bearbeitet werden. Die Empfehlungen bezogen sich damals noch nicht auf den Sachplan geologische Tiefenlager. Ein wichtiger Meilenstein für konkretere Angaben inklusive standortspezifischer Daten ist das Rahmenbewilligungsgesuch am Ende des Auswahlverfahrens gemäss Sachplan geologische Tiefenlager.

3) *Steht der Inhalt im Einklang mit anderen Unterlagen zur geologischen Tiefenlagerung?*

Diverse damals zum Wirtgestein Opalinuston für ein Lager für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle und langlebige mittelaktive Abfälle (HAA-Lager) geäusserte Empfehlungen sind allgemeiner Natur. Sie betreffen auch ein geologisches Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) oder Techniken, die unabhängig vom Wirtgestein eingesetzt werden können, wie z.B. das Einbringen von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien.

In Etappe 1 SGT wurden von der Nagra neben dem Opalinuston ausschliesslich tonreiche Wirtgesteine mit ähnlichen Eigenschaften vorgeschlagen. Der Opalinuston wurde als Wirtgestein in fünf der sechs Standortgebiete für ein SMA-Lager vorgeschlagen. Das Zürcher Weinland wurde als Standortgebiet sowohl für ein HAA- als auch für ein SMA-Lager vorgeschlagen. Die damaligen Empfehlungen und Erfahrungen können deshalb auch für ein SMA-Lager und für andere Standortgebiete wichtig sein.

Die Beurteilung der Empfehlungen zum Entsorgungsnachweis ist deshalb auch im Zusammenhang mit dem laufenden Sachplanverfahren zu sehen. Die Nagra trägt dieser Entwicklung Rechnung, indem sie den NTB 08-02 in Zusammenhang mit dem Entsorgungsprogramm NTB 08-01 stellt, in welchem sie die für die Realisierung der geologischen Tiefenlager erforderlichen Arbeitsschritte gemäss SGT und gemäss den gesetzlichen Vorgaben (KEG; KEV) aufzeigt.

Die Angaben der Nagra enthalten aus Sicht des ENSI keine Widersprüche zu anderen aktuellen Dokumenten im Zusammenhang mit geologischen Tiefenlagern (BFE 2008; ENSI-G03; KEG; KEV; NTB 08-01; NTB 09-06) oder zu anderen Berichten der Nagra.

4) *Wie werden die Themen in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt?*

Die Tabellen 1 bis 5 zeigen für alle Themenbereiche einzeln auf, wie sie in den weiteren Realisierungsschritten berücksichtigt werden. Bereits heute sind folgende Themen stufengerecht umgesetzt:

- Orientierende Abklärungen von Aspekten der Umweltverträglichkeit und der Raumplanung (Thema 4.4 h).
- Zertifizierung des Qualitätsmanagement-Systems der Nagra (Thema 5.1 a).
- Beizug von externen Experten (Thema 5.1 c).
- Ergänzung des Informationsmanagements (Thema 5.1 d).
- Publikation von Forschungsergebnissen (Thema 5.2 b).

Mit Ausnahme von drei Themen sind alle Empfehlungen in die behördlichen Anforderungen und Wegleitungen (z.B. Richtlinien des ENSI, Sachplan geologische Tiefenlager) oder in das Forschungs- und Entwicklungsprogramm der Entsorgungspflichtigen eingeflossen. Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm wird zukünftig als Teil des Entsorgungsprogramms vom ENSI periodisch überprüft. Diese drei Themen sind in das nächste Forschungs- und Entwicklungsprogramm zu integrieren:

- Das Verständnis der geologisch-tektonischen Entwicklung des Hegau-Bodensee-Grabens (Thema 1.2.1 c).

Die Nagra verweist auf eine umfassende Literaturstudie zu diesem Thema. Aus Sicht des ENSI sind auch ergänzende Arbeiten zur Verbesserung des Verständnisses (Abklärung der Entwicklungsgeschichte der Grabenzone, zusätzliche Nivellementmessungen, ergänzende Untersuchungen zur Quartärgeschichte, Analyse der Herdflächenmechanismen rezenter Erdbeben) wichtig und sollten in die geplanten Untersuchungen für Etappe 2 SGT integriert werden.

