

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Standortgebiete für geologische Tiefenlager

Sicherheitstechnischer Vergleich: Vorschläge für Etappe 3
Nagra, Schweiz, Januar 2015

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-MAT 25 a</p>

standortgebiete für geologische tiefenlager

sicherheitstechnischer
vergleich: vorschläge
für etappe 3

Zu diesem Heft

[1. Auflage Januar 2015]

Im Dezember 2014 hat die Nagra dem Bund im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für die weiteren Untersuchungen für Etappe 3 vorgeschlagen. Die Standortgebiete Südranden, Nördlich Lägern, Jura-Südfuss und Wellenberg sollen zurückgestellt werden. Die Auswahl ist aufgrund der technisch-wissenschaftlichen Kriterien erfolgt, die vom Bund vorgegeben sind.

In der vorliegenden Publikation werden einerseits die Standortgebiete vorgestellt, welche die Nagra für Etappe 3 vorgeschlagen hat. Andererseits werden die Standortgebiete präsentiert, die gemäss Vorschlag der Nagra zurückgestellt werden sollen. Weiter sind der geforderte sicherheitstechnische Vergleich zusammengefasst und die Resultate erläutert. Es wird auch ein Ausblick auf die kommenden Jahre gemacht.

Diese Publikation fasst den Technischen Bericht der Nagra NTB 14-01* zusammen. Die Dokumentation zu diesem Bericht befindet sich seit Dezember 2014 in der behördlichen Überprüfung und kann unter www.nagra.ch heruntergeladen werden.

Der Bundesrat wird voraussichtlich 2017 entscheiden, welche Standortgebiete in Etappe 3 aufgenommen werden sollen. Die von der Nagra für Etappe 3 vorgeschlagenen Standortgebiete werden im Hinblick auf die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche in den nächsten Jahren weiter untersucht.

Hinweis: Die im Text vorkommenden Fachbegriffe sind im **Glossar** ab Seite 58 erläutert.

* Nagra Technischer Bericht NTB 14-01 «Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete»

Standortgebiete für geologische Tiefenlager

Sicherheitstechnischer Vergleich:
Vorschläge für Etappe 3
Januar 2015

Druck

Köpfli & Partner AG, Neuenhof



www

Zum Weiterlesen

Bei verschiedenen Themen in diesem Heft wird auf andere Veröffentlichungen hingewiesen. Nagra-Broschüren können kostenlos bestellt oder direkt unter www.nagra.ch heruntergeladen werden.

Das Wichtigste in Kürze	4 – 7
Die Standortwahl – Sicherheit hat Vorrang	8 – 33
▪ Auswahl geologischer Standortgebiete – Rückblick auf Etappe 1	10 – 13
▪ Standortareale für die Oberflächenanlage in Etappe 2 bezeichnet	14 – 15
▪ Sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete in Etappe 2	16 – 33
▪ Geologische Standortgebiete: Vorschläge für Etappe 3 schrittweise erarbeitet	18 – 19
Vorgehen basierend auf Vorgaben des Sachplans und des ENSI festgelegt	20 – 21
Festlegung des prioritären Wirtgesteins	22 – 23
Abgrenzung von optimierten Lagerperimetern	24 – 25
Bewertung der optimierten Lagerperimeter	26 – 27
Vergleichende Gesamtbewertung	28 – 33
Geologische Standortgebiete für ein Tiefenlager HAA (hochaktive Abfälle)	34 – 39
▪ Zürich Nordost	34 – 35
▪ Nördlich Lägern	36 – 37
▪ Jura Ost	38 – 39
Geologische Standortgebiete für ein Tiefenlager SMA (schwach- und mittelaktive Abfälle)	40 – 51
▪ Südranden	40 – 41
▪ Zürich Nordost	42 – 43
▪ Nördlich Lägern	44 – 45
▪ Jura Ost	46 – 47
▪ Jura-Südfuss	48 – 49
▪ Wellenberg	50 – 51
Wie weiter – entscheidende Jahre liegen vor uns	52 – 57
Glossar	58 – 62
Berichte und Unterlagen zum Thema	63

Das Wichtigste in Kürze

Das etappenweise Standortwahlverfahren des Bundes, der Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT), gibt der Sicherheit oberste Priorität. Der sicherheitstechnische Vergleich der geologischen Standortgebiete in Etappe 2 wurde gemäss den Vorgaben des Bundes durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen schlägt die Nagra die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für die weiteren Untersuchungen für Etappe 3 vor.

Bund leitet Standortwahlverfahren

Der Bundesrat hat im April 2008 den Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) verabschiedet. Darin ist festgelegt, wie in der Schweiz Standorte für geologische Tiefenlager radioaktiver Abfälle ausgewählt werden. Das Bundesamt für Energie (BFE) leitet das Sachplanverfahren. Die Standortwahl erfolgt in drei Etappen. Dabei hat die Sicherheit oberste Priorität. Ziel ist es, je einen Standort für ein HAA- beziehungsweise ein SMA-Lager oder einen gemeinsamen Standort für beide Lagertypen auszuwählen. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und die Eidgenös-

sische Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) beurteilen unter anderen die Vorschläge der Nagra, die auf wissenschaftlich-technischen Grundlagen basieren. Die Unterlagen gehen auch in eine breite öffentliche Anhörung. Am Ende jeder Etappe liegt die Entscheidung beim Bundesrat und beim definitiven Entscheid zur Rahmenbewilligung zudem beim Parlament und beim Stimmvolk.

Sechs Gebiete in Etappe 1 festgelegt

In der abgeschlossenen Etappe 1 des Sachplans suchte die Nagra, ausgehend von der ganzen Schweiz, systematisch mögliche Standortgebiete für geologische Tiefenlager. Das Vorgehen basierte auf den vorgegebenen Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit sowie den festgelegten Schritten zur Wahl der Standortgebiete: Von geologisch geeigneten Grossräumen in der ganzen Schweiz über bevorzugte Wirtgesteine in geeigneter Tiefenlage und von genügender Mächtigkeit hin zur Abgrenzung möglicher geologischer Standortgebiete.

Im Herbst 2008 schlug die Nagra folgende Standortgebiete vor: für ein HAA- und ein SMA-Lager

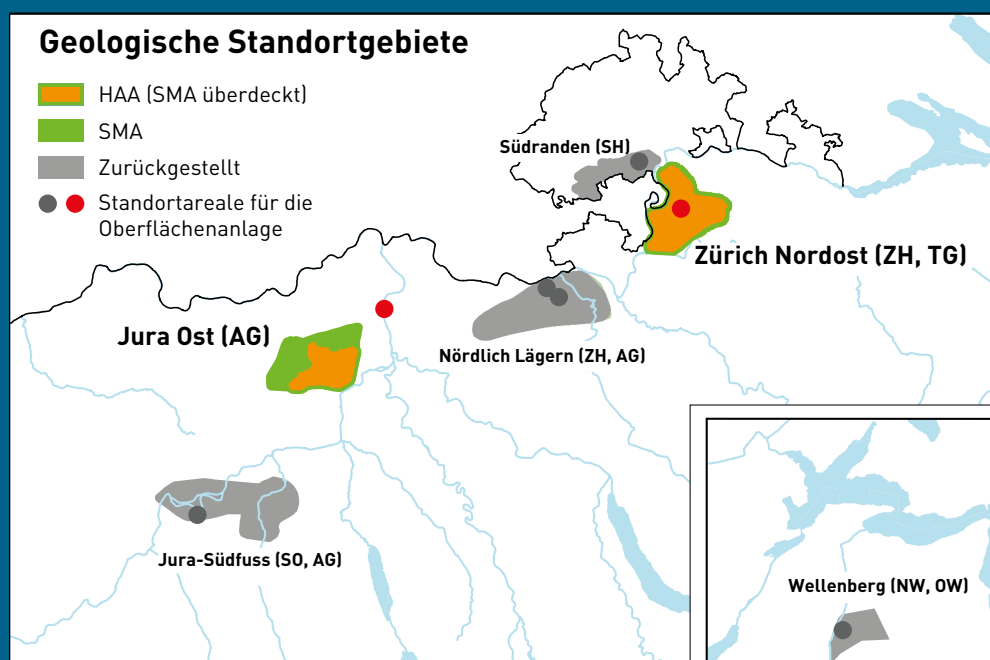


Abbildung 1

Die Nagra schlägt basierend auf ihren Untersuchungen und den Ergebnissen des sicherheitstechnischen Vergleichs die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für die weiteren Untersuchungen für Etappe 3 vor (HAA = hochaktive Abfälle, SMA = schwach- und mittelaktive Abfälle).

Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost; zusätzlich für ein SMA-Lager Südranden, Jura-Südfuss und Wellenberg. Behörden und andere Fachgremien überprüften die Vorschläge der Nagra. Kantone, betroffene Bundesstellen und Nachbarstaaten sowie interessierte Organisationen und Einzelpersonen nahmen in einer Anhörung Stellung zu den Vorschlägen. 2011 entschied der Bundesrat, alle sechs Standortgebiete in das weitere Verfahren aufzunehmen. Damit wurde die Etappe 2 des Sachplans gestartet.

Standortareale für Oberflächenanlage in Etappe 2 bezeichnet

In Etappe 2 hat die Nagra bis Mai 2014 – gestützt auf die Zusammenarbeit mit den Regionen und den Kantonen – in jeder der sechs Standortregionen mindestens ein Standortareal für die Oberflächenanlage eines allfälligen Tiefenlagers bezeichnet. Ziel ist – neben dem sicheren Bau und Betrieb – eine gute Einbettung der Anlage in die Standortregion. Vertreter der jeweiligen Regionen diskutierten seit 2012 in Regionalkonferenzen und Fachgruppen über die Platzierung der Anlage. Diese regionale Partizipation nimmt die regionalen Anliegen auf und bezieht Gemeindevorteiler, Organisationen und Einzelpersonen frühzeitig ein. Dank der engagierten Mitarbeit dieser Gremien wurden in allen Regionen Stellungnahmen zur Anordnung der Oberflächenanlagen verabschiedet.

Standortgebiete in Etappe 2 bezüglich Sicherheit verglichen

Weiter hat die Nagra in Etappe 2 die geologischen Standortgebiete miteinander verglichen. Der sicherheitstechnische Vergleich basiert auf den Vorgaben des Bundes und bezieht sich auf die geologischen Eigenschaften der Gebiete. Er wird unter anderem komplettiert durch ergänzende Sicherheitsbetrachtungen zum Betrieb und eine bautechnische Risikoanalyse der Zugangsbau-

Wo stehen wir heute?

- Sechs geologische Standortgebiete in Etappe 1 bestimmt: drei für das HAA- und das SMA-Lager, drei weitere für das SMA-Lager
- Standortareale für die Oberflächenanlage in Zusammenarbeit mit Regionen in Etappe 2 bezeichnet
- Alle sechs Standortgebiete sind sicherheitstechnisch geeignet, weisen im detaillierten Vergleich aber entscheidende Unterschiede auf
- Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost von der Nagra für die weiteren Untersuchungen für Etappe 3 vorgeschlagen

Rahmenbedingungen:

- Standortwahlverfahren unter der Leitung des Bundes
- Auswahl in drei Etappen
- Sicherheit hat oberste Priorität

werke ins Tiefenlager. Ein Standortgebiet kann bei diesem Vergleich nur dann zurückgestellt werden, wenn gegenüber den anderen Standortgebieten eindeutige sicherheitstechnische Nachteile nachgewiesen werden. Ist dies nicht der Fall, wird das Standortgebiet für Etappe 3 weiter untersucht.

ENSI-Methodik bestimmt Vorgehen

Die Langzeitsicherheit ist wichtigstes Entscheidungskriterium beim sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2. Basierend auf den Vorgaben des ENSI und des Sachplans hat die Nagra die Standortgebiete in einem schrittweisen Vorgehen bewertet und miteinander verglichen (siehe Seite 18 ff.). Das Vorgehen umfasst: quantitative Sicherheitsanalysen mit Dosisberechnungen, eine qualitative Bewertung der Wirtgesteine und Lagerperimeter sowie die abschliessende Gesamtbewertung, einschliesslich eines Vergleichs.

Für die qualitative Bewertung werden Indikatoren (Kriterien) betrachtet, die für die Sicherheit und bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers entscheidend sind:

- Indikatoren zur Wirksamkeit und zur Langzeitstabilität der geologischen Barriere
- Indikatoren zur Explorier- und Charakterisierbarkeit des geologischen Untergrunds
- Indikatoren zur bautechnischen Machbarkeit (inklusive Platzangebot)

Gestützt darauf wird geprüft, ob für ein Standortgebiet im Vergleich mit den übrigen Standortgebieten eindeutige Nachteile vorliegen (vgl. Abbildung 2).

Geologische Unterschiede entscheidend

Alle sechs Standortgebiete erfüllen die hohen Sicherheitsanforderungen und sind für ein geologisches Tiefenlager geeignet. Sie weisen im detaillierten Vergleich jedoch entscheidende Unterschiede auf. Die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost bieten für ein HAA-Lager im Vergleich zum Standortgebiet Nördlich Lägern günstigere Bedingungen.

Das Standortgebiet **Zürich Nordost** hat ein günstiges Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich, die Barriereneigenschaften sind sehr günstig und die geologische Situation ist hinsichtlich Langzeitstabilität günstig.

Im Standortgebiet **Nördlich Lägern** ist das Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich ungünstig. In grösserer Tiefe ist der Platz zwar etwas grösser, aber es wäre bautechnisch schwierig, ein Tiefenlager in der erwünschten Qualität zu bauen. Beim Bau

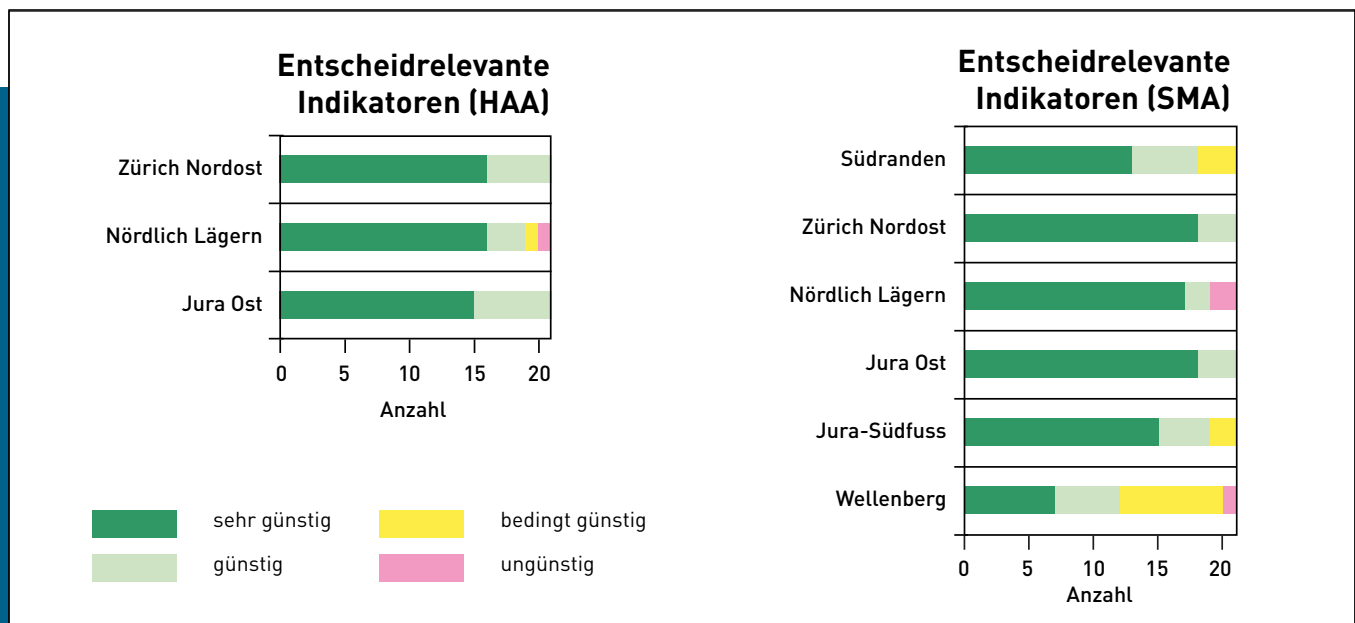


Abbildung 2

Der sicherheitstechnische Vergleich der Standortgebiete zeigt eindeutige Nachteile einzelner Standortgebiete auf. Basierend darauf schlägt die Nagra vor, dass bestimmte Standortgebiete für Etappe 3 weiter untersucht oder zurückgestellt werden (gemäss NTB 14-01).

könnte die nur bedingt günstige Tiefenlage zu einer erheblichen Schädigung der geologischen Barrieren führen.

Im Standortgebiet **Jura Ost** gibt es im bevorzugten Tiefenbereich trotz beschränkter Tiefenlage im Hinblick auf zukünftige Erosion ein günstiges Platzangebot. Die Barrierenwirkung ist sehr günstig.

Auch für ein SMA-Lager bieten die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost im Vergleich zu den anderen Gebieten günstigere Bedingungen.

Beide Standortgebiete verfügen über ein sehr günstiges Platzangebot sowie über eine sehr günstige Barrierenwirkung. Der Tiefenbereich ist in beiden Gebieten günstig.

Die Langzeitstabilität der geologischen Barriere im Standortgebiet **Südranden** ist nur bedingt günstig. Die untiefe Lage des Wirtgesteins schützt nur beschränkt vor Erosion. Das Platzangebot im Standortgebiet ist nur knapp günstig, da eine Felsrinne (die durch Seismikuntersuchungen 2011/2012 nachgewiesene Neuhauserwaldrinne) das Gebiet teilt.

Im Standortgebiet **Nördlich Lägern** ist das Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich ungünstig. In grösserer Tiefe ist der Platz zwar etwas grösser, aber es wäre bautechnisch schwierig, ein Tiefenlager in der erwünschten Qualität zu bauen. Beim Bau könnte die ungünstige Tiefenlage zu einer erheblichen Schädigung der geologischen Barrieren führen.

Im Standortgebiet **Jura-Südfuss** ist die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (Opalinuston und Rahmengesteine) geringer; die unteren Rahmengesteine tragen kaum zur Barrierenwirkung bei. Das Platzangebot im Standortgebiet ist im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost kleiner, da erhebliche Platzreserven nötig sind, weil die Gesteine tektonisch stärker überprägt sind.

Im Standortgebiet **Wellenberg** hat das geklüftete, heterogene Wirtgestein eine weniger gute Barrierenwirkung als der Opalinuston. Das Standortgebiet ist ausserdem schwieriger zu explorieren.

Vorschläge der Nagra für Etappe 3

Vorgabe des Bundes war, dass die Nagra für das HAA-Lager beziehungsweise das SMA-Lager mindestens je zwei Standortgebiete vorschlägt, die für Etappe 3 vertieft untersucht werden sollen. Die Nagra schlägt vor, die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für Etappe 3 weiter zu untersuchen. Beide Gebiete eignen sich sowohl für ein HAA- als auch ein SMA-Lager. Sie kommen auch für ein Kombilager in Frage. Weiter schlägt die Nagra vor, für das HAA-Lager das Standortgebiet Nördlich Lägern sowie für das SMA-Lager die Standortgebiete Südranden, Nördlich Lägern, Jura-Südfuss und Wellenberg im Verfahren zurückzustellen.

Wie geht es weiter?

Das BFE hat die Berichte der Nagra mit den Vorschlägen der weiter zu untersuchenden Standortgebiete Anfang 2015 veröffentlicht. Es folgt die fachtechnische Prüfung durch die Behörden, bevor alle Unterlagen 2016 in eine Anhörung gehen. Voraussichtlich 2017 entscheidet der Bundesrat über die Vorschläge. Für Etappe 3 werden die verbleibenden Standortgebiete mittels 3D-Seismik und Sondierbohrungen vertieft untersucht. Ebenfalls werden die Konkretisierung der Anlagen sowie die sozioökonomischen und ökologischen Auswirkungen in den Regionen weiter diskutiert.

Die Nagra plant gegen 2020 bekannt zu geben, für welche Standortgebiete sie ein Rahmenbewilligungsgesuch ausarbeiten wird. Gemäss Zeitplan des Bundes wird sie 2022 die Rahmenbewilligungsgesuche für ein HAA- und ein SMA-Lager oder ein Kombilager einreichen. Nach eingehender Prüfung der Gesuche wird der Bundesrat zirka 2027 seinen Entscheid dem Parlament zur Genehmigung vorlegen. Der Parlamentsbeschluss unterliegt dem fakultativen Referendum.

Die Standortwahl – Sich

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist in der Schweiz umfassend geregelt. Der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt steht im Zentrum.

Entsorgung ist gesetzlich geregelt

Zu den radioaktiven Abfällen heisst es im Kernenergiegesetz unter anderem (Art. 30, Abs. 2 und 3):

- Die in der Schweiz anfallenden Abfälle müssen grundsätzlich im Inland entsorgt werden.
- Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.

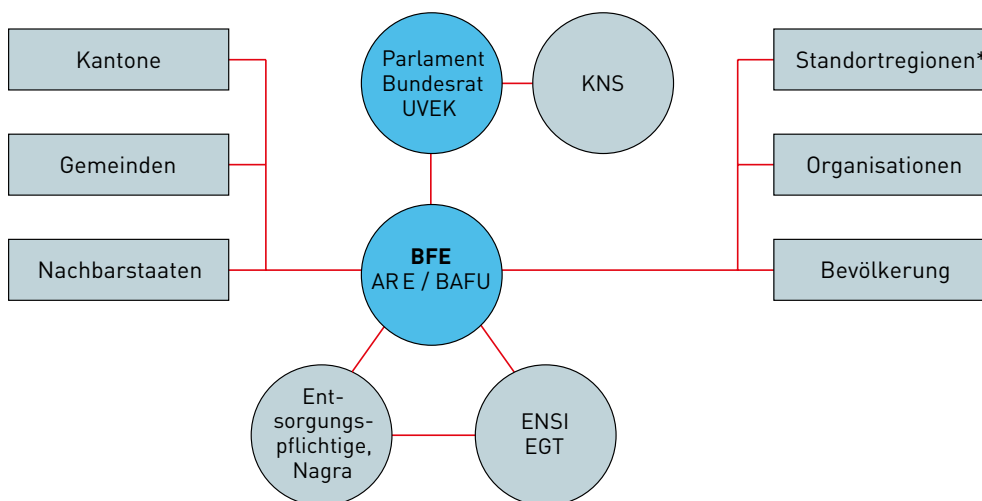


Abbildung 3

Beteiligte im Standortwahlverfahren.

