



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**



## Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2016



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

ENSI 33/593

## **Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2016**

April 2018

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat  
Industriestrasse 19, 5200 Brugg  
Tel. +4156 460 8400, Fax +4156 460 8499  
[www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)



**Impressum**

Empfehlungen und Hinweise aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans 2016

**Herausgeber**

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

Industriestrasse 19

CH-5200 Brugg

Telefon +41(0)56 460 84 00

[info@ensi.ch](mailto:info@ensi.ch)

[www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)

## 1 Einleitung

Das ENSI hat im Rahmen seiner Beurteilung des Entsorgungsprogramms 2016 der Nagra (NTB 16-01) auch den als Referenzbericht miteingereichten RD&D-Plan 2016 (NTB 16-02) beurteilt. Die aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und RD&D-Plans 2016 resultierenden Empfehlungen unterteilt das ENSI in zwei Kategorien:

1. In die erste Kategorie fallen jene Empfehlungen, welche in der Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm (ENSI 33/592) als Auflagenanträge formuliert wurden.
2. In die zweite Kategorie fallen jene Empfehlungen deren sicherheitstechnische Relevanz von geringerer Bedeutung ist und die im Rahmen der laufenden Aufsichtstätigkeit behandelt werden. Diese Empfehlungen sind in der vorliegenden Aktennotiz festgehalten. Es handelt sich um Aspekte, welche für kommende Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans (Kapitel 2) oder aber für die Standortwahl im Rahmen von SGT Etappe 3 sowie für das Rahmenbewilligungsgesuch der Nagra (Kapitel 3) von Relevanz sind. Diese Aspekte werden vom ENSI entsprechend bei künftigen Beurteilungen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans geprüft oder aber im Rahmen der Erstellung der Anforderungen an Etappe 3 oder im Rahmen der Neuauflage der Richtlinie ENSI-G03 entsprechend berücksichtigt.

## 2 Empfehlungen für künftige Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans

In diesem Kapitel werden Empfehlungen dokumentiert, die sich aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans ergeben haben und welche für die zukünftigen Aktualisierungen des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans von Relevanz sind.

- E.1 Vor jeder Revision des Entsorgungsprogramms sind die Anlagenplanungen der nennenswerten MIF-Abfallproduzenten dahingehend abzufragen, ob sich Änderungen in den Abfallprognosen ergeben haben (*Kapitel 2, NTB 16-01*).
- E.2 Für die weitere Konkretisierung der Auslegung der Oberflächeninfrastruktur verweist das ENSI auf seine aus der Beurteilung der Kostenstudie 2016 (ENSI-AN-9930) resultierenden Empfehlungen 4-4 und 4-5. Weiterhin geht das ENSI davon aus, dass die Nagra im Rahmen der nächsten Revision von Kostenstudie und Entsorgungsprogramm die technischen Planungsgrundlagen einschliesslich aller Schnittstellen zwischen den Anlagenteilen für alle betrachteten Lagerversionen (HAA-, SMA- und Kombilager) aktualisiert und dokumentiert (*Kapitel 3, NTB 16-01*).
- E.3 Im Vergleich zum Entsorgungsprogramm 2008 wurde der Zeitbedarf für das behördliche Bewilligungsverfahren für die Baubewilligungsgesuche eines SMA-Lagers und eines HAA-Lagers sowie für die Betriebsbewilligung für ein HAA-Lager inklusive Entscheid des UVEK von 5 auf 4 Jahre im Entsorgungsprogramm 2016 gekürzt. Aus Sicht des ENSI gibt es keine Gründe von dem bisherigen geplanten Bewilligungszeitraum von 5 Jahren abzuweichen, zumal es sich um das erste Bewilligungsverfahren dieser Art nach KEG handeln wird (*Kapitel 5, NTB 16-01*).
- E.4 Das ENSI weist darauf hin, dass durch eine Bewilligung von EUU mit den dazu notwendigen Untertagebauten keine für die Sicherheit des späteren Lagers abträglichen Sachzwänge geschaffen werden dürfen. Falls beispielsweise eine Umnutzung der Zugänge aus Sicht der Betriebs- und Langzeitsicherheit nicht realisiert werden sollte, müssen die bestehenden Untertagebauten wieder verfüllt und versiegelt werden können. Diese Variante ist im Gesuch der EUU ebenfalls zu berücksichtigen (*Kapitel 5, NTB 16-01*).
- E.5 Das ENSI beurteilt die Dauer für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertags (EUU) auf Basis der vorgeschlagenen Experimente als knapp bemessen, insbesondere weil der gewählte