- Der Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich dem Verhalten der Brennelementhüllrohre (Thema 3.3 e).

In ihren Ausführungen zu dieser Empfehlung geht die Nagra nicht auf die Forderung der HSK ein, einen direkt nachvollziehbaren Nachweis für die Einhaltung der Grenztemperatur von 350°C am Brennelement zu liefern. Dies wird mit dem Hinweis begründet, dass die Integrität nicht für den Nachweis der Langzeitsicherheit vorausgesetzt wird und erst mit dem Rahmenbewilligungsgesuch erneut zu beurteilen ist. Auch wenn diese Frage für die Standortwahl keine Priorität hat, ist sie in zukünftigen Bewilligungsschritten zu berücksichtigen.

- Die Rolle der Zementminerale bei der Spezierung und Stabilisierung von Fe(II) und Fe(III) (Thema 4.2.1 i).

In Zusammenarbeit zwischen PSI und EMPA werden im Rahmen einer Dissertation zum Thema «Fate of iron during the hydration of cement» die Grundlagen der Eisenspezierung in Zement untersucht. Es ist geplant, die Arbeiten anschliessend auf Fe(II) auszudehnen, sowie das Verhalten von Eisen im Zement unter reduzierenden Bedingungen und die Interaktion der Produkte der Eisenkorrosion mit Zement zu untersuchen.

Die Ergebnisse aus diesen Projekten sollten aus Sicht des ENSI in das Rahmenbewilligungsgesuch einfließen.

Zusammenfassend kommt das ENSI zum Schluss, dass die Nagra mit ihrem Bericht NTB 08-02 der Forderung in der Verfügung des Schweizerischen Bundesrats (2006),

«gleichzeitig mit dem Entsorgungsprogramm nach Artikel 32 KEG dem Bundesrat einen Bericht zu unterbreiten, der alle in den Gutachten und Stellungnahmen von HSK, KNE, KSA und den OECD/NEA-Experten enthaltenen offenen Fragen, Hinweise und Empfehlungen systematisch erfasst und aufzeigt, wie diese im weiteren Verfahren zeit- und sachgerecht beantwortet werden»

fachlich korrekt und stufengerecht nachgekommen ist.

Brugg, 2. März 2012

Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat

Der Direktor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'H. Wanner', is written over a light grey rectangular background.

Dr. Hans Wanner

8 Referenzen

- AGNEB (2011) Jahresbericht 2010, Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung, Bern.
- BFE (2008) Sachplan geologische Tiefenlager - Konzeptteil, Bundesamt für Energie, Bern.
- Blechschild I., Vomvoris S. (2009)** Felslabor Grimsel - 25 Jahre Untertageforschung. Wettingen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle.
- Börgesson L., Hernelind J. (2006)** Canister displacement in KBS-3V. A theoretical study. Technical Report SKB-TR-06-04, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Stockholm.
- Bossart P., Thury M. (2008)** Mont Terri Rock Laboratory Project, Programme 1996 to 2007 and Results. Bundesamt für Landestopographie swisstopo, Wabern.
- ENSI-G03** Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2009.
- ENSI 33/070** Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/075** Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/110** Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2011.
- ENSI 33/115** Stellungnahme zu NTB 10-01 «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT», Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Stellungnahme, Brugg, 2011.
- ENSI 35/116** Beurteilungsblätter zur Stellungnahme des ENSI zum Bericht NTB 08-02 der Nagra (ENSI 35/114), Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2012.
- ENSI 35/117** Fragen des ENSI und Antworten der Nagra zum Bericht NTB 08-02, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2012.
- European Commission (2008)** Understanding and Physical and Numerical Modelling of the Key Processes in the Near Field and their Coupling for Different Host Rocks and Repository Strategies, Final Report European Commission, Brussels, Belgium.
- HSK-B05** Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Richtlinie, Würenlingen, 2007.

