

sachplan

geologische tiefenlager

**bewertung der datenlage
für den sicherheitstechnischen
vergleich der standorte
in etappe 2**

Sachplan geologische Tiefenlager: Bewertung der Datenlage für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 2

1 Das Wichtigste in Kürze	4
Das Sachplanverfahren	4
Voraussetzungen für Etappe 2	5
2 Kenntnisstand aus Etappe 1 als Basis	6
3 Erweiterung des Kenntnisstandes für Etappe 2	8
4 Genügen die Kenntnisse und Daten für Etappe 2?	10
Wie werden die Standorte in Etappe 2 verglichen?	10
Quantitative Bewertung	10
Qualitative Bewertung	11
Für die relevanten Prozesse und Parameter müssen Kenntnisse und Daten vorhanden sein	14
Bewertung des Kenntnisstandes für Etappe 2 – Zusammenfassung der Resultate	14
Schlussfolgerung und Ausblick	15
Berichte und Unterlagen zum Thema	15

Sachplan geologische Tiefenlager: Bewertung der Datenlage für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 2

Januar 2011

Herausgeber

Nagra
Nationale Genossenschaft für die Lagerung
radioaktiver Abfälle
Hardstrasse 73, CH-5430 Wettingen
Telefon 056 437 11 11
Telefax 056 437 12 07
E-Mail info@nagra.ch
Internet www.nagra.ch

1 Das Wichtigste in Kürze

Das Sachplanverfahren

Das Verfahren zur Standortwahl für die geologischen Tiefenlager zur Entsorgung aller radioaktiven Abfälle schweizerischer Herkunft steht unter Leitung des Bundesamts für Energie (BFE). Der Bundesrat hat das Vorgehen im «Sachplan geologische Tiefenlager» (SGT) 2008 geregelt. In drei Etappen, jeweils abgeschlossen durch eine Entscheidung des Bundesrats, wird eine schrittweise Einengung der zur Auswahl stehenden Möglichkeiten vorgenommen. Bei der Auswahl hat die Sicherheit erste Priorität.

In Etappe 1 hatte die Nagra die Aufgabe, ausgehend vom Gebiet der ganzen Schweiz, den Behörden geologische Standortgebiete vorzuschlagen. Diese Vorschläge mussten anhand vorgegebener Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit erarbeitet werden. Die Sicherheitsbehörden des Bundes und andere Expertengremien haben die Vorschläge der Nagra überprüft und kommen zum Schluss, dass die Auswahl der sechs vorgeschlagenen geologischen Standort-

gebiete nachvollziehbar gemäss den Vorgaben des Sachplans erfolgte. Nach einer breiten Anhörung zu den vorliegenden Berichten und Gutachten wird der Bundesrat voraussichtlich 2011 einen Entscheid zur Etappe 1 fällen.

In Etappe 2 hat die Nagra die Aufgabe, unter Leitung des BFE und in Zusammenarbeit mit den Standortregionen und Kantonen mögliche Standorte der Empfangsanlagen der Tiefenlager an der Erdoberfläche zu bezeichnen. Ziel ist eine gute Einbettung der Anlage in die jeweilige Standortregion. Anschliessend hat die Nagra den Behörden eine Einengung auf mindestens zwei Standorte pro Lagertyp vorzuschlagen. Bei dieser Auswahl kommt der Langzeitsicherheit höchste Priorität zu, daneben werden aber auch raumplanerische und volkswirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.

In Etappe 3 werden die verbleibenden Standorte vertieft untersucht und verglichen. Aufgrund der Ergebnisse erarbeitet die Nagra Rahmenbewilligungsgesuche für die beiden Lagertypen. Mit Erteilung der Rahmenbewilligung werden die

Standorte, die Projekte in den Grundzügen und die Lagerkapazitäten festgelegt. Das ganze Sachplanverfahren dauert über zehn Jahre.

Voraussetzungen für Etappe 2

In Etappe 2 darf kein Standort vorgeschlagen werden, der sicherheitstechnisch als eindeutig weniger geeignet bewertet wird als die anderen. Ebenso darf auch kein Standort ausgeschlossen werden, nur weil der Kenntnisstand für diesen Standort nicht ausreicht, um seine Eignung stufengerecht schlüssig zu bewerten. Die Bewertung der sicherheitstechnischen Eignung in Etappe 2 erfolgt anhand provisorischer Sicherheitsanalysen und eines sicherheitstechnischen Vergleichs. Die Anforderungen dazu sind im SGT und durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in einem speziellen Bericht festgelegt worden (vgl. Abb. 1). Für die provisorischen Sicherheitsanalysen muss der Kenntnisstand einen schlüssigen Vergleich der Standorte erlauben, aber noch nicht die Detaillierung für ein Rahmenbewilligungsgesuch in Etappe 3 erreichen.

Der Kenntnisstand über die geologischen Standortgebiete ist heute unterschiedlich. Für den Standort Wellenberg wurde 1995 ein Rahmenbewilligungsgesuch eingereicht, welches vom ENSI (damals HSK) in Bezug auf die Sicherheit positiv bewertet wurde. Für das Standortgebiet Zürich Nord-Ost wurde im Rahmen des behördlich genehmigten Entsorgungsnachweises eine Sicherheitsanalyse durchgeführt, die betreffend Langzeitsicherheit in vielen Teilen Rahmenbewilligungsreife erreichte. Für diese Standorte führten die dazu notwendigen Untersuchungen bereits teilweise zu einem Kenntnisstand, wie er im Sachplanverfahren erst am Ende der Etappe 3 notwendig ist.