ARE	Bundesamt für Raumplanung
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
EGT	Expertengruppe geologische Tiefenlagerung
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
KNS	Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

*Die Regionalkonferenzen vertreten die Standortregionen.

erheit hat Vorrang

In der Schweiz sind für alle radioaktiven Abfälle geologische Tiefenlager gesetzlich vorgeschrieben. Sie bieten einen langfristig sicheren Einschluss der Abfälle, bis deren Radioaktivität auf unbedenkliche Werte abgeklungen ist. Mit der Genehmigung des Entsorgungsnachweises hat der Bundesrat 2006 anerkannt, dass in der Schweiz sichere Tiefenlager für alle Arten radioaktiver Abfälle gebaut werden können. Zuvor haben nationale und internationale Fachspezialisten den Entsorgungsnachweis der Nagra eingehend geprüft. Die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für den Bau geologischer Tiefenlager liegen also vor. Breit angelegte Forschungsprogramme – unter anderem in den beiden Schweizer Felslabors – tragen dazu bei, dieses Wissen stetig zu vertiefen.

Sachplan regelt Standortwahl

Der Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) des Bundes legt die Kriterien und das Verfahren zur Standortwahl fest und regelt die Mitwirkung der Bevölkerung. Der Bundesrat hat den Sachplan im April 2008 verabschiedet. In drei Etappen sollen Standorte für geologische Tiefenlager für hochaktive Abfälle sowie für schwach- und mittelaktive Abfälle gewählt werden. Bei der Auswahl hat die Sicherheit oberste Priorität. Raumplanerische und sozioökonomische Aspekte sind nachgeordnet.

Rollen sind klar verteilt

Das BFE leitet das Sachplanverfahren (vgl. Abbildung 3). Behörden und Fachgremien prüfen die Vorschläge der Nagra, bevor der Bundesrat nach den Anhörungs- und Mitwirkungsverfahren jeweils seinen Entscheid trifft. Am Schluss entscheidet nach dem Bundesrat das Parlament über die Rahmenbewilligungen für die Tiefenlager. Der Beschluss des Parlaments unterliegt dem fakultativen Referendum. Das Schweizer Stimmvolk hat im Fall eines Referendums das letzte Wort.

Mitsprache von Anfang an

Der Sachplan gewichtet die Mitsprache der Betroffenen hoch. Schon die Regeln zur Standortwahl im Konzeptteil des Sachplans wurden breit abgestützt. Auch an der Anhörung in jeder Etappe können sich Bevölkerung, Behörden und Parteien in den Standortregionen und im benachbarten Ausland sowie interessierte in- und ausländische Organisationen beteiligen. Für die Umsetzung des Sachplans ist die Partizipation und eine konstruktive Zusammenarbeit mit allen Beteiligten wichtig.

Die Nagra erarbeitet die technischen und erdwissenschaftlichen Grundlagen. Aufgrund der sicherheitstechnischen Kriterien im Sachplan unterbreitete sie dem BFE zu Beginn von Etappe 1 des Sachplans Vorschläge für geeignete geologische Standortgebiete. In Etappe 2 hat die Nagra bis Mai 2014 für jedes Standortgebiet konkrete Standortareale für die Oberflächenanlage benannt. Weiter hat sie zwei Standortgebiete für ein HAA-beziehungsweise ein SMA-Lager vorgeschlagen. In Etappe 3 wird die Nagra – nach einer vertieften Untersuchung der verbleibenden Standortgebiete – die Rahmenbewilligungsgesuche für die Tiefenlager einreichen.

Das ENSI prüft die Vorschläge der Nagra in Bezug auf Sicherheit und technische Machbarkeit. Dabei greift es auf externe Fachleute und Fachgremien wie die EGT zurück. Die KNS nimmt zum ENSI-Gutachten Stellung. Das ARE beurteilt die raumplanerischen Aspekte und das BAFU die Umweltaspekte (vgl. Abbildung 3).



Zum Weiterlesen

Konzeptteil Sachplan geologische Tiefenlager:
www.radioaktiveabfaelle.ch

Auswahl geologischer Standort

Bei der Auswahl geologischer Standortgebiete sind die Eigenschaften der Gesteinsschichten entscheidend, weil sie die Sicherheit bestimmen. Auch wichtig ist die allgemeine geologische Situation, insbesondere deren Stabilität.

Die Nagra legte in Etappe 1 – ausgehend von der ganzen Schweiz – geeignete geologische Grossräume und potenzielle Wirtgesteine fest. Weiter prüfte sie die Wirtgesteine unter anderem hinsichtlich Tiefenlage und Mächtigkeit und schlug schliesslich geeignete geologische Standortgebiete vor.

Schritt 1: Zuteilung der Abfälle

Das Entsorgungskonzept geht von einem HAA- und einem SMA-Lager aus. Die Abfallzuteilung auf die beiden Lagertypen ist abhängig von den radiologischen Eigenschaften der Abfälle (z. B. Halbwertszeiten), dem Volumen, der Behältergrösse, den Materialeigenschaften und den möglichen Auswirkungen der Abfälle auf das Wirtgestein (vgl. Abbildung 4).

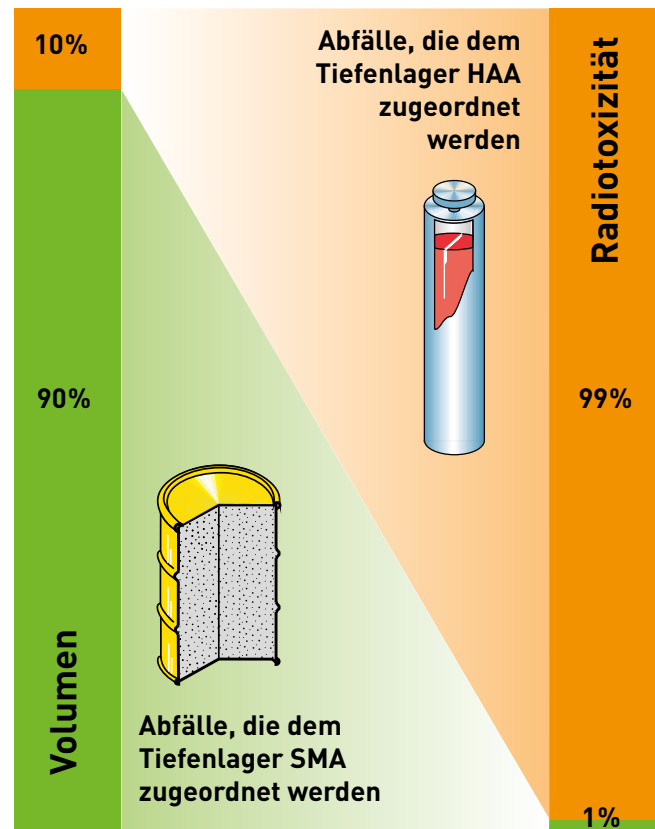


Abbildung 4

Zuteilung der Abfälle auf die Tiefenlager HAA und SMA anhand der radiologischen Eigenschaften.

Die fünf Schritte gemäss Sachplan in Etappe 1

Der Sachplan schreibt für die Abgrenzung der geologischen Standortgebiete ein Verfahren in fünf Schritten und entsprechende Kriterien vor:

- 1 Zuteilung der Abfälle auf die beiden Lager
- 2 Sicherheitskonzepte für die Lager ➔ Anforderungen an die Geologie
- 3 Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume
- 4 Auswahl geeigneter Wirtgesteine
- 5 Festlegen geologischer Standortgebiete (Wirtgesteinsvorkommen in geeigneter Anordnung, Tiefenlage und Mächtigkeit)

gebiete – Rückblick auf Etappe 1

Schritt 2: Sicherheitskonzept

Gestaffelte Sicherheitsbarrieren gewährleisten bei einem geologischen Tiefenlager den Schutz von Mensch und Umwelt (vgl. Abbildung 5). Ziel ist es, die radioaktiven Substanzen sicher einzuschliessen und damit deren Freisetzung in den menschlichen Lebensraum weitestgehend zu verhindern. Technische Barrieren und das Wirtsgestein als geologische Barriere ergänzen sich gegenseitig. Ist das Sicherheitskonzept festgelegt, kann man damit die Anforderungen an die Qualität der Wirtsgesteine und deren Anordnung, Tiefenlage und Mächtigkeit bestimmen.

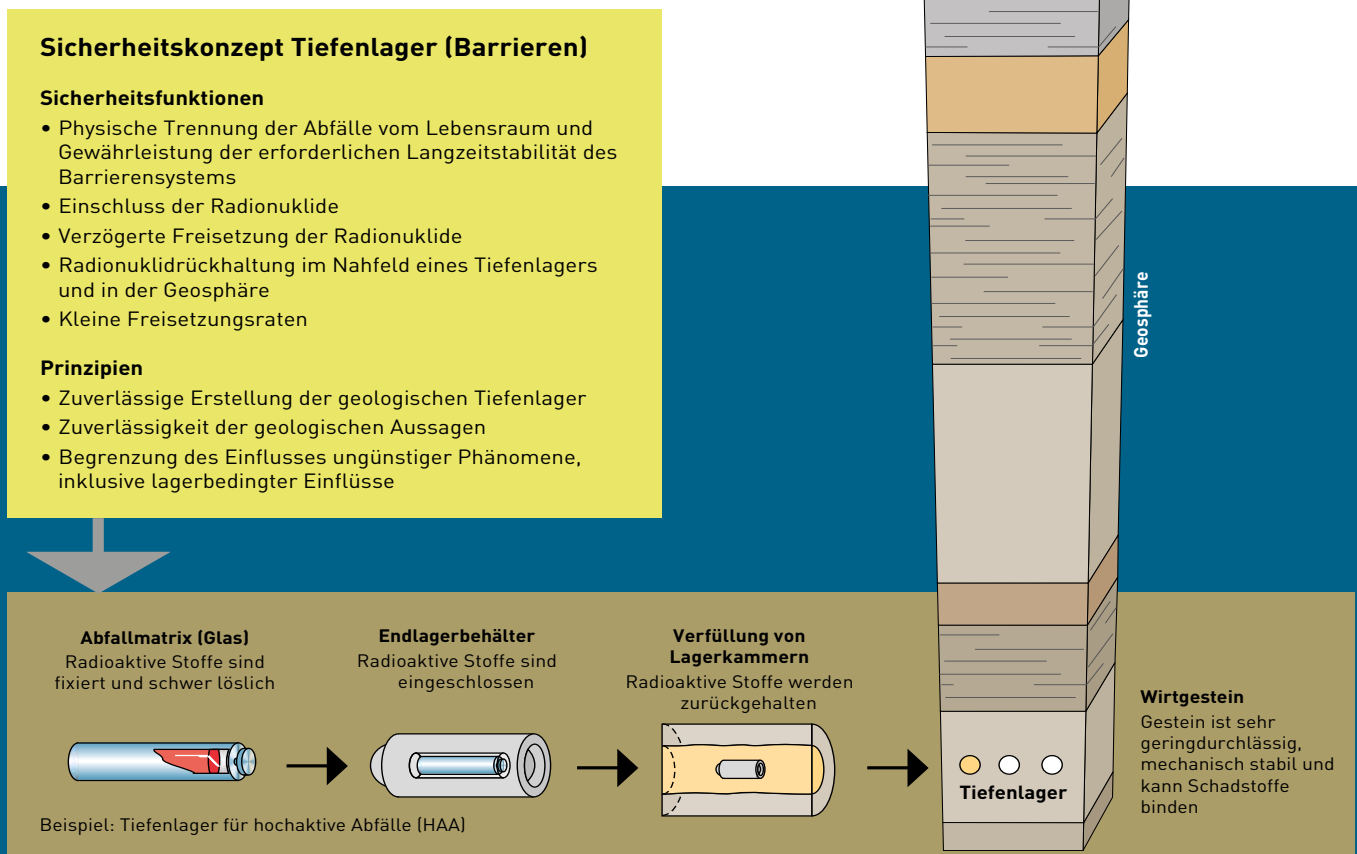


Zum Weiterlesen

Broschüre «Entsorgungsprogramm und Standortgebiete für geologische Tiefenlager – Zusammenfassung»

www.nagra.ch

Abbildung 5
Diese Sicherheitsfunktionen und Prinzipien muss ein Tiefenlager für hochaktive Abfälle erfüllen:



Schritt 3: Geeignete geologische Grossräume

Im dritten Schritt ging es um die geologische Langzeitstabilität. Geht man von geodynamischen und tektonischen Bedingungen aus, lässt sich die Schweiz in Grossräume gliedern (vgl. Abbildung 6). Die zu betrachtenden Zeiträume liegen für ein SMA-Lager bei 100 000 Jahren und für ein HAA-Lager bei einer Million Jahren. In dieser Zeit zerfällt die Radioaktivität auf natürliche Werte. Gesucht wurden Grossräume, in denen bis zu diesem Zeitpunkt keine grossräumigen Veränderungen zu erwarten sind, welche die Sicherheit des Lagers in Frage stellen könnten.

Schritt 4: Auswahl Wirtgesteine

Um potenzielle Wirtgesteine für ein Tiefenlager zu identifizieren, teilte die Nagra die Schweiz in geologische Einheiten auf, deren geologischer Aufbau durch repräsentative Gesteinsabfolgen charakterisierbar und in Sammelprofilen darstellbar ist. Als mögliche Wirtgesteine wurden solche in Betracht gezogen, die eine genügende Mächtigkeit und geringe Wasserdurchlässigkeit haben sowie den Bau eines Tiefenlagers zulassen. Dann wurden die Anforderungen verschärft und bevorzugte Wirtgesteine bestimmt. Für das HAA-Lager resultierte der

Opalinuston; für das SMA-Lager waren es der Opalinuston, die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' und die Effinger Schichten sowie die Mergel-Formationen des Helvetikums (Alpen) (vgl. Abbildung 6).

Schritt 5: Festlegen geologischer Standortgebiete

Im fünften Schritt wurden geologische Standortgebiete für die Tiefenlager innerhalb der als geeignet eingestuften Grossräume für die bevorzugten Wirtgesteine festgelegt (vgl. Abbildung 6). Wichtige Anforderungen an bevorzugte Gebiete waren beispielsweise:

- Beachtung Minimal- und Maximaltiefe sowie Mächtigkeit der Wirtgesteine
- Genügender Sicherheitsabstand zu Störungen und Brüchen
- Ausschluss von tiefen Erosionsrinnen
- Genügende Ausdehnung

Etappe 1 abgeschlossen

Behörden und Fachgremien prüften die Vorschläge der Nagra bezüglich sicherheitstechnischer Anforderungen eingehend und befanden, dass die sechs von der Nagra vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete in Etappe 2 weiter untersucht werden sollen. Im Jahr 2011 formulierte das ENSI 41 Forderungen, die im Hinblick auf den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2 zu erfüllen waren. Sie umfassten insbesondere ergänzende Untersuchungen zu den Eigenschaften der Wirtgesteine und zur Geologie der Standortgebiete. Nach breiter Anhörung zu den Ergebnissen von Etappe 1 entschied der Bundesrat Ende November 2011, alle sechs möglichen Standortgebiete in das weitere Verfahren aufzunehmen. Damit war die Etappe 1 des Sachplans abgeschlossen.

Tabelle 1

Sicherheit und technische Machbarkeit bestimmten die Auswahl in den Schritten 3 bis 5. Der Sachplan (SGT) gibt vier Kriteriengruppen mit total 13 Kriterien vor, welche ein geeignetes Wirtgestein beziehungsweise ein Standortgebiet erfüllen muss.

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

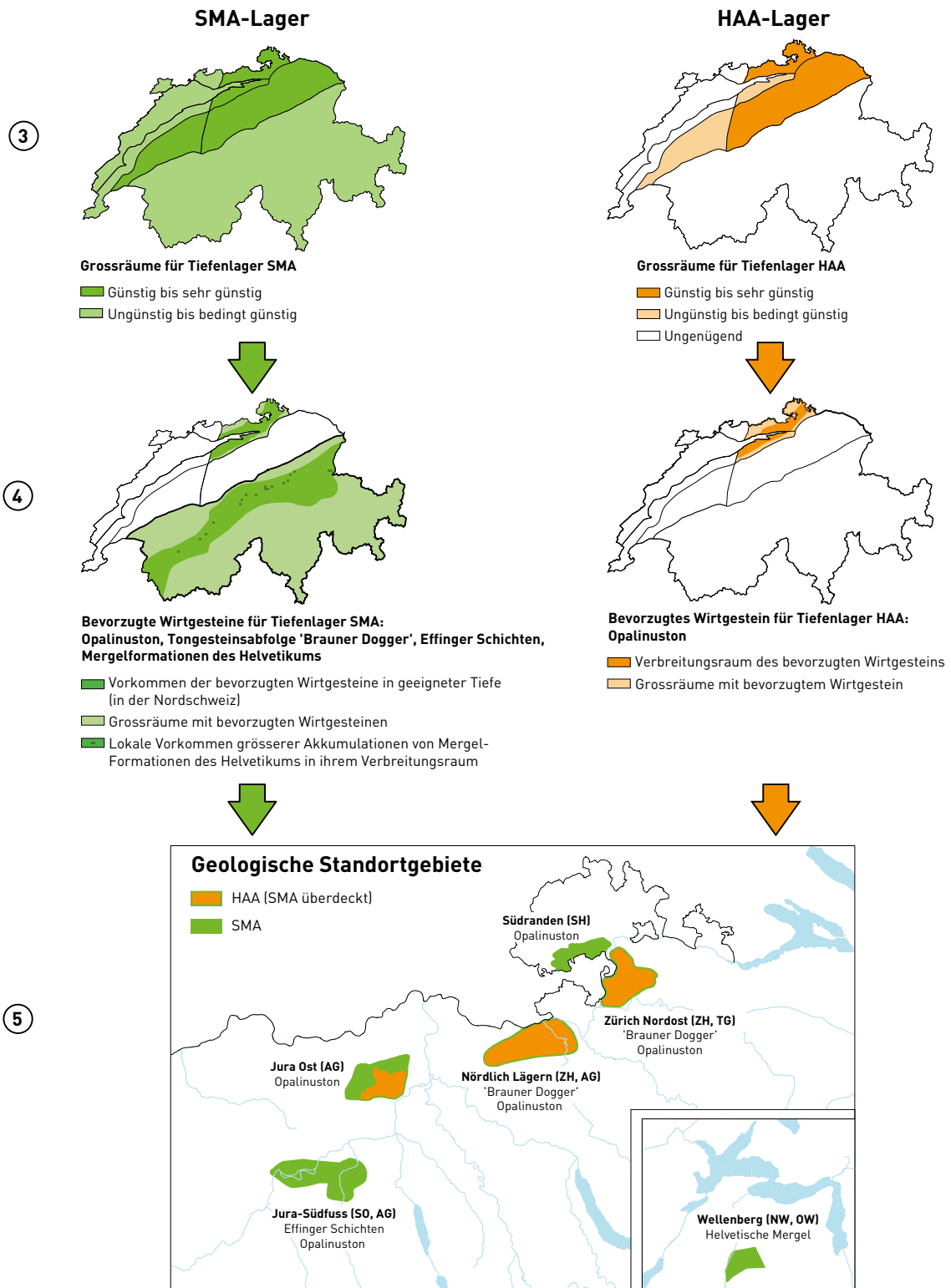
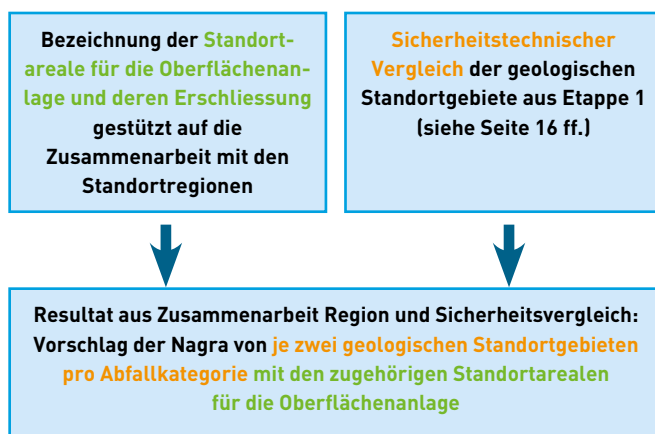


Abbildung 6
In den Schritten 3 und 4 ging es darum, geeignete geologische Grossräume und Wirtgesteine zu bestimmen. Basierend auf dieser Auswahl wurden im Schritt 5 zuletzt die geologischen Standortgebiete abgegrenzt.

Standortareale für die Oberfläch

Die Nagra hat bis Ende Mai 2014 – basierend auf den Stellungnahmen der Regionalkonferenzen – in jeder der sechs Standortregionen mindestens ein Standortareal für die Oberflächenanlage eines allfälligen Tiefenlagers bezeichnet.

Aufgaben in Etappe 2



Im Gegensatz zu den Untertageanlagen hängt die Sicherheit einer Oberflächenanlage vor allem von der Anlagenauslegung und nicht vom Standort ab. Dies erlaubt Flexibilität bei der Wahl des Standortareals für die Oberflächenanlage. Die Regionen und die Nagra arbeiteten deshalb bei der Platzierung der Oberflächenanlage zusammen.

Breite Zusammenarbeit

Bei dieser Zusammenarbeit werden die Regionen durch Regionalkonferenzen vertreten, die der Bund ins Leben gerufen hat. Mitglieder dieser Regionalkonferenzen sind Vertreter regionaler Behörden und Organisationen sowie Privatpersonen. Damit können die regionalen Anliegen bereits zu einem frühen Zeitpunkt einbezogen werden.