- HSK 33/001** Sachplan geologische Tiefenlager: Herleitung, Beschreibung und Anwendung der sicherheitstechnischen Kriterien für die Standortevaluation, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Würenlingen, 2007.
- HSK 35/99** Gutachten zum Entsorgungsnachweis der Nagra für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston), Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Würenlingen, 2005.
- HSK 35/104** Auflistung der Hinweise und offenen Fragen im Gutachten der HSK 35/99 zum Entsorgungsnachweis der Nagra, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Aktennotiz, Würenlingen, 2006.
- KEG** Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, Schweiz, SR 732.1.
- KEV** Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004, Schweiz, SR 732.11.
- KNE (2005)** Projekt Opalinuston Zürcher Weinland der Nagra - Beurteilung der erdwissenschaftlichen Datengrundlagen und der bautechnischen Machbarkeit, Expertenbericht HSK 35/98, Kommission Nukleare Entsorgung, Würenlingen.
- KSA (2005)** Stellungnahme zum Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston), KSA 23/170, Eidgenössische Kommission für die Sicherheit der Kernanlagen, Villigen.
- Mayor J.C., Garcla-Sineriz J.-L., Alonso E., Alheid H.-J., Blümling P. (2005)** Engineered barrier emplacement experiment in Opalinus Clay for the disposal of radioactive waste in underground repositories, Publicacion Tecnica ENRESA 02/2005, Madrid.
- NAB 07-02** ESDRED: Low pH Shotcrete for Rock Support - Spraying Tests in the Hagerbach Test Gallery, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2007.
- NAB 09-07** Standortunabhängige Grundlagen Anlagen und Betrieb SGT-ZE/SUG 2.3 - Alternatives Ausbaukonzept («Liner concept») für BE/HAA-Lagerstollen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2009.
- NTB 02-03** Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse - Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente; verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2002.
- NTB 04-06** Effects of Post-disposal Gas Generation in a Repository for Spent Fuel, High-level Waste and Long-lived Intermediate Level Waste Sited in Opalinus Clay, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2004.
- NTB 08-01** Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.

- NTB 08-02** Bericht zum Umgang mit den Empfehlungen in den Gutachten und Stellungnahmen zum Entsorgungsnachweis, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 08-03** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 08-04** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Geologische Grundlagen (Textband & Beilagenband), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 08-05** Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie; Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 09-02** A Review of Materials and Corrosion Issues Regarding Canisters for Disposal of Spent Fuel and High-level Waste in Opalinus Clay, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2009.
- NTB 09-04** A Review of the Possible Effects of Hydrogen on Lifetime of Carbon Steel Nuclear Waste Canisters, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2009.
- NTB 09-06** The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2009.
- NTB 10-01** Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 - Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2010.
- NEA (2004)** Die Sicherheit der geologischen Tiefenlagerung von BE, HAA und LMA in der Schweiz: Eine internationale Expertenprüfung der radiologischen Langzeitsicherheitsanalyse der Tiefenlagerung im Opalinuston des Zürcher Weinlands, No. 5569, OECD Nuclear Energy Agency, Paris.
- Pusch R., Adley R. (1999)** Creep in buffer clay, Technical Report SKB-TR 99-32, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Stockholm.
- Schweizerischer Bundesrat (2006)** Verfügung des Schweizerischen Bundesrats zum Gesuch der Nagra vom 19. Dezember 2002 betreffend den Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle, Verfügung Bern.

9 Abkürzungen und Glossar

Agneb	Die Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) hat den Auftrag, die Arbeiten zur nuklearen Entsorgung in der Schweiz zu verfolgen, zuhanden des Bundesrats Stellungnahmen zu Fragen der nuklearen Entsorgung zu erarbeiten, die Bewilligungsverfahren auf Bundesebene zu begleiten und Fragen der internationalen Entsorgung zu behandeln, www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01275/02612/index.html
AREVA	Die AREVA-Gruppe ist ein französischer Nuklear-Konzern, www.areva.com
EB	Engineered barrier emplacement experiment in opalinus clay, Abgeschlossenes Forschungsprojekt der Europäischen Union.
EDZ	Excavation damaged zone: Aufgelockerte Zone im Gestein in der Nähe von unterirdischen Hohlräumen (z.B. Bohrungen, Stollen, Tunnels, Kavernen), die beim Ausbrechen (z.B. Bohren, Sprengen) entsteht.
ESDRED	Engineering studies and demonstrations of repository designs, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.esdred.info
FORGE	Fate of repository gases; Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.bgs.ac.uk/forge
FUNMIG	Fundamental Processes of Radionuclide Migration, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.funmig.com
HAA	Hochaktive Abfälle. Dazu zählen gemäss Artikel 51 KEV abgebrannte Brennelemente und verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen.
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Vorgängerorganisation des ENSI bis 2008.
IRF	Die Instant Release Fraction IRF ist der Stoffanteil, der nach dem Versagen des Abfallbehälters unmittelbar freigesetzt wird und am Stofftransport teilnehmen kann. Der übrige Stoffanteil kann erst nach und nach aus der Abfallmatrix (z.B. Glas) herausgelöst werden.
KNE	Kommission für Nukleare Entsorgung, www.KNE-Schweiz.ch
KNS	Eidgenössische Kommission für Nukleare Sicherheit, www.bfe.admin.ch/kns
KSA	Eidgenössische Kommission für die Sicherheit der Kernanlagen, Vorgängerorganisation der heutigen Eidgenössischen Kommission für Nukleare Sicherheit KNS.
LMA	Langlebige, mittelaktive Abfälle, als LMA werden diejenigen alphanuklearen Abfälle und SMA bezeichnet, die in einem separaten Teil des HAA-Lagers eingelagert werden.

MICADO	Model uncertainty for the mechanism of dissolution of spent fuel in a nuclear waste repository, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.sckcen.be/en/Our-Research/Research-projects/EU-projects-FP6-FP7/MICADO
MoDeRn	Monitoring developments for safe repository operation and staged closure, Forschungsprojekt der Europäischen Union, www.modern-fp7.eu
MOX	Mixed oxides, Bezeichnung für Brennelemente, bestehend aus einem Gemisch aus U- und Pu-Oxiden im Brennstoff
NAB	Nagra Arbeitsbericht
NEA-IRT	Nuclear Energy Agency - International Review Team: Internationale Experten-Gruppe, die zum Projekt Opalinuston der Nagra Stellung genommen hat. Die Nuclear Energy Agency ist Teil der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD.
NF-PRO	NF-PRO (2004-2007) war ein Projekt der EU zur Untersuchung der relevanten Prozesse, die den Beitrag der Nahfeldbarrieren zur Gewährung der Langzeitsicherheit beeinflussen. Am Projekt nahmen 40 internationale Forschungsorganisationen teil, http://www.nf-pro.org/eng
NTB	Nagra Technischer Bericht
PEBS	Long term performance of engineered barrier systems, Forschungsprojekt der Europäischen Union.
PSI	Paul Scherrer Institut, Villigen, www.psi.ch
SFS	Spent fuel stability under repository conditions, Forschungsprojekt der Europäischen Union (5th EURATOM Framework Programme 1998-2002).
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager. Der Sachplan geologische Tiefenlager umfasst sowohl den 2008 vom Bundesrat verabschiedeten Konzeptteil (BFE 2008) als auch das Verfahren selbst.
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle. Dazu zählen gemäss Art. 51 KEV alle radioaktiven Abfälle, die nicht den hochaktiven oder alphanotoxischen Abfällen zuzurechnen sind. Diese Abfälle enthalten vorwiegend kurzlebige radioaktive Stoffe mit kleinerer Halbwertszeit. Sie stammen vom Betrieb und späteren Abbruch der Kernkraftwerke sowie aus Medizin, Industrie und Forschung.

ENSI 35/114

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, Fax +41 (0)56 460 84 99, www.ensi.ch