Masstab der Experimente den Zeitbedarf signifikant beeinflussen kann. Das ENSI empfiehlt daher den Entsorgungspflichtigen, aus Gründen der Sicherheit und Nachvollziehbarkeit, für zukünftige Entsorgungsprogramme die Dauer für die EUU aber auch der anderen Phasen der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers auf den effektiven Zeitbedarf zu schätzen und nicht aufgrund von Randbedingungen festzulegen (*Kapitel 5, NTB 16-01*).

- E.6 Bei einer allfälligen Verzögerung der Inbetriebnahme des SMA-Lagers sind aus Sicht des ENSI neue Kapazitätsreserven für die Zwischenlagerung von MIF-Abfällen (Produktion ab 2050) und für die Stilllegung der Anlagen des PSI-West zu planen (*Kapitel 6, NTB 16-01*).
- E.7 Aus Sicht des ENSI ist das Verständnis der Eigenschaften abgebrannter Brennelemente, insbesondere bezüglich Brennstoffauflösung und Radionuklidfreisetzung, wichtig für eine korrekte Modellierung der Radionuklidfreisetzung in einem Tiefenlager für HAA-Lager. Insbesondere soll die Nagra bis zum Einreichen des RBG den Kenntnisstand bezüglich des Einflusses von Wasserstoff und Eisen auf die Brennstoffauflösung ausbauen und im nächsten Forschungsplan dokumentieren. Dabei sind auch die möglichen Senken für Wasserstoff (z. B. Mikroorganismen) sowie die möglichen Konsequenzen einer Verringerung der Wasserstoffkonzentration für die Brennstoffauflösung zu berücksichtigen (*Kapitel 7.3.3.1, NTB 16-02*).
- E.8 Das ENSI empfiehlt bei weiteren Kritikalitätssicherheitsbetrachtungen bis zur Rahmenbewilligung auch mögliche externe Einflüsse zu berücksichtigen, die sowohl während der Einlagerung als auch nach dem Verschluss des geologischen Tiefenlagers das Eintreten von kritischen Abfallkonfigurationen begünstigen könnten (z. B. Wassereintritt, geologische Entwicklungen), insbesondere, da durch die Berücksichtigung des «burnup credit» Konservativitäten abgebaut werden (*Kapitel 7.3.3.3, NTB 16-02*).
- E.9 Das ENSI empfiehlt der Nagra bis zur Rahmenbewilligung zu prüfen, inwiefern die international gewonnenen Erkenntnisse auf kupferbeschichtete Eisenbehälter für die Endlagerung von HAA-Abfällen im Bentonit- und Opalinustonumfeld übertragen werden können und ob diesbezüglich weiterer Forschungsbedarf besteht. Weiterhin empfiehlt das ENSI, zu untersuchen ob es Prozesse gibt, die allenfalls die Lebensdauer der Beschichtung negativ beeinflussen können (z. B. Galvanische Korrosion) (*Kapitel 7.4.5, NTB 16-02*).
- E.10 Das ENSI empfiehlt, die Entsorgung der entleerten Transport- und Lagerbehälter bis zur nächsten Aktualisierung des RD&D-Plans darzulegen (*Kapitel 7.4.9, NTB 16-02*).
- E.11 Das ENSI empfiehlt, den Kenntnisstand über die für das Nahfeld relevanten chemischen Wechselwirkungen (z. B. Zement-Bentonit- bzw. Zement-Opalinuston-Wechselwirkungen sowie der Wechselwirkungen zwischen Eisenkorrosionsprodukten und Bentonit) zu vertiefen und in der modelltechnischen Abbildung des Nahfelds zu berücksichtigen. Dazu sollten auch die zeitliche Veränderung der Aufsättigung des Nahfelds und die Veränderung von Sicherheitsfunktionen des Bentonits (z. B. Quell- und Sorptionsvermögen) bis zum RBG untersucht werden (*Kapitel 7.5.2.1, NTB 16-02*).
- E.12 Das ENSI empfiehlt für das Rahmenbewilligungsgesuch, dass sicherheitsrelevante THMC-Aspekte im Sicherheitsbericht gebührend berücksichtigt werden. Dabei sollte unter anderem auf die erzielten Fortschritte hinsichtlich der modellbasierten Vorhersage der Entwicklung des Nahfelds im Vergleich zu den experimentellen Daten eingegangen werden sowie die Auswirkungen auf den Radionuklidtransport berücksichtigt werden (*Kapitel 7.5.2.1 und Kapitel 7.6.1, NTB 16-02*).
- E.13 Der aus der Korrosion gebildete Wasserstoff kann einen bedeutenden Einfluss auf die Behälterkorrosion (z. B. durch wasserstoffinduzierte Rissbildung) ausüben. Das ENSI empfiehlt deswegen, diesen Einfluss vertieft zu diskutieren und darzulegen (*Kapitel 7.5.3.1, NTB 16-02*).
- E.14 Bezüglich der Eisen-Ton-Wechselwirkungen hatte sich die Nagra im letzten Forschungsprogramm die vertiefte Untersuchung des Einflusses von Eisenkorrosionsprodukten auf die hydraulischen Eigenschaften des Bentonits sowie sein Quell- und Radionuklidrückhaltevermögen vorgenommen.

Ergebnisse aus den Experimenten FEBEX-DP, ABM und IC-A werden erst Ende 2017 in Berichten dokumentiert werden und können daher jetzt noch nicht beurteilt werden. Aus Sicht des ENSI sind Experimente zur thermischen Stabilität und zu den sich ändernden Eigenschaften des Bentonits bis zu einer Temperatur von 150 °C unter teilgesättigten Bedingungen notwendig, um den bestehenden Kenntnisstand diesbezüglich zu erweitern (*Kapitel 7.5.3.3, NTB 16-02*).

- E.15 Der Entscheid, ob die Bauten, die für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag errichtet werden, für ein geologisches Tiefenlager umgenutzt werden können, erfolgt im Rahmen der nuklearen Baubewilligung. Entsprechend muss ein Rückbau dieser Bauten als Option gewährleistet sein. Nach Ansicht des ENSI sind diese Rahmenbedingungen bei der Planung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu berücksichtigen. Zusätzlich soll aufgezeigt werden, welche Experimente als Bestandteil des Testbereichs eines geologischen Tiefenlagers weitergeführt werden sollen (*Kapitel 8, NTB 16-02*).

### 3 Empfehlungen mit Bezug zu SGT E3 (Standortwahl und RBG)

In diesem Kapitel werden Empfehlungen dokumentiert, die sich aus der Beurteilung des Entsorgungsprogramms und des RD&D-Plans ergeben haben und welche für die Standortwahl und das Rahmenbewilligungsgesuch im Rahmen von SGT E3 relevant sind.

- E.16 Die Standortwahl ist im Rahmenbewilligungsgesuch zu begründen. Deshalb hat die Nagra für alle Standortgebiete die vorhandenen Konzepte der Lagerbauwerke, einschliesslich der Zugangsbauwerke und der untertägigen Bauwerke auf Lagerebene, standortspezifisch anzupassen. Für den sicherheitstechnischen Vergleich sind alle sicherheitsrelevanten Elemente der Lagerprojekte zu bewerten. (*Kapitel 3, NTB 16-01*).
- E.17 Falls die Nagra in Etappe 3 SGT die Zuteilung aller SMA und ATA in ein SMA-Lager (gilt auch für den SMA/LMA-Teil eines Kombilagers) weiter betrachtet, muss sie den Nachweis erbringen, dass diese Einteilung der Abfälle unter Berücksichtigung eines standortspezifischen und angepassten Lagerkonzepts (z. B. grösserer Platzbedarf) die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigt. Im Fall eines separaten Sicherheitsnachweises für das SMA/LMA-Lager muss die Nagra neu prüfen, ob der bisherige Betrachtungszeitraum für das SMA-Lager ausreicht. Falls die LMA dem SMA-Lager zugeteilt werden, müsste der Realisierungsplan für ein SMA/LMA-Lager, insbesondere die Zeitplanung bzgl. Ende des Einlagerungsbetriebs und Verschluss des Hauptlagers geprüft werden, da auch die Abfälle aus dem Rückbau der ZwiLag und der OFA des HAA-Lagers für diese Lager vorgesehen sind (*Kapitel 4 und Kapitel 5, NTB 16-01*).
- E.18 Die Nagra hat pro Standortgebiet eine Mindestanzahl von gekernten Bohrungen für die Untersuchung vorzusehen. Mit diesen sollen insbesondere Strukturen, Verkarstungsphänomene (insbesondere in Malm und Muschelkalk), felsmechanische Parameter (in allen kritischen Gesteinen bis zur Lagerebene und auf Lagerebene in allen in den Lagerperimeter vorkommenden Tiefen), Porenwasser (inkl. Tracerprofile von überliegendem zu unterlagerndem Aquifer), Tonmineralogie, Porenstruktur, seismische Geschwindigkeiten sowie Kapillardruck- und Permeabilitätskurven (in Abhängigkeit von der Sättigung) erfasst werden. Damit ist sicherzustellen, dass für den Standortentscheid der Nagra alle Standortgebiete genügend untersucht sind, dass pro Standortgebiet jeweils eine Mindestanzahl an Datensätzen vorliegt, damit deren Repräsentativität bzw. die standortgebietsinterne Variabilität belegt werden kann (*Kapitel 7.2.1, 7.2.3.1, NTB 16-02*).
- E.19 Die Nagra soll bis zur Standortwahl in Etappe 3 SGT belastbare standortspezifische felsmechanische Daten für die Beurteilung der Eigenschaften des Opalinustons auf Lagerebene ermitteln. Die aufgrund der Datenbasis vorhandenen Ungewissheiten bezüglich der Quantifizierung der geomechanischen Parameter sollen reduziert werden. Diese Ungewissheiten betreffen nicht nur die Bandbreite der Festigkeits- und Steifigkeitsparameter, sondern auch das Ausmass der Änderung dieser

Materialparameter mit zunehmender Tiefenlage und erhöhter Temperatur. Die Architektur und die hydro-mechanischen Eigenschaften von tektonischen Störzonen im Falten- und Tafeljura sind insbesondere auf der Skala bautechnisch relevanter Störzonen noch breiter und systematischer als bisher zu untersuchen (*Kapitel 7.2.2.3 und 7.2.3.3, NTB 16-02*).

- E.20 Für Etappe 3 SGT müssen für die oberen und unteren Rahmengesteine, unter Berücksichtigung der lithologischen Variabilitäten Porenwasserzusammensetzungen hergeleitet und dem umschliessenden Wirtgestein gleichgestellte hydraulische und hydrochemische Datensätze erarbeitet werden. Ebenfalls sollte mit standortspezifischen Porenwasserproben geprüft werden, ob die Annahme der gleichen Porenwasserzusammensetzung für den 'Braunen Dogger' wie für den Opalinuston weiterhin sinnvoll ist. Für eine Verknüpfung der hydraulischen und hydrochemischen Datensätze sind ggf. auch die entsprechenden wissenschaftlichen und analytischen Werkzeuge anzuwenden und ggf. weiter zu entwickeln (*Kapitel 7.2.2.4, NTB 16-02*).
- E.21 Die Datierung der sedimentären Archive (Terrassen, Trogfüllungen etc.) sollte zusammen mit den Arbeiten zur Neotektonik und zur Klimaentwicklung mit besonderem Nachdruck angegangen werden, da nur eine ausreichend grosse Datenbasis im Rahmen der Standortwahl eine robuste Interpretation der quartären Landschaftsentwicklung zulassen und ein vertieftes Verständnis zur Spannweite zukünftiger Entwicklungen erlauben wird (*Kapitel 7.2.2.5, NTB 16-02*).
- E.22 Die Wirksamkeit der technischen Massnahmen für den Gastransport im geologischen Tiefenlager (z. B. EGTS) und deren Konsequenzen für die Langzeitsicherheit auf der Basis eines integralen standortspezifischen Lagerkonzepts ist aufzuzeigen. Aus Sicht des ENSI muss der Nachweis des von der Nagra vorgeschlagenen EGTS auch mit Ergebnissen aus weiteren Demonstrationsversuchen erbracht werden (ENSI 33/540). Das ENSI empfiehlt, bis zum Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) die maximale Wärmeleistung pro BE-Behälter im HAA-Lager in Hinblick auf den durch Temperatur und Gasbildung induzierten Druck in den Lagerstollen unter Berücksichtigung gekoppelter Prozesse neu zu bewerten (*Kapitel 7.2.3.2, NTB 16-02*). Zusätzlich empfiehlt das ENSI mögliche Verfüllmörtel für das SMA- und LMA-Lager zum RBG zu überprüfen und zu bewerten, um u. a. sicherzustellen dass die gewünschte Porosität für den Gastransport erreicht werden kann.
- E.23 Das ENSI erwartet bis zur Standortwahl Untersuchungen des Stoffgesetzes für die verschiedenen Fazies des Opalinustons und realistische Spannungspfade. Weiterhin sind die Auswirkungen von variablen Gebirgssättigungen und transienten hydro-mechanisch gekoppelten Prozessen sowie die Auswirkungen von effektiven Trennflächen auf das Gebirgsverhalten systematisch zu untersuchen. (*Kapitel 7.2.3.3, NTB 16-02*).
- E.24 Das ENSI empfiehlt, weitergehende standortgebietsspezifische Untersuchungen zu den Quellprozessen in Wirt- und Rahmengesteinen (samt Faziestypen und unter Berücksichtigung von intaktem, tektonisch zerschertem und aufgelockertem Gestein) und den daraus resultierenden kurz- und langzeitlichen Konsequenzen durchzuführen. Dazu gehört ein Inventar der potenziell quellbaren Minerale, des sich daraus effektiv ergebenden Quellvermögens, der hydro-mechanischen Auswirkungen von Quell- und Kriechprozessen auf Bau- bis Nachverschlussphase sowie die Auswirkungen bezüglich der Platzverhältnisse (*Kapitel 7.2.3.5 und 7.5.3.4, NTB 16-02*).
- E.25 Die Nagra hat zementbasierte Verfüllkonzepte (inklusive deren Abbildung im Nahfeld-Modell, Auswirkungen auf die Bautechnik, Langzeitsicherheit und Einschränkungen der Stützmittel sowie Anforderungen an die Versiegelungsstrecken und geeignete Einbringungsmethoden) bis zum Standortvergleich vertieft zu untersuchen, um einen sicherheitstechnischen Vergleich mit bentonitbasierten Verfüllkonzepten für die Standortwahl zu ermöglichen. (*Kapitel 7.4.2, 7.4.4.1, 7.4.4.2 und 7.5.3.3, NTB 16-02*).
- E.26 Bis zum Rahmenbewilligungsgesuch sind diejenigen Aspekte zum untertägigen Bau und Betrieb der Anlage detaillierter zu untersuchen, welche Einfluss auf die Standortwahl haben können. Dazu gehören Abklärungen zur Eignung möglicher Ausbruchsmethoden für den Bau der Lagerkammern,

zur Eignung von Stützmitteln für die Ausbruchsicherung und deren Einfluss auf die Gebirgsschädigung, zur Eignung der gewählten Mittel im Hinblick auf Logistik und Betrieb der Anlage, zur Notwendigkeit allfälliger Zwischensiegel und sich daraus ergebender Konsequenzen, zur Versiegelung der Lagerkammern und untertägigen Stollen sowie zur möglichen Rückholung der Abfälle (*Kapitel 7.4.3, NTB 16-02*).

## Referenzen

- ENSI-AN-9930: Stellungnahme des ENSI zur Kostenstudie 2016 über die Stilllegung der Kernanlagen und Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2017.
- ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2009.
- ENSI 33/540: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Gutachten, Brugg, 2017.
- ENSI 33/592: Stellungnahme zum Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2018.
- KEG: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, Schweiz, SR 732.1.
- NTB 16-01: Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2016.
- NTB 16-02: The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Diposal of Radioactive Waste in Switzerland. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2016.

ENSI 33/593

ENSI, CH-5200, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, [info@ensi.ch](mailto:info@ensi.ch), [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)