Regionale Auswirkungen klären

In Etappe 2 untersucht das BFE in allen Standortregionen die Auswirkungen von Tiefenlagern auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Ergänzend zu dieser sozioökonomisch-ökologischen Studie (SÖW) werden Zusatzfragen der Regionalkonferenzen bearbeitet. Die Resultate der Arbeiten sind eine Grundlage für die Regionen, insbesondere wenn über langfristige Entwicklungsstrategien mit und ohne Tiefenlager diskutiert wird. Das BFE hat die Studie im November 2014 veröffentlicht.

Die SÖW hat keinen Einfluss auf die Auswahl der vorzuschlagenden geologischen Standortgebiete in Etappe 2. «Würde ein Standortgebiet aufgrund von raumplanerischen Nachteilen der Standortareale der Oberflächenanlagen zurückgestellt, könnte es sein, dass ein sicherheitstechnisch sehr gutes Standortgebiet zurückgestellt wird, was dem Primat der höchstmöglichen Sicherheit widersprechen würde.» (Zitat: BFE)

enanlage in Etappe 2 bezeichnet

Standortareale für Oberflächenanlage bezeichnet

Für die Standortregionen schlug die Nagra im Dezember 2011 Standortareale für die Oberflächenanlage zur Diskussion vor. Diese wurden im Rahmen der Zusammenarbeit mit den Regionen bewertet und diskutiert, wobei diese auch alternative Areale zur Beurteilung vorschlagen konnten (vgl. Abbildung 7). Basierend auf den Stellungnahmen der Regionalkonferenzen musste die Nagra gemäss Sachplan in jeder Region mindestens ein Standortareal bezeichnen, was sie bis Mai 2014 getan hat. Für jedes bezeichnete Areal wurde eine Planungsstudie erarbeitet, welche unter anderem

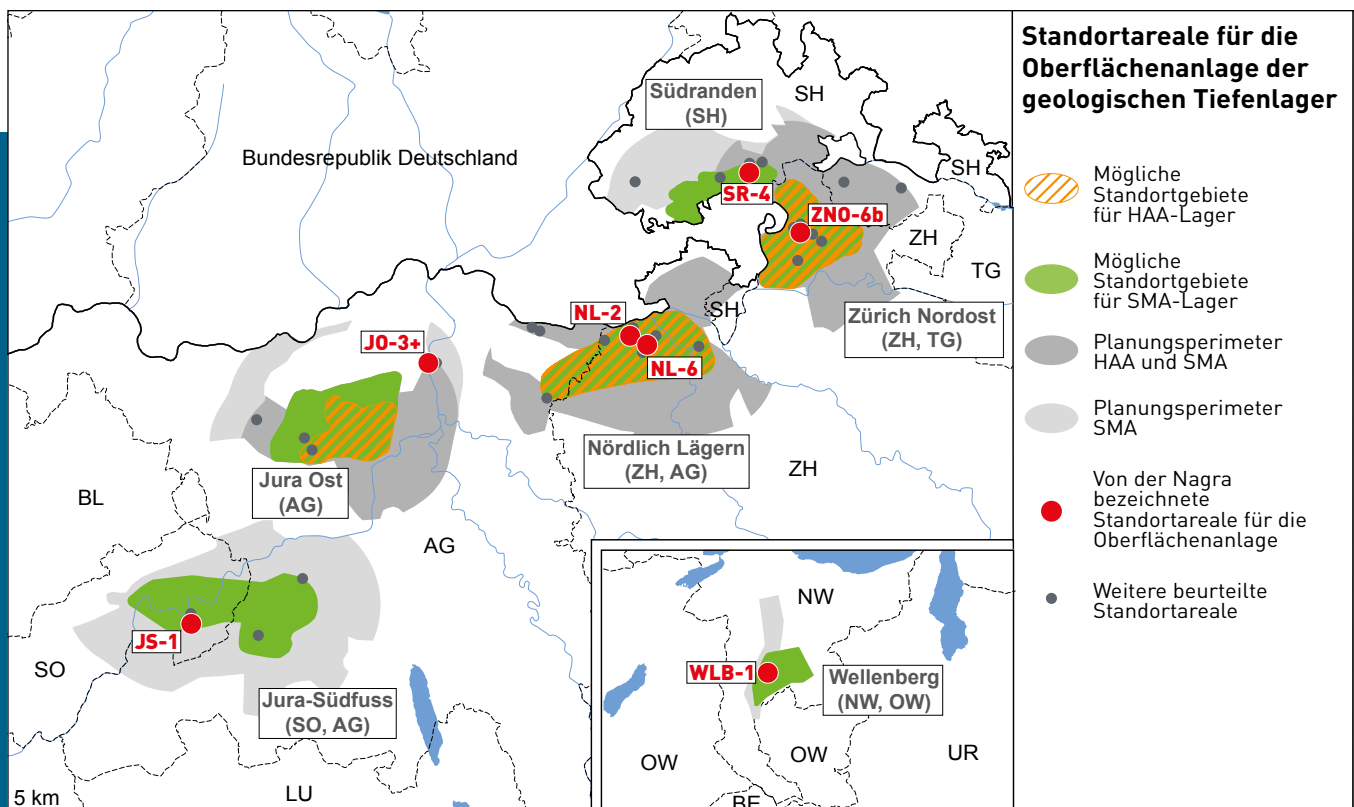
die Resultate der Zusammenarbeit im Rahmen der regionalen Partizipation und mit den Kantonen zusammenfasst. Weiter beschreibt diese Studie die Lage des jeweiligen Standortareals, die modellmässige Anordnung einer Oberflächenanlage, deren Erschliessung und den oberflächennahen Zugang nach untertag.

Parallel zur Bezeichnung der Standortareale für die Oberflächenanlage hat die Nagra am sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete gearbeitet.

➔ Mehr zum sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete in Etappe 2 erfahren Sie ab Seite 16.

Abbildung 7

Im Verlauf von Etappe 2 wurden die von der Nagra vorgeschlagenen Standortareale für die Oberflächenanlage von den Regionalkonferenzen diskutiert, ergänzt und beurteilt.



Sicherheitstechnischer Vergleich

Beim Auswahlverfahren der geologischen Standortgebiete in Etappe 2 steht ein sicherheitstechnischer Vergleich im Zentrum. Dieser basiert auf klaren Vorgaben des Bundes. Die Anforderungen dazu sind im Sachplan festgelegt. Das ENSI hat diese in weiteren Dokumenten präzisiert.

Der Sachplan verlangt:

«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» (vgl. Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil S. 45). Adäquat bedeutet, dass der Kenntnisstand ausreicht, um zu zeigen, dass die Aussagen zur Langzeitsicherheit des Tiefenlagers belastbar sind.



Abbildung 8

Die Anforderungen, wie die sicherheitstechnische Eignung eines Standortgebiets in Etappe 2 zu bewerten ist, sind klar geregelt. Sie sind im Sachplan und in verschiedenen ENSI-Dokumenten festgehalten.

der Standortgebiete in Etappe 2

Kenntnisstand Geologie reicht aus

Bei der Beurteilung des Kenntnisstands im Rahmen der Untersuchungen, welche die Nagra für Etappe 2 vorzunehmen hatte, formulierte das ENSI 41 Forderungen. Diese Forderungen hatte die Nagra mit Blick auf den sicherheitstechnischen Vergleich in Etappe 2 zu erfüllen. Sie umfassten insbesondere ergänzende Untersuchungen zu den Eigenschaften der Wirtgesteine und zur Geologie der Standortgebiete.

Die Forderungen und das Anliegen der Kantone und der KNS für weitere seismische Messungen wurden ins Untersuchungsprogramm der Nagra aufgenommen und die Feldarbeiten im Winter 2011/2012 durchgeführt. Im Rahmen einer Serie von Fachsitzungen stellte die Nagra die gewonnenen Erkenntnisse laufend vor und diskutierte diese mit den Behörden und Spezialisten. Beteiligt waren – unter der Leitung des ENSI – die EGT, die KNS, die Arbeitsgruppe Sicherheit der Kantone (AG SiKa), die Kantonale Expertengruppe Sicherheit (KES), das BFE, ein Vertreter des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), die Nagra und verschiedene Fachspezialisten.

Ende August 2014 bestätigte das ENSI, dass der Kenntnisstand bezüglich der 41 Forderungen ausreicht, um die Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen und für den sicherheitstechnischen Vergleich bei den Behörden zur Prüfung einzureichen.

Die Aufgaben des ENSI

Das ENSI überprüft und beurteilt – unterstützt von der EGT und weiteren Spezialisten – die Vorschläge der Nagra aus sicherheitstechnischer Sicht. Das ENSI bewertet die Resultate der Sicherheitsanalysen und des sicherheitstechnischen Vergleichs anhand der ENSI-Vorgaben und gemäss den Anforderungen im Konzeptteil des Sachplans.

Insbesondere prüft das ENSI für jedes Standortgebiet, ob die vorhandenen Kenntnisse und verbleibenden Ungewissheiten den sicherheitstechnischen Vergleich erlauben. Die verwendeten geologischen Daten (Wirtgesteinsausdehnung, hydraulische Durchlässigkeit, geochemische Verhältnisse etc.) müssen die Situation am Standort adäquat wiedergeben und auch geologische Ungewissheiten berücksichtigen.

Sicherheitstechnischer Vergleich der Standortgebiete in Etappe 2

Wie gut sich ein Standortgebiet für ein geologisches Tiefenlager eignet, wird zuerst anhand von Dosisberechnungen (vgl. Abbildung 10, Seite 19) geprüft. Danach werden die Standortgebiete aufgrund ihrer geologischen Eigenschaften bewertet. Die Ergebnisse werden für einen sicherheitstechnischen Vergleich verwendet. Das schrittweise Vorgehen beim Vergleich ist auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

Geologische Standortgebiete: Vorschläge für Etappe 3 schritt

1. Vorgehen basierend auf Vorgaben des Sachplans und des ENSI festgelegt

Ausgehend von den behördlichen Vorgaben legt die Nagra dar, wie bei der schrittweisen Charakterisierung, Bewertung und Optimierung der Varianten (Wirtgesteine, Lagerperimeter, geologische Standortgebiete) detailliert vorgegangen wird. Dies schliesst auch die dabei verwendeten Indikatoren und zugehörigen Unterlagen ein. Ebenso wird der Umgang mit geologischen Ungewissheiten erläutert.

2. Festlegung des prioritären Wirtgesteins

Bei mehreren Wirtgesteinen in einem Standortgebiet berücksichtigt die Nagra nur jene ohne eindeutige Nachteile hinsichtlich Barrierenwirkung. Dies führt dann zum prioritären Wirtgestein für ein Standortgebiet.

3. Abgrenzung von optimierten Lagerperimetern

Für jedes Standortgebiet wählt die Nagra die optimale räumliche Konfiguration, das heisst, sie wählt den optimalen Lagerperimeter für das prioritäre Wirtgestein innerhalb des Gebiets. Ziel ist die sicherheitsorientierte Optimierung der Standortgebiete.

4. Bewertung der optimierten Lagerperimeter

Die Eignung der optimierten Lagerperimeter – zusammen mit ihrem prioritären Wirtgestein – wird anhand der Dosisintervalle aus den Sicherheitsanalysen und der 13 qualitativen Kriterien (SGT) bewertet.

5. Vergleichende Gesamtbewertung

In der Gesamtbewertung beurteilt die Nagra die Stärken beziehungsweise Schwächen der einzelnen Standortgebiete anhand der zugehörigen Lagerperimeter und nimmt eine vergleichende Bewertung vor. Daraus ergeben sich gegebenenfalls eindeutige Nachteile. Die Nagra führt zudem eine bautechnische Risikoanalyse der Zugangsbauwerke ausgehend von den jeweiligen Standortarealen für die Oberflächenanlage durch.

➔ Die fünf Schritte werden auf den nachfolgenden Seiten 20 bis 33 weiter erläutert.

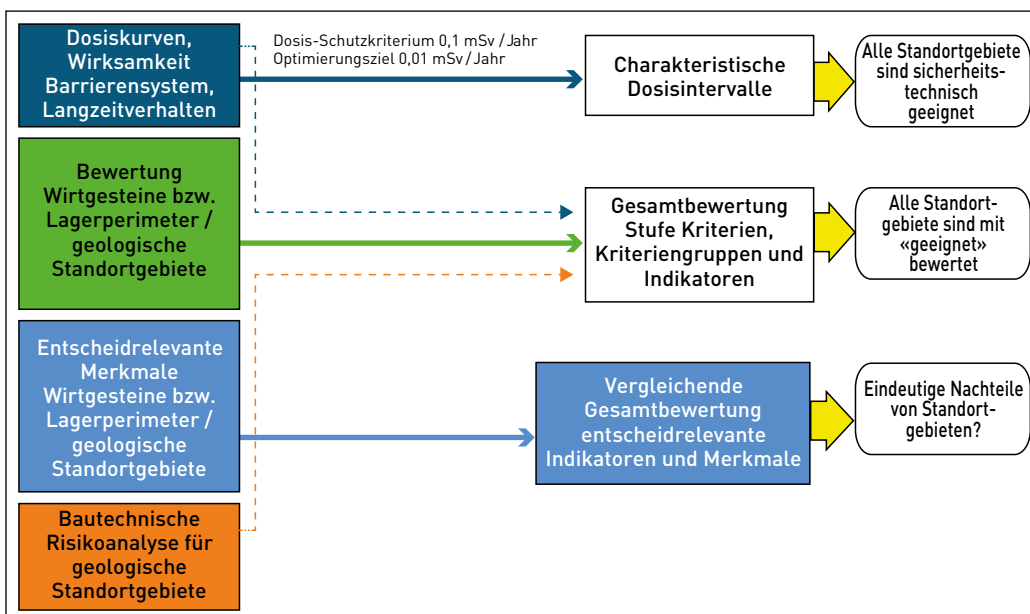


Abbildung 9

Stufenweise Bewertung der Standortgebiete gemäss ENSI-Methodik (ENSI 33 / 154: «Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT»), in vereinfachter Form.

weise erarbeitet

Wann kann ein Standortgebiet in Etappe 2 zurückgestellt werden? (gemäss ENSI/SGT)

Dazu wurden folgende **Leitfragen** (vgl. Abbildung 9) verwendet:

Erfüllt das Standortgebiet das Dosis-Schutzkriterium und ist es aufgrund der Ergebnisse der Dosis-Berechnungen sicherheitstechnisch geeignet (vgl. Abbildung 10)?

- Ist die Gesamtbewertung des Standortgebiets mindestens «geeignet»?
- Weist das Standortgebiet anhand der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit **eindeutige Nachteile** gegenüber anderen Standortgebieten auf?

Eindeutige Nachteile:

Standortgebiete können in Etappe 2 zurückgestellt werden, wenn sie eindeutige sicherheitstechnische Nachteile gegenüber den anderen Standortgebieten aufweisen. Im sicherheitstechnischen Vergleich zeigt sich, welche Nachteile eindeutig sind. Die Nagra verwendet dazu die vom **ENSI** definierten unten stehenden entscheiderelevanten Merkmale, welche mit **entscheiderelevanten Indikatoren** erfasst werden (vgl. auch Seite 28):

- Wirksamkeit der geologischen Barriere
- Langzeitstabilität der geologischen Barriere
- Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet
- Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale für die Oberflächenanlage

Dosis-Schutzkriterium

(mSv = Millisievert: Masseinheit für Strahlendosis)

Als Bewertungsmaßstab für die Sicherheit respektive für die Wirksamkeit der geologischen Barriere gilt das vom ENSI festgelegte Dosis-Schutzkriterium von 0,1 mSv/Jahr für eine Person. In der nebenstehenden Abbildung mit hypothetischen Beispielen bedeutet dies: Standort 5 scheidet aus. Aus der Strahlenschutzverordnung abgeleitet, gilt das Optimierungsziel von 0,01 mSv/Jahr. Die Dosisintervalle der geologischen Standortgebiete müssen unterhalb dieses Optimierungsziels liegen oder – falls dies nicht der Fall ist – mit dem Dosisintervall des besten Standorts (Standort 1) überlappen. Standort 4 erfüllt dies nicht und scheidet deshalb aus (vgl. nebenstehende schematische Darstellung).

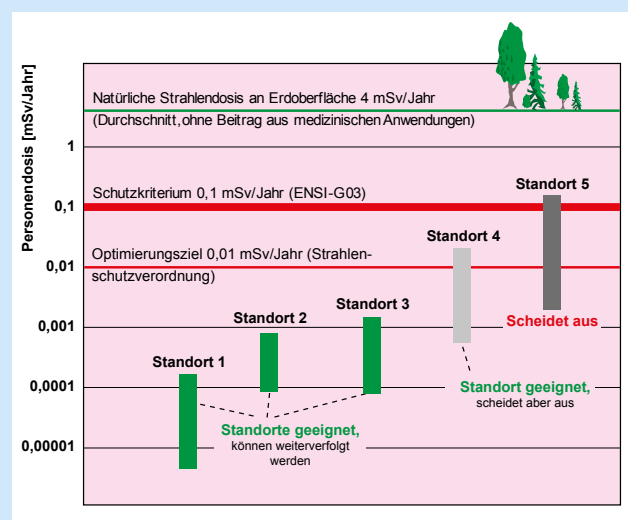


Abbildung 10

In einer Zusammenstellung der Dosisintervalle (Säulen in Grafik) lassen sich Standorte (hier schematisch) sicherheitstechnisch vergleichen.

1. Vorgehen basierend auf Vorgaben des Sachplans

Im ersten Schritt legt die Nagra das detaillierte Vorgehen beim sicherheitstechnischen Vergleich dar.

Bei der qualitativen Bewertung der Wirtgesteine und Lagerperimeter werden – ähnlich wie in Etappe 1 für die Bewertung der geologischen Standortgebiete – die 13 Kriterien zur Standortevaluation (vgl. Tabelle 2) verwendet. Neben den Eigenschaften des Wirtgesteins werden auch Aspekte der Langzeitstabilität, der Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen und der bautechnischen Eignung bewertet. Anhand aller Kriterien und Indikatoren wird jeweils geprüft, ob die Wirtgesteine und Lagerperimeter beziehungsweise die geologischen Standortgebiete insgesamt mindestens die qualitative Bewertung «geeignet» erhalten.

Entscheidende Merkmale

Das ENSI gibt vier entscheidrelevante Merkmale (siehe Seiten 19 und 28) vor, die mit entscheidrelevanten Indikatoren erfasst werden. Gestützt auf diese Indikatoren wird geprüft, ob für ein Wirtgestein respektive ein Standortgebiet im Vergleich mit einem anderen Wirtgestein beziehungsweise mit den übrigen Standortgebieten eindeutige Nachteile vorliegen.

Einige Indikatoren sind wirtgesteinspezifisch und werden für die Auswahl des prioritären Wirtgesteins in den Standortgebieten für das SMA-Lager verwendet, in denen mehrere Wirtgesteine vorkommen. Andere Indikatoren haben einen stark räumlichen Bezug und werden für die Abgrenzung der Lagerperimeter verwendet. Verschiedene Indikatoren werden mehrfach verwendet, häufig kombiniert mit einer Verwendung bei der Identifikation eindeutiger Nachteile geologischer Standortgebiete. Nicht alle Indikatoren werden überall verwendet.