Die verwendeten geologischen Daten erlauben die Durchführung von provisorischen Sicherheitsanalysen, wenn sie die aktuelle Situation am Standort adäquat wiedergeben und die vorhandenen Ungewissheiten abdecken. Reichen die vorhandenen

Kenntnisse an einem Standort nicht oder nur teilweise, müssen sie durch weitere Untersuchungen ergänzt werden. Die Nagra hatte nach Sachplan die Aufgabe, frühzeitig mit dem ENSI abzuklären, ob der Kenntnisstand für die provisorischen Sicherheitsanalysen ausreicht oder ob über die laufenden Arbeiten hinaus weitere ergänzende Untersuchungen notwendig werden.

Nach Einreichen der Vorschläge für die sechs geologischen Standortgebiete hat die Nagra gezielt die Ergänzung und Vertiefung des Kenntnisstandes aus Etappe 1 über die Eigenschaften der Wirtgesteine und zur geologischen Situation in den Standortgebieten aufgenommen. Ziel ist, für die Etappe 2 in allen Gebieten einen ausreichenden Kenntnisstand für den sicherheitstechnischen Vergleich zu erreichen.

Gestützt auf die festgelegten Anforderungen hatte die Nagra den nach Abschluss der eingeleiteten Untersuchungen zu erwartenden Kenntnisstand in allen Gebieten zu bewerten. Der entsprechende «Technische Bericht NTB 10-01»¹⁾ kommt zum Schluss, dass der erwartete Kenntnisstand für Etappe 2 in allen geologischen Standortgebieten genügt.

In den kommenden Monaten wird das ENSI die Analyse der Nagra überprüfen und das Ergebnis in einem Gutachten dokumentieren. Sollte das ENSI zum Schluss gelangen, dass weiter gehende Untersuchungen nötig sind, wären diese von der Nagra in Etappe 2 durchzuführen. Sollten bewilligungspflichtige Untersuchungen notwendig werden (solche sind nach Sachplan erst in Etappe 3 vorgesehen), würde dies das Sachplanverfahren um mehrere Jahre verzögern.

Die vorliegende Broschüre fasst das Vorgehen und die Resultate des Berichts der Nagra vereinfacht zusammen.

¹⁾ NTB 10-01: «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2. Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen»; Nagra, Wettingen (2010).

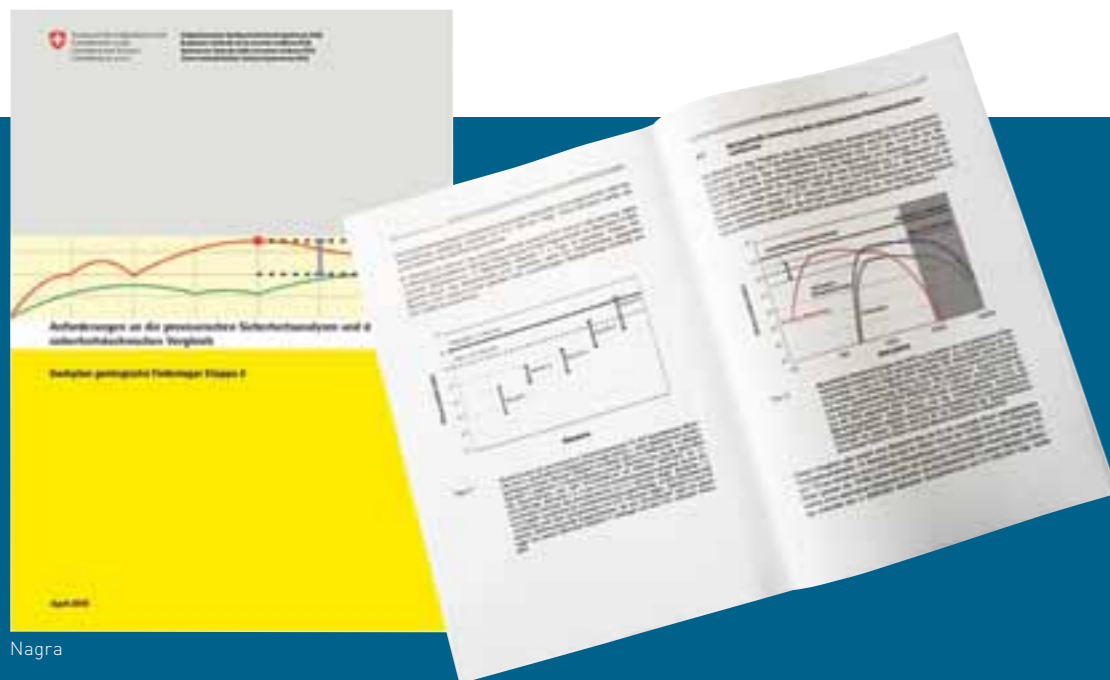


Abbildung 1: Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) hat die Anforderungen für die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 2 in einem Bericht festgehalten.

2 Kenntnisstand aus Etappe 1 als Basis

Das ENSI hat den Standortvorschlägen zu Etappe 1 des Sachplanverfahrens im Februar 2010 zugestimmt und der Nagra eine fachlich fundierte, umfassende und nachvollziehbare Analyse der geologischen Grundlagen bescheinigt. Die geologischen Standortgebiete wurden gemäss Sachplan auf der Basis des bestehenden erdwissenschaftlichen Kenntnisstandes evaluiert und vorgeschla-

gen. Die in Etappe 1 verfügbaren Kenntnisse und Daten über die geologischen Standortgebiete und die Eigenschaften der Wirtgesteine waren nach Ansicht des ENSI genügend. Die Abbildungen 2 bis 4 geben einen Überblick über die in Etappe 1 zur Verfügung stehenden geologischen Grundlagen, die im Hinblick auf Etappe 2 gezielt erweitert werden.

Geologische Grundlagen (Kenntnisstand Etappe 1)	
Themengruppen	Datenquellen
Geometrie und Struktur des Wirtgesteins	<ul style="list-style-type: none"> Geologische Karten (Swisstopo u. Nagra) Seismische Erkundung (Nagra u. andere) Tiefbohrungen (Nagra u. andere) Feldbegehungen Gravimetrie
Eigenschaften des Wirtgesteins	<ul style="list-style-type: none"> Tiefbohrungen (Nagra, Erdöl/Erdgas, Geothermie) Tunnels Felslabors und andere Laboruntersuchungen
Hydrogeologische Verhältnisse	<ul style="list-style-type: none"> Bohrungen, Hydrotests Tunnels Hydrogeologische Karten Hydromodelle etc.
Geologische Langzeitentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> Geodäsie (Vertikal- und Horizontalbewegungen) Mikrobeben Spannungsmessungen Geomorphologie Glazialmorphologische Erkundung und Modellierung

Abbildung 2: Geologische Grundlagen in Etappe 1 des Sachplanverfahrens.



Abbildung 4: Standortgebiete und geologische Daten (Stand 2010). Es steht ein dichtes Netz seismischer Messlinien und eine grosse Zahl von Bohrungen und geologischen Karten zur Verfügung.



Nagra



Nagra



Comet Photoshopping



www.a16.ch

Abbildung 3: Beispiele zur Datenbeschaffung
a) Seismische Messungen der Nagra

b) Bohrungen

c) Untersuchungen im Felslabor Mont Terri (Opalinuston)

d) Untersuchungen während Bau von Tunnels (im Bild Portal des Autobahntunnels Mont Russelin, Kanton Jura, nach Fertigstellung).

3 Erweiterung des Kenntnisstandes für Etappe 2

Der Kenntnisstand aus Etappe 1 des Sachplanverfahrens ist die Basis für die Untersuchungen in Etappe 2 (vgl. Abb. 5). Die Nagra ergänzt die geologischen Kenntnisse im Hinblick auf die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2 gezielt. Ein grosser Teil dieser Arbeiten ist im Gange (vgl. Abb. 6 und 7).

Die Untersuchungen lassen sich schwerpunktmässig wie folgt zusammenfassen: Bezüglich Geometrie und Strukturen des Wirtgesteins werden

in allen Gebieten Tiefenlage der Wirtgesteine sowie Lage und Orientierung von Störungen durch verschiedene Methoden überprüft. Bei den Eigenschaften des Wirtgesteins werden insbesondere die Kenntnisse über die Effinger Schichten und den 'Braunen Dogger' ergänzt. Aber auch für den Opalinuston werden weitere Daten durch Untersuchungen an Bohrkernen gewonnen. Für die Untersuchung der Eigenschaften der Wirtgesteine können insbesondere neue Bohrungen Dritter verwendet werden. Für die Standortgebiete Bözberg und Jura-Südfuss werden die hydrogeolo-

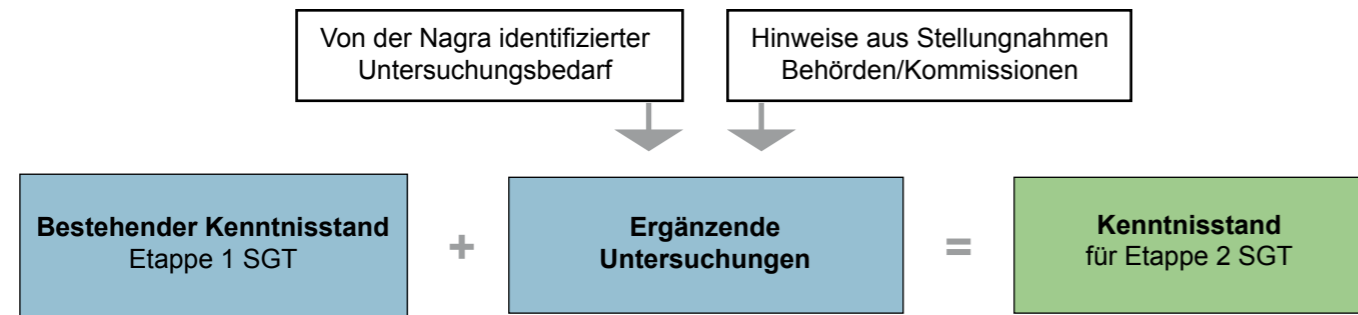


Abbildung 5: Für die provisorischen Sicherheitsanalysen der Etappe 2 zu erwartender Kenntnisstand.



Abbildung 6: Beispiele zur Datenbeschaffung für Etappe 2 (laufende Untersuchungen)
a) Gravimetriemessungen (ETH Zürich)

b) Fernerkundung neotektonischer Elemente (Swisstopo, hochauflösendes Höhenmodell)

c) Zusätzliche Daten über Wirtgesteine (im Bild Effinger Schichten aus einer Geothermiebohrung).

gischen Kenntnisse verbessert. Im Themenkomplex «Geologische Langzeitentwicklung» sind standortübergreifende Untersuchungen in Arbeit, unter anderem bezüglich Verbreitung, Morphologie und Alter von Talfüllungen und quartären Terrassen sowie Spuren neotektonischer Aktivität. Im Standortgebiet Bözberg wird zusätzlich das Erosionspotenzial untersucht.

In Ergänzung zu den erdwissenschaftlichen Arbeiten sind weitere Abklärungen zum Beispiel zum Inventar und den Eigenschaften der Abfälle, zu den geochemischen Prozessen und Parametern, zur Lagerauslegung, zu lagerbedingten Einflüssen und zu Aspekten der Biosphäre im Gange.

Arbeiten zur Verdichtung der geologischen Informationen für die provisorischen Sicherheitsanalysen	
Themengruppen	Laufende bzw. geplante Untersuchungen
Geometrie und Struktur des Wirtgesteins, Informationen zu Nutzungskonflikten	<ul style="list-style-type: none"> Erweiterung Bohrungsdatenbank im Hinblick auf Schichtmodelle und Felsobergrenze Neuaufbereitung und Neuinterpretation Seismikdaten im Hinblick auf Verfeinerung des Abbilds des Untergrunds Seismische Messungen in HAA-Standortgebieten zur detaillierteren Erfassung der tektonischen Verhältnisse Überarbeitung Profilschnitte und geologisches Modell im Standortgebiet Wellenberg Strukturgeologische Aufnahme von Aufschlüssen und Auswertung von Fernerkundungsdaten (optische Daten, Radar- und Laserdaten, digitale Höhenmodelle) zum besseren Verständnis des Störungsmusters und der Deformationsgeschichte Bilanzierung geologische Profile (Rekonstruktion der Deformationsgeschichte) zur Reduktion von Ungewissheiten bezüglich der Geometrie der Schichten und Störungen Ergänzung und Neuaufbereitung Schweredaten zur Darstellung von glazial übertieften Felsrinnen und grösseren Permokarbontrögen Überprüfung der Informationen zu Nutzungskonflikten (z. B. Geothermie, Kohlenwasserstoffe, Steinbrüche)
Eigenschaften des Wirtgesteins	<p>Ergänzung Datensätze aufgrund von Untersuchungen an Aufschlüssen, alten und neuen Bohrkernen und Messungen in neuen Bohrungen Dritter betreffend:</p> <ul style="list-style-type: none"> Lithofazies Wirtgesteine (regionale Änderungen in der Gesteinsausbildung) Wichtige Gesteinseigenschaften (Mineralogie, Porosität, Diffusionskonstanten, Sorptionsvermögen) Potenziell wasserführende Systeme (Transportpfade im 'Braunen Dogger' und in den Effinger Schichten) Porenwasserzusammensetzung (Profile natürlicher Inhaltsstoffe, geochemische Modellierungen) Transportparameter (hydraulische Durchlässigkeit, Transmissivität von Störungen, Selbstabdichtung) Gebirgsfestigkeiten und Verformungseigenschaften (v. a. 'Brauner Dogger')
Hydrogeologische Verhältnisse	<ul style="list-style-type: none"> Ergänzung hydrogeologische Datensätze (hydrogeologische Einheiten, hydraulische Durchlässigkeiten und Potenziale, hydrochemische Daten inkl. Isotope) Erstellung hydrogeologische Modelle Untersuchungen zur Öl- und Gasmigration im Standortgebiet Jura-Südfuss Geotechnisch-hydrogeologische Beschreibung der für die Zugangsbauwerke relevanten Lithologien und Identifikation der Nutzungskonflikte mit bestehenden Mineralquellen und Thermen
Geologische Langzeitentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> Verfolgung Kenntnisstand betreffend geodynamische Entwicklung der Alpen und des Alpenvorlands Analyse Fernerkundungsdaten und geodätische Daten im Hinblick auf junge tektonische Aktivität Verdichtung Schwachbebennetz und GNSS-Netz (Erfassung von Erdbeben und Krustenbewegungen) Literaturstudien und Beteiligung an Untersuchungen in neuen Bohrungen Dritter im Hinblick auf die Entstehung von glazial übertieften Felsrinnen Studien zur lokalen Erosion im Standortgebiet Bözberg Aktualisierung Kenntnisstand Klimaentwicklung

Abbildung 7: Arbeiten zur Verdichtung der geologischen Informationen für die provisorischen Sicherheitsanalysen.

4 Genügen die Kenntnisse und Daten für Etappe 2?

Was verlangt der Sachplan?

Die Kenntnisse über die Standorte müssen die Durchführung einer provisorischen Sicherheitsanalyse und den sicherheitstechnischen Vergleich erlauben. Die verwendeten geologischen Daten müssen die aktuelle Situation am Standort für die provisorische Sicherheitsanalyse adäquat wiedergeben und die vorhandenen relevanten Ungewissheiten berücksichtigen. Adäquat bedeutet, dass der Kenntnisstand ausreicht, um zu zeigen, dass die Aussagen zur Langzeitsicherheit des Tiefenlagers belastbar sind. (Vgl. Sachplan geologische Tiefenlager S. 45).

Wie werden die Standorte in Etappe 2 verglichen?

In Etappe 2 werden provisorische Sicherheitsanalysen für alle Standorte durchgeführt, um Wirkung und Verhalten der einzelnen Barrieren (vgl. Abb. 12) aufzuzeigen. Die provisorischen Sicherheitsanalysen umfassen einen quantitativen und einen qualitativen Teil (vgl. Abb. 8). Die Resultate werden für einen sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte verwendet und zu einer Gesamtbewertung zusammengezogen.

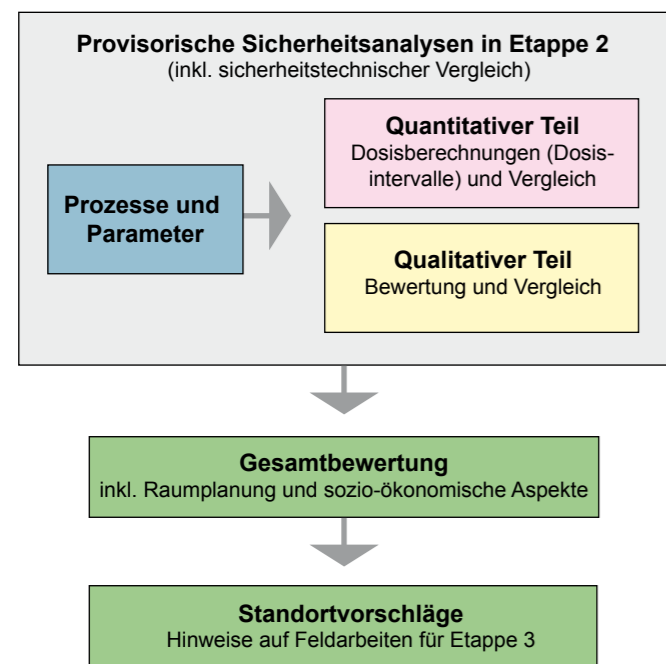


Abbildung 8: Vorgehen beim Vergleich in Etappe 2 des Sachplanverfahrens.

Quantitative Bewertung

Das Vorgehen bei der Bewertung der Standorte wird im Sachplan geologische Tiefenlager genau vorgeschrieben. In der provisorischen Sicherheitsanalyse muss im quantitativen Teil die mögliche Freisetzung von Radionukliden und ihre Migration vom Tiefenlager bis in die Biosphäre bestimmt und die Dosis für eine Einzelperson an der Erdoberfläche berechnet werden.

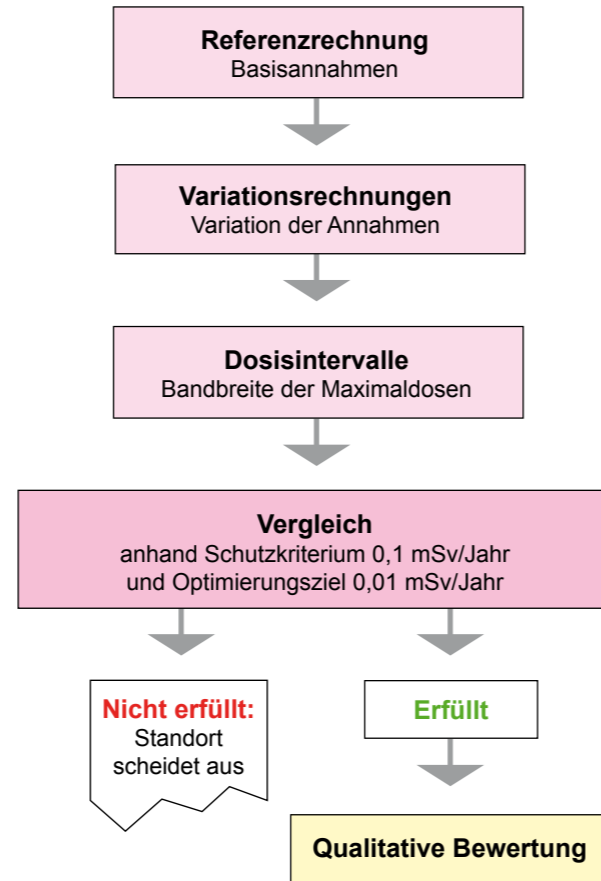


Abbildung 9: Quantitative Bewertung der Standorte (rote Kästen).

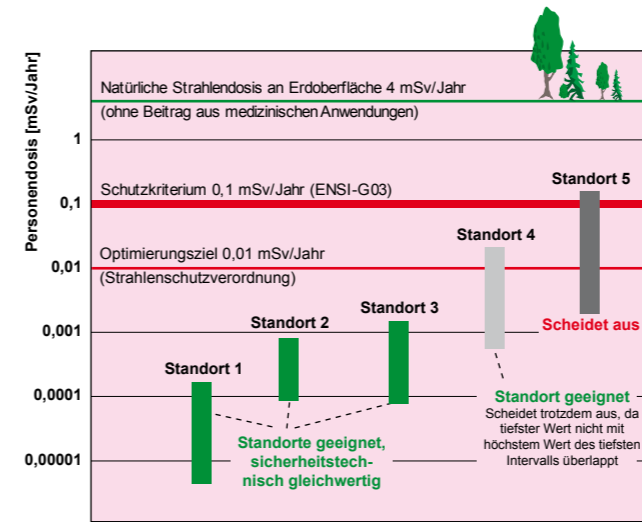


Abbildung 10: In einer Zusammenstellung der Dosisintervalle (Säulen in Grafik) lassen sich die Standorte sicherheitstechnisch vergleichen.

Am Anfang wird für jeden Standort eine Referenzrechnung (vgl. Abb. 9) aufgrund von Basisannahmen über die wahrscheinliche Entwicklung des Gesamtsystems (Tiefenlager, Nahfeld, Geosphäre, Biosphäre) durchgeführt. In anschließenden Variationsrechnungen werden die Parameter variiert. Dabei werden zum Beispiel ein erhöhter Wasserfluss durch den Tiefenlagerbereich, schnellere Freisetzung der Schadstoffe oder beschränkte Lebensdauer der Behälter angenommen. Die Bandbreite zwischen dem höchsten Dosiswert aller Variationsrechnungen und dem höchsten Dosiswert aus der Referenzrechnung wird als Dosisintervall eines Standorts bezeichnet. Diese Dosisintervalle werden für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte gemäss Abbildung 10 benutzt.

Qualitative Bewertung

Bei der anschliessenden qualitativen Bewertung der Kenntnisse orientiert sich das Vorgehen – ähnlich wie in Etappe 1 für die Bewertung der geologischen Standortgebiete – an den 13 Kriterien zur Standortevaluation (vgl. Abb. 11).

Neben den Eigenschaften des Wirtgesteins werden auch Aspekte der Langzeitstabilität, der Zuver-

lässigkeit der geologischen Aussagen und der bautechnischen Eignung anhand einer qualitativen Skala – gestützt auf den erarbeiteten Kenntnisstand in Etappe 2 – bewertet. Auch die sicherheitstechnische Bedeutung lagerbedingter Einflüsse ist zu bewerten, insbesondere die Wechselwirkung zwischen den Barrieren und lagerinduzierten Prozessen (z. B. Temperaturentwicklung, Gasbildung, pH-Fahne).

Ebenso werden die Unterlagen zur bautechnischen Machbarkeit geprüft, insbesondere die Standsicherheit der Lagerkammern, Querschnitte und Ausbau, Platzangebot und Bau der Zugänge. Die Standsicherheit der Lagerkammern und weiteren Anlagen muss während Bau, Betrieb und Verschluss gewährleistet sein. Sie hängt vor allem von den Gebirgsspannungen, den Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften der Wirtgesteine ab. Das Platzangebot des Wirtgesteins muss ausreichend sein, um alle Lagerkammern und weiteren Anlagen zuverlässig realisieren zu können. Die Lagerkammern und -stollen können in mehreren Lagerfeldern angeordnet werden (Anpassung an geologische Verhältnisse).

Die 13 Kriterien des SGT zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit	
1 Eigenschaften des Wirtgesteins (bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs)	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2 Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4 Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung

Abbildung 11: Die 13 Kriterien zur Standortevaluation in Etappe 1 des Sachplanverfahrens.

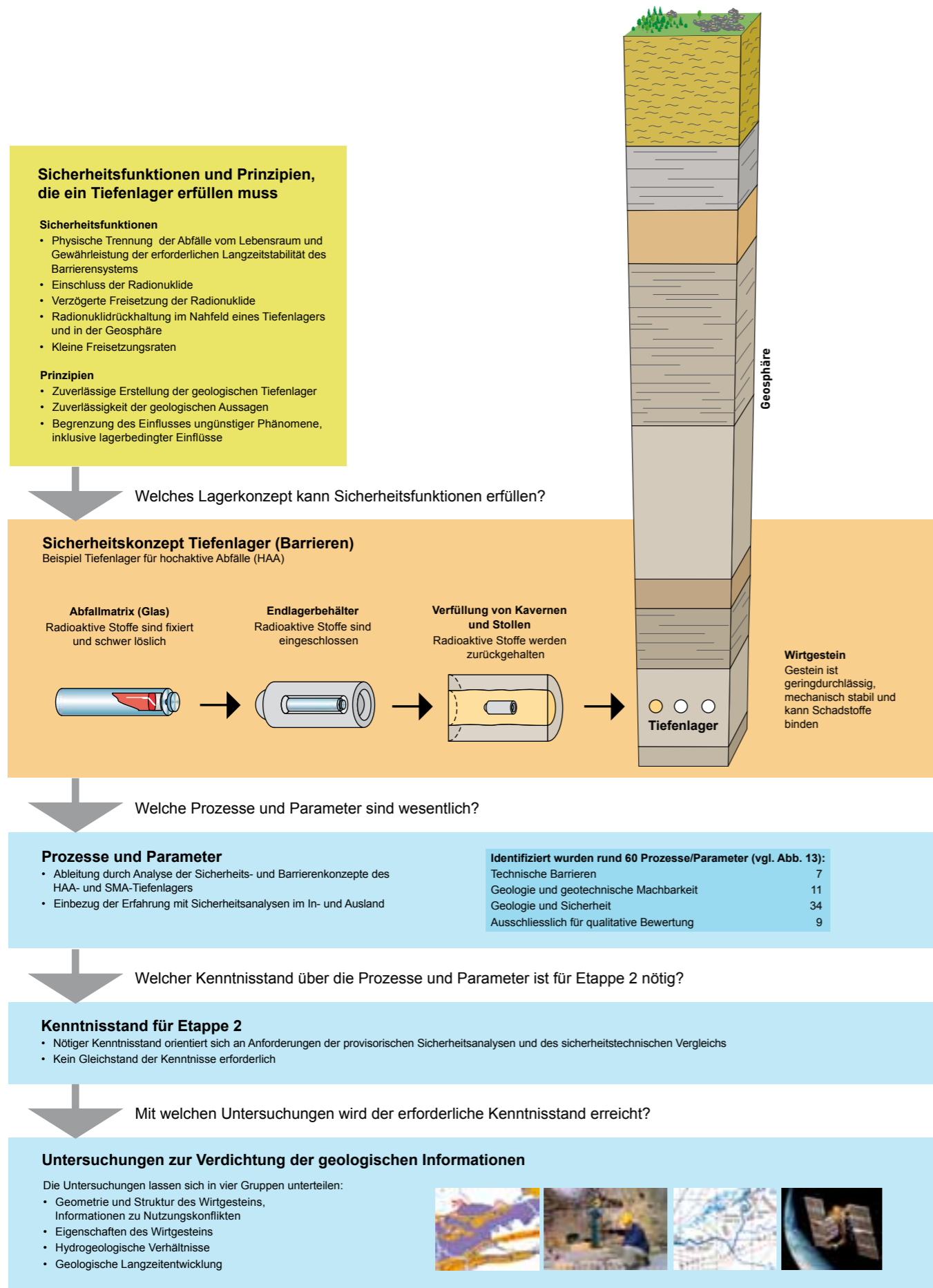


Abbildung 12: Anforderungen an ein Tiefenlager und nötiger Kenntnisstand für Etappe 2.

Kriterien zur Standort-evaluation (vgl. Abb. 11)	Relevante geologische Prozesse und Parameter			
	Geologie und Sicherheit	Geologie und technische Machbarkeit	Nur für qualitative Bewertung	
	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit		x	
	Gebietsbegrenzende geologische Elemente		x	
	Anordnungsbestimmende geologische Elemente		x	
	Platzangebot untertags		x	
	In-situ-Gebirgsspannungen		x	
	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf erosive Freilegung	x		
	Glazial übertiefte Felsrinnen	x		
1.2 Hydraulische Barrierenwirkung	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompression	x		
	Mächtigkeit	x		
	Grossräumige hydraulische Durchlässigkeit	x		
	Einfluss Dekompaktion auf hydraulische Durchlässigkeit	x		
	Hydraulischer Gradient	x		
	Porosität	x		
	Diffusionskoeffizienten für Wirtgestein / einschlusswirksamer Gebirgsbereich	x		
1.3 Geochemische Bedingungen	Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation		x	
	Mineralogie	x		
	pH	x		
	Redox-Bedingungen	x		
	Salinität	x		
	Mikrobielle Prozesse	x		
	Kolloidfiltration	x		
1.4 Freisetzungspfade	Sorptionskoeffizienten für Wirtgestein / einschlusswirksamer Gebirgsbereich	x		
	Art der Transportpfade	x		
	Porosität	x		
	Sedimentäre Architekturelemente	x		
	Länge der Transportpfade	x		
	Transmissivität Störungszonen	x		
	Selbstabdichtungsvermögen			x
2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften	Lage und Beschaffenheit von verkarstungsfähigen Gesteinen innerhalb des Wirtgesteins	x		
	Geodynamische und neotektonische Aktivität		x	
	Vulkanische Aktivität		x	
2.2 Erosion	Selbstabdichtungsvermögen		x	
	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf erosive Freilegung	x		
	Glazial übertiefte Felsrinnen	x		
	Zeitliche Entwicklung regionale Erosionsbasis	x		
	Zeitliche Entwicklung der lokalen Topographie im Hinblick auf geologische Langzeitentwicklung	x		
	Klimaentwicklung im Hinblick auf geologische Langzeitentwicklung	x		
2.3 Lagerbedingte Einflüsse	In-situ-Temperatur		x	
	Aufflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten	x		
	Auswirkungen pH-Fahne auf Wirtgestein	x		
	Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas	x		
	Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur	x		
	Selbstabdichtungsvermögen			x
2.4 Nutzungskonflikte	Nutzungskonflikte hinsichtlich Mineralquellen und Thermen		x	
	Nutzungskonflikte hinsichtlich Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins	x		
	Nutzungskonflikte hinsichtlich Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins	x		
	Nutzungskonflikte hinsichtlich Geothermie	x		
	Nutzung der Gesteine als Rohstoff			x
3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine	Gebietsbegrenzende geologische Elemente		x	
	Anordnungsbestimmende geologische Elemente		x	
	Variabilität der Gesteinseigenschaften		x	
	Erfahrungen		x	
3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse	Relevante Exfiltrationspfade	x		
	Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund		x	
	Explorationsbedingungen an Oberfläche		x	
3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen	Zeitliche Entwicklung regionale Erosionsbasis	x		
	Relevante Exfiltrationspfade	x		
	Zeitliche Entwicklung der lokalen Topographie im Hinblick auf Biosphärenmodellierung	x		
	Klimaentwicklung im Hinblick auf geologische Langzeitentwicklung	x		
	Klimaentwicklung im Hinblick auf Abschätzung der Wasserflüsse bei der Biosphärenmodellierung	x		
	Geodynamische und neotektonische Aktivität		x	
	Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation		x	
4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit		x	
	Gebirgsfestigkeiten und Verformungseigenschaften Wirtgestein		x	
	In-situ-Gebirgsspannungen		x	
4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung	Geotechnische und hydrogeol. Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen		x	
	Natürliche Gasführung des Wirtgesteins		x	
	Oberflächensituation		x	

Abbildung 13: Relevante geologische Prozesse und Parameter (die sieben Prozesse und Parameter mit Bezug zu den technischen Barrieren sind nicht aufgelistet).

Für die relevanten Prozesse und Parameter müssen Kenntnisse und Daten vorhanden sein

Basierend auf den behördlichen Vorschriften hat die Nagra für beide Lagertypen in Etappe 1 ein Sicherheitskonzept erarbeitet (vgl. Abb. 12). Mit einem auf die Abfälle abgestimmten System gestaffelter passiver Einschlussbarrieren soll eine unerwünschte Freisetzung radioaktiver Substanzen in die Biosphäre dauerhaft verhindert und so die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers gewährleistet werden. Dabei müssen verschiedene Sicherheitsfunktionen erfüllt werden.

Das Sicherheitskonzept muss so ausgelegt werden, dass sich die technischen Barrieren und das Wirtgestein als geologische Barriere gegenseitig ergänzen. Abbildung 12 zeigt das auf dem Sicherheitskonzept beruhende Barrierensystem für das Tiefenlager für hochaktive Abfälle (HAA). Die Elemente des Barrierensystems besitzen zur Erfüllung der Sicherheitsfunktionen die nötigen sicherheitsrelevanten Eigenschaften, die ihrerseits mit Prozessen und Parametern erfasst und beschrieben werden können (vgl. Abb. 13).

Bewertung des Kenntnisstandes für Etappe 2 – Zusammenfassung der Resultate

Gemäss Sachplan geologische Tiefenlager hat die Nagra vorgängig zu Etappe 2 mit dem ENSI zu klären, ob der erarbeitete Kenntnisstand für die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 2 genügt. Diese Vorabklärungen orientieren sich am Vorgehen in Etappe 2. Zuerst wurden die relevanten Prozesse und Parameter aufgezeigt und der diesbezügliche Kenntnisstand beschrieben. Mit einer quantitativen Bewertung (Testrechnungen) und einer qualitativen Bewertung wurden die provisorischen Sicherheitsanalysen abgebildet. Sie dienen der Abklärung, ob weitere oder vertiefte Kenntnisse im sicher-

heitstechnischen Vergleich zu anderen Schlussfolgerungen geführt hätten.

Die Vorabklärungen ergaben folgende wichtigste Resultate (NTB 10-01):

- Die Standorte in allen sechs Regionen können nach den Auswertungskriterien des ENSI als sicher und als sicherheitstechnisch gleichwertig eingestuft werden, da gemäss Testrechnungen alle Dosisintervalle vollständig unter 0,01 mSv pro Jahr liegen. Die Beschaffung weiter gehender Daten über die laufenden und geplanten Untersuchungen hinaus ist für Etappe 2 nicht notwendig, da die Dosisintervalle auch bei vertieften Kenntnissen nicht derart verschoben würden (weder im negativen noch im positiven Sinne), dass sich in den provisorischen Sicherheitsanalysen und im sicherheitstechnischen Vergleich andere Schlussfolgerungen ergäben.
- Die Nagra hat zusätzliche Testrechnungen durchgeführt, mit denen die Robustheit des Lagersystems nachgewiesen wird. Ein Teil der Fälle basiert auf Annahmen, die zwar physikalisch möglich sind, aber deutlich ausserhalb der durch Messungen oder Modellvorstellungen gestützten Konzepte und Parameterbandbreiten liegen. Auch bei diesen zusätzlich durchgeführten Rechnungen liegen die Dosismaxima für alle Standortgebiete von HAA-Tiefenlagern, SMA-Tiefenlagern und auch Kombilagern¹⁾ deutlich unter dem Schutzziel von 0,1 mSv pro Jahr und auch unter dem Optimierungsziel von 0,01 mSv/Jahr.
- Unter Berücksichtigung der laufenden und geplanten Untersuchungen für Etappe 2 ist der Kenntnisstand auch für die Beurteilung der bautechnischen Machbarkeit (Standortsicherheit der Lagerkammern, Auslegungsvarianten der Lagerkammern, Platzreserven, Zugänge) für alle Standortgebiete genügend.

¹⁾ Lager für alle Abfallkategorien. Die unterirdischen, getrennten Lagerteile für hochaktive und schwach- und mittelaktive Abfälle können von einem einzigen Oberflächenstandort aus erreicht werden.

Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorhandenen Unterlagen sowie die laufenden und geplanten umfangreichen Untersuchungen werden zu einem Kenntnisstand führen, der sowohl für die provisorischen Sicherheitsanalysen als auch für den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2 des Sachplanverfahrens genügt. Die Vorabklärungen ergaben eindeutige und belastbare Aussagen bezüglich der sicherheitstechnischen Eignung der Standorte. Das ENSI prüft diese Abklärungen der Nagra und wird das Ergebnis in einem Gutachten dokumentieren.

Bei der Überprüfung des von der Nagra vorzulegenden sicherheitstechnischen Vergleichs in Etappe 2 wird der bis dann erweiterte Kenntnisstand von den Behörden ein weiteres Mal beurteilt. Es dürfen keine Standorte aufgrund unvollständiger Kenntnisse ausgeschlossen werden.

Je nach Ergebnis der laufenden Abklärungen ist es durchaus möglich, dass in Etappe 3 mehr als zwei Standorte je Lagertyp weiter geprüft werden. Nach Sachplanverfahren sind in dieser letzten Etappe nochmals vertiefte Untersuchungen (u. a. weitere Bohrungen) vorgesehen, bevor die definitive Standortwahl erfolgt.

Berichte und Unterlagen zum Thema

BFE (2008): «Sachplan geologische Tiefenlager: Konzeptteil»; Bundesamt für Energie (BFE), Bern.

Nagra (2008): «Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Geologische Grundlagen»; Nagra Technischer Bericht NTB 08-04. Nagra, Wettingen.

ENSI (2010): «Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich. Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2»; Eidgenössisches Sicherheitsinspektorat (ENSI), Brugg.

Nagra (2010): «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2. Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen»; Nagra Technischer Bericht NTB 10-01. Nagra, Wettingen.

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Schweiz

Tel. 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch

nagra ● **aus verantwortung**