

Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT

Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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

ENSI 33/170

Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheits- betrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT

Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2

Januar 2013

Impressum

Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT

Herausgeber

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Industriestrasse 19
CH-5200 Brugg
Telefon +41(0)56 460 84 00

Info@ensi.ch

www.ensi.ch

Zusammenfassung

Hinsichtlich des Projektstandes der geologischen Tiefenlager befinden sich die Arbeiten für Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) auf der Stufe einer Vorstudie im Rahmen der Projektentwicklung. Der für Etappe 2 SGT notwendige Detaillierungsgrad erfordert standortspezifische geologische Baugrundmodelle und standortspezifische Konzepte der Zugangsbauwerke. Das ENSI fordert qualitative bautechnische Risikoanalysen pro Standortgebiet, resp. pro untertägigen Lagerperimeter und deren jeweilige Zugangsbauwerke unter Einbezug der Variabilität der Gebirgseigenschaften und unter Berücksichtigung der zugehörigen Standortareale für die Oberflächenanlagen. Dabei müssen neben den Gefährdungsbildern auch die geplanten oder berücksichtigten Massnahmen beschrieben werden. Die Ergebnisse der bautechnischen Risikoanalysen fliessen in die Bewertung und den sicherheitstechnischen Vergleich der verschiedenen Standorte ein. Die Nagra hat zudem stufengerecht anhand einer systematischen, generischen Darlegung den sicheren Normalbetrieb der Zugangsbauwerke und die Beherrschbarkeit der Auswirkungen von Störfällen während des Betriebs inkl. Beobachtungsphase eines geologischen Tiefenlagers aufzuzeigen.

Aus Sicht des ENSI umfasst eine bautechnische Risikoanalyse mindestens folgende Elemente:

- Die Einstufung der Eintretenswahrscheinlichkeiten unerwünschter geologischer Ereignisse, resp. Ereignisabläufe (z.B. starker Wassereintritt) und des Schadensausmasses unter Berücksichtigung geplanter Massnahmen. Für den Bau der Zugangsbauwerke und alle für die Langzeitsicherheit relevanten untertägigen Bauwerke sollen deshalb Gefährdungsbilder, Eintretenswahrscheinlichkeiten sowie Massnahmen zu deren Verhinderung, Früherkennung bzw. Beherrschung aufgezeigt werden. Die Auswirkungen der bautechnischen Massnahmen und geotechnischer Ereignisse (z.B. Verbrüche) auf die Langzeitsicherheit sollen systematisch überprüft werden.
- Die Risikoanalysen basieren auf standortspezifischen Gefährdungsbildanalysen für die Zugangsbauwerke und alle für die Langzeitsicherheit relevanten untertägigen Bauwerke während Bau und Betrieb, sowie auf einer Beschreibung der Art der möglichen Massnahmen (Ausbruchsverfahren, Sicherungs- und Stützmittel), damit Variantenvergleiche gemacht werden können.
- Für die Erfassung des möglichen Schadensausmasses sind die wichtigsten Kategorien von möglichen Auswirkungen auf Arbeitssicherheit, Umwelt, Betriebs- und Langzeitsicherheit aufzuzeigen, und die zu ihrer Beherrschung möglichen Massnahmen sowie deren Wirksamkeit zu beschreiben.

1 Rahmenbedingungen

1.1 Vorgehen gemäss Konzeptteil Sachplan geologische Tiefenlager

Gemäss Sachplan geologische Tiefenlager (SGT, BFE 2008) sind in Etappe 2 SGT für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA alle 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit zu beurteilen. Aus sicherheitstechnischer Sicht stehen in Etappe 2 SGT die Auswahl und der sicherheitstechnische Vergleich von geologischen geeigneten Standortgebieten (Optimierung unten) im Vordergrund. Bei der Auswahl von Standortgebieten hat deshalb der Nachweis der Langzeitsicherheit, also die Einschussfähigkeit des Wirtgesteins und der Rahmengesteine Priorität. Dabei werden aufgrund der geologischen Kenntnisse alle Standortgebiete sicherheitstechnisch bewertet und verglichen. Die Annahmen für die sicherheitstechnischen Berechnungen müssen belastbar sein, das heisst, die Aussagen zur Sicherheit und technischen Machbarkeit müssen auch unter Berücksichtigung der bestehenden Variabilitäten und Ungewissheiten in Daten und Prozessen gültig sein (ENSI 33/075). In Etappe 2 SGT werden die geologischen Standortgebiete anhand der Vorgaben im Konzeptteil SGT und den Vorgaben in ENSI 33/075, ENSI 33/154, ENSI 33/155 ausgewählt.

Die Überprüfungen des ENSI und seiner Experten im Rahmen des Entsorgungsnachweises Projekt Opalinuston (Emch+Berger AG 2005; HSK 35/99) und die Diskussionen im Rahmen des Behördenseminars zum Thema Zugangsbauwerke (ENSI 33/192) haben gezeigt, dass unter Fachexperten die bautechnische Machbarkeit der Zugangsvarianten Schacht und Rampe (sowie eine Kombination aus beiden) grundsätzlich gegeben ist.

In Etappe 2 SGT ist die Sicherheit und Machbarkeit der Erschliessung der untertägigen Lagerperimeter von den vorgeschlagenen Standortarealen für die Oberflächenanlagen gemäss den Sachplankriterien 4.1 und 4.2 stufengerecht aufzuzeigen. Zudem sind geologische Risiken der Zugangsbauwerke bei Bau und Betrieb eines Tiefenlagers auszuweisen und allfällige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit zu untersuchen. Das ENSI legt die entsprechenden Vorgaben in diesem Dokument fest.