Berücksichtigung von Ungewissheiten

Ungewissheiten in der heutigen Geologie und in der zukünftigen geologischen Entwicklung werden

Beispiel: Indikator «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion»

Dieser Indikator wird für die Abgrenzung und Bewertung der optimierten Lagerperimeter verwendet und ist auch entscheidrelevant für die Identifikation eindeutiger Nachteile eines geologischen Standortgebiets. Die Tiefenlage gibt Aufschluss über die Gesteins-Dekompaktion heute und infolge langfristiger Hebung beziehungsweise Erosion, die eine Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit bewirken könnte.

in allen Schritten des sicherheitstechnischen Vergleichs berücksichtigt. Die Nagra hat drei Situationen bezüglich Sicherheit untersucht:

1. Referenzsituation = die aufgrund Erfahrungen plausibelste Situation
2. Ungünstige Situation = Situation mit ungünstiger Wirkung auf das Barrierensystem
3. Günstige Situation = Situation mit günstiger Wirkung auf das Barrierensystem

Beispiel: Wirkung so genannter «harter Bänke» auf die Barrierenwirkung der Wirt- und Rahmengesteine

«Harte Bänke» sind Sedimentschichten (Sandkalkabfolgen bzw. Kalkbankabfolgen), deren Tonmineralegehalt klein ist, was zu einer schlechteren Selbstabdichtung und einer erhöhten Wasserdurchlässigkeit führen könnte. Dies kann die Barrierenwirkung der gesamten Gesteinsabfolge erheblich reduzieren. Für die beiden Wirtgesteine 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten hat die Nagra untersucht, ob einerseits die «harten Bänke» lokalisiert werden können und ob nachweisbar ist, dass diese Sedimentschichten nicht wasserführend sind. Beim 'Brauner Dogger' beispielsweise besteht kein Nachweis, dass die «harten Bänke» nicht wasserführend sind. Die Nagra nimmt für die ungünstigste Situation also an, dass die Sandkalkabfolgen im 'Brauner Dogger' wasserführend sind und sich ungünstig auf die geologische Barriere auswirken (vgl. auch Seite 23, Abbildung 11).

und des ENSI festgelegt

Kriteriengruppen (4) Kriterien (13)	Indikatoren und ihre Anwendung						
	Indikatoren	Etappe 1	Etappe 2				
			Wirtgestein		Abgrenzung optimierter Lager- perimeter	Lagerperimeter/ Standortgebiete	
			Qualitative Bewertung	Auswahl prioritäres Wirtgestein		Qualitative Bewertung	Gesamt- bewertung
1 Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs							
1.1 Räumliche Ausdehnung	Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (unter Berücksichtigung von Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)	x			x	x	e
	Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion	x			x	x	e
	Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen	x			x	x	e
	Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion	x			x	x	e
	Mächtigkeit	x	x	e		x	e
	Regionale tektonische Elemente a) Abstand zu regionalen Störungszonen (Etappe 1) b) Zu meidende tektonische Zonen (Etappe 2)	x				x	
	Laterale Ausdehnung	x	Findet Verwendung im Indikator «Platzangebot untertags».				
	Platzangebot untertags				x	x	e
1.2 Hydraulische Barrierenwirkung	Hydraulische Durchlässigkeit	x	x	e		x	e
	Grundwasserstockwerke	x				x	
1.3 Geochemische Bedingungen	Mineralogie	x	x			x	
	pH-Wert	x	x			x	
	Redox-Bedingungen	x	x			x	
	Salinität	x	x			x	
	Mikrobielle Prozesse	x	x			x	
	Kolloide	x	x	e		x	e
1.4 Freisetzungspfade	Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums	x	x	e		x	e
	Homogenität des Gesteinsaufbaus	x	x	e		x	e
	Länge der massgebenden Freisetzungspfade	x	x	e		x	e
	Transmissivität präferenziieller Freisetzungspfade	x	x	e		x	e
	Tonmineralgehalt	x	Fliesst in die Bewertung diverser Indikatoren ein, z. B. «Selbstabdichtungsvermögen».				
	Selbstabdichtungsvermögen	x	x	e		x	e
2 Langzeitstabilität							
2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften	Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)	x				x	e
	Seismizität	x				x	e
	Modellvorstellungen zu geochemischen Vorgängen	x	Wird in Etappe 2 nicht verwendet.				
	Seltene geologische Ereignisse (Vulkanismus)	x	Wird in Etappe 2 nicht mehr verwendet gemäss Hinweis in ENSI 2010b.				
	Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)	x	x	e		x	e
2.2 Erosion	Erosion im Betrachtungszeitraum	x				x	e
2.3 Lagerbedingte Einflüsse	Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten	x	x			x	
	Chemische Wechselwirkungen	x	x			x	
	Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas	x	x			x	
	Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur	x	[x]			[x]	
2.4 Nutzungskonflikte	Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins	x	x			x	
	Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins	x				x	
	Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins	x				x	
	Mineral- und Thermalwassernutzung	x				x	
	Geothermie und weitere energiebezogene Nutzungen des Untergrunds	x				x	
3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen							
3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine	Diffus gestörte Zonen	x	Wird in Etappe 2 nicht mehr verwendet, da abgedeckt durch regionale geologische Elemente.				
	Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit	x	x	e		x	e
	Erfahrungen	x	x			x	
3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse	Regionales Störungsmuster und Lagerungsverhältnisse	x	Wird in Etappe 2 nicht mehr verwendet. In Etappe 1 nur für geologisch-tektonische Grossräume verwendet.				
	Kontinuität der interessierenden Schichten	x	Wird in Etappe 2 nicht mehr verwendet. Detailliertere Erfassung durch die Indikatoren «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» und «Explorationsbedingungen an Oberfläche».				
	Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund	x	x	e		x	e
	Explorationsbedingungen an Oberfläche	x				x	
3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen	Tektonisches Regime (konzeptionell zu meidende Zonen)	x	Wird in Etappe 2 nicht mehr verwendet. Detailliertere Erfassung anhand Indikator «Regionale tektonische Elemente: Zu meidende tektonische Zonen».				
	Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation	x	x			x	
4 Bautechnische Eignung							
4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen	Gesteinsfestigkeit und Verformungseigenschaften	x	x			x	
4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung	Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen	x				x	e
	Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)	x				x	

Tabelle 2

Kriteriengruppen, Kriterien, Indikatoren und ihre Anwendung. Gemäss ENSI ist es die Aufgabe der Nagra, für die entscheiderelevanten Merkmale die zugehörigen entscheiderelevanten Indikatoren zu bezeichnen. Ein «x» oder («x») bedeutet, dass dieser Indikator berücksichtigt wird; «e» steht für entscheiderelevanten Indikator.

2. Festlegung des prioritären Wirtgesteins

In den SMA-Standortgebieten Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura-Südfuss wurden in **Etappe 1** je zwei mögliche Wirtgesteine identifiziert. Für diese Wirtgesteine hat die Nagra in **Etappe 2** einen sicherheitstechnischen Vergleich durchgeführt. Dies mit dem Ziel, gebietspezifisch ein prioritäres Wirtgestein festzulegen.

Es geht darum, in jedem Standortgebiet dasjenige Wirtgestein zu ermitteln, welches im Vergleich zum anderen Wirtgestein eine optimale Barrierenwirkung gewährleistet und keine eindeutigen Nachteile aufweist. Für das HAA-Lager entfällt dieser Schritt, weil der Opalinuston bereits in Etappe 1 als einziges Wirtgestein festgelegt werden konnte.

In einem ersten Schritt prüft die Nagra die Wirtgesteine in den Standortgebieten anhand von Dosisberechnungen. Es wird hierbei untersucht, ob die Wirtgesteine sicherheitstechnisch geeignet sind.

Als nächstes folgt eine qualitative Bewertung der Wirtgesteine, anhand derer geprüft wird, ob die verbleibenden Wirtgesteine gesamthaft eine Bewertung von **mindestens geeignet** aufweisen.

Es ergeben sich folgende Resultate:

Alle Wirtgesteine erfüllen das Dosis-Schutzkriterium und sind sicherheitstechnisch geeignet.

Die Gesamtbewertung für alle Wirtgesteine ist mindestens geeignet.

Wirtgesteine sicherheitstechnisch verglichen

Anhand der entscheidungsrelevanten Merkmale und ihrer zugehörigen Indikatoren (vgl. Tabelle 2, Seite 21, Kolonne «Auswahl prioritäres Wirtgestein»)

Entscheidungsrelevante Merkmale / Entscheidungsrelevante Indikatoren	Zürich Nordost Opalinuston	Zürich Nordost 'Brauner Dogger'	Nördlich Lägern Opalinuston	Nördlich Lägern 'Brauner Dogger'	Jura-Südfuss Opalinuston	Jura-Südfuss Eiffinger Schichten
Wirksamkeit der geologischen Barriere						
Mächtigkeit						
Hydraulische Durchlässigkeit						
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums						
Transmissivität präferenzieller Freisetzungspfade						
Selbstabdichtungsvermögen						
Homogenität des Gesteinsaufbaus						
Länge der massgebenden Freisetzungspfade						
Kolloide						
Langzeitstabilität der geologischen Barriere						
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)						
Selbstabdichtungsvermögen						
Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet						
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit						
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund						

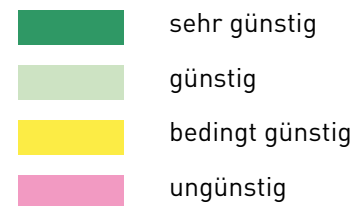


Tabelle 3
Qualitative Bewertung der entscheidungsrelevanten Indikatoren für Standortgebiete für das SMA-Lager mit mehreren möglichen Wirtgesteinen (gemäss NTB 14-01).

werden anschliessend in einer vergleichenden Bewertung der Wirtgesteine allfällige eindeutige Nachteile identifiziert. Dies führt zur Priorisierung eines Wirtgesteins in jenen Standortgebieten, in denen neben dem Opalinuston die Effinger Schichten oder der 'Braune Dogger' als weitere mögliche Wirtgesteine vorliegen. Alle Wirtgesteine zeigen gesamthaft eine gute Barrierenwirkung; der Opalinuston erweist sich jedoch im Vergleich als das Wirtgestein mit den günstigsten Voraussetzungen (vgl. Tabelle 3).

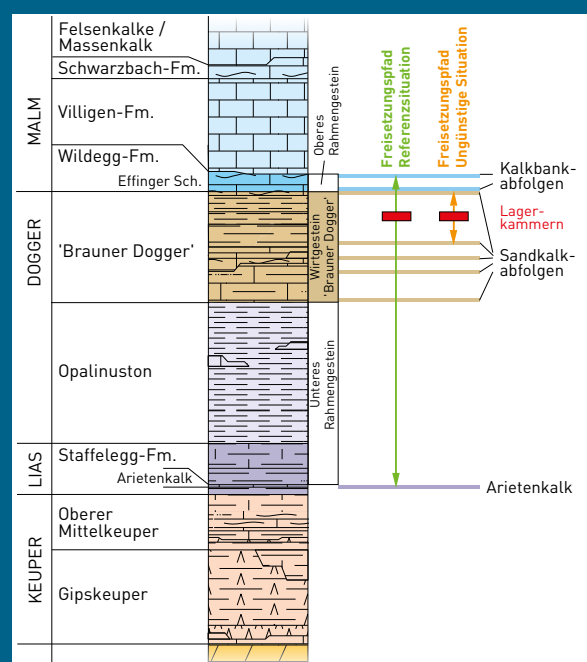
In den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern ergeben sich beim 'Braunen Dogger' im Vergleich zum Opalinuston eindeutige Nachteile (vgl. Tabelle 3). Im Standortgebiet Jura-Südfuss ergeben sich für die Effinger Schichten eindeutige Nachteile gegenüber dem Opalinuston. Die eindeutigen Nachteile bezüglich Barrierenwirkung des 'Braunen Doggers' und der Effinger Schichten resultieren durch die vorhandenen «harten Bänke» mit geringem Tonmineralgehalt (vgl. Abbildung 11). Bereits kleine Störungen können

wegen des verminderten Selbstabdichtungsvermögens zu einer erhöhten Wasserdurchlässigkeit führen, was die Barrierenwirkung erheblich reduziert. Die verbleibenden tonreichen barrierewirksamen Abfolgen des 'Braunen Doggers' und der Effinger Schichten sind deshalb weniger mächtig, sodass die Barrierenwirkung gegenüber dem homogenen, erheblich mächtigeren Opalinuston deutlich eingeschränkt ist.

Insgesamt lässt sich eine klare Rangierung der Wirtgesteine pro Standortgebiet ausmachen:

Opalinuston qualifiziert sich als prioritäres Wirtgestein für das SMA-Lager sowohl in den Standortgebieten Zürich Nordost, Nördlich Lägern als auch im Standortgebiet Jura-Südfuss. In den übrigen Standortgebieten kommt jeweils nur ein Wirtgestein vor: in den Standortgebieten Südranden und Jura Ost der Opalinuston, im Standortgebiet Wellenberg die Mergel-Formationen des Helvetikums.

Abbildung 11
Innerhalb der Sedimentschicht des 'Braunen Doggers' im Standortgebiet Zürich Nordost liegen mehrere Sandkalkabfolgen. Diese haben eine relativ schlechte Barrierenwirkung wegen ihres beschränkten Tonmineralgehalts. Die Nagra nimmt für ihre Berechnungen (vgl. auch Seite 20, Abschnitt «Berücksichtigung von Ungewissheiten») an, dass die Sandkalkabfolgen wasserführend sind und sich ungünstig auf die Barrierenwirkung auswirken können (kurze Freisetzungspfade).



3. Abgrenzung von optimierten Lagerperimetern

Der Lagerperimeter in jedem Standortgebiet wird anhand von vorgegebenen Anforderungen räumlich abgegrenzt und optimiert. Die Nagra wählt so den jeweils günstigsten Lagerperimeter für die Bewertung und den Vergleich der Standortgebiete aus.

In jedem geologischen Standortgebiet werden zunächst möglichst günstige Lagerperimeter abgegrenzt. Hierbei werden die Mindestanforderungen und die verschärften Anforderungen aus Etappe 1 berücksichtigt. Ein Teil dieser Anforderungen wird bei der Optimierung der Lagerperimeter teilweise weiter verschärft und angepasst. Für jeden Lagerperimeter wird im Rahmen der verschiedenen Optimierungsschritte jeweils überprüft, ob das Platzangebot untertags ausreicht. Auch in Zukunft wird nach jedem weiteren Untersuchungsschritt bis zum Bau des Tiefenlagers der Lagerperimeter innerhalb des geologischen Standortgebiets bei Bedarf weiter optimiert.

Die Optimierung der Lagerperimeter orientiert sich an folgenden Punkten (vgl. Abbildung 12):

- «zu meidenden tektonischen Zonen» ausweichen
- Tiefenlage unter Terrain bezüglich Erosion und Gesteins-Dekompaktion maximieren
- Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion maximieren
- Tiefenlage bezüglich bautechnischer Machbarkeit minimieren
- Tiefenlage im Hinblick auf die Bildung neuer Erosionsrinnen (Felsrinnen) optimieren
- Untertägiges Platzangebot optimieren

Das unterschiedliche Platzangebot in bevorzugter Tiefenlage führt zu unterschiedlichen Möglichkeiten, den Lagerperimeter in den verschiedenen Standortgebieten zu optimieren.

Lagerperimeter für HAA-Lager

- **Zürich Nordost:** gute Möglichkeiten zur Optimierung (ausgewogener Lagerperimeter bzgl. minimaler bzw. maximaler Tiefenlage und Platzangebot)

- **Nördlich Lägern:** keine genügenden Flächen im bevorzugten Tiefenbereich (Lagerebene zu tief, keine Optimierungsmöglichkeiten)
- **Jura Ost:** beschränkte Möglichkeiten zur Optimierung (beschränkter Lagerperimeter in genügender Tiefe)

Lagerperimeter für SMA-Lager

- **Südranden:** stark beschränkte Optimierungsmöglichkeiten (Neuhauserwaldrinne, geringe Tiefenlage), knappes Platzangebot
- **Zürich Nordost:** breite Möglichkeiten zur Optimierung (ausgewogener Lagerperimeter bzgl. minimaler bzw. maximaler Tiefenlage und Platzangebot)
- **Nördlich Lägern:** keine Flächen in bevorzugter Tiefenlage (Lagerebene zu tief, keine Optimierungsmöglichkeiten)
- **Jura Ost:** breite Möglichkeiten zur Optimierung (grosser Lagerperimeter in geeignetem Tiefenbereich)
- **Jura-Südfuss:** Flächenangebot eher tiefliegend, tektonische Strukturen verlangen erhebliche Platzreserven, beschränktes Platzangebot
- **Wellenberg:** Gesteinsblock von grosser Mächtigkeit mit schwierig explorierbaren Störungszonen und Fremdgesteinseinschlüssen verlangen Platzreserven, mehrstöckige Anordnung notwendig.

Beispiel: maximale Tiefenlage

Die maximale Tiefenlage der Lagerebene ist massgebend für die bautechnische Machbarkeit und die durch den Bau mögliche Beeinträchtigung der Barrieren, welche durch eine Schädigung des Wirtgesteins in der Umgebung der Lagerkammern (Auflockerungszone) erfolgen könnte. Die maximale Tiefenlage der Lagerebene wurde sicherheitstechnisch optimiert: Für das HAA-Lager geht man von 700 Meter und für das SMA-Lager von 600 Meter unter Terrain aus. Dies entspricht dem Vorgehen anderer Entsorgungsorganisationen. In Frankreich zum Beispiel wurde die Tiefe der Lagerebene für ein vergleichbares Wirtgestein (HAA-Lager) auf zirka 600 Meter unter Terrain beschränkt.

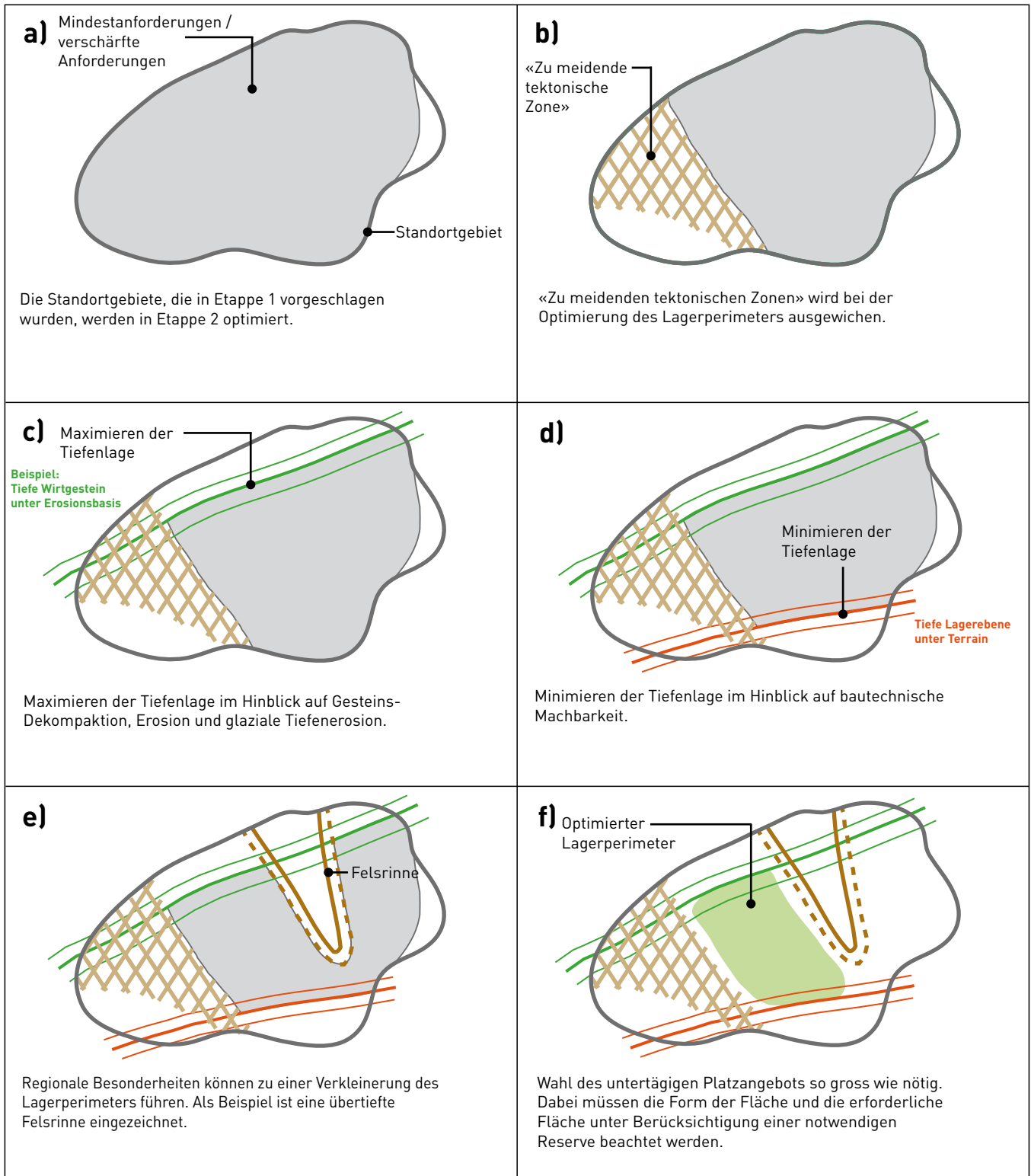


Abbildung 12:

Die Methodik für die Abgrenzung des untertägigen Lagerperimeters schematisch dargestellt. Abbildungen der optimierten Lagerperimeter in den einzelnen Standortgebieten finden sich ab Seite 34.

4. Bewertung der optimierten Lagerperimeter

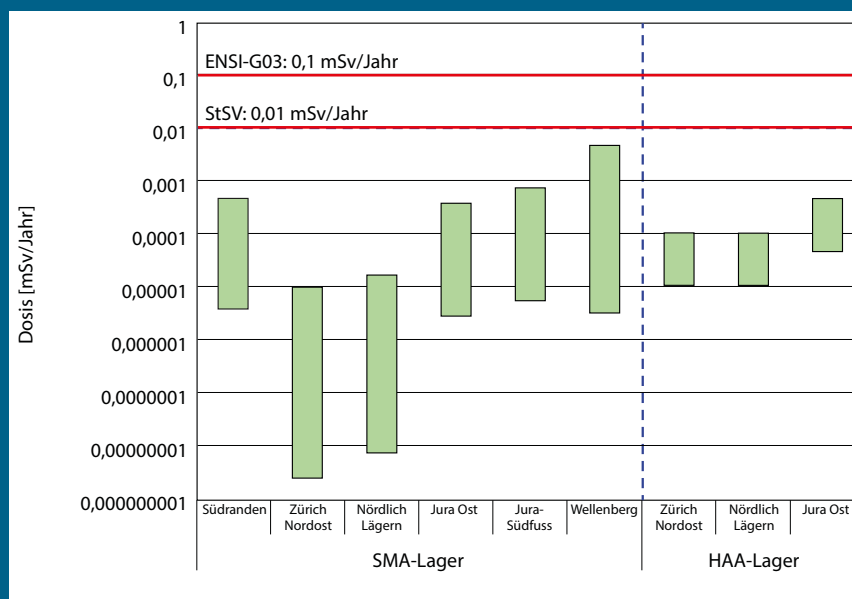
In diesem Schritt wird bewertet, ob ein geologisches Standortgebiet sicherheitstechnisch und bezüglich aller qualitativen Kriterien und Indikatoren geeignet ist.

Charakteristische Dosisintervalle

Wie gut sich ein optimierter Lagerperimeter beziehungsweise ein geologisches Standortgebiet für ein Tiefenlager sicherheitstechnisch eignet, wird auch anhand charakteristischer Dosisintervalle (vgl. Leitfragen Seite 19) geprüft. Dafür hat die Nagra gemäss Sachplan und Vorgaben des ENSI Dosisberechnungen durchgeführt und daraus die charakteristischen Dosisintervalle abgeleitet (vgl. Abbildung 13). Diese Dosisberechnungen dienen auch dazu, die Wirksamkeit der Barrierensysteme zu bewerten (vgl. Abbildung 9, Seite 18).

Qualitative Gesamtbewertung

Danach werden die Standortgebiete qualitativ bewertet (vgl. Tabelle 4). Die einzelnen Kriterien beziehungsweise Indikatoren werden gemäss ENSI-Vorgaben mit «sehr günstig», «günstig», «bedingt günstig» und «ungünstig» bewertet. Das Gesamtergebnis der qualitativen Bewertung aller Kriterien (vgl. Tabelle 4 oben) soll gemäss ENSI anhand der Skala «sehr geeignet», «geeignet», «bedingt geeignet» und «weniger geeignet» dargestellt werden. Als Standortgebiete kommen nur solche in Frage, welche mindestens die Gesamtbewertung «geeignet» erreichen (vgl. Leitfragen Seite 19).





Dosis-Schutzkriterium gemäss Richtlinie ENSI-G03
 Optimierungsziel gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV)

Alle Standortgebiete erfüllen das Dosis-Schutzkriterium und sind sicherheitstechnisch geeignet.

Abbildung 13





Die charakteristischen Dosisintervalle für die verschiedenen geologischen Standortgebiete.

Kriteriengruppen	HAA Zürich Nordost	HAA Nördlich Lägern	HAA Jura Ost	SMA Südranden	SMA Zürich Nordost	SMA Nördlich Lägern	SMA Jura Ost	SMA Jura-Südfluss	SMA Wellenberg
Kriterien									
Indikatoren									
GESAMTBEWERTUNG									
Eigenschaften des WG/EG									
Räumliche Ausdehnung									
Mächtigkeit									
Platzangebot untertags									
Hydraulische Barrierenwirkung									
Hydraulische Durchlässigkeit									
Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion									
Grundwasserstockwerke									
Geochemische Bedingungen									
Mineralogie									
pH									
Redox-Bedingungen									
Salinität									
Mikrobielle Prozesse									
Kolloide									
Freisetzungspfade									
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums									
Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade									
Selbstabdichtungsvermögen									
Homogenität des Gesteinsaufbaus									
Länge der massgebenden Freisetzungspfade									
Langzeitstabilität									
Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften									
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)									
Seismizität									
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)									
Erosion									
Erosion im Betrachtungszeitraum									
Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen									
Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion									
Lagerbedingte Einflüsse									
Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten									
Chemische Wechselwirkungen									
Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas									
Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur									
Nutzungskonflikte									
Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins									
Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins									
Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins									
Mineral- und Thermalwassernutzungen									
Geothermie und weitere energiebezogene Nutzungen des Untergrundes									
Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen									
Charakterisierbarkeit der Gesteine									
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit									
Erfahrungen									
Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse									
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund									
Explorationsbedingungen an der Oberfläche									
Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen									
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)									
Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation									
Bautechnische Eignung									
Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen									
Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften									
Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)									
Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung									
Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen									
Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)									

 sehr geeignet
 geeignet

Die qualitative Gesamtbewertung ist für alle Standortgebiete mindestens «geeignet».

WG = Wirtgestein
 EG = Einschlusswirksamer Gebirgsbereich

 sehr günstig
 günstig
 bedingt günstig
 ungünstig


 nicht relevant für SMA, keine Wärmeentwicklung

Tabelle 4
 Qualitative Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten für das HAA-Lager beziehungsweise das SMA-Lager (gemäss NTB 14-01).

5. Vergleichende Gesamtbewertung

Zuletzt erfolgt eine vergleichende Gesamtbewertung der geologischen Standortgebiete anhand des jeweiligen optimierten Lagerperimeters. Alle Standortgebiete erfüllen die hohen Sicherheitsanforderungen und sind für ein geologisches Tiefenlager geeignet. Die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost besitzen – verglichen mit den anderen Gebieten – die günstigsten Bedingungen sowohl für ein HAA- wie auch für ein SMA-Lager.

Standortgebiete für das HAA-Lager

Das Standortgebiet **Zürich Nordost** weist im bevorzugten Tiefenbereich ein günstiges Platzangebot untertags auf und bietet breite Möglichkeiten zur optimalen Abgrenzung des Lagerperimeters. Dieser ist bezüglich Tiefenlage ausgewogen und verfügt auch über ein grosses Platzangebot. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich (Opalinuston kombiniert mit mächtigen Rahmengesteinen) weist sehr gute Barriereneigenschaften auf. Zudem ist die geologische Situation hinsichtlich Langzeitstabilität günstig. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Zürich Nordost für Etappe 3 vertieft zu untersuchen.**

Im Standortgebiet **Nördlich Lägern** gibt es nur ein ungenügendes Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich. Es gibt dort keine Möglichkeit, das Lager in bautechnisch optimaler Tiefenlage anzuordnen. In grösserer Tiefe ist das Platzangebot zwar etwas grösser, aber die bautechnischen Herausforderungen wären gross und liessen eine erhebliche Schädigung der geologischen Barrieren erwarten. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Nördlich Lägern für Etappe 3 zurückzustellen.**

Das Standortgebiet **Jura Ost** verfügt trotz der beschränkten Tiefenlage des Wirtgesteins im Hinblick auf zukünftige Erosion über ein günstiges Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich weist hier gute Barriereneigenschaften auf. Erosion kann wegen der beschränkten Tiefenlage die Barrierenwirkung der oberen Rahmengesteine reduzieren. Zudem kann die Bildung einer Erosionsrinne in ferner Zukunft nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Dosisberechnungen unter Annahme einer Erosionsrinne zeigen aber, dass auch dann das Schutzziel gemäss ENSI eingehalten würde. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Jura Ost für Etappe 3 vertieft zu untersuchen.**

Entscheidungsrelevante Merkmale gemäss ENSI

Wirksamkeit der geologischen Barriere: Die Barrierenwirkung bestimmt, wie gut die im geologischen Tiefenlager eingelagerten radioaktiven Stoffe zurückgehalten werden und dort zerfallen. Die geologische Barriere umfasst das Wirtgestein und die darunter- und darüberliegenden Rahmengesteine.

Langzeitstabilität der geologischen Barriere: Eine geeignete Langzeitstabilität sorgt dafür, dass die notwendige Barrierenwirkung über den Betrachtungszeitraum erhalten bleibt. Die Abnahme der Radiotoxizität der eingelagerten Abfälle als Folge des radioaktiven Zerfalls ist ausschlaggebend für die Länge des Betrachtungszeitraums, welcher für das HAA-Lager 1 Million Jahre beziehungsweise für das SMA-Lager 100 000 Jahre beträgt. Für die Langzeitstabilität sind die Erosion und mögliche differenzielle Bewegungen im Untergrund wichtig.

Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet: Die Explorierbarkeit bestimmt, wie genau und zuverlässig Lage und Parameter der sicherheitsrelevanten geologischen Einheiten bestimmt werden können (z. B. sedimentäre Ablagerungen wie harte Kalkbänke mit erhöhter Durchlässigkeit). Die Charakterisierbarkeit beschreibt, wie genau und zuverlässig die für die Barrierenwirkung kritischen Eigenschaften erfasst werden können (z. B. einzelne wasserführende Klüfte).

Bautechnische Machbarkeit eines Tiefenlagers: Hierbei wird die Schädigung des Wirtgesteins in direkter Umgebung der Lagerkammern beurteilt. Analysiert werden dabei seine Barrierenwirkung und die mögliche Beeinträchtigung der technischen Barrieren als Folge des Baus der Lagerkammern. Hier wird auch der Zugang nach untertag vom Standortareal zum untertägigen Lagerperimeter geprüft. Weiter wird geprüft, ob das Platzangebot innerhalb des Standortgebiets genügend gross ist.

HAA-Lager

Entscheidrelevante Merkmale / Entscheidrelevante Indikatoren	Zürich Nordost	Nördlich Lägern	Jura Ost
Wirksamkeit der geologischen Barriere			
Hydraulische Durchlässigkeit			
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums			
Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade			
Selbstabdichtungsvermögen			
Homogenität des Gesteinsaufbaus			
Mächtigkeit			
Länge der massgebenden Freisetzungspfade			
Kolloide			
Langzeitstabilität der geologischen Barriere			
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)			
Selbstabdichtungsvermögen			
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)			
Erosion im Betrachtungszeitraum			
Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen			
Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion			
Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion			
Seismizität			
Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet			
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit			
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund			
Bautechnische Machbarkeit			
Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)			
Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen			
Platzangebot untertags			



Tabellen 5 und 6 – Bemerkung zu den Gesamtbewertungen der vier entscheiderelevanten Merkmale

Die Gesamtbewertung für die Wirksamkeit sowie die Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere ist der Mittelwert der Bewertungen der zugeordneten entscheiderelevanten Indikatoren. Man geht davon aus, dass diese Indikatoren sich gegenseitig kompensieren. Für die Langzeitstabilität der geologischen Barriere und die bautechnische Machbarkeit ergibt sich die Gesamtbewertung aus der tiefsten Bewertung eines zugeordneten entscheiderelevanten Indikators. Dies beruht darauf, dass diese Indikatoren alle gleich wichtig und unabhängig voneinander sind. Ein günstiges Platzangebot kann zum Beispiel nicht schlechte geotechnische Verhältnisse wettmachen.

Tabelle 5
Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten für das HAA-Lager anhand der entscheiderelevanten Merkmale und der dazugehörigen Indikatoren (gemäss NTB 14-01).

Standortgebiete für das SMA-Lager

Im Standortgebiet **Südranden** ist das relativ untief liegende Wirtgestein nur sehr beschränkt vor Erosion geschützt. Als Folge der geringen Überdeckung der oberen Rahmengesteine ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich im Vergleich zu anderen Standortgebieten beschränkt. Die Bildung einer Erosionsrinne, die sich auf die Langzeitstabilität der geologischen Barriere auswirken könnte, ist durchaus möglich. Die bedingt günstige Tiefenlage und die zentral gelegene Neuhauserwaldrinne bieten nur sehr beschränkte Möglichkeiten zur Optimierung des Lagerperimeters und das resultierende Platzangebot ist deshalb nur knapp günstig. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Südranden für Etappe 3 zurückzustellen.**

Das Standortgebiet **Zürich Nordost** verfügt über ein grosses Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich und bietet breite Möglichkeiten zur Optimierung des Lagerperimeters. Dieser ist bezüglich Tiefenlage ausgewogen und verfügt über ein grosses Platzangebot. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich (Opalinuston kombiniert mit mächtigen Rahmengesteinen) weist sehr gute Barriereneigenschaften auf. Die geologische Situation ist hinsichtlich Langzeitstabilität günstig. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Zürich Nordost für Etappe 3 vertieft zu untersuchen.**

Im Standortgebiet **Nördlich Lägern** gibt es nur ein ungenügendes Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich. Es gibt dort keine Möglichkeit, das Lager in bautechnisch optimaler Tiefenlage anzuordnen. In grösserer Tiefe ist das Platzangebot zwar etwas grösser, aber die bautechnischen Herausforderungen wären gross und liessen eine erhebliche Schädigung der geologischen Barrieren erwarten. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Nördlich Lägern für Etappe 3 zurückzustellen.**

Das Standortgebiet **Jura Ost** verfügt über ein grosses Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich und bietet breite Möglichkeiten zur Optimierung des Lagerperimeters. Dieser ist bezüglich Tiefenlage ausgewogen. Der einschlusswirksame Gebirgsbereich (Opalinuston kombiniert mit Rahmengesteinen) weist sehr günstige Barriereneigenschaften auf. Zudem ist die geologische Situation hinsichtlich Langzeitstabilität günstig. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Jura Ost für Etappe 3 vertieft zu untersuchen.**

Im Standortgebiet **Jura-Südfuss** ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich (Opalinuston und Rahmengesteine) nur wenig mächtig. Die unteren Rahmengesteine sind so ausgebildet, dass sie kaum zur Barrierenwirkung beitragen. Im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost ist das Platzangebot im bevorzugten Tiefenbereich kleiner, da erhebliche Platzreserven nötig sind, weil die Gesteine tektonisch stärker überprägt sind. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Jura-Südfuss für Etappe 3 zurückzustellen.**

Im Standortgebiet **Wellenberg** hat das geklüftete Wirtgestein, die Mergel-Formationen des Helvetikums, im Vergleich zum Opalinuston ein beschränktes Selbstabdichtungsvermögen. Das Wirtgestein weist aufgrund der beschränkten Homogenität eine weniger gute Barrierenwirkung auf als der Opalinuston. Die Bedingungen zur Langzeitstabilität sind im Vergleich zu Standortgebieten in der Nordschweiz ungünstiger: Insbesondere die Modellvorstellungen zur Geodynamik, zur Neotektonik und die erhöhte Seismizität werden ungünstiger als in den anderen Standortgebieten eingestuft. Die Charakterisierung und die Exploration des Standortgebiets sind zudem schwierig. **Die Nagra schlägt vor, das Standortgebiet Wellenberg für Etappe 3 zurückzustellen.**

SMA-Lager

Entscheidrelevante Merkmale / Entscheidrelevante Indikatoren	Südanden	Zürich Nordost	Nördlich Lägern	Jura Ost	Jura- Südfuss	Wellen- berg
Wirksamkeit der geologischen Barriere						
Hydraulische Durchlässigkeit						
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums						
Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade						
Selbstabdichtungsvermögen						
Homogenität des Gesteinsaufbaus						
Mächtigkeit						
Länge der massgebenden Freisetzungspfade						
Kolloide						
Langzeitstabilität der geologischen Barriere						
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)						
Selbstabdichtungsvermögen						
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)						
Erosion im Betrachtungszeitraum						
Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen						
Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion						
Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion						
Seismizität						
Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet						
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit						
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund						
Bautechnische Machbarkeit						
Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)						
Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen						
Platzangebot untertags						



Tabelle 6

Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten für das SMA-Lager anhand der entscheiderelevanten Merkmale und der dazugehörigen Indikatoren (gemäss NTB 14-01).

Geologische Standortgebiete für das HAA-Lager: Vergleichsergebnisse

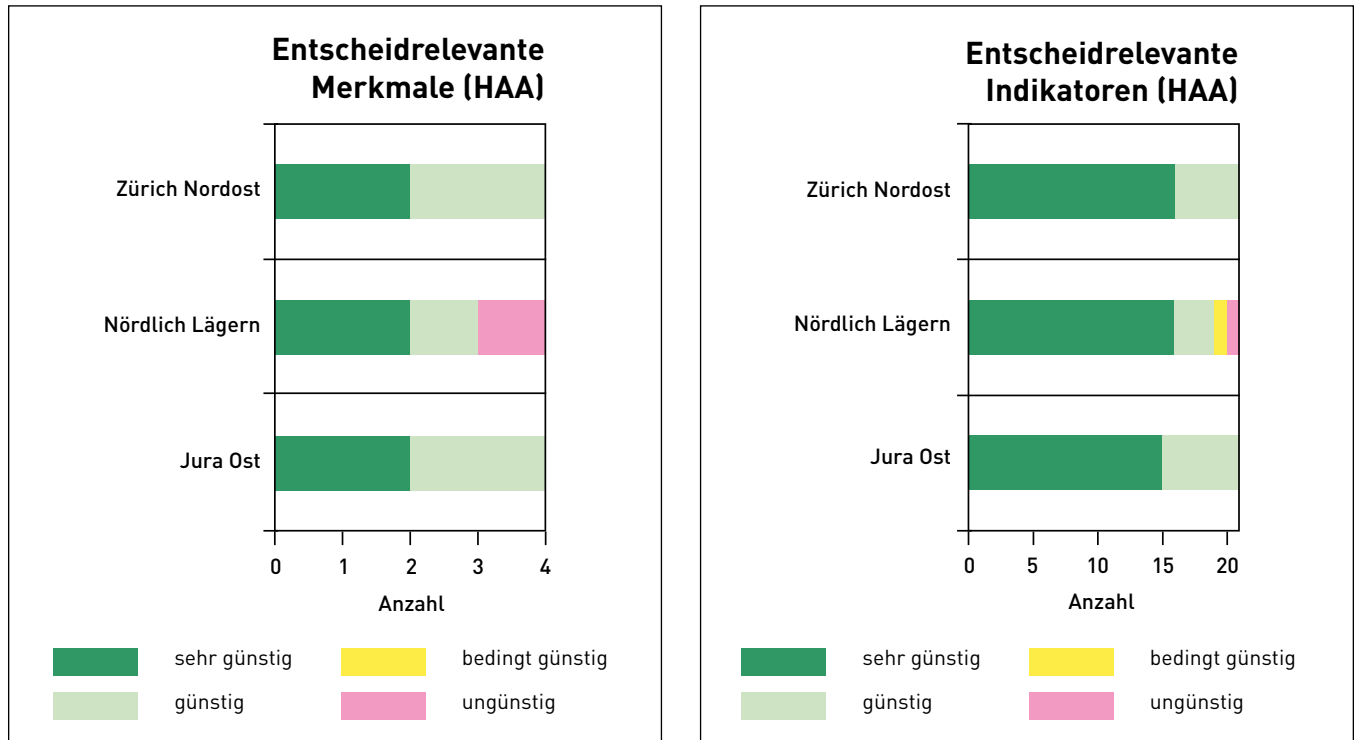


Abbildung 14

Die Nagra schlägt vor, für das HAA-Lager die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für Etappe 3 vertieft zu untersuchen (gemäss NTB 14-01).

Bautechnische Risikoanalyse der Standortareale und ergänzende Sicherheitsbetrachtungen

Bei der Prüfung der bautechnischen Eignung fliesst die untertägige Erschliessung des Tiefenlagers ein. Diese ist abhängig vom Standortareal für die Oberflächenanlage (OFA), so dass dieses indirekt auch in die Beurteilungen einfliesst. Wurden mehrere Standortareale für die OFA vorgeschlagen (Nördlich Lägern), hat die Nagra jedes Standortareal mit seiner untertägigen Erschliessung bei der Bewertung für die «bautechnische Eignung» (vgl. Tabelle 1, Seite 12) berücksichtigt.

Die Analyse und ergänzende Sicherheitsbetrachtungen haben ergeben, dass Zugangsbauwerke und Untertageanlagen bautechnisch machbar sind und der sichere Betrieb der Zugangsbauwerke gewährleistet ist.

Geologische Standortgebiete für das SMA-Lager: Vergleichsergebnisse

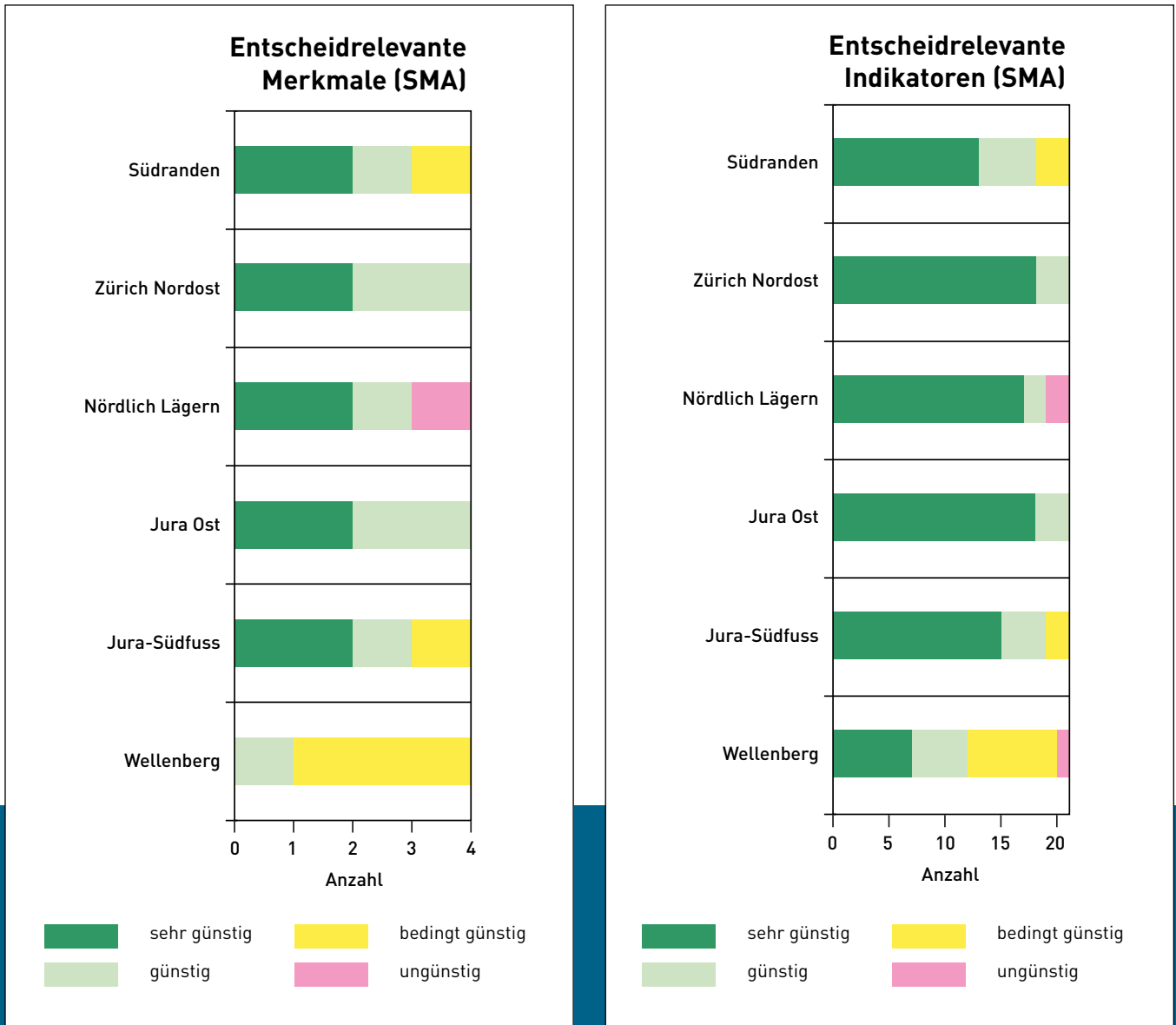


Abbildung 15

Die Nagra schlägt vor, für das SMA-Lager die Standortgebiete Zürich Nordost und Jura Ost für Etappe 3 vertieft zu untersuchen (gemäss NTB 14-01).

HAA Zürich Nordost

Vorschlag: Standortgebiet für Etappe 3 vertieft untersuchen

Standortgebiet Zürich Nordost

Das Standortgebiet liegt im östlichen Tafeljura und wird geografisch durch die Landesgrenzen entlang des Rheins (im Westen und Nordwesten) und geologisch durch die Neuhauser-Störung (im Nordosten) sowie durch die maximale Tiefenlage (im Südosten) begrenzt. Das Wirtgestein Opalinuston weist eine grosse laterale Ausdehnung auf. Die Gesteinsschichten sind sehr ruhig gelagert.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 7,3 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Das Standortgebiet verfügt über ein günstiges Platzangebot im technisch-wissenschaftlich bevorzugten Tiefenbereich. Das Wirtgestein Opalinuston – kombiniert mit mächtigen Rahmengesteinen – weist sehr günstige Barriereigenschaften auf. Zudem ist die geologische Situation hinsichtlich Langzeitstabilität günstig.



Abbildung 16
Das Standortareal (ZNO-6b) für die Oberflächenanlage befindet sich auf dem Gemeindegebiet von Rheinau und Marthalen.

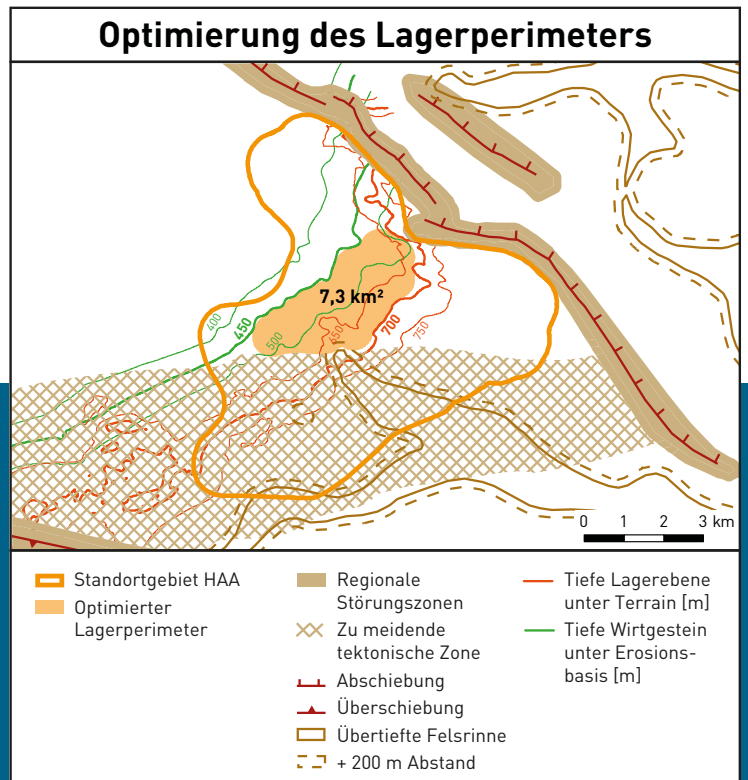


Abbildung 17
In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

Abbildung 18

Das Wirtgestein Opalinuston weist im Standortgebiet eine Mächtigkeit von zirka 110 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Die Rahmengesteine ober- und unterhalb des Opalinustons (Toniger Lias bzw. Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten) tragen zusätzlich signifikant zur Barrierenwirkung bei.

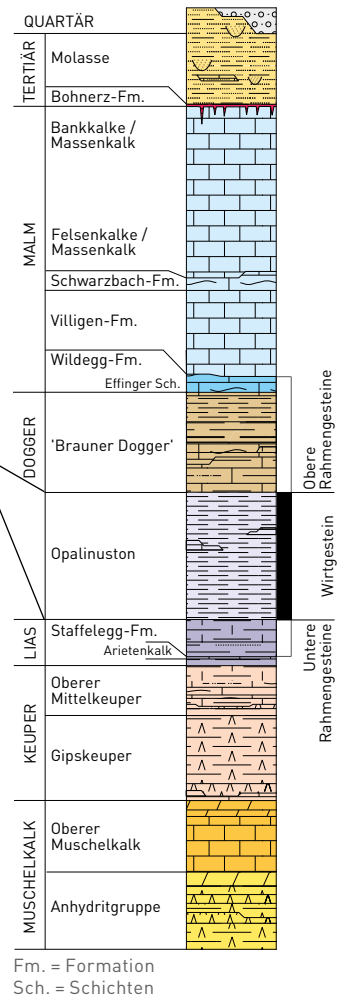
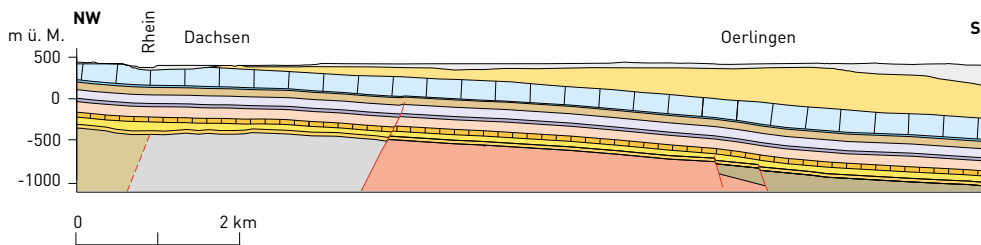


Abbildung 19

Luftbild des Standortgebiets Zürich Nordost: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Nordnordwesten).



Comet
Photoshopping

Abbildung 20

Mögliche Anordnung der HAA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Westen (Bergholz).



maars, Zürich

HAA Nördlich Lägern

Vorschlag: Standortgebiet zurückstellen

Standortgebiet Nördlich Lägern

Das Standortgebiet liegt in der Vorfaltenzone und wird geografisch durch die Landesgrenzen entlang des Rheins und geologisch durch eine regionale Störungszone (im Norden und im Süden) und durch die Tiefenlage des Wirtgesteins (im Süden) begrenzt. Die Gesteine im Lagerperimeter sind weniger ruhig gelagert als jene im Standortgebiet Zürich Nordost.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 4,2 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Im Standortgebiet ist das Platzangebot im technisch-wissenschaftlich bevorzugten Tiefenbereich ungünstig. In grösserer Tiefe ist das Platzangebot zwar etwas grösser, aber dort wäre es bautechnisch schwierig, ein Tiefenlager in der erwünschten Qualität zu bauen. Beim Bau könnte die nur bedingt günstige Tiefenlage zu einer erheblichen Schädigung der geologischen Barrieren führen.

Abbildung 21

Das Standortareal (NL-2) für die Oberflächenanlage liegt östlich von Weiach. Das Standortareal (NL-6) für die Oberflächenanlage befindet sich in der Gemeinde Stadel.

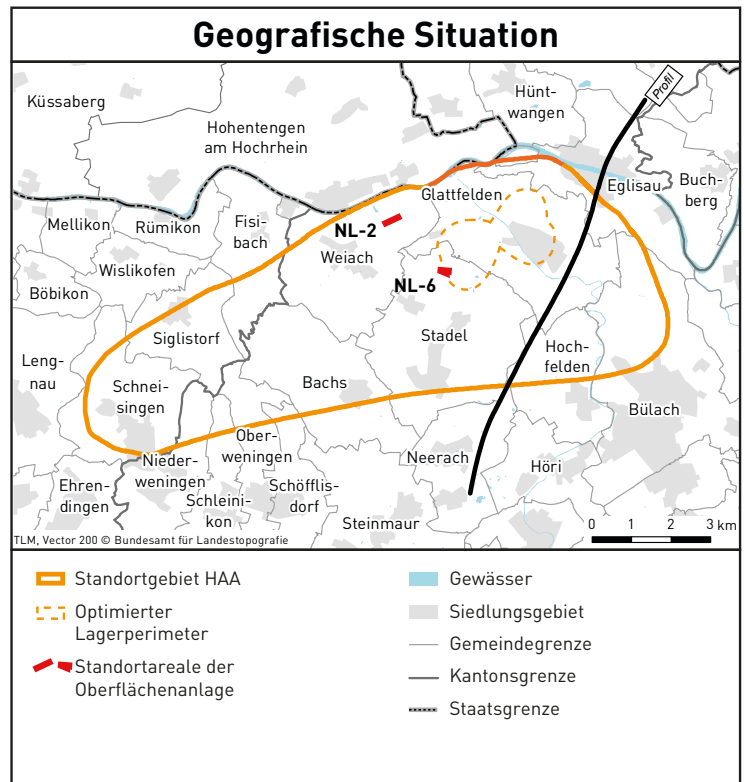


Abbildung 22

In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

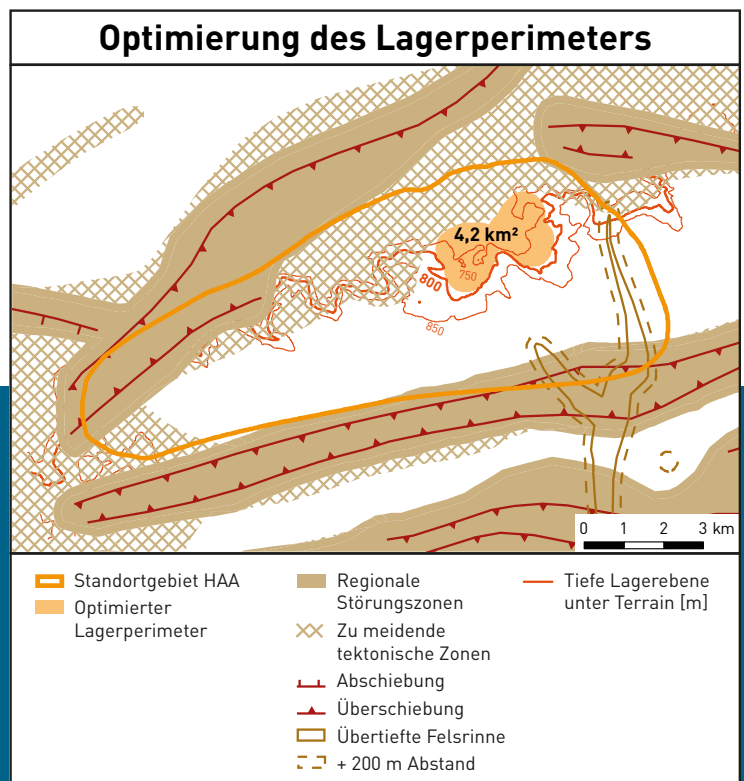
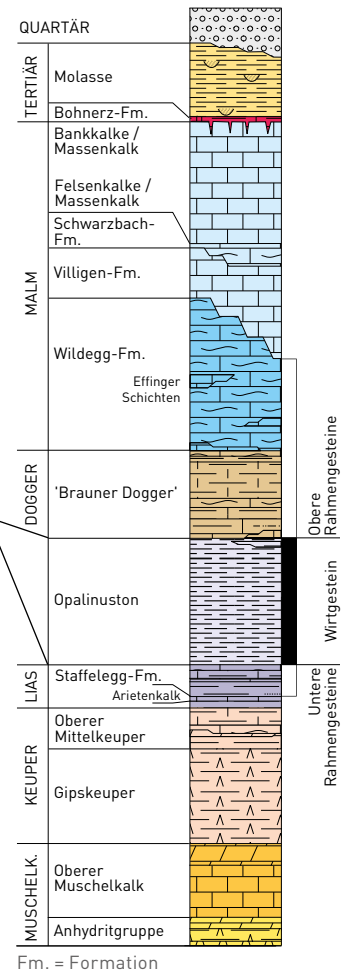
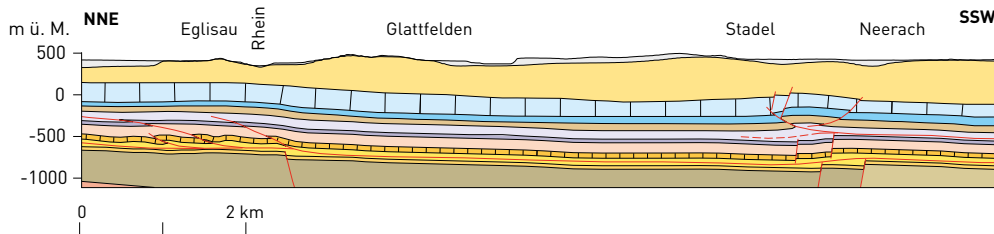


Abbildung 23

Das Wirtgestein Opalinuston weist im Standortgebiet eine Mächtigkeit von zirka 110 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Die Rahmengesteine ober- und unterhalb des Opalinustons (Ton-
gesteinsabfolge 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten beziehungsweise Toniger Lias) tragen zusätzlich signifikant zur Barrierenwirkung bei. Bezüglich der oberen Rahmengesteine gibt es Ungewissheiten, die bei der Bewertung berücksichtigt wurden. Sie haben aber keinen Einfluss auf die Wahl der Standort-
gebiete.



Abbildungen 24

Luftbilder aus dem Standortgebiet Nördlich Lägern: Ausschnitte mit den vorgeschlagenen Standortarealen für die Oberflächen-
anlage (Blickrichtung gegen Osten).



Abbildung 25

Mögliche Anordnung der HAA-Oberflächenanlagen (fotorealistische Darstellung): Standortareal NL-6 von der Zweidlerstrasse aus gesehen (oben) und Standort-
areal NL-2 von der Glattfelderstrasse aus gesehen (unten).



HAA Jura Ost

Vorschlag: Standortgebiet für Etappe 3 vertieft untersuchen

Standortgebiet Jura Ost

Das Standortgebiet liegt in der Vorfaltenzone und wird geologisch durch die Jura-Hauptüberschiebung (im Süden) und durch die Tiefenlage (im Osten, Norden und Westen) begrenzt. Die ruhig gelagerte, leicht nach Südosten einfallende Schichttafel erinnert von der Ausbildung her stark an den wenig gestörten Tafeljura.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 15 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Das Standortgebiet verfügt trotz der beschränkten Tiefenlage des Wirtgesteins über ein günstiges Platzangebot im technisch-wissenschaftlich bevorzugten Tiefenbereich. Das Gebiet weist eine sehr günstige Barrierenwirkung auf. Die Langzeitstabilität ist durch die geologische Situation gegeben.

Abbildung 26
Das Standortareal (JO-3+) für die Oberflächenanlage liegt in der Gemeinde Villigen nahe des Paul Scherrer Instituts (PSI) und des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG).

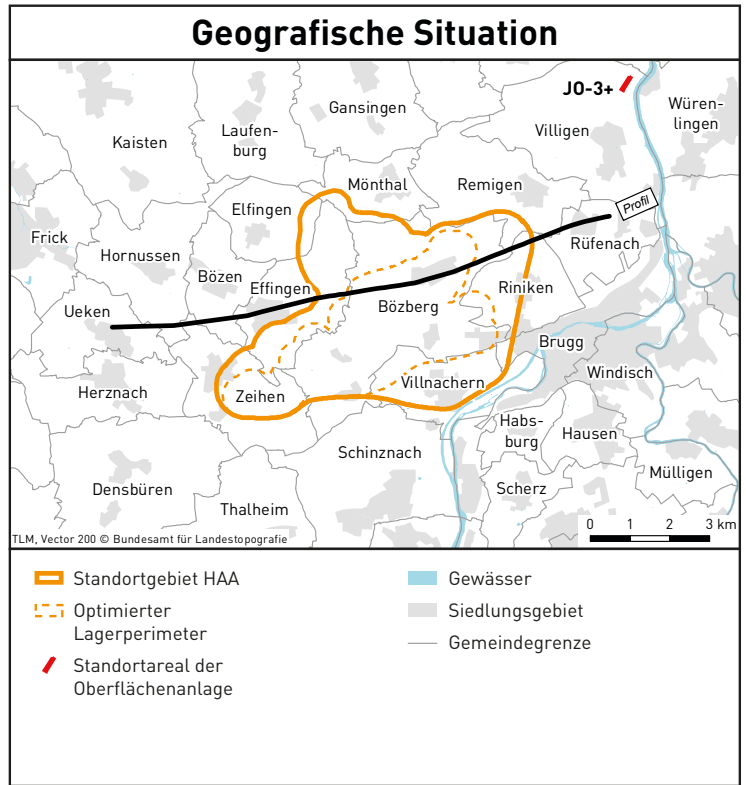


Abbildung 27
In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

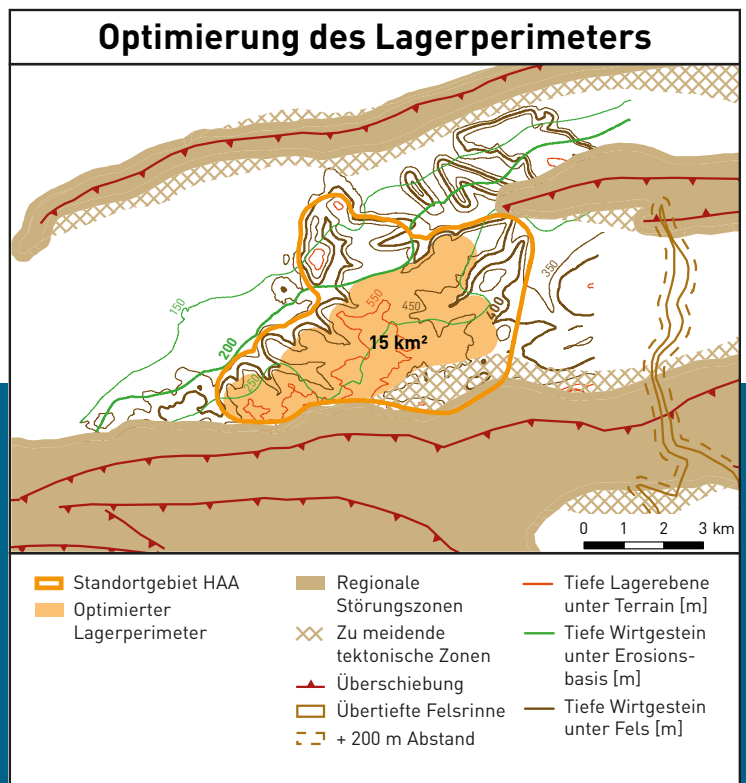


Abbildung 28

Das Wirtgestein Opalinuston weist im Standortgebiet eine Mächtigkeit von zirka 110 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Bezüglich der oberen Rahmengesteine (Passwang-Formation und Untere Acuminata-Schichten) gibt es Ungewissheiten, die bei der Bewertung berücksichtigt wurden. Sie haben aber keinen Einfluss auf die Wahl der Standortgebiete. Die unteren Rahmengesteine (Toniger Lias) sind in ihrer Barrierenwirkung vergleichbar mit denjenigen im Faziesraum Ost.

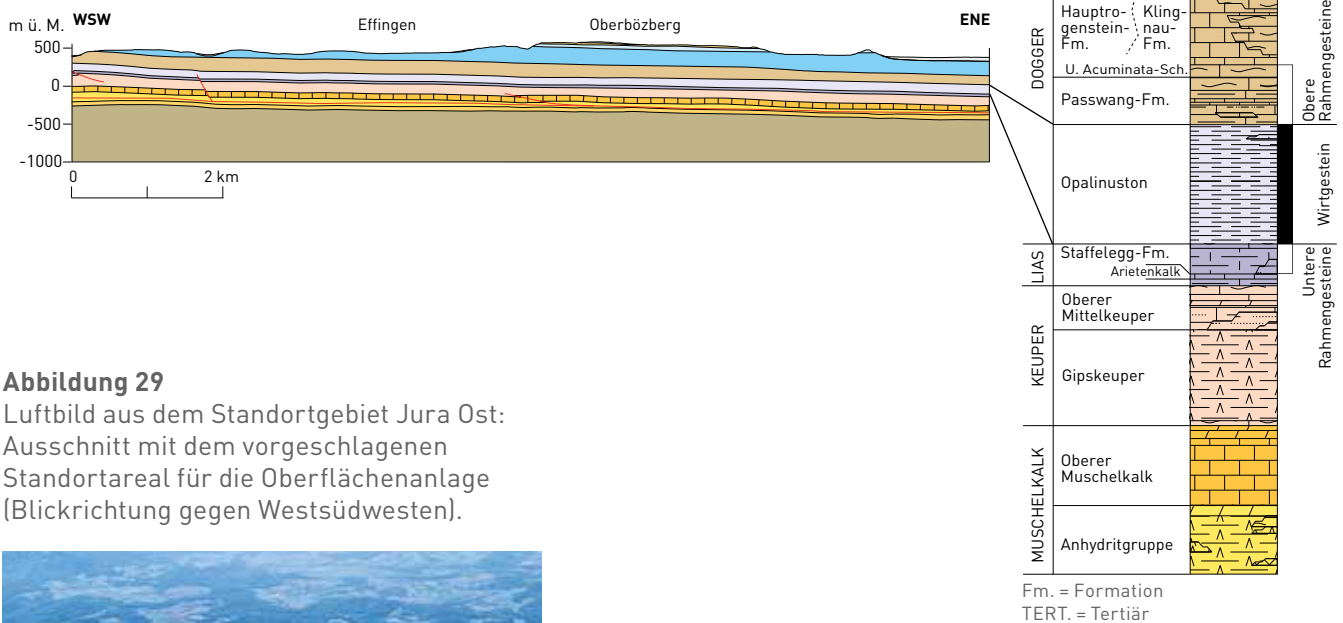


Abbildung 29

Luftbild aus dem Standortgebiet Jura Ost: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Westsüdwesten).



Comet Photoshopping

Abbildung 30

Mögliche Anordnung der HAA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Norden.



maars, Zürich

SMA Südranden

Vorschlag: Standortgebiet zurückstellen

Standortgebiet Südranden

Das Standortgebiet liegt im Tafeljura im Gebiet des Hügels Wannenberg – Lauferberg. Es wird geografisch durch die Klettgaurinne (im Norden), die Landesgrenze (im Süden) sowie geologisch durch die Neuhauser-Störung und durch die Tiefenlage (Nordwesten) begrenzt. Das Wirtgestein weist eine beschränkte laterale Ausdehnung auf. Die Gesteinsschichten sind ruhig gelagert.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 3,7 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Die Langzeitstabilität der geologischen Barriere ist nur bedingt günstig. Die untiefe Lage des Wirtgesteins schützt nur beschränkt vor Erosion. Das Platzangebot im Standortgebiet ist nur knapp günstig, da eine Felsrinne (die durch Seismikuntersuchungen 2011/2012 nachgewiesene Neuhauserwaldrinne) das Gebiet teilt.

Abbildung 31
Das Standortareal (SR-4) für die Oberflächenanlage liegt auf dem Gemeindegebiet von Neuhausen am Rheinfall.



Abbildung 32
In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

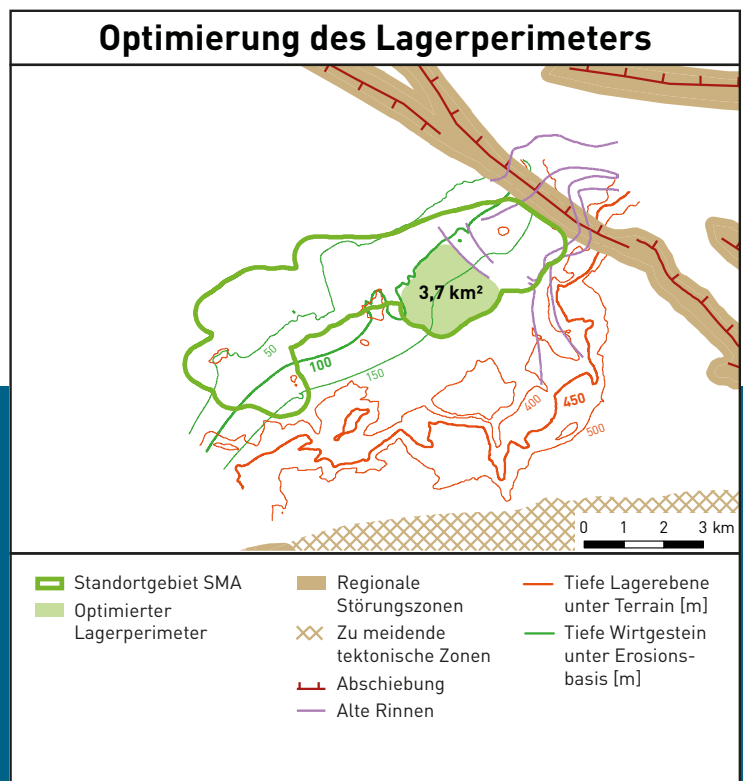


Abbildung 33

Das Wirtgestein Opalinuston weist im Standortgebiet eine Mächtigkeit von zirka 105 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Die unteren Rahmengesteine (Toniger Lias) tragen ebenfalls zur Barrierenwirkung bei. Der 'Braune Dogger' wird nicht als Rahmengestein berücksichtigt, weil er durch Dekompaktionseffekte beeinträchtigt sein kann.

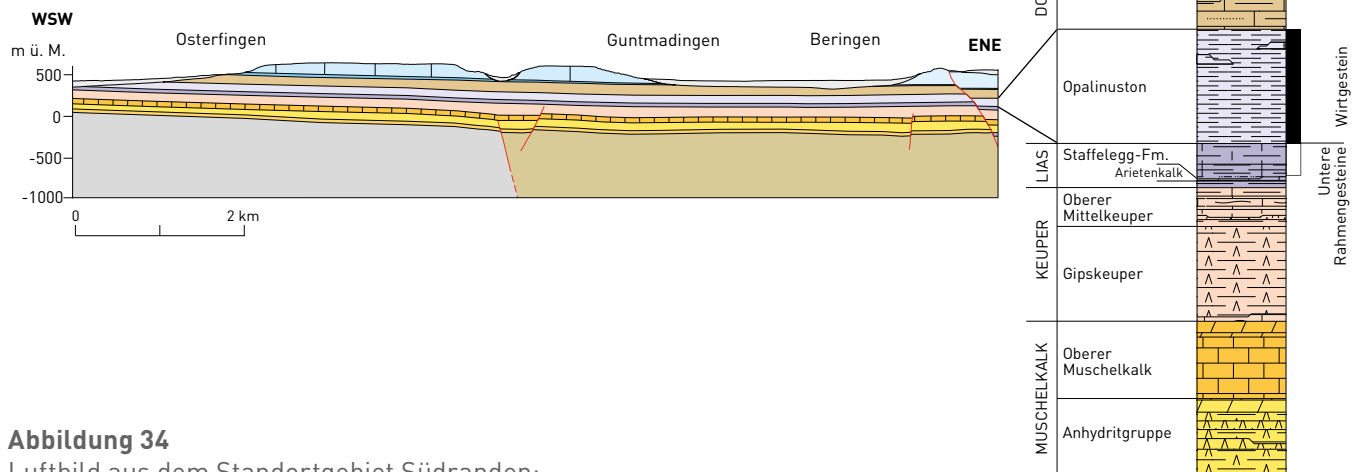


Abbildung 34

Luftbild aus dem Standortgebiet Südranden: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Nordosten).



Comet
Photoshopping

Abbildung 35

Mögliche Anordnung der SMA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Westen.



maaars, Zürich

SMA Zürich Nordost

Vorschlag: Standortgebiet für Etappe 3 vertieft untersuchen

Standortgebiet Zürich Nordost

Das Standortgebiet liegt im östlichen Tafeljura und wird geografisch durch die Landesgrenzen entlang des Rheins (im Westen und Nordwesten) und geologisch durch die Neuhauser-Störung (im Nordosten) sowie durch die maximale Tiefenlage (im Südosten) begrenzt. Das Wirtgestein Opalinuston weist eine grosse laterale Ausdehnung auf. Die Gesteinsschichten sind sehr ruhig gelagert.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 6,5 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Das Standortgebiet verfügt über ein sehr günstiges Platzangebot im technisch-wissenschaftlich bevorzugten Tiefenbereich. Das Wirtgestein Opalinuston kombiniert mit mächtigen Rahmengesteinen verfügt über sehr günstige Barriereigenschaften. Zudem sind Langzeitstabilität und die Tiefenlage bezüglich bautechnischer Machbarkeit günstig.

Abbildung 36

Das Standortareal (ZNO-6b) für die Oberflächenanlage befindet sich auf dem Gemeindegebiet von Rheinau und Marthalen.



Abbildung 37

In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

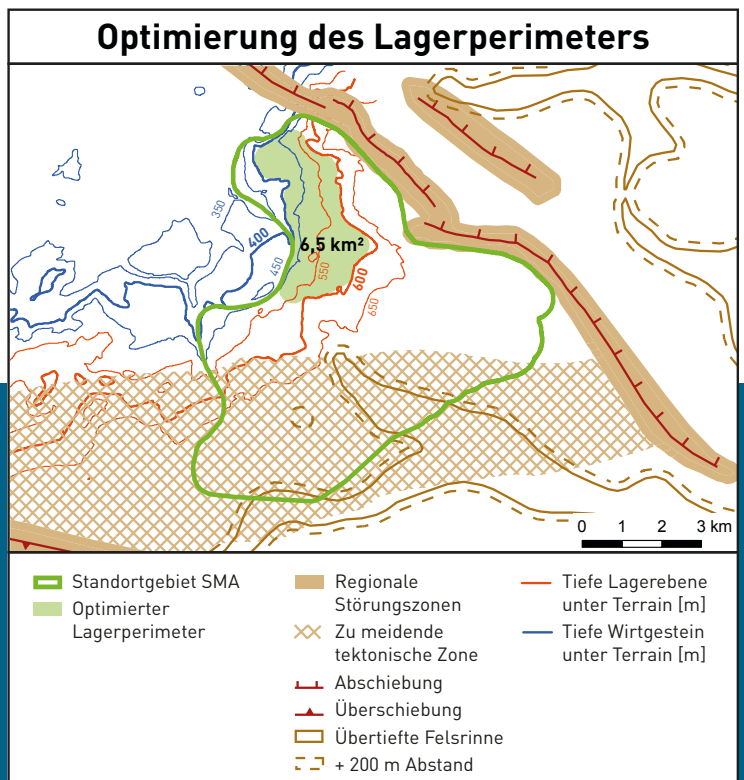


Abbildung 38

Der Opalinuston qualifiziert sich als prioritäres Wirtgestein für das SMA-Lager im Standortgebiet Zürich Nordost (vgl. Seite 22). Das Wirtgestein Opalinuston weist hier eine Mächtigkeit von zirka 110 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Die Rahmengesteine unter- und oberhalb des Opalinustons (Toniger Lias, Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten) tragen zusätzlich signifikant zur Barrierenwirkung bei.

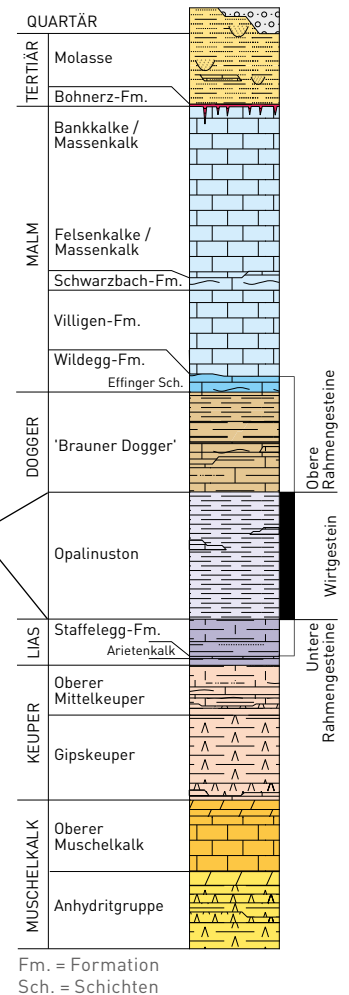
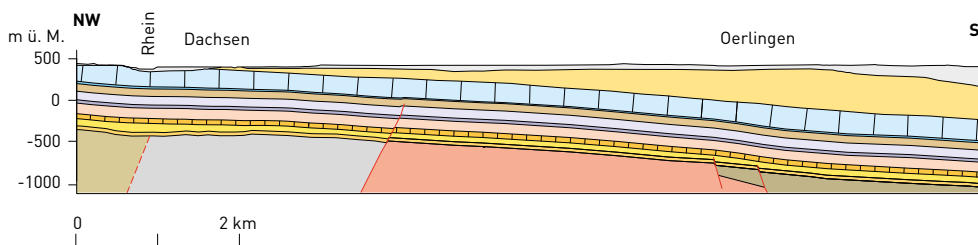


Abbildung 39

Luftbild aus dem Standortgebiet Zürich Nordost: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Norden).



Abbildung 40

Mögliche Anordnung der SMA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Westen.



SMA Nördlich Lägern

Vorschlag: Standortgebiet zurückstellen

Standortgebiet Nördlich Lägern

Das Standortgebiet liegt in der Vorfaltenzone und wird geografisch durch die Landesgrenzen entlang des Rheins und geologisch durch eine regionale Störungszone (im Norden und im Süden) und durch die Tiefenlage des Wirtgesteins (im Süden) begrenzt. Die Gesteine im Lagerperimeter sind weniger ruhig gelagert als jene im Standortgebiet Zürich Nordost.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 1,2 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Im Standortgebiet ist das Platzangebot im technisch-wissenschaftlich bevorzugten Tiefenbereich ungünstig. In grösserer Tiefe ist das Platzangebot zwar etwas grösser, aber dort wäre es bautechnisch schwierig, ein Tiefenlager in der erwünschten Qualität zu bauen. Beim Bau könnte die ungünstige Tiefenlage zu einer erheblichen Schädigung der geologischen Barrieren führen.

Abbildung 41

Das Standortareal (NL-2) für die Oberflächenanlage liegt östlich von Weiach. Das Standortareal (NL-6) für die Oberflächenanlage befindet sich in der Gemeinde Stadel.



Abbildung 42

In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

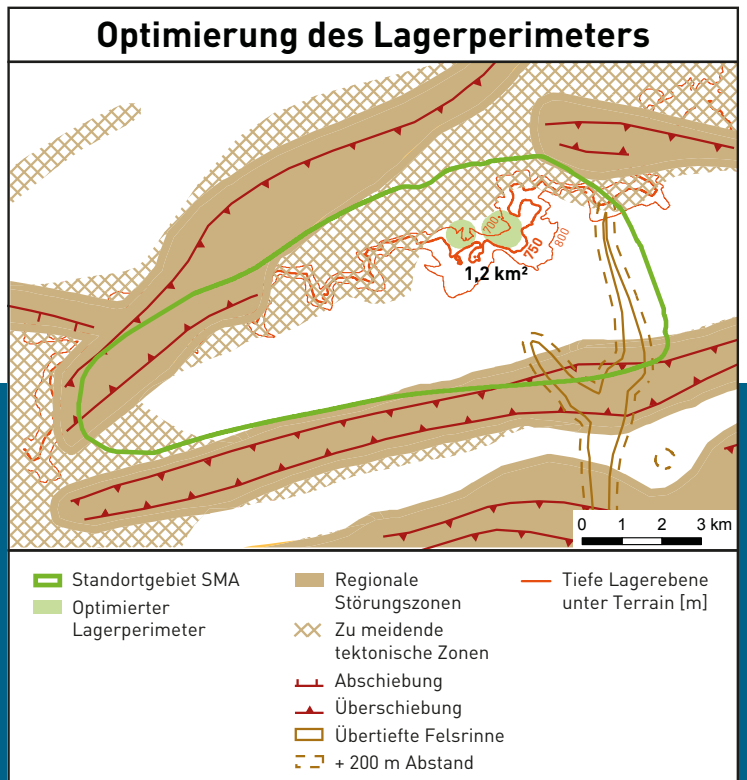


Abbildung 43

Der Opalinuston qualifiziert sich als prioritäres Wirtgestein für das SMA-Lager im Standortgebiet Nördlich Lägern (vgl. Seite 22). Das Wirtgestein Opalinuston weist hier eine Mächtigkeit von zirka 110 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Die Rahmengesteine ober- und unterhalb des Opalinustons (Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten bzw. Toniger Lias) tragen ebenfalls signifikant zur Barrierenwirkung bei. Bezüglich der oberen Rahmengesteine gibt es Ungewissheiten, die bei der Bewertung berücksichtigt wurden. Sie haben aber keinen Einfluss auf die Wahl der Standortgebiete.

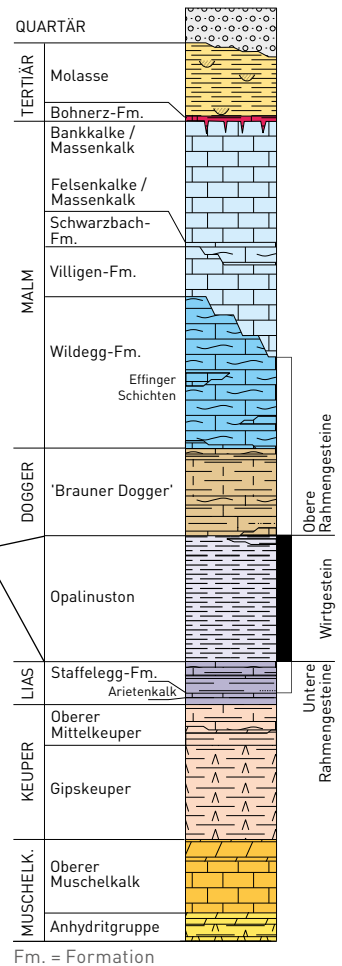
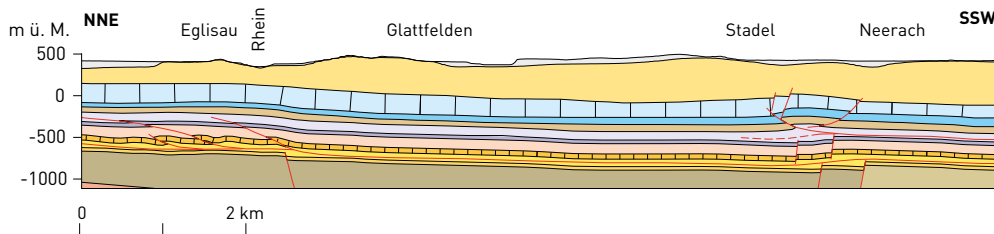


Abbildung 44

Luftbilder aus dem Standortgebiet Nördlich Lägern: Ausschnitte mit den vorgeschlagenen Standortarealen für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Osten).



Abbildung 45

Mögliche Anordnung der SMA-Oberflächenanlagen (fotorealistische Darstellung): Standortareal NL-6 von der Zweidlerstrasse aus gesehen (unten) und Standortareal NL-2 von der Glattfelderstrasse aus gesehen (oben).



SMA Jura Ost

Vorschlag: Standortgebiet für Etappe 3 vertieft untersuchen

Standortgebiet Jura Ost

Das Standortgebiet liegt in der Vorfaltenzone und wird geologisch durch die Jura-Hauptüberschiebung (im Süden), eine regionale Störung (im Norden) und durch die Tiefenlage (im Osten und Westen) begrenzt. Die ruhig gelagerte, leicht nach Südosten einfallende Schichttafel erinnert stark an den wenig gestörten Tafeljura.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 23,4 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Das Standortgebiet verfügt über ein sehr günstiges Platzangebot im technisch-wissenschaftlich bevorzugten Tiefenbereich. Der Opalinuston mit seinen Rahmengesteinen weist eine sehr günstige Barrierenwirkung auf. Zudem sind Langzeitstabilität und die Tiefenlage bezüglich bautechnischer Machbarkeit günstig.

Abbildung 46
Das Standortareal (JO-3+) für die Oberflächenanlage liegt in der Gemeinde Villigen nahe des Paul Scherrer Instituts (PSI) und des zentralen Zwischenlagers (ZWILAG).



Abbildung 47
In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

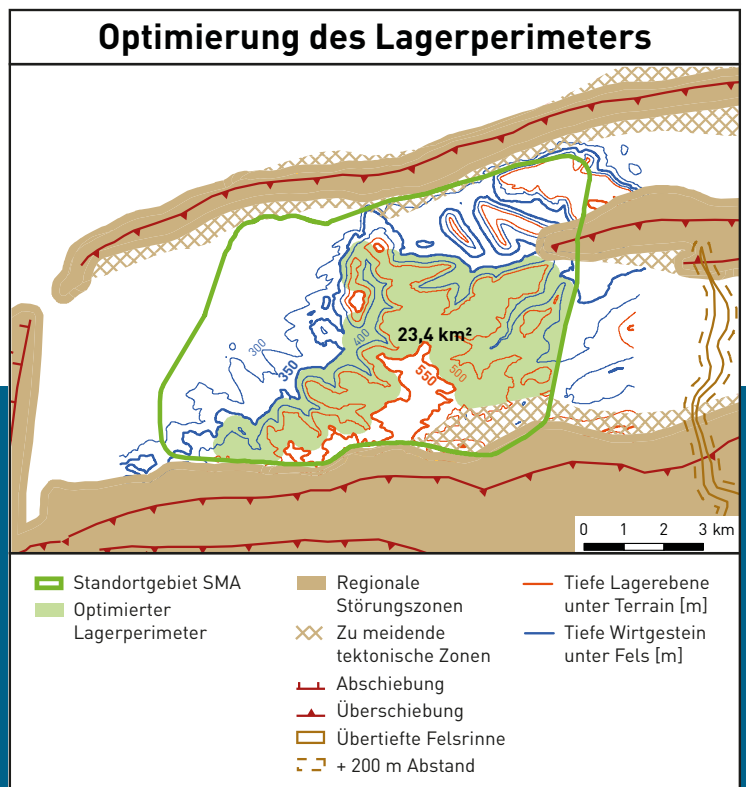


Abbildung 48

Im Standortgebiet Jura Ost kommt nur der Opalinuston als Wirtgestein vor. Das Wirtgestein weist hier eine Mächtigkeit von zirka 110 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Bezüglich der oberen Rahmengesteine (Passwang-Formation und Untere Acuminata-Schichten) gibt es Ungewissheiten, die bei der Bewertung berücksichtigt wurden. Sie haben aber keinen Einfluss auf die Wahl der Standortgebiete. Die unteren Rahmengesteine (Toniger Lias) sind in ihrer Barrierenwirkung vergleichbar mit denjenigen im Faziesraum Ost.

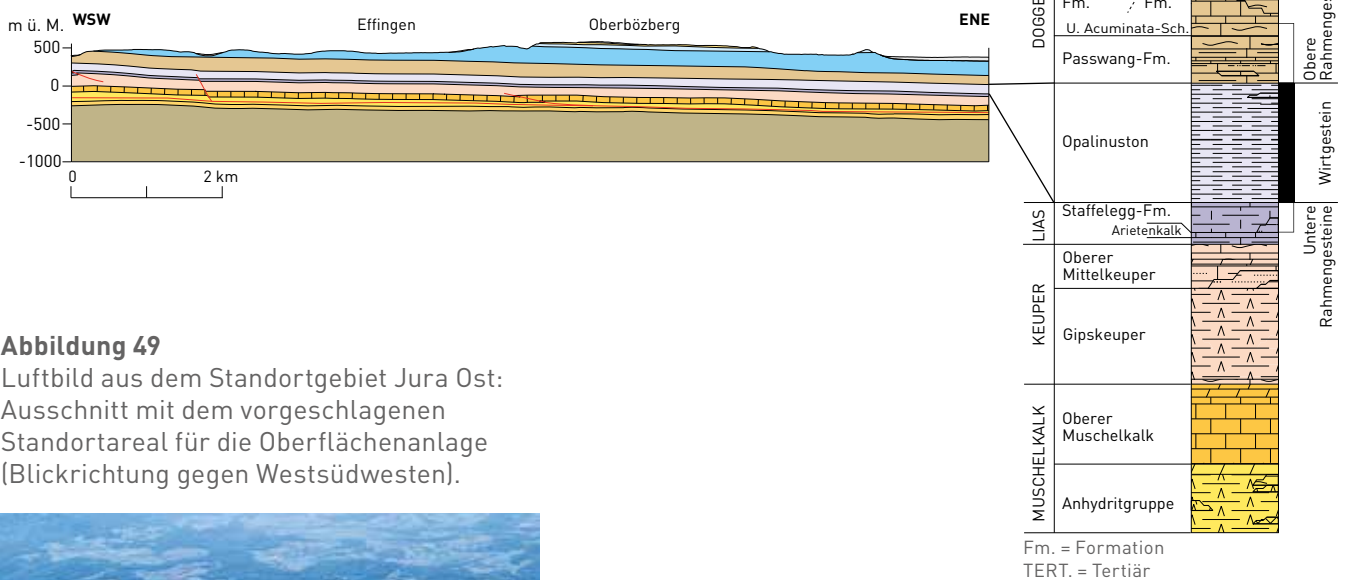


Abbildung 49

Luftbild aus dem Standortgebiet Jura Ost: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Westsüdwesten).



Abbildung 50

Mögliche Anordnung der SMA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Norden.



SMA Jura-Südfuss

Vorschlag: Standortgebiet zurückstellen

Standortgebiet Jura-Südfuss

Das Standortgebiet liegt am Jura-Südfuss beidseits der Aare im Raum östlich von Olten. Aus geologischer Sicht gehört es zur subjurassischen Zone, welche durch die Bildung des Faltenjuras mitgeprägt und teilweise tektonisch stark zergliedert ist. Das Standortgebiet wird geologisch durch regionale Störungszonen (im Nordwesten, Südwesten und Süden) sowie durch die Tiefenlage (im Südosten) begrenzt.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung 12,6 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Das Platzangebot im Standortgebiet ist im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost kleiner, da erhebliche Platzreserven nötig sind, weil die Gesteine tektonisch stärker überprägt sind. Zudem ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich (Opalinuston und Rahmengesteine) nur wenig mächtig und die unteren Rahmengesteine tragen kaum zur Barrierenwirkung bei.

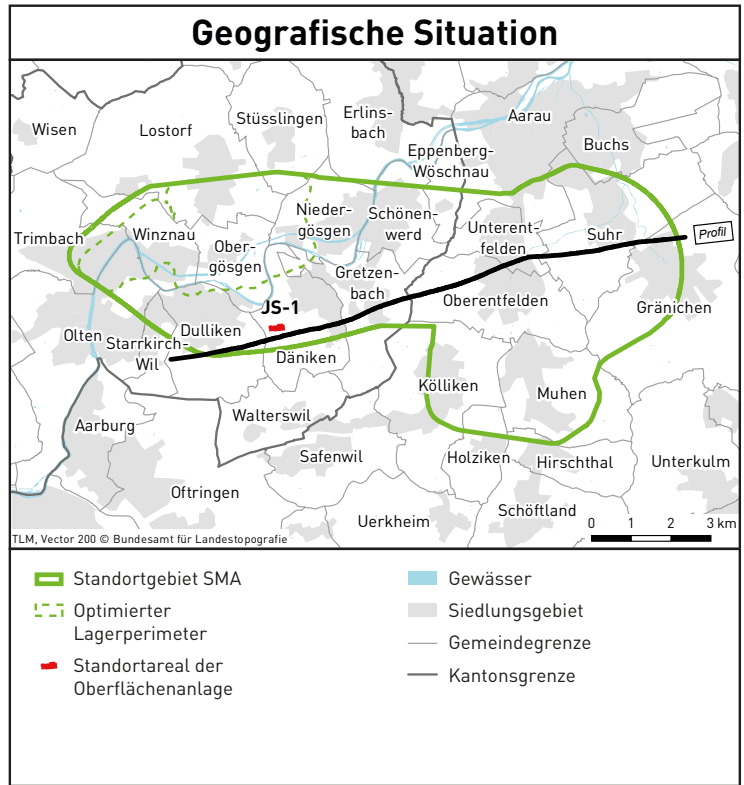
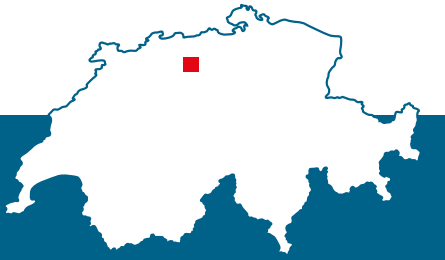


Abbildung 51
Das Standortareal (JS-1) für die Oberflächenanlage liegt in der Gemeinde Däniken.

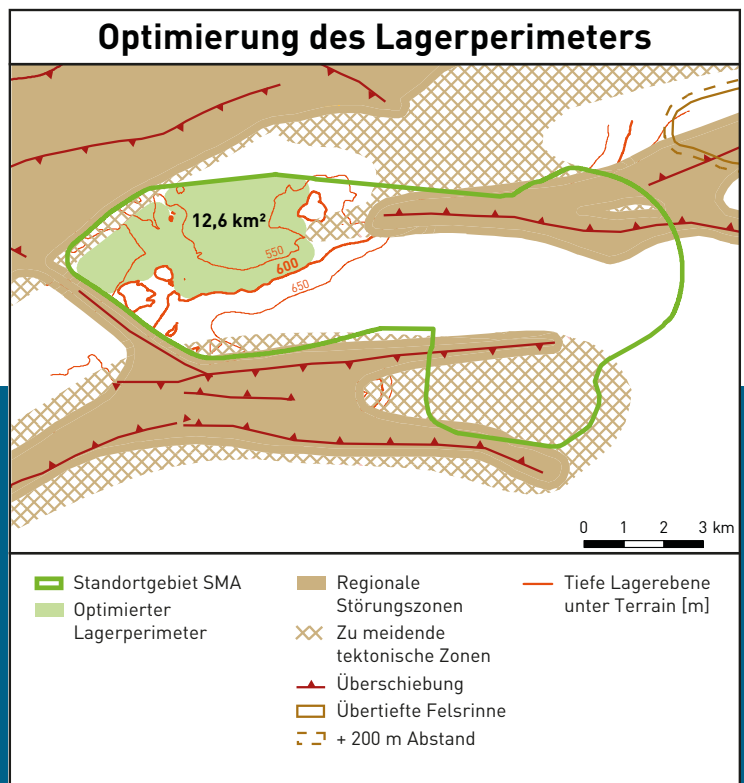


Abbildung 52
In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

Abbildung 53

Der Opalinuston qualifiziert sich als prioritäres Wirtgestein für das SMA-Lager im Standortgebiet Jura-Südfuss (vgl. Seite 22). Er weist hier eine Mächtigkeit von zirka 90 Meter auf und liefert den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Bezüglich der oberen Rahmengesteine (Passwang-Formation und Untere Acuminata-Schichten) gibt es Ungewissheiten, die bei der Bewertung berücksichtigt wurden. Sie haben aber keinen Einfluss auf die Wahl der Standortgebiete. Die unteren Rahmengesteine haben Schichten von teilweise erhöhter Durchlässigkeit; sie tragen kaum zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems bei.

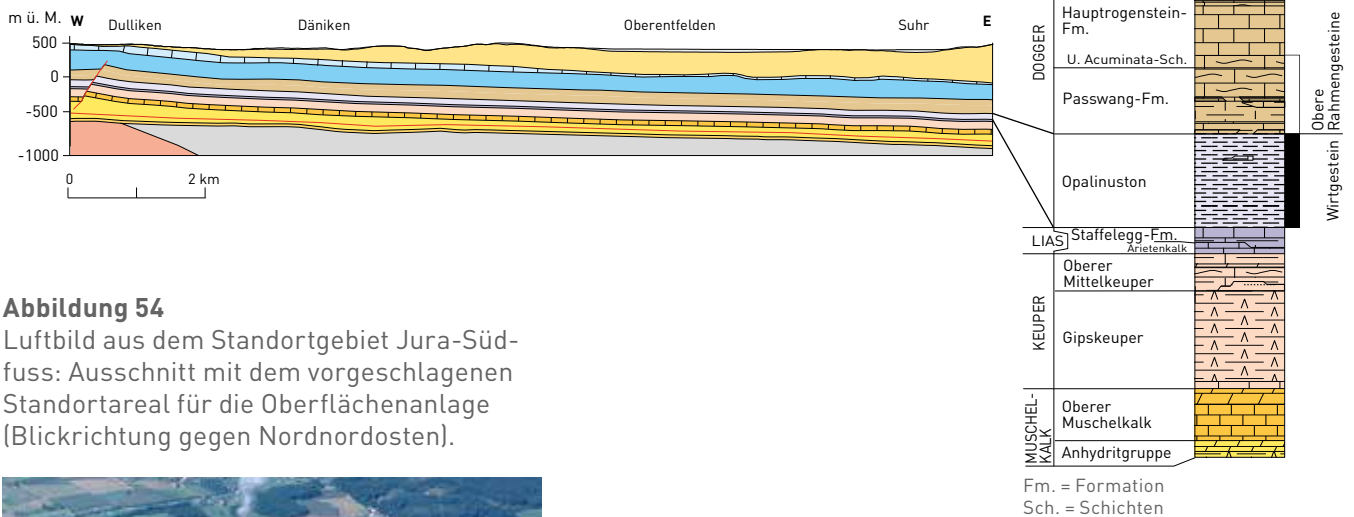


Abbildung 54

Luftbild aus dem Standortgebiet Jura-Südfuss: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Nordnordosten).



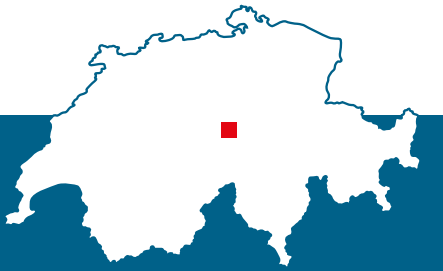
Abbildung 55

Mögliche Anordnung der SMA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Nordosten.



SMA Wellenberg

Vorschlag: Standortgebiet zurückstellen



Standortgebiet Wellenberg

Das Standortgebiet liegt geografisch zwischen dem Engelbergertal (im Talabschnitt Grafenort bis Wolfenschiessen) und dem Secklisbach-Tal (Oberrickenbach). Die Ost- und die Westgrenze werden durch die beschränkte Überdeckung im Bereich des Engelbergertals und des Secklisbach-Tals gebildet, die Nord- und Südgrenze durch Kalke der Drusberg- und der Axen-Decken.

Der Lagerperimeter umfasst nach der Optimierung auf mehreren Lagerebenen zirka 4,5 Quadratkilometer.

Vergleich mit den anderen Standortgebieten

Im Standortgebiet Wellenberg hat das geklüfte Wirtgestein, die Mergel-Formationen des Helvetikums, im Vergleich zum Opalinuston ein beschränktes Selbstabdichtungsvermögen und eine beschränkte Homogenität. Dies führt zu einer weniger guten Barrierenwirkung. Die Bedingungen zur Langzeitstabilität sind durch die Lage in den Alpen auch ungünstiger als in der Nordschweiz. Zudem ist das Gebiet von der Oberfläche aus schwierig explorierbar.

Abbildung 56
Das Standortareal (WLB-1) für die Oberflächenanlage liegt in der Gemeinde Wolfenschiessen an der Talflanke des Engelbergertals.

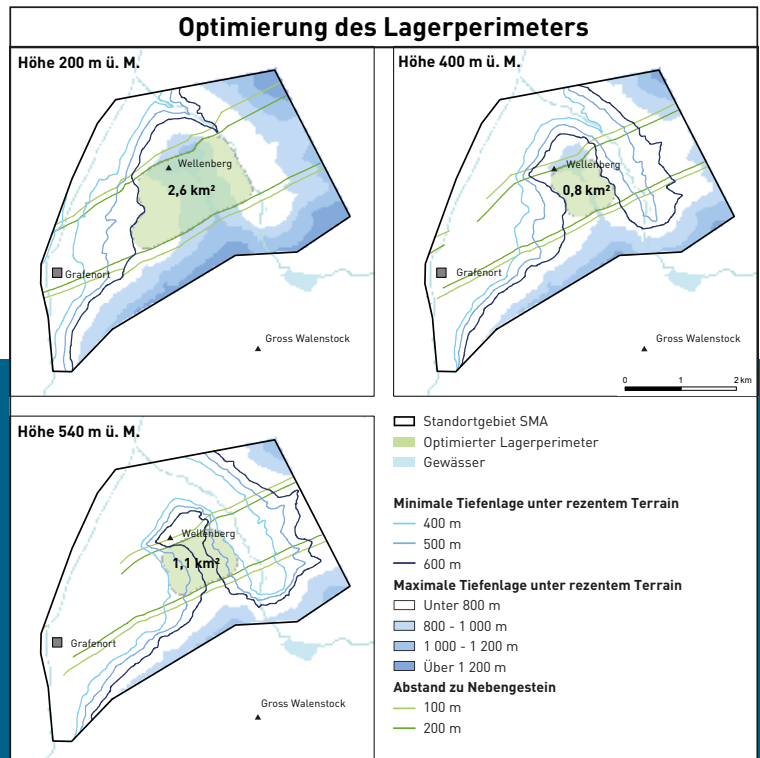
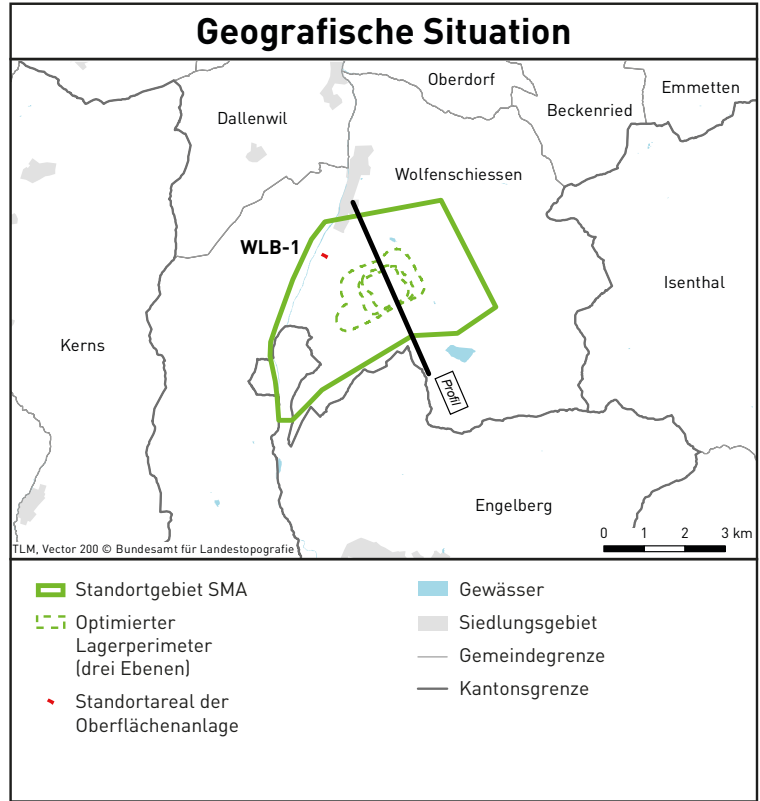


Abbildung 57
In der Abbildung ist der Lagerperimeter nach der Optimierung eingezeichnet. Eine mehrstöckige Anordnung ist möglich (vereinfachte Darstellung gemäss NTB 14-01).

Abbildung 58

Im Standortgebiet Wellenberg kommen nur die Mergel-Formationen des Helvetikums als Wirtgestein vor. Dazu gehören die Palfris-Formation, die Vitznau-Mergel der Drusberg-Decke, die Globigerinenmergel und die Schimberg-Schiefer der Axen-Decke. Diese liegen hier als Akkumulation vor, mit einer Ausdehnung im Kilometerbereich in allen drei Raumrichtungen und liefern den Hauptbeitrag zur Barrierenwirkung des Gesamtsystems. Die angrenzenden Formationen (mehrheitlich Karbonatgesteine) steuern keine nennenswerten Beiträge bei.

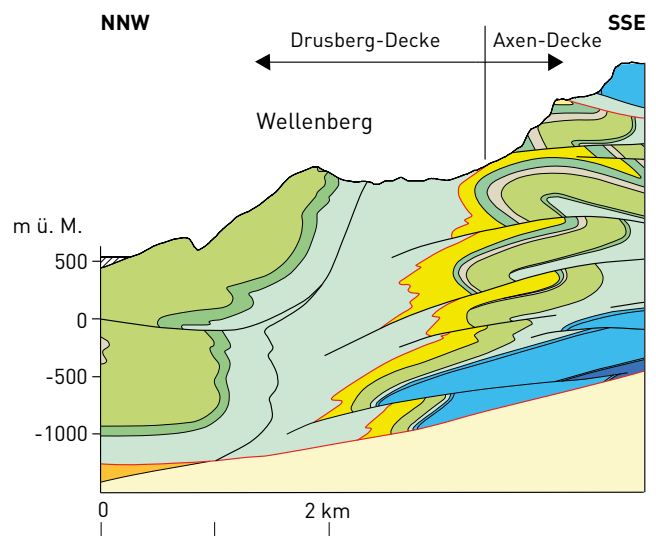
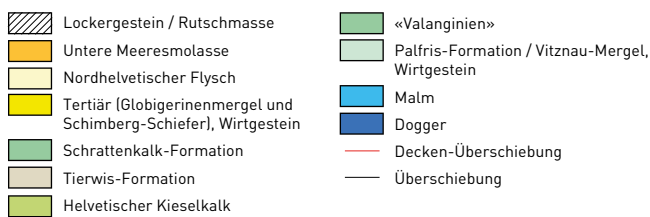


Abbildung 59

Luftbild aus dem Standortgebiet Wellenberg: Ausschnitt mit dem vorgeschlagenen Standortareal für die Oberflächenanlage (Blickrichtung gegen Osten).



Comet
Photoshopping

Abbildung 60

Mögliche Anordnung der SMA-Oberflächenanlage (fotorealistische Darstellung), Blickrichtung gegen Nordosten.



maars, Zürich

Wie weiter – entscheiden

In den nächsten Jahren stehen verschiedene wichtige Aufgaben und Entscheidungen an. Nach einer umfassenden fachtechnischen Prüfung durch die Behörden und ihre Spezialisten folgt eine breite öffentliche Anhörung zu den Vorschlägen der Nagra für die Standortgebiete. Weiter werden für Etappe 3 vertiefte erdwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt.



de Jahre liegen vor uns

Im Dezember 2014 hat die Nagra die Berichte (vgl. Seite 63) mit ihren Vorschlägen zu den Standortgebieten, die für Etappe 3 weiter untersucht werden sollen, beim BFE eingereicht. Anfang 2015 hat das BFE die Berichte veröffentlicht. Das ENSI – unterstützt von der EGT und weiteren Spezialisten – prüft die Berichte nun aus sicherheitstechnischer Sicht und erstellt ein Gutachten dazu.

Die KNS verfasst danach eine Stellungnahme zum ENSI-Gutachten. Weiter beurteilen das ARE die raumplanerischen Aspekte und das BAFU die Umweltaspekte. Seitens der Kantone werden die Arbeitsgruppe Sicherheit der Kantone und die kantonale Expertengruppe Sicherheit die Vorschläge beurteilen.

Breite Anhörung ab 2016 zur Etappe 2

Nach dieser behördlichen Überprüfung können der Ausschuss der Kantone und die Standortregionen Stellung nehmen. Danach findet eine dreimonatige Anhörung zu den Vorschlägen, Gutachten und Stellungnahmen statt: Kantone, betroffene Bundesstellen und Nachbarstaaten, interessierte Organisationen, Parteien und Einzelpersonen können wiederum Stellung nehmen. Die Ergebnisse der Anhörung zu Etappe 2 werden vom BFE in einem Bericht zusammengefasst und veröffentlicht. Der Entscheid des Bundesrats zur Etappe 2 wird im Jahr 2017 erwartet.

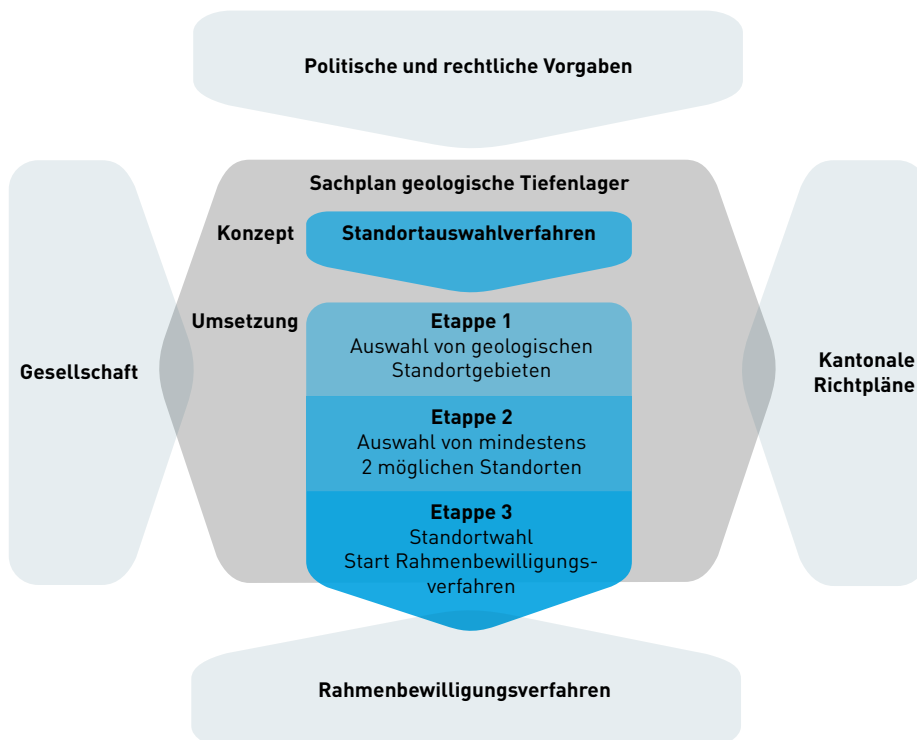


Abbildung 61
Etappen und Abhängigkeiten des Sachplans geologische Tiefenlager (Abb. nach BFE).

Zusätzliche erdwissenschaftliche Untersuchungen für Etappe 3

Die Nagra untersucht die vorgeschlagenen Standortgebiete in den nächsten Jahren vertieft mittels seismischer Messungen und Sondierbohrungen. Die daraus gewonnenen, standortspezifischen geologischen Kenntnisse ermöglichen einen weitergehenden sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete. Danach erfolgt das Ausarbeiten der Rahmenbewilligungsgesuche.

3D-Seismik

Die Nagra führt voraussichtlich ab 2015 seismische Messungen in der Standortregion Jura Ost durch. In der Region Zürich Nordost sind danach ergänzende seismische Messungen zu bereits durchgeführten Untersuchungen vorgesehen, