



## Aktennotiz

Datum: 06.11.2015

Seiten: 16

Anhänge: -

Beilagen: -

Verteiler intern:

Verteiler extern:

Sachbearbeiter:

Visum

Visum Vorgesetzter

Klassifizierung

keine

Aktenzeichen

33KGX.SGTE2

Referenz

ENSI 33/476

Schlagwörter

Sachplan geologische Tiefenlager, maximale Tiefenlage, Lagerkonzept, Nachforderung

435



## Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT

### Zusammenfassung

Im Rahmen der Detailprüfung haben das ENSI und seine Experten die von der Nagra erstellten Unterlagen im Zusammenhang mit der Beurteilung und Festlegung der maximalen Tiefe der Lagerebene (Indikator 1: „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“) in Etappe 2 SGT geprüft. Die entsprechenden Prüfergebnisse sind in zwei Expertenberichten dokumentiert.

Die von der Nagra eingereichten felsmechanischen Grundlagen, getroffenen Annahmen und gewählten Entwurfsindikatoren sind gemäss den Prüfergebnissen nicht ausreichend und nicht robust. In der Folge sind die Optimierungsanforderungen an die maximale Tiefe der Lagerebene für SMA- und HAA-Lager und die Herleitung der Bewertungsskala des Indikators 1 „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“ nicht nachvollziehbar und nicht belastbar. Damit ist eine Bewertung des Indikators 1 für die Standortgebiete nicht möglich. Der Nachweis eindeutiger Nachteile für Standortgebiete bezüglich des Indikators 1 ist damit in Frage gestellt.

Diese Kritikpunkte stehen in unmittelbarer Beziehung zur Beurteilung der von der Nagra in Etappe 2 abgegrenzten Lagerperimeter der Standortgebiete in der Nordschweiz. Deren Grenze wird zu grösseren Tiefen hin ggf. durch die Optimierungsanforderungen beeinflusst. Wo immer eine Anpassung der Tiefenlage im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit notwendig ist, sind ggf. auch die Bewertungen weiterer sich am Lagerperimeter orientierender Indikatoren anzupassen.

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/PubliDocs:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

**keine**

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476

Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT

06.11.2015 /

Die Nachforderung zu Indikator 1 ist somit für die Gesamtbeurteilung des Vorschlags der Nagra gemäss Vorgaben des Sachplans nötig. Aus diesem Grund hat sich das ENSI Ende August 2015 an das BFE gewandt und mit der verfahrensleitenden Behörde die Möglichkeit einer Nachforderung diskutiert.

Ziel der Nachforderung des ENSI ist es, eine ausreichende technisch-wissenschaftliche Basis für die Beurteilung des Indikators 1 und für die Beurteilung des entscheiderelevanten Merkmals „Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale“ zu erhalten. Ausgangspunkt der Nachforderung sind die in Etappe 1 seitens des ENSI akzeptierten verschärften Mindestanforderungen an die maximale Tiefe und das daraus resultierende mögliche standortspezifische Tiefenspektrum mit ausreichendem Platzangebot unter Berücksichtigung der Ungewissheiten diesbezüglich. Das ENSI erwartet von der Nagra zur Beurteilung der geotechnischen Bedingungen, Bewertung der maximalen Tiefenlage in den Standortgebieten und Begründung etwaiger daraus resultierender eindeutiger Nachteile von Standortgebieten u. a.:

- 1) Die von der Nagra gemachten Betrachtungen und Bewertungen alternativer Lagerkonzepte (HAA und SMA) gemäss Angaben in NTB 14-01 und deren Vor- und Nachteile sind zu dokumentieren.
- 2) Die in den Kapiteln 4.2 bis 4.4 dieses Dokuments zusammengefassten und in den zwei Expertenberichten des ENSI dokumentierten Kritikpunkte sind bei der Umsetzung der Nachforderung zu berücksichtigen.
- 3) Alle erforderlichen Angaben für die Durchführung von felsmechanischen Betrachtungen und Berechnungen sowie von statischen Berechnungen (tiefenabhängige Labor- und Gebirgskennwerte, Stoffgesetze und Ungewissheiten) sind zu dokumentieren und zu erläutern.
- 4) Die geotechnischen Bedingungen in den Standortgebieten sind in Abhängigkeit von der tektonischen Überprägung und der Tiefe der Lagerebene zu beurteilen. Dazu sind lagerperimeterspezifische felsmechanische Betrachtungen und Berechnungen sowie statische Analysen in Abhängigkeit von möglichen Tiefen der Lagerebene in den betrachteten Standortgebieten durchzuführen.
- 5) Die Auswirkungen der erforderlichen lagerperimeter- und tiefenabhängigen Ausbauprozesse und Ausbaumittel auf die technischen und geologischen Barrieren des HAA- bzw. des SMA-Tiefenlagers hinsichtlich der Langzeitsicherheit sind zu bewerten.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Titel: Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
Datum / Sachbearbeiter: 06.11.2015 / [REDACTED]

## Inhalt

1	Ausgangslage	4
1.1	Verständnis des ENSI	4
1.2	Bewertungsgrundlagen des Indikators 1 „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“	5
2	Bestehende Anforderungen des ENSI an Etappe 2 SGT hinsichtlich der bautechnischen Aspekte	6
3	Vorläufige Prüfergebnisse des ENSI und seiner Experten bezüglich der maximalen Tiefenlage	7
4	Anforderungen an die zu ergänzenden Unterlagen	9
4.1	Lager- und Barrierenkonzepte für SMA- und HAA-Lager	9
4.2	Felsmechanische Grundlagen	9
4.2.1	Felsmechanische Parameter des intakten Opalinustons	9
4.2.2	Gebirgseigenschaften	10
4.3	Sicherheits- und bautechnische Aspekte zur Beurteilung der maximalen Tiefe der HAA-Lagerebene	11
4.3.1	Verwendete Entwurfsindikatoren	11
4.3.2	Verwendete Analyseverfahren zur Beurteilung der maximalen Tiefenlage	12
4.4	Bautechnische Auswirkungen auf die Auflockerungszone und auf die Langzeitsicherheit	12
4.5	Nachforderung des ENSI für die ergänzenden Unterlagen zum Aspekt maximale Tiefenlage	13
5	Referenzen	15



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/PubliDocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Verständnis des ENSI

Die bei der Abgrenzung der geologischen Standortgebiete vorgenommene Einschränkung ihrer räumlichen Ausdehnung durch die Festlegung einer maximalen Tiefenlage für SMA- und HAA-Lager (Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen) in Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT), wurde durch das ENSI als nachvollziehbar und sinnvoll beurteilt. Das ENSI wies darauf hin, dass für die HAA-Lagerstollen im Opalinuston der Nachweis der bautechnischen Machbarkeit bei Verwendung von beschränkten Stützmitteln (Anker, Netze) für intakten Opalinuston (ohne geologische Trennflächen) nur bis in eine Tiefe von 650 m erbracht ist. Für grössere Tiefen wären zusätzliche vollflächige Stützmittel notwendig. Dafür lagen seitens der Nagra konzeptuelle Vorschläge vor. Für diese Ausbaukonzepte (z. B. Liner aus Spritzbeton) waren aber die Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit und die sicherheitstechnisch relevanten Prozesse im Nahfeld noch vertieft zu untersuchen (ENSI 33/070). Der daraufhin seitens der Nagra in NTB 10-01 präsentierte alternative Ausbau in grösserer Tiefe mit einer Spritzbetonschale stellt eine bautechnisch mögliche Lösung dar, um die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Lagerstollen zu gewährleisten. Sie führt jedoch bzgl. der Langzeitsicherheit zu Nachteilen. Um diese Nachteile teilweise aufzuheben, hatte die Nagra bereits in NTB 10-01 entlang der HAA-Lagerstollen so genannte „Zwischensiegel“ vorgeschlagen, welche allfällige Wasserflüsse entlang der Lagerstollen unterbinden und diese Stollen in langfristig entkoppelte Kompartimente unterteilen sollen.

Mit der nachstehenden Graphik (Abbildung 1) werden diese gegenseitigen Abhängigkeiten der detaillierten Lagerauslegung, der Tiefenlage und der Langzeitsicherheit verdeutlicht. Diese Aspekte sind sicherheitsgerichtet aufeinander abzustimmen und bei der Bewertung der Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit in den Standortgebieten zu berücksichtigen. Aus Sicht des ENSI ist dieser Ansatz auch in Etappe 2 SGT anzuwenden. Die Richtlinie ENSI-G03 gibt vor, dass bei jedem Schritt zur Realisierung des geologischen Tiefenlagers für jede sicherheitsrelevante Entscheidung verschiedene Alternativen und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit in qualitativer Weise zu betrachten sind und ein insgesamt für die Sicherheit günstiger Entscheid zu fällen ist.



**Abbildung 1:** Wechselwirkung zwischen den Lagerkomponenten und den dazu verwendeten Ausbaukonzepten, der Tiefenlage und der Langzeitsicherheit.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidos:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

## **1.2 Bewertungsgrundlagen des Indikators 1 „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“**

Mit dem von der Nagra festgelegten Indikator 1 „Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ wurde in Etappe 1 SGT der Einfluss der Tiefe der Lagerebene im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit beurteilt (NTB 08-05, S. A1-6). Hierbei wurden Mindestanforderungen (MA) und verschärfte Anforderungen (VA) an die Tiefe der HAA- und SMA-Lagerebene gestellt und je eine Bewertungsskala in Abhängigkeit von dieser Tiefe festgelegt.

Für SMA-Lager in Sedimentgesteinen mit signifikanten Anteilen an Tonmineralien, wie Opalinuston und Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger', wurde in Etappe 1 SGT von der Nagra eine zuverlässige Erstellung der Lagerkavernen und der Versiegelungsbauwerke bis zu einer maximalen Tiefe der Lagerebene von 800 m u.T. als potenziell möglich erachtet und als Mindestanforderung definiert. Beim HAA-Lager betrug die von der Nagra vorgeschlagene Mindestanforderung an die maximale Tiefe der Lagerebene 900 m u.T. Die von der Nagra aufgeführten Gründe für die grössere maximale Tiefe der HAA-Lager sind der deutlich kleinere Querschnitt der HAA-Lagerstollen im Vergleich zum Querschnitt der SMA-Lagerkavernen, die kürzere Standzeit bis zur Verfüllung der Lagerstollen und die vorgesehene Ausrichtung der Lagerstollen in Richtung der maximalen horizontalen Hauptspannungsrichtung im Gebirge. Abhängig von den Gesteinsfestigkeiten bzw. von der tektonischen Zergliederung wurden für bestimmte Wirtgesteine bzw. Standortgebiete auch abweichende maximale Tiefenlagen (verschärfte Anforderung) vorgeschlagen.

Das ENSI war mit diesen verschärften Anforderungen der Nagra einverstanden. Für die Gewährleistung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wurden seitens des ENSI ab einer Tiefe von 650 m unter Terrain zusätzliche Stützmittel verlangt.

Der Indikator 1 wird von der Nagra in Etappe 2 SGT weiterverwendet. Er wird bei der Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten sowie bei der Bewertung des entscheiderelevanten Merkmals „Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale“ berücksichtigt. Die Nagra verwendet diesen Indikator in Etappe 2 SGT jedoch nicht bei der Auswahl der prioritären Wirtgesteine für SMA-Lager.

Die Nagra hat die Verwendung dieses Indikators im sicherheitstechnischen Vergleich in der Etappe 2 SGT präzisiert. Die Bezeichnung wurde auf „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“ geändert und seine Bewertungsskala wurde von der Nagra basierend auf ihren Optimierungsanforderungen an die maximale Tiefenlage angepasst. Die Nagra strebt dabei an, die Tiefe der Lagerebene in den Standortgebieten der Nordschweiz beim SMA-Lager auf 600 m u.T. und beim HAA-Lager auf 700 m u.T. zu beschränken (Optimierungsanforderungen). Damit wird gemäss der Nagra eine günstige Bewertung dieses Indikators in den Standortgebieten der Nordschweiz erreicht.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

## **2 Bestehende Anforderungen des ENSI an Etappe 2 SGT hinsichtlich der bautechnischen Aspekte**

Wie in ENSI 33/075 von April 2010 festgehalten, prüft das ENSI die Vorschläge der Entsorgungspflichtigen für mögliche Standortgebiete aus Sicht der Sicherheit und der technischen Machbarkeit. Darin werden u. a. Anforderungen an die felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen für Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des geologischen Tiefenlagers (u. a. Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten, Verformungseigenschaften der Gesteine, Tiefenlage und Gebirgsspannungen, Stabilität der Hohlräume, natürliche Gasführung) gestellt.

Im März 2011 hat das ENSI in seiner Stellungnahme ENSI 33/115 zu NTB 10-01 bezüglich der bautechnischen Machbarkeit u. a. die Forderung 26 gestellt:

*Forderung 26:*

*Aus bautechnischer Sicht fordert das ENSI, dass für Etappe 2 SGT die geologischen und geotechnischen Informationen in gebietsspezifische und formationsspezifische Baugrundmodelle und Gebirgsbeschreibungen überführt werden. Besonders für die SMA-Standorte bzw. tektonisch beanspruchte Standorte sind alle vorhandenen Informationen zu bautechnisch relevanten Trennflächen systematisch zu ergänzen. Bezüglich der In-situ-Gebirgsspannungen sind alle Indikatoren zu Spannungsorientierungen und Magnituden aus bestehenden Bohrungen detaillierter aufzuarbeiten und ihre Ungewissheiten aufzuzeigen.*

*Für den bautechnischen Vergleich der SMA- und HAA-Standortgebiete und der Erschliessungsbauwerke fordert das ENSI, dass bautechnische Risikoanalysen durchgeführt und die Resultate in den Sicherheitsanalysen berücksichtigt werden.*

Im Januar 2013 hat das ENSI in mehreren Aktennotizen sicherheitstechnische Anforderungen an Etappe 2 präzisiert und publiziert. In ENSI 33/170 wurde dabei auf die Beeinflussung der Langzeitsicherheit durch Tiefenlage und Bautechnik hingewiesen.

In ENSI 33/170, Kapitel 2.1, werden u. a. folgende Anforderungen festgehalten:

*Anhand der aus den Baugrundmodellen abgeleiteten geologischen Gefährdungsszenarien sollen für den Bau und Betrieb der Zugangsbauwerke und des Tiefenlagers Gefährdungsbilder und Eintretenshäufigkeiten sowie Massnahmen zu deren Verhinderung, Früherkennung bzw. Beherrschung aufgezeigt werden (z. B. Trennflächensysteme und Störungen → Verbrüche, Niederbrüche, Überprofile; wasserführende Zonen wie Aquifere, Karst, Störungszonen → Wassereinbrüche, etc.). Die Analysen basieren in der Regel auf standortspezifischen Gefährdungsbildanalysen (Fussnote 1) und den geplanten bautechnischen Massnahmen für die Zugangsbauwerke und für alle sicherheitsrelevanten Bauwerke des Tiefenlagers während Bau und Betrieb (Anhang 1). Mögliche Einflüsse auf die Langzeitsicherheit nach Verschluss des Lagers sollen ebenfalls aufgezeigt werden.*

*Für die Risikobetrachtungen müssen neben den Gefährdungsbildern auch die geplanten oder berücksichtigten Massnahmen (zum Beispiel Ausbruchsmethoden, Vorauserkundungsmassnahmen, Sicherungs- und Stützmittel) beschrieben werden. Die Resultate der bautechnischen Risikoanalysen müssen in die Bewertung der verschiedenen Standorte und in den sicherheitstechnischen Vergleich einfließen.*

In der oben zitierten Fussnote 1 in ENSI 33/170 wird ausserdem festgehalten :

*In dieser Aktennotiz eingeschlossen sind die bautechnischen Risiken während Bau und Betrieb und allfällige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers.*



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

### **3 Vorläufige Prüfergebnisse des ENSI und seiner Experten bezüglich der maximalen Tiefenlage**

Im November 2014 wurden durch das ENSI und seine Experten im Rahmen der formellen Grobprüfung der umfangreichen Unterlagen der Nagra zu Etappe 2 SGT Mängel, insbesondere im Bereich der Bautechnik, festgestellt. Sie wurden mit Brief vom 1. Dezember 2014 dem BFE und der Nagra mitgeteilt. Die fachliche Prüfung einzelner Indikatoren und die inhaltliche Bewertung der zugrunde liegenden Datensätze erfolgten naturgemäss erst im Rahmen der laufenden Detailprüfung.

Im Rahmen der Detailprüfung hat das ENSI seine Experten damit beauftragt, die von der Nagra erstellten Unterlagen im Zusammenhang mit der Beurteilung und Festlegung der maximalen Tiefe der Lager Ebene in Etappe 2 SGT (d. h. Optimierungsanforderungen, Indikator 1) zu prüfen und entsprechende Expertenberichte zu erstellen. Die Prüfergebnisse der Experten sind in den folgenden ENSI-Berichten dokumentiert:

- ENSI 33/460: „Assessment of Geomechanical Properties, Maximum Depth below Ground Surface and EDZ Impact on Long Term Safety“;
- ENSI 33/461: „Assessment of Geomechanical Properties of Intact Opalinus Clay“.

Die Prüfergebnisse aus dem Bericht ENSI 33/461 wurden in den Bericht ENSI 33/460 zusammenfassend integriert. Bei der Prüfung der felsmechanischen Grundlagen haben die Experten des ENSI die zugrunde gelegten felsmechanischen Gesteins- und Gebirgsparameter, Entwurfsindikatoren und dazugehörige Annahmen, die durchgeführten analytischen und numerischen Berechnungen zur Beurteilung der maximalen Tiefenlage sowie das dabei angewendete Materialgesetz und den Modellansatz geprüft. Diese Prüfergebnisse sind in den Kapiteln 4.2 und 4.3 zusammengefasst.

Der Bericht ENSI 33/460 enthält auch die Beurteilung der Experten bezüglich der bautechnischen Auswirkungen auf die Auflockerungszone und damit auf die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers. Diese Prüfergebnisse sind in Kapitel 4.4 zusammengefasst.

Der Expertenbericht ENSI 33/460 konzentriert sich auf die Anforderungen an das HAA-Lager. Die Nagra hat eine vergleichbare Methodik zur Herleitung der Optimierungsanforderungen an die maximale Tiefenlage für beide Lagertypen verwendet. Die Prüfergebnisse sind daher so weit möglich auch für das SMA-Lager zu berücksichtigen.

Die von der Nagra eingereichten felsmechanischen Grundlagen, getroffenen Annahmen und gewählten Entwurfsindikatoren sind gemäss den Prüfergebnissen nicht ausreichend und nicht robust. In der Folge sind die Optimierungsanforderungen an die maximale Tiefe der Lagerebene für SMA- und HAA-Lager und die Herleitung der Bewertungsskala des Indikators 1 nicht nachvollziehbar und nicht belastbar. Damit ist eine Bewertung des Indikators 1 „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)“ für die Standortgebiete nicht möglich. Der Nachweis eindeutiger Nachteile für Standortgebiete bezüglich des Indikators 1 ist damit in Frage gestellt.

Ferner hat die Nagra in ihren felsmechanischen Betrachtungen aus Sicht des ENSI und seiner Experten keine ausreichende Analyse von möglichen lagerperimeterspezifischen und tiefenabhängigen Gefährdungsszenarien, wie z. B. Niederbrüche, für den Bau und den Betrieb auf der Lagerebene durchgeführt. Mögliche Einflüsse daraus auf die Auflockerungszone und die Langzeitsicherheit nach Verschluss des Lagers wurden nicht aufgezeigt. Die entsprechenden Analysen wurden in ENSI 33/170 gefordert.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/PubliDocs: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Titel: Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
Datum / Sachbearbeiter: 06.11.2015 / [REDACTED]

Diese Kritikpunkte stehen in unmittelbarer Beziehung zur Beurteilung der von der Nagra in Etappe 2 SGT abgegrenzten Lagerperimeter der Standortgebiete in der Nordschweiz. Deren Grenze wird zu grösseren Tiefen hin ggf. durch die Optimierungsanforderungen beeinflusst. Wo immer eine Anpassung der Tiefenlage im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit notwendig ist, sind ggf. auch die Bewertungen weiterer sich am Lagerperimeter orientierender Indikatoren anzupassen.

Die Nachforderung zu Indikator 1 ist somit für die Gesamtbeurteilung des Vorschlags der Nagra gemäss Vorgaben des Sachplans nötig. Aus diesem Grund hat sich das ENSI Ende August 2015 an das BFE gewandt und mit der verfahrensleitenden Behörde die Möglichkeit einer Nachforderung diskutiert.

Ziel der Nachforderung des ENSI ist es, eine ausreichende technisch-wissenschaftliche Basis für die Beurteilung des Indikators 1 und für die Beurteilung des entscheiderelevanten Merkmals „Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale,“ (ENSI 33/154) zu erhalten.





**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

## **4 Anforderungen an die zu ergänzenden Unterlagen**

### **4.1 Lager- und Barrierenkonzepte für SMA- und HAA-Lager**

In NTB 14-01, S. 21-22 gibt die Nagra an, dass neben dem Referenzkonzept auch die sich durch alternative Lager- und Barrierenkonzepte für das SMA- und HAA-Lager ergebenden Möglichkeiten bezüglich maximaler Tiefenlage und Platzbedarf im Hinblick auf die Einengung der Standortgebiete geprüft worden sind.

Für das HAA-Lager wurden gemäss Aussage der Nagra verschiedene Klassen alternativer Lagerkonzepte mit jeweils unterschiedlichen Varianten bezüglich Endlagerbehälter, Verfüllung, Sicherung / Ausbau und Lagerarchitektur betrachtet (NTB 14-01, S. 21-22). Für die SMA-Lagerauslegung wurden Lagerkonzeptvarianten bezüglich Anzahl und Grösse der Lagerkavernen, Abfallbehandlung und alternativer Gastransportbarrieren untersucht. Bezüglich Tiefenlage macht die Nagra insbesondere die Aussage, dass beim HAA-Lager Varianten mit horizontalen Betriebstunneln oberhalb des Wirtgesteins und Einlagerung in verrohrten vertikalen oder geneigten Bohrlöchern im Opalinuston die Möglichkeit bieten würden, grössere Tiefen im Vergleich zur Optimierungsanforderung für die maximalen Tiefenlage zu nutzen. Die Nagra beurteilt aber diese Lagerkonzepte aus betrieblichen Gründen (schwierige Zugänglichkeit für Interventionen bei Betriebsstörungen, schwierige Randbedingungen für die Rückholung von Tiefenlagerbehältern) und aus Gründen der Langzeitsicherheit (Verletzung der geologischen Barriere durch zahlreiche Perforationen, Verfüllung und Versiegelung nicht uneingeschränkt zuverlässig zu gewährleisten) als kritisch und unvorteilhaft.

Das ENSI stellt dazu fest, dass detaillierte Ausführungen zur Nachvollziehbarkeit dieser Überlegungen in den Unterlagen zu Etappe 2 SGT fehlen, und dass damit die von der Nagra gemachte Einschränkung auf das aktuelle Lagerkonzept nicht nachvollzogen werden kann. Mit Blick auf die in Abbildung 1 dargestellten Abhängigkeiten sind die Alternativen der Lagerkonzepte und ihre Bedeutung für die Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit zu bewerten. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Lagerkonzepte sind darzustellen, dabei sind auch die gesetzlichen Vorgaben gemäss Kernenergiegesetzgebung zu berücksichtigen. Vor- und Nachteile alternativer Lagerkonzepte gegenüber dem von der Nagra gewählten Lagerkonzept bzgl. Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit sind nachvollziehbar zu begründen. Dabei ist besonderes Gewicht auf die Varianten zu legen, die eine grössere Tiefenlage als die in NTB 14-01 festgelegte Optimierungsanforderung ermöglichen.

### **4.2 Felsmechanische Grundlagen**

#### **4.2.1 Felsmechanische Parameter des intakten Opalinustons**

Die Nagra hat felsmechanische Parameter des intakten Opalinustons (Gesteinsparameter) zwecks der Durchführung von analytischen und numerischen Berechnungen festgelegt, d. h. effektive (drainierte) und undrainierte Scherfestigkeitsparameter und elastische Parameter (E-Module). Diese wichtigen Gesteinsparameter wurden aus einer grossen Anzahl von einaxialen Druckversuchen, Ödometerversuchen (eindimensionalen Kompressionsversuchen) und triaxialen Druckversuchen abgeleitet.

Die Experten des ENSI haben die von der Nagra in ihren Berechnungen verwendeten felsmechanischen Parameter des intakten Opalinustons sowie das dabei zugrunde gelegte Materialgesetz und den entsprechenden Modellansatz geprüft und die Prüfergebnisse in ENSI 33/461 dokumentiert.

Die von den Experten festgestellten Mängel bei der Herleitung der felsmechanischen Parameter des intakten Opalinustons führen dazu, dass die Datenbasis wissenschaftlich belastbarer Laborresultate



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidos: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Titel: Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
Datum / Sachbearbeiter: 06.11.2015 / [REDACTED]

stark reduziert wird und die von der Nagra abgeleiteten effektiven (drainierten) und undrainierten Scherfestigkeiten des Opalinustons tendenziell überschätzt werden, u. a. aufgrund der Durchführung von Laborversuchen mit teilgesättigten Proben statt mit vollständig gesättigten Proben. Das Ausmass dieser Überschätzung ist nicht quantifizierbar.

Die von der Nagra empfohlenen Werte des drainierten und undrainierten E-Moduls sind konsistent mit den Daten in den relevanten Bandbreiten effektiver Überlagerungsspannungen. Die Nagra hat jedoch die Auswirkungen aus den von ihr eingeführten Vereinfachungen beim Materialgesetz / Modellansatz auf die Wahl der elastischen Eigenschaften für numerische und analytische Berechnungen nicht aufgezeigt.

Folgende im Expertenbericht ENSI 33/461 begründeten Kritikpunkte sind bei der Bearbeitung der Nachforderung durch die Nagra explizit zu berücksichtigen:

- 1) Die Gesteins-/Gebirgs-Steifigkeiten und effektiven Festigkeiten nehmen im relevanten Tiefenintervall von 400–900 m unter Terrainoberkante mit der Tiefe zu.
- 2) Für die Festlegung der effektiven Scherfestigkeit sollten nur solche Versuche verwendet werden, die eine zuverlässige Deutung der Resultate erlauben. Eine Interpretation der Resultate mittels der undrainierten Scherfestigkeit bedingt die vollständige Sättigung der Proben.
- 3) Die aus der gewählten Versuchsdurchführung resultierende sehr begrenzte felsmechanische Datenbasis führt heute zu grossen Ungewissheiten, insbesondere bezüglich der effektiven Scherfestigkeit und der undrainierten Scherfestigkeit in den relevanten Tiefenlagen. Diese Ungewissheiten könnten durch eine entsprechende Bandbreite der felsmechanischen Parameter abgebildet werden.

#### **4.2.2 Gebirgseigenschaften**

Die Nagra hat ausgehend von den Eigenschaften des intakten Gebirges (Gesteinsparameter des Opalinustons) Kennwerte für das tektonisch geschwächte Gebirge (progressive Entfestigung) hergeleitet. Diese Herleitung berücksichtigt sieben Gebirgsmodelle, die auf Beobachtungen aus verschiedenen Bohrungen und Laborversuchsergebnissen beruhen.

Die Experten des ENSI haben diese Angaben geprüft und ihre Prüfergebnisse in ENSI 33/460 dokumentiert. Die Prüfergebnisse zeigen u. a., dass die Herleitung und Beschreibung der Gebirgsmodelle die gesamte Bandbreite der Gebirgseigenschaften, von intakt über tektonisch überprägt bis hin zu Störzonen, abdeckt. Gemäss ENSI 33/460 überschätzen die von der Nagra abgeleiteten Gebirgsfestigkeiten die tatsächlichen Gebirgsfestigkeiten, insbesondere im Fall der undrainierten Gebirgsscherfestigkeit. Die Steifigkeit des Gebirges bleibt bei allen Gebirgsmodellen gemäss Nagra trotz zunehmender Schwächung des Gebirges konstant, was aus Sicht der Experten nicht zulässig ist.

Folgende im Expertenbericht ENSI 33/460 begründeten Kritikpunkte sind bei der Bearbeitung der Nachforderung durch die Nagra explizit zu berücksichtigen:

- 1) Die felsmechanischen Gesteins- und Gebirgseigenschaften variieren tiefen- und lagerperimeterabhängig.
- 2) Die Gebirgssteifigkeiten reduzieren sich mit zunehmender Schwächung des Gebirges (u. a. infolge der Gebirgsdurchtrennung).



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidocs:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

### **4.3 Sicherheits- und bautechnische Aspekte zur Beurteilung der maximalen Tiefe der HAA-Lagerebene**

Die Experten des ENSI haben sowohl die Anwendbarkeit der von der Nagra gewählten Entwurfsindikatoren zur Beurteilung der geotechnischen Bedingungen und der maximalen Tiefenlage (Herleitung der Optimierungsanforderungen) als auch ihre entsprechende Bewertung im Detail geprüft. Die Prüfergebnisse und die daraus gezogene Schlussfolgerung und Beurteilung der Experten sind separat in ENSI 33/460 ausführlich dokumentiert.

#### **4.3.1 Verwendete Entwurfsindikatoren**

Die Anforderungen an die maximale Tiefe der Lagerebene des Lagers für hochaktive Abfälle (HAA) werden von der Nagra basierend auf übergeordneten sicherheits- und bautechnischen Zielsetzungen systematisch abgeleitet und mittels fünf Entwurfsindikatoren (EI) in einer Serie von Detailstudien untersucht. Drei Entwurfsindikatoren (EI-1, EI-2 und EI-3) beziehen sich auf die Langzeitsicherheit nach Verschluss des Lagers (siehe NAB 14-81). Mit den anderen zwei Entwurfsindikatoren beurteilt die Nagra die Beanspruchung des Gebirges zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit (EI-4) und die Gebirgstragfähigkeit sowie den Tragwiderstand des Ausbaus (EI-5) in Anlehnung an SIA 267.

Die Experten des ENSI beurteilen die Entwurfsindikatoren EI-1 und EI-5 als geeignet. Die Wahl und Bewertungsskala des ersten Entwurfsindikators (EI-1) zur maximalen Tiefenlage aus Sicht der Langzeitsicherheit (siehe NAB 14-81, Ausdehnung der plastifizierten Zone) sind für die Experten nachvollziehbar. Aufgrund von Sicherheitsreserven (d. h. genügend vertikaler Mächtigkeit des ungestörten Opalinustons zwischen Auflockerungszone und der Formationsgrenze) ergeben sich bei Anwendung dieses Entwurfsindikators im betrachteten Tiefenbereich bis 900 m u.T. keine zusätzlichen Einschränkungen. Aus Sicht der Prüfexperten führt die grundsätzliche Beziehung, dass sich die Auflockerungszone (AUZ) und die Verformungen mit zunehmender Tiefe vergrössern (unter der Voraussetzung eines gleich bleibenden Ausbauwiderstandes und gleich bleibender Gebirgsfestigkeit), zu einer schlechteren relativen Bewertung tieferliegender Lagerperimeter. In Anbetracht des Stoffansatzes der NAGRA, der von den Experten als zutreffend erachtet wird, ist aber mit einer zunehmenden Festigkeit und Steifigkeit mit zunehmender Tiefe zu rechnen. Im relevanten Tiefenbereich zwischen 400 und 900 m wird dieser Effekt von der NAGRA nicht berücksichtigt und kann anhand der vorliegenden Laborversuche nur für die Steifigkeit aber nicht für die Festigkeit quantifiziert werden. Demzufolge verbleiben grosse Unsicherheiten bei der vergleichenden Bewertung der AUZ-Tiefe bei stark unterschiedlichen Tiefenlagen.

Die Entwurfsindikatoren EI-2, EI-3 und EI-4, deren Beurteilung auf einem Konvergenzkriterium basiert, werden von den Experten für die Beurteilung der maximalen Tiefe der Lagerebene als ungeeignet beurteilt. Die Gründe für die negative Beurteilung der Experten bezüglich des bei EI-2, EI-3 und EI-4 verwendeten Konvergenzkriteriums sind in ENSI 33/460 dargelegt.

Folgende im Expertenbericht ENSI 33/460 begründete Kritikpunkte sind bei der Bearbeitung der Nachforderung durch die Nagra explizit zu berücksichtigen:

- 1) Die Aussagekraft der Konvergenz-basierten Entwurfsindikatoren für die übergeordneten Anforderungen aus Sicht der Langzeitsicherheit ist teilweise sehr begrenzt.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Publidos:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
06.11.2015 / [REDACTED]

#### **4.3.2 Verwendete Analyseverfahren zur Beurteilung der maximalen Tiefenlage**

Zwecks Eingrenzung der maximalen Tiefenlage (Herleitung der Optimierungsanforderungen) hat die Nagra unterschiedliche Methoden angewendet, d. h. zwei- und dreidimensionale numerische Berechnungen mit effektiven Spannungen, Gebirgskennlinienverfahren mit totalen Spannungen aber mit dem Einsatz von effektiven (drainierten) Festigkeitsparametern und numerische Berechnungen mit totalen Spannungen unter Berücksichtigung der undrainierten Scherfestigkeit. Die Nagra hat dabei auch internationale Erfahrungen berücksichtigt.

Die Berechnungen mit wirksamen Spannungen liefern grundsätzlich eine gute Basis für eine qualitative Beurteilung der Tiefe der Lagerebene und für Vergleichsstudien. Dennoch haben die Experten des ENSI bei ihrer Prüfung Probleme identifiziert, welche die Zuverlässigkeit einer Bewertung der maximalen Tiefe der Lagerebene beeinflussen.

Die Anwendung von Gebirgskennlinien für eine zuverlässige quantitative Aussage bezüglich der maximalen Tiefenlage ist schwierig, weil die zu erwartenden Verformungseigenschaften, *In-situ*-Spannungsbedingungen und das Gebirgsverhalten sich von den ursprünglichen Annahmen des Gebirgskennlinienverfahrens stark unterscheiden.

Weitere relevante Kritikpunkte der Experten zu den von der Nagra verwendeten Analyseverfahren sind in ENSI 33/460 dokumentiert.

Basierend auf den von der Nagra eingereichten Unterlagen kommen das ENSI und seine Experten zum Schluss, dass die von der Nagra hergeleitete Bewertungsskala der maximalen Tiefe der Lagerebene und die von ihr durchgeführte Optimierung der Lagerperimeter bezüglich der maximalen Tiefe unter Terrain nicht nachvollziehbar sind (ENSI 33/460).

Folgende im Expertenbericht ENSI 33/460 begründete Kritikpunkte sind bei der Bearbeitung der Nachforderung durch die Nagra explizit zu berücksichtigen:

- 1) Die Gefährdungsbilder sollen sowohl reguläre geotechnische Verhältnisse und Gebirgsverhaltensweisen als auch aussergewöhnliche geologische Situationen (z. B. spitzwinklig zur Tunnelachse streichende Störungszonen) umfassen.
- 2) Alle Massnahmen zur Bewältigung unerwünschter Ereignisse erfordern für alle Lagerkomponenten und Zustände stufengerechte robuste Argumentationen oder Nachweise der Umsetzbarkeit und Wirksamkeit der Massnahmen.

#### **4.4 Bautechnische Auswirkungen auf die Auflockerungszone und auf die Langzeitsicherheit**

Die Experten des ENSI haben die Unterlagen der Nagra zur langfristigen Entwicklung einer Auflockerungszone, die infolge der Vortriebsarbeiten um den Lagerstollen herum entstehen kann, geprüft. Ihre Prüfergebnisse sind im Bericht ENSI 33/460 dokumentiert.

Die Experten kommen zum Schluss, dass bautechnisch machbare Konzepte, mit welchen auch Ausbrüche oder Niederbrüche verhindert werden können oder allenfalls eine wirksame Verfüllung mit Bentonit garantiert werden kann, von wesentlicher Bedeutung für die Langzeitsicherheit sind. Dies gilt insbesondere für die Bereiche der Zwischensiegel in den HAA-Lagerstollen. Die von der Nagra vorgelegten bautechnischen Konzepte für die Zwischensiegel der HAA-Lagerstollen erfüllen die von der Nagra spezifizierten Anforderungen an die Entwurfsindikatoren nicht.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidos: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Titel: Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
Datum / Sachbearbeiter: 06.11.2015 / [REDACTED]

Folgende im Expertenbericht ENSI 33/460 begründeten Kritikpunkte sind bei der Bearbeitung der Nachforderung durch die Nagra explizit zu berücksichtigen:

- 1) Die Wirksamkeit der bautechnischen, konzeptionellen und logistischen Massnahmen zur sicheren Bewältigung unerwünschter bautechnischer Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit muss auf robusten Argumenten oder Nachweisen beruhen.

#### **4.5 Nachforderung des ENSI für die ergänzenden Unterlagen zum Aspekt maximale Tiefenlage**

Ziel der Nachforderung des ENSI ist es, eine ausreichende technisch-wissenschaftliche Basis für die Beurteilung des Indikators 1 und für die Beurteilung des entscheiderelevanten Merkmals „Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale,“ (ENSI 33/154) für SMA- und HAA-Lager zu erhalten.

Ausgangspunkt der Nachforderung sind die in Etappe 1 seitens des ENSI akzeptierten verschärften Mindestanforderungen an die maximale Tiefe und das daraus resultierende mögliche standortspezifische Tiefenspektrum mit ausreichendem Platzangebot unter Berücksichtigung der Ungewissheiten diesbezüglich. Mögliche Konsequenzen durch ein allfälliges verändertes Lager-/Ausbaukonzept auf die Lagerperimeter oder auf andere Indikatoren müssen von der Nagra aufgezeigt und dokumentiert werden.

Das ENSI erwartet von der Nagra zur Beurteilung der geotechnischen Bedingungen, Bewertung der maximalen Tiefenlage in den Standortgebieten und Begründung etwaiger daraus resultierender eindeutiger Nachteile von Standortgebieten, mindestens das Folgende:

- 1) Die ausstehenden Anforderungen des ENSI sind zu erfüllen (vgl. Kapitel 2).
- 2) Dokumentation der Betrachtungen und Bewertungen alternativer Lagerkonzepte (HAA und SMA), Diskussion der Auswirkungen auf die Bau-, Betriebs- und Langzeitsicherheit inklusive Aufzeigen der Vor- und Nachteile (vgl. Kapitel 4.1).
- 3) Die in den Kapitel 4.2 bis 4.4 dieses Dokuments zusammengefassten und in den Expertenberichten ENSI 33/460 und ENSI 33/461 dokumentierten Kritikpunkte sind bei der Bearbeitung zu berücksichtigen. In den Analysen und Berichten zur Nachforderung ist explizit auf die in Kapitel 4.2 bis 4.4 aufgezählten Punkte einzugehen.
- 4) Auflistung von Nutzungsanforderungen an die untertägigen Bauwerke in Anlehnung an SIA 260, insbesondere der übergeordneten Ziele und Anforderungen bezüglich der Langzeitsicherheit.
- 5) Auflistung der Projektierungsgrundlagen in Anlehnung an SIA 260.
- 6) Zusammenstellung und Erläuterung aller erforderlichen Angaben für felsmechanische Betrachtungen und Berechnungen sowie für statische Berechnungen (tiefenabhängige Labor- und Gebirgskennwerte, Stoffgesetze und Ungewissheiten).
- 7) Beurteilung der geotechnischen Bedingungen in den Standortgebieten in Abhängigkeit von der tektonischen Überprägung und der Tiefe der Lagerebene.
- 8) Durchführung von lagerperimeterspezifischen felsmechanischen Betrachtungen und Berechnungen sowie statischen Analysen in Abhängigkeit von möglichen Tiefen der Lagerebene in den betrachteten Standortgebieten, einschliesslich:

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Publidos:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

**keine**

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476

Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT

06.11.2015 / [REDACTED]

- a) Analyse von Gefährdungsszenarien und Gefährdungsbilder während Bau und Betrieb auf der Lagerebene (u. a. Niederbrüche) bezüglich der Einhaltung der Anforderungen an die betriebliche Sicherheit und die Langzeitsicherheit.
  - b) Herleitung und Beschreibung der erforderlichen konstruktiven, konzeptionellen und logistischen Massnahmen, einschl. Vortriebskonzept, und Nachweis der Umsetzbarkeit und Wirksamkeit dieser Massnahmen (z. B. Zwischensiegel oder *cut-offs*, Aufgabe von Lagerstollenabschnitten).
  - c) Analyse der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit für die geplanten relevanten untertägigen Bauwerke auf den möglichen Lagerebenen (Lagerstollen, Lagerkavernen, Zwischensiegel, Versiegelungsstrecken etc.) unter Berücksichtigung der tiefenabhängigen Gebirgskennwerte und ihrer Ungewissheiten.
- 9) Bewertung der Auswirkungen der erforderlichen lagerperimeter- und tiefenabhängigen Ausbaukonzepte und Ausbaumittel auf die technischen und geologischen Barrieren des HAA- bzw. des SMA-Tiefenlagers hinsichtlich der Langzeitsicherheit. Bei der Bewertung sind neben den entsprechenden Kriterien und Indikatoren, wie u. a. das Kriterium „Lagerbedingte Einflüsse“, auch die relevanten Prozesse und Parameter für die Systemanalysen (vgl. NTB 14-03, Anhang A2) zu diskutieren. Allfällige Konsequenzen auf die Eigenschaften der technischen und natürlichen Barrieren und die Qualität des Mehrfachbarrierensystems sind zu beschreiben und zu bewerten.

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Publidos:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

**keine**

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476

Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT

06.11.2015 / [REDACTED]

## 5 Referenzen

- Amann F., Löw S., Perras M. (2015): Assessment of Geomechanical Properties, Maximum Depth below Ground Surface and EDZ, Impact on Long Term Safety, Expertenbericht ENSI 33/460, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg.
- Amann F., Vogelhuber M. (2015): Expert Report - Assessment of Geomechanical Properties of Intact Opalinus Clay, Expertenbericht ENSI 33/461, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg.
- 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 33/115: Stellungnahme zu NTB 10-01 «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT», Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Stellungnahme, Brugg, 2011.
- ENSI 33/154: Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2013.
- ENSI 33/170: Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2013.
- NAB 14-81: Beurteilung der Tiefenlage in Bezug auf die geotechnischen Bedingungen: Grundlagen für die Abgrenzung und Bewertung der Lagerperimeter, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- 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 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.
- NTB 14-01: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT-Etappe 2: Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.



**Klassifizierung:** keine  
Aktenzeichen/Publidocs: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/476  
Titel: Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT  
Datum / Sachbearbeiter: 06.11.2015 / [REDACTED]

NTB 14-03: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.

SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, Zürich, 2003.

SIA 267: Geotechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, Zürich, 2003.