Die Nagra hat in Etappe 2 SGT die Aufgabe, Standortareale für die Oberflächenanlagen und deren untertägiger Erschliessung zu bezeichnen. Allfällige Unterschiede in der untertägigen Erschliessung (z.B. Schacht, Rampe) der Lagerperimeter bezüglich Sicherheit und technischer Machbarkeit werden für die bezeichneten Standortareale evaluiert und bei der Bewertung und Auswahl der geologischen Standortgebiete berücksichtigt. In diesem Dokument hat der Begriff «Standort» folgende Bedeutung: Die provisorischen Sicherheitsanalysen und der sicherheitstechnische Vergleich werden für die geologischen Standortgebiete unter Berücksichtigung der zugehörigen Standortareale für die Oberflächenanlagen und der jeweils bezeichneten untertägigen Lagerperimeter durchgeführt.

Die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers ist ein schrittweiser Prozess (Anhang 1). Der erforderliche Detaillierungsgrad der Betrachtungen zur bautechnischen Machbarkeit hängt von der jeweiligen Etappe des SGT bzw. der Stufe des Bewilligungsverfahrens ab. Die Betrachtungen zur bautechnischen Machbarkeit sind bei weiteren Schritten der Realisierung eines Tiefenlagers zu aktualisieren und bei Bedarf gemäss Stand von Wissenschaft und Technik zu ergänzen. Beispielsweise wird die Nagra in Etappe 3 SGT für das Rahmenbewilligungsgesuch gemäss Art. 62 KEV zusätzlich zu den Gesuchsunterlagen nach Art. 23 KEV einen Bericht einreichen, der einen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des

geplanten geologischen Tiefenlagers enthält. Das ENSI erwartet, dass dieser Bericht die sicherheitstechnischen Vor- und Nachteile der geplanten Zugangsbauwerke aufzeigt. Die im SGT mitwirkenden Fachgremien des Bundes und der Kantone werden Gelegenheit haben, zu diesem Bericht Stellung zu nehmen.

1.2 Forderungen des ENSI zur bautechnischen Machbarkeit

In der Stellungnahme des ENSI zum NTB 10-01 (ENSI 33/115) hat das ENSI bezüglich bautechnischer Machbarkeit folgende Forderung gestellt:

«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 Zugangsbauwerke fordert das ENSI, dass bautechnische Risikoanalysen durchgeführt und die Resultate in den Sicherheitsanalysen berücksichtigt werden.»

Zur Machbarkeit der SMA-Kavernen hält das ENSI folgendes fest (ENSI 33/115, S. 77):

«Für eine vergleichende Beurteilung der Standorte in Etappe 2 SGT erachtet das ENSI weiterführende Untersuchungen für eine Verbesserung des Detaillierungsgrades der geologischen Baugrundmodelle und eine bautechnische Risikoanalyse als erforderlich. Diese Baugrundmodelle können insbesondere aufgrund der von der Nagra vorgeschlagenen ergänzenden Untersuchungen sowie einer expliziten Berücksichtigung folgender ingenieurgeologischer Elemente verbessert werden:

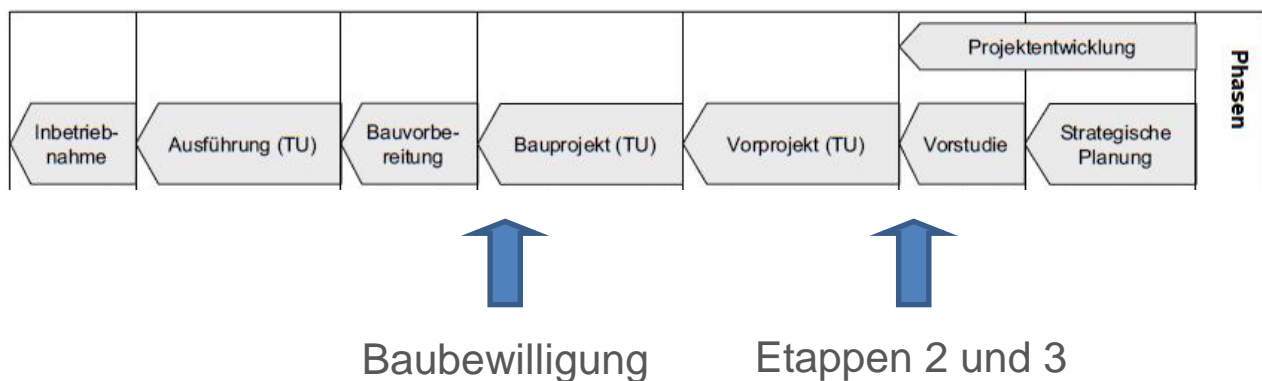
- *Systematische Charakterisierung kleinmassstäblicher Trennflächen*
- *Erfassung bautechnisch relevanter sedimentärer Heterogenitäten und der Anisotropie*
- *Abschätzung bautechnisch relevanter kleiner Störungszonen*

Die qualitative bautechnische Risikoanalyse umfasst die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit einer denkbaren Gefährdung und deren Schadensausmass mit und ohne Massnahmen. Im vorliegenden Fall wird eine Risikoanalyse je Standortgebiet unter Einbezug der Variabilität der Gebirgseigenschaften, In-situ-Spannungen, Kavernenquerschnittsgrössen, Vortriebsmethoden, Massnahmen und verbleibendes Restrisiko empfohlen. Die Auswirkungen unerwünschter geotechnischer Ereignisse (z.B. Verbrüche) auf die Langzeitsicherheit sollten systematisch überprüft werden.»

Die Nagra hat vor Einreichen der sicherheitstechnischen Unterlagen für Etappe 2 SGT aufzuzeigen, wie sie die ENSI-Forderungen (ENSI 33/115) abarbeiten wird. Die Ergebnisse werden von der Nagra im Rahmen einer Zwischenhalt-Fachsitzung gemäss ENSI 33/155 präsentiert.

1.3 Projektstand und notwendiger Detaillierungsgrad

Hinsichtlich des Projektstandes der geologischen Tiefenlager befinden sich die Arbeiten für Etappe 2 SGT auf der Stufe einer Vorstudie im Rahmen der Projektentwicklung (Figur 1). Der für die in Etappe 2 SGT auszuführenden Analysen notwendige Detaillierungsgrad erfordert standortspezifische geologische Baugrundmodelle sowie standortspezifische Konzepte der Zugangsbauwerke, unter Berücksichtigung der möglichen Kategorien von Baumethoden und Bauhilfsmassnahmen. Die bautechnischen Risikoanalysen beruhen auf geologischen Baugrundmodellen und Gefährdungsbildern der verschiedenen Standortgebiete und basieren je nach Anordnung von Lagerperimeter und Standortareal auf verschiedenen Arten von Zugangsbauwerken. Da diese in den weiteren Schritten der Lagerrealisierung (Anhang 1) verfeinert werden, soll in Etappe 2 SGT noch nicht über die definitive Auslegung und definitive Linienführung der Zugangsbauwerke entschieden werden.



Figur 1: Schematische Abfolge der Realisierung eines Bauprojekts. Die Arbeiten in Etappe 2 SGT hinsichtlich der Zugangs- und Lagerbauwerke müssen die Anforderungen an eine Vorstudie erfüllen. Das Projekt wird stufenweise weiter entwickelt, über das Rahmenbewilligungsgesuch in Etappe 3 SGT bis hin zum Bauprojekt für das Baubewilligungsgesuch.

In Abhängigkeit der geologischen Verhältnisse können sich in den verschiedenen Standortgebieten unterschiedliche bautechnische Risiken der Zugangsbauwerke ergeben. Gemäss den Forderungen von ENSI und KNE fliessen die Resultate der bautechnischen Risikoanalysen in die Gesamtbewertung der Standortgebiete ein. Diese Risikoanalysen beruhen nach heutiger Planung auf möglichen Varianten der Linienführung der Zugangsbauwerke, welche die vorgeschlagenen Standortareale mit den untertägigen Lagerperimetern verbindet. Die geologischen-hydrogeologischen Verhältnisse der Zugangsbauwerke und Standortareale sind grundsätzlich auch relevant für die Sicherheit während der Bau- und Betriebsphase und sind bei der Wahl der Standortareale für Oberflächenanlagen zu berücksichtigen.

2 Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an die ergänzenden Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke

2.1 Bautechnische Risikoanalysen und deren Anwendung

Die Risiken betreffen Ereignisse während des Baus oder während der Betriebsphase, die bei Eintreten mit «Schäden» (teilweise auch als Schadensausmass bezeichnet) verbunden sind. «Schäden» umfassen bei konventionellen Bauten zum Beispiel Zusatzkosten, Verzögerungen oder negative Auswirkungen auf die Arbeitssicherheit und Umwelt. Für geologische Tiefenlager stehen die Aspekte der Arbeitssicherheit, Auswirkungen auf die Umwelt, Betriebs- und Langzeitsicherheit im Vordergrund. Diese Risiken basieren auf dem Eintreten von geologischen Ereignissen oder Gefährdungsbildern (z.B. Verbruch, Wassereinbruch) sowie allfälligen Auswirkungen der geplanten Massnahmen wie zum Beispiel der Vorauserkundung, des Ausbruchs, und der Gebirgssicherung und Stützung.

In der Praxis werden neben den geologischen Gefährdungsbildern (siehe Anhang 2) auch Gefährdungsszenarien beschrieben, welche die Auswirkungen der geologischen Ereignisse auf die Erstellung des Bauwerks beinhalten. Als zentrales Element der bautechnischen Risikoanalyse ist eine abdeckende Erarbeitung und Beschreibung der Gefährdungsbilder und Gefährdungsszenarien vorzusehen.

Die geologischen Ereignisse treten mit einer gewissen *Eintretenshäufigkeit* auf, die unabhängig von den Massnahmen ist. Die in bautechnischen Risikoanalysen verwendete *Eintretenswahrscheinlichkeit* bezieht sich in der Regel auf die Gefährdungsszenarien unter Berücksichtigung der geplanten Massnahmen, zum Beispiel: Wie wahrscheinlich ist es, dass der Vortrieb einer Rampe infolge eines Wasserzuflusses Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit des Lagers hat?

Die *Eintretenswahrscheinlichkeit* ist somit eine Funktion der *Eintretenshäufigkeit* des zugrunde liegenden geologischen Ereignisses, und der Wirksamkeit der Massnahmen, welche im Vorfeld getroffen wurden, um dieses Szenarium zu verhindern (z.B. vorseilende Abdichtungsinjektionen).

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 Gefährdungsbildanalysen¹ 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

¹ In dieser Aktennotiz eingeschlossen sind die bautechnischen Risiken während Bau und Betrieb und allfällige Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers.

Risikoanalysen müssen in die Bewertung der verschiedenen Standorte und in den sicherheitstechnischen Vergleich einfließen.

2.1.1 Baugrundmodell

Unter Baugrundmodell wird eine modellmässige Beschreibung des Baugrundes verstanden, welche abdeckend zur Beurteilung der bautechnischen Erfordernisse der Zugangsbauwerke und aller sicherheitstechnisch relevanten Bauwerke auf Lagerebene dient und als zentrale Informationsquelle für die Herleitung und Beschreibung der Gefährdungsbilder herangezogen wird. Das Baugrundmodell umfasst in Anlehnung an die SIA 197 und SIA 199 eine geologische Prognose mit einer detaillierten Beschreibung aller für den Bau und Betrieb relevanten strukturgeologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Elemente. Hierzu sind die notwendigen Informationen aus dem Standortgebiet und angrenzenden Bereichen in vergleichbarer geologischer, hydrogeologischer und geotechnischer Situation zu erheben und aufzuarbeiten.

Der notwendige Detaillierungsgrad in Etappe 2 SGT entspricht einer Vorstudie und ist in weiteren Schritten bei der Realisierung eines geologischen Tiefenlagers dem wachsenden Kenntnisstand anzupassen. Nicht für alle geologischen Eigenschaften (z.B. kleinräumige Strukturen) können in Etappe 2 SGT bereits spezifische geometrische Angaben gemacht werden. Die Baugrundmodelle sind demnach Modelle, welche die Bandbreite möglicher geologischer Eigenschaften (z.B. Orientierung und Auftreten von kleinmassstäblichen Störungszonen und Trennflächen) aufzeigen sollen.

2.1.2 Risikomatrix

Die Einstufung der bautechnischen Risiken kann durch die Nagra anhand der in Figur 2 aufgezeigten Risikomatrix vorgenommen werden. Die Eintretenswahrscheinlichkeit und das entsprechende Schadensausmass werden gleichzeitig bewertet und die entsprechenden Massnahmen dargelegt. In den Risikoanalysen sind die jeweiligen Einstufungen nachvollziehbar zu begründen. Dazu können Ereignisbaumanalysen verwendet werden. Die Bewertung des Schadensausmasses kann für konventionelle Bauwerke auf Stufe der Ausführungsprojektierung zum Beispiel anhand der folgenden Aspekte erfolgen: Arbeitssicherheit, Verzögerungen, Kosten. Hinsichtlich des Baus eines geologischen Tiefenlagers sind neben der Arbeitssicherheit die Auswirkungen auf die Betriebs- und Langzeitsicherheit sowie auf die Umwelt von grossem Gewicht, z.B. aufgrund der unterschiedlich langen Zugangsbauwerke oder der Tiefe eines Tiefenlagers.

Eintretenswahrscheinlichkeit²

Eine mögliche qualitative Definition von Eintretenswahrscheinlichkeiten der Gefährdungsszenarien für die Bauphase kann zum Beispiel sein:

- *gering* (erfahrungsgemäss ist vom Eintrittsfall nicht auszugehen)
- *mittel* (im Zeitraum der Nutzungsdauer nicht auszuschliessen bei Bau, Betrieb und Verschluss)
- *hoch* (mit dem Eintrittsfall muss gerechnet werden)

² Es gibt keine allgemeingültige Einteilung der Häufigkeiten. Diese Einordnung kann differieren und an die jeweilige Risikosituation angepasst werden.

Schadensausmass

Das Schadensausmass wird in den meisten konventionellen Untertageprojekten im Rahmen der Ausführungsplanung in Folgekosten (sog. Risikoausmasskosten), in Terminverzögerungen und in Gesundheits- oder Umweltschäden ausgewiesen. In konventionellen bautechnischen Risikoanalysen werden die Schäden in Klassen eingeteilt (z.B. *klein, mittel und gross*), welche mit quantitativen Angaben unterlegt sind. Im Falle eines geologischen Tiefenlagers müssen für das Tiefenlager spezifische mögliche Schäden (z.B. Arbeitssicherheit, Auswirkungen auf die Betriebs- und Langzeitsicherheit sowie auf die Umwelt) bewertet werden.

Schadens- ausmass	<i>gross</i>			
	<i>mittel</i>			
	<i>klein</i>			
		<i>gering</i>	<i>mittel</i>	<i>hoch</i>
		Eintretenswahrscheinlichkeit		

Figur 2: Schematische Darstellung einer bewertenden Risikomatrix. Die bautechnischen Risiken können z.B. anhand einer Matrix von mindestens 3x3 bewertet werden. Sowohl die Eintretenswahrscheinlichkeit (gering, mittel und hoch) als auch das entsprechende Schadensausmass (klein, mittel, gross) werden gemeinsam bewertet. *Grünes Feld:* Verbleibendes, bzw. akzeptables Risikopotential; Ereignismanagement erforderlich (u.a. Monitoring). *Oranges Feld:* Zusätzliche Massnahmen sind zu prüfen und ggf. umzusetzen. *Rotes Feld:* Massnahmen sind zwingend erforderlich, bzw. Risiko ist durch konzeptionelle, organisatorische, resp. technische Massnahmen systematisch zu vermeiden.

2.2 Anforderungen an die ergänzenden Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke während der Betriebsphase

Der Fokus der bautechnischen Risikoanalysen in Etappe 2 SGT liegt auf der Analyse der geologisch bedingten, standortspezifischen Risiken. In Ergänzung dazu hat die Nagra stufengerecht anhand einer systematischen, generischen Betrachtung auch den sicheren Normalbetrieb der Zugangsbauwerke (wie z. B. Förderung von Lasten und Personen) und die Beherrschbarkeit der Auswirkungen von Störfällen aufzuzeigen. Dies hat mittels einer strukturierten Vorgehensweise (beispielsweise mit einer Ereignisbaumanalyse) zu erfolgen. Falls standortspezifische sicherheitsrelevante Risiken für die Zugangsbauwerke bestehen, sind diese auszuweisen.

Gemäss der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (UVEK 2009) hat der Gesuchsteller für die Bau- und Betriebsbewilligung für ein geologisches Tiefenlager eine umfassende Störfallanalyse gemäss dieser Verordnung durchzuführen. Für Etappe 2 SGT erwartet das ENSI, dass sich die qualitativen Sicherheitsbetrachtungen für die Betriebsphase der Zugangsbauwerke an den in der UVEK-Verordnung aufgeführten Gefährdungsbildern (siehe Anhang 3) sowie an den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G03 (siehe Anhang 4) orientiert, soweit diese im Stadium einer Vorstudie in Etappe 2 anwendbar sind.

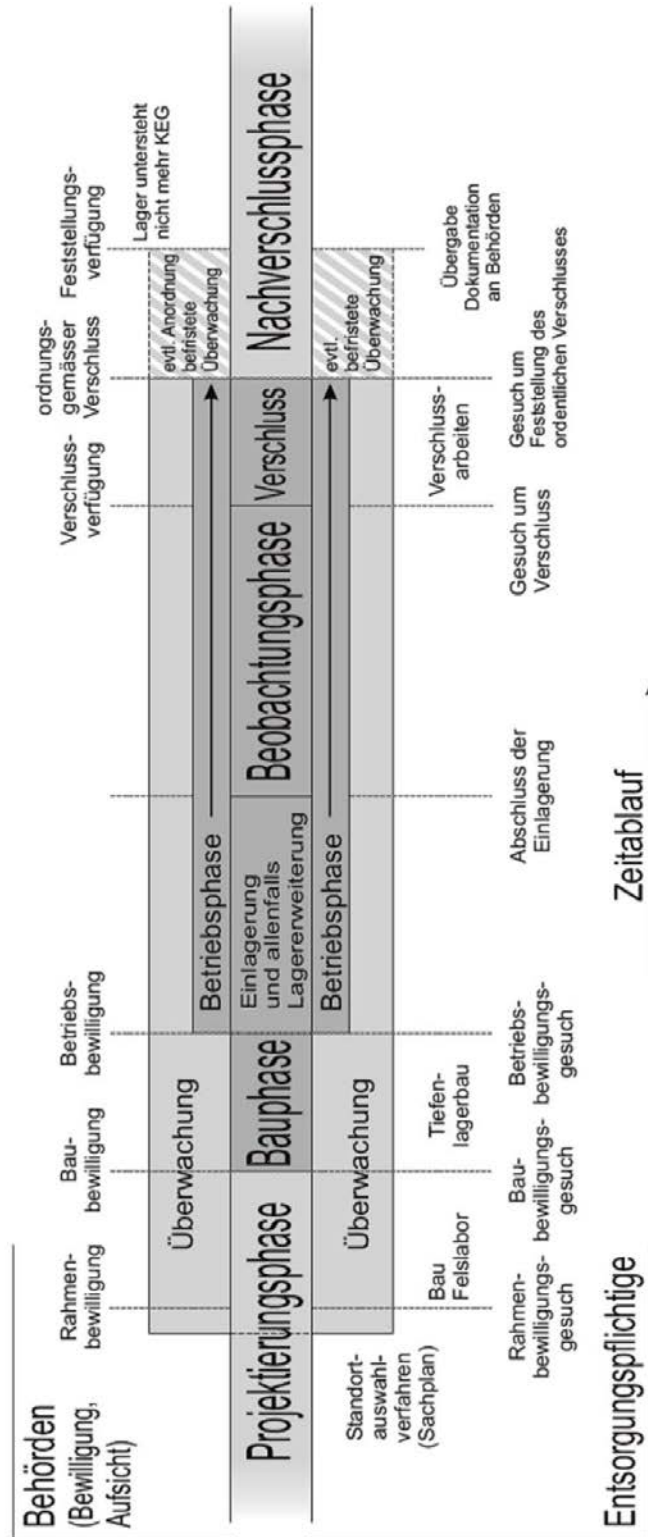
Mögliche Varianten der Zugangsbauwerke (Rampe, Schacht oder Kombinationen) sind zu untersuchen und darzulegen, ob sie unter Berücksichtigung der getroffenen Massnahmen trotz bestehenden Ungewissheiten sicher gebaut, betrieben und verschlossen werden können.

3 Referenzen

- BFE (2008): Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil, Bundesamt für Energie, Bern.
- Emch+Berger AG (2005): Beurteilung der bautechnischen Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers für BE/HAA und LMA und der durch das Lager induzierten Prozesse, Expertenbericht HSK 35/97, Emch+Berger AG, Bern.
- 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: Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager : Präzisierungen zur Bewertungsmethodik für die Einengung von Standortgebieten, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2013.
- ENSI 33/155: Ablauf der Überprüfung des geologischen Kenntnisstands vor Einreichen der sicherheitstechnischen Unterlagen für Etappe 2 SGT, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2013.
- ENSI 33/192: Fachsitzung zum Thema Zugangsbauwerke und deren Versiegelung (Teil 2, 5. Juli 2012), Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Protokoll, Brugg, 2012.
- 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.
- KEV: Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004, Schweiz, SR 732.11.
- 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.
- SIA 197: Projektierung Tunnel – Grundlagen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, Schweiz, 2004.
- SIA 199: Erfassen des Gebirges im Untertagebau, Empfehlung, Schweiz, 1998.
- UVEK: Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlage vom 17.06.2009, Schweiz, SR 732.112.2.

Anhang 1

Auszug aus der Richtlinie ENSI-G03: Anhang 2, Vereinfachte schematische Darstellung der Abläufe bei Projektierung, Bau, Betrieb und Verschluss eines geologischen Tiefenlagers.



Anhang 2

Auszug aus der SIA 199, Anhang 5 Gefahren und Gefährdungsbilder

GEBIRGE	<ul style="list-style-type: none"> • Steinfall, Gesteinsablösung • Auflockerung • Niederbruch • Bergschlag (Festgestein) • Verformung des Ausbruchprofils • Instabilität der Ortsbrust • Tagbruch • Oberflächensetzungen
WASSER	<ul style="list-style-type: none"> • Wassereinbruch (z.B. aus offener Kluft, Karstgang, Störzone) • dauernder Wasseranfall • Versagen der Ausbruchsicherung bzw. des definitiven Ausbaus infolge Wasserdruck • Versinterung der Entwässerung • Aggressivität des Wassers (Einwirkung auf Beton, Metall, Kunststoff usw.) • Beeinträchtigung von Oberflächengewässern, Grundwasservorkommen sowie von Grundwasser- und Quelfassungen (Versiegen von Quellen, Verunreinigungen usw.) • Oberflächensetzungen infolge Grundwasserabsenkung bzw. Veränderung des Wasserdruckes
GEBIRGE + WASSER	<ul style="list-style-type: none"> • Niederbruch oder Tagbruch infolge Wasserdruck • Instabilität als Folge innerer Erosion • Schlammeinbruch (z.B. aus Störzone, Karstgang) • Instabilität infolge Bodenverflüssigung oder Gesteinsentfestigung (z.B. durch Wasseraufnahme bei tonigen Gesteinen) • Verformungen infolge Änderung des Porenwasserdruckes • Volumen- bzw. Druckzunahme des Bodens bzw. Gesteins infolge Wasseraufnahme (Quellen)
GAS	<ul style="list-style-type: none"> • Gasexplosion infolge kontinuierlichem oder plötzlichem Zuströmen von Gasen aus dem Gebirge (Gasmuttergestein oder Gasspeichergestein, Ausbläser beim Anfahren einer Kluft, Ausgasung nach Sprengung) • Vergiftung beim Zuströmen giftiger Gase wie H₂S, CO₂ • Erstickung infolge Sauerstoffmangel (Abtransport des Sauerstoffs im Wasser, Austritt von Gasen, Oxydation des Gesteins)
WEITERE GEFÄHRDUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Quarzgehalt (Silikose) • asbesthaltiges Gestein • Rutschungen, Sackungen, Kriechbewegungen, neotektonische Bewegungen • Altlasten • Erschütterungen, Körperschall • Gebirgs- und Wassertemperatur • Radioaktivität • Erdbeben
GEFÄHRDUNGEN ÜBER TAG (Portale, Installationsplätze usw.)	<ul style="list-style-type: none"> • Lawinen, Eissturz • Steinschlag, Felssturz • Rutschung, Murgang • Hochwasser, Überflutung • Sturm, Fallwinde

Hinweis:

Diese Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Auswahl, Kürzung oder allenfalls Erweiterung ist entsprechend den geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnissen, der Komplexität des Bauvorhabens, des gewählten Bauverfahrens und der Projektstufe vorzunehmen.

Anhang 3

Auszug aus der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlage vom 17.06.2009, Schweiz, SR 732.112.2

2. Kapitel: Gefährdungsannahmen

1. Abschnitt: Gefährdungsannahmen für Kernanlagen

Art. 3 Allgemeine Gefährdungsannahmen

1 Der Gesuchsteller oder der Bewilligungsinhaber hat Annahmen zu treffen und zu begründen über:

- a. den Umfang der Störfälle, gegen die Schutzmassnahmen zu treffen sind;
- b. die Art und Höhe der bei Störfällen entstehenden Belastungen auf die Anlage;
- c. die Häufigkeiten der Störfälle.

2 Er hat dabei die Art und den Standort der Kernanlage zu berücksichtigen.

Art. 4 Gefährdungsannahmen für Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage

1 Der Gesuchsteller oder der Bewilligungsinhaber hat für folgende Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage mindestens die jeweils genannten Auswirkungen zu berücksichtigen und zu bewerten:

- a. Reaktivitätsstörungen: Leistungsexkursionen, Bestrahlung;
- b. Brand: heisse Gase, Rauch und Wärmestrahlung;
- c. Überflutung: Staudruck auf Gebäude und Kurzschlüsse in elektrischen Anlagen;
- d. Komponentenversagen: mechanische Einwirkungen auf Bauwerke und Anlageteile;
- e. Fehlhandlungen des Personals: direkte Freisetzung radioaktiver Stoffe, Auslösung von Störfällen sowie Erschwerung der Störfallbeherrschung;
- f. Fehlerhafte Handhabung von radioaktivem Material: Kontamination;
- g. Versagen oder Fehlfunktion von Betriebssystemen: Auslösung von Störfällen;
- h. Versagen oder Fehlfunktion von Sicherheitssystemen: Auslösung von Störfällen und Verletzung der Integrität von Barrieren;
- i. Explosionen: Druckwelle, Wärmestrahlung und Brand;
- j. Absturz schwerer Lasten: Beschädigung von Strukturen oder Komponenten.

2 Er hat bei den Auswirkungen eine Gefährdung durch übergreifende Einwirkungen, insbesondere bei anlageinternen Bränden, Explosionen, Dampfausströmungen und Überflutungen, zu berücksichtigen und zu bewerten.

3 Er hat anzunehmen, dass sich brennbare Stoffe entzünden, sofern diese nicht besonders geschützt sind. In inertisierten Anlagenbereichen ist kein Brand zu unterstellen.

4 Er hat bei der Bestimmung der Gefährdung durch Überflutungen neben dem Inventar der direkt betroffenen Wasser führenden Systeme auch automatische Nachspeisemöglichkeiten zu berücksichtigen.

Art. 5 Gefährdungsannahmen für Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage

1 Der Gesuchsteller oder der Bewilligungsinhaber hat für folgende Störfälle mit Ursprung ausserhalb der Anlage mindestens die jeweils genannten Auswirkungen zu berücksichtigen und zu bewerten:

- a. Erdbeben: Bodenerschütterungen, Bodensetzungen, Erdrutsche, Zerstörung in der Nähe befindlicher Anlagen, welche die Sicherheit der Kernanlage gefährden können und Verlust von nicht erdbebenfesten Hilfs- und Versorgungssystemen, Brand und Überflutung;
- b. Überflutung: Flutwellenwirkung auf Gebäude, Eindringen von Wasser in Gebäude und Unterspülung von Gebäuden;
- c. Flugzeugabsturz: durch den Absturz induzierte Erschütterung von Anlageteilen, Treibstoffbrand (inkl. Rauchentwicklung), Explosionen und Trümmerwirkung;
- d. Extreme Wetterbedingungen: Verlust von nicht gegen diese Bedingungen ausgelegten Hilfs- und Versorgungssystemen sowie Druck- und Temperaturbelastung von Gebäuden;
- e. Blitzschlag: Spannungseintrag in elektrische Einrichtungen;
- f. Explosionen: Druck- und Hitzewelle;
- g. Brand: heisse Gase, Rauch und Wärmestrahlung.

2 Er hat bei den anzunehmenden Auswirkungen eine Gefährdung durch übergreifende Einwirkungen zu berücksichtigen und zu bewerten.

3 Er hat die Gefährdungen aus Störfällen, die durch Naturereignisse ausgelöst werden, insbesondere durch Erdbeben, Überflutung und extreme Wetterbedingungen, mit Hilfe einer probabilistischen Gefährdungsanalyse zu ermitteln. Hierbei sind die aus aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen gewonnenen historischen Daten sowie absehbare Veränderungen der massgebenden Einflussgrössen zu berücksichtigen und zu bewerten.

4 Er hat für den Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen durch Naturereignisse ausgelöste Störfälle Gefährdungen mit einer Häufigkeit grösser gleich 10^{-4} pro Jahr zu berücksichtigen und zu bewerten.

5 Er hat für den Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen Flugzeugabsturz den zum Zeitpunkt des Baubewilligungsgesuchs im Einsatz befindlichen militärischen oder zivilen Flugzeugtyp zu berücksichtigen, der unter realistischen Annahmen die grössten Stosslasten auf Gebäude ausübt.

Anhang 4

Auszüge aus der Richtlinie ENSI-G03 «Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis»

4.3 Schutzkriterien

Das Erreichen des Schutzziels unter Beachtung der Leitsätze ist anhand quantitativer Schutzkriterien zu beurteilen. Das Einhalten der Schutzkriterien ist im Rahmen des Sicherheitsnachweises aufzuzeigen.

4.3.1 Schutzkriterien für die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen

Für die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen gelten die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994, SR 814.501. Die radiologischen Schutzkriterien für den Normalbetrieb sind in der Richtlinie HSK-R-11, «Strahlenschutzziele im Normalbetrieb für Kernanlagen», weiter konkretisiert. Für die Oberflächenanlagen gelten insbesondere die Schutzziele 1 bis 3 der Richtlinie HSK-R-29, «Anforderungen an die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle».

5.1 Auslegung eines geologischen Tiefenlagers und dessen Oberflächenanlagen

Ein geologisches Tiefenlager umfasst das Hauptlager, das Pilotlager und die Testbereiche (Art. 64 KEV) sowie die erforderlichen unterirdischen Zugangsbauwerke. Ein geologisches Tiefenlager und dessen Oberflächenanlagen sind auf die Umsetzung der Leitsätze zur Erreichung des Schutzziels und die Einhaltung der Schutzkriterien auszulegen. Es gelten die in der Kernenergiegesetzgebung festgehaltenen Grundsätze der nuklearen Sicherheit und Sicherung.

5.1.1 Generelle Anforderungen

- a. Durch administrative und technische Massnahmen ist sicherzustellen, dass weder in der Betriebsphase (Normalbetrieb oder Störfall) noch nach dem Verschluss nukleare Kritikalität eintreten kann.
- b. Es ist vorzusehen, dass die Räumlichkeiten, die Abluft und die Abwässer während der Betriebsphase radiologisch überwacht werden.
- c. Es ist vorzusehen, dass Abfälle und Abwässer aus dem geologischen Tiefenlager, die während des Normalbetriebs oder als Folge von Störfällen oder bei deren Behebung anfallen, über ein geeignetes System gesammelt und kontrolliert entsorgt werden.
- d. Die während der Betriebsphase zugänglichen Räumlichkeiten sind so zu bemessen, dass die erforderliche Bewegungsfreiheit für den operationellen Strahlenschutz gewährleistet ist. Die Erfordernisse des Zonenbetriebs gemäss Richtlinie HSK-R-07, «Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts», sind sinngemäss zu berücksichtigen. Durch die Auslegung der Anlagenteile im Hinblick auf ge-

eignete feste oder bewegliche Abschirmungen ist die erwartete Ortsdosisleistung in routinemässig begangenen Räumlichkeiten niedrig zu halten.

- e. Im Hinblick auf den baulichen, technischen und organisatorischen Brandschutz sind neben den kantonalen Vorgaben zum Brandschutz auch die Anforderungen der Richtlinie HSK-R-50, «Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen», zu beachten. Die Massnahmen zum Brandschutz dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen.
- f. Bei der Auslegung sind die Anlagen gemäss Anhang 4 KEV sicherheitstechnisch zu klassieren und der Klassierung entsprechend auszulegen.

5.1.2 Anforderungen an die Oberflächenanlagen und oberflächennahen Zugangsbauwerke

- a. Für die Oberflächenanlagen und oberflächennahen Zugangsbauwerke zum geologischen Tiefenlager gelten, wo anwendbar, die Anforderungen der HSK-R-29.
- b. Die Oberflächenanlagen und die oberflächennahen Zugangsbauwerke sind so auszulegen, dass ein Wassereintrich von der Oberfläche her in das geologische Tiefenlager verhindert wird.

5.1.3 Anforderungen an die unterirdischen Bauwerke

- a. Die unterirdischen Bauwerke sind so zu gestalten und zu unterhalten, dass deren sicherer Betrieb bis zum ordnungsgemässen Verschluss des Lagers gewährleistet ist. Die Stabilität der unterirdischen Bauwerke ist zu überwachen.
- b. Bei der Auslegung eines geologischen Tiefenlagers ist auf den thermischen Eintrag wärmeproduzierender Abfälle und dessen Verträglichkeit mit den technischen und natürlichen Barrieren zu achten.
- c. Bei der Auslegung der Lagereinbauten, einschliesslich der technischen Barrieren, ist auf die physikalische und chemische Verträglichkeit mit den Abfällen und mit der natürlichen Barriere zu achten.
- d. Durch die Auslegung der unterirdischen Anlagen ist eine angemessene räumliche und lüftungstechnische Trennung von Bereichen zu ermöglichen, in denen mit radioaktiven Abfällen umgegangen wird, und solchen, in denen gleichzeitig eine Erweiterung des Einlagerungsbereichs stattfindet. Diese Erweiterung darf die Betriebs- und Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers nicht gefährden.
- e. Die Zugangs- und unterirdischen Bauwerke sind so zu dimensionieren, dass sie den Erfordernissen des Normalbetriebs und der Störfallbewältigung entsprechen.
- f. Das Erstellen der unterirdischen Bauwerke muss so erfolgen, dass Wassereintriche möglichst vermieden werden. Können Wassereintriche nicht ausgeschlossen werden, sind betriebliche und allenfalls bauliche Massnahmen vorzusehen, um die Betriebs- und Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers sicherzustellen.

5.1.6 Temporärer Verschluss während der Betriebsphase

Für den Fall einer ungünstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen, welche die Sicherheit des Lagers oder einen ordnungsgemässen Verschluss in Frage stellen, sind technische und betriebliche Vorkehrungen für einen temporären Verschluss zu treffen, um die Einlagerungsgebiete eines geologischen Tiefenlagers während der Betriebsphase jederzeit rasch in einen passiv sicheren Zustand überführen zu können.

Der temporäre Verschluss ist in einem Konzept darzulegen, das zusammen mit dem Baubewilligungsgesuch einzureichen ist. Das Funktionieren der Vorkehrungen ist in den Testbereichen vor Einlagerung der Abfälle zu zeigen. Die Vorkehrungen dürfen die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigen.

7 Nachweis der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers

Mit den Bewilligungsgesuchen (Rahmen-, Bau- und Betriebsbewilligungsgesuch) und mit dem Gesuch zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers sind gemäss KEG für die Betriebsphase (Betriebssicherheit) und für die Nachverschlussphase (Langzeitsicherheit) eines geologischen Tiefenlagers entsprechende Sicherheitsnachweise vorzulegen. Mit dem Gesuch um Feststellung des ordnungsgemässen Verschlusses ist ein weiterer Langzeitsicherheitsnachweis vorzulegen. Der erforderliche Detaillierungsgrad des Sicherheitsnachweises hängt von der Stufe des Bewilligungsverfahrens ab. Die Sicherheitsnachweise sind periodisch gemäss aktuellem Zustand der Anlage und dem Stand von Wissenschaft und Technik zu ergänzen.

7.1 Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase

Die Betriebsphase beginnt mit der Betriebsbewilligung und endet mit dem ordnungsgemässen Verschluss (Anhang 2). Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase hat sich auf eine systematische und umfassende Sicherheitsanalyse sowohl des Normalbetriebs der Anlage wie auch der Auswirkungen von Störfällen zu stützen. Die für den Sicherheitsnachweis erforderlichen Unterlagen richten sich nach den Angaben im Anhang 4 KEV. Sicherheitsrelevante Aspekte des Betriebs einer am gleichen Standort erstellten Verpackungsanlage sind im Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase eines geologischen Tiefenlagers einzuschliessen.

Der Sicherheitsnachweis ist in einem Sicherheitsbericht zu dokumentieren. Neben den Anforderungen gemäss Art. 95 Abs. 2 StSV muss der Sicherheitsbericht die folgenden Aspekte enthalten:

- a. Er muss eine Beschreibung der ober- und unterirdischen Anlagen enthalten, aus der die räumlichen Verhältnisse und die typischen Arbeitsabläufe im Normalbetrieb hervorgehen. Die Beschreibung muss alle für die Sicherheit im Normalbetrieb und für die Störfallbeherrschung relevanten Bauten, Anlagen und Einrichtungen umfassen.
- b. Für den Normalbetrieb sind die Vorkehrungen zum Strahlenschutz darzulegen. Die erwarteten Strahlenexpositionen des Personals und der Bevölkerung sind anzugeben.

- c. Die Störfallanalyse muss mindestens auf die in Art. 8 Abs. 2 und 3 KEV genannten Störfalltypen eingehen, soweit sie auf die Anlage zutreffen. Diese sowie weitere anlagen- und standortspezifische Störfälle sind nach Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens in die Störfallkategorien gemäss Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen einzuteilen.
- d. Es sind Festlegungen zu den Störfallabläufen zu treffen und mögliche radiologische Auswirkungen zu ermitteln. Die Einhaltung der Grenzwerte gemäss Art. 94 StSV ist nachzuweisen und die Anforderungen der HSK-G14 sind zu berücksichtigen. Ferner sind die Auswirkungen der Störfälle auf die Langzeitsicherheit eines verschlossenen geologischen Tiefenlagers darzulegen.
- e. Für die Betriebsphase ist eine probabilistische Sicherheitsanalyse durchzuführen. Die dazu notwendige Gefährdungsanalyse durch extern ausgelöste Ereignisse wie Erdbeben, Überflutung, usw. ist gemäss Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen durchzuführen. Die Ergebnisse der probabilistischen Sicherheitsanalyse sind zu diskutieren, die risikodominanten Abläufe zu beschreiben und allenfalls sinnvolle Verbesserungsmassnahmen vorzuschlagen.

ENSI 33/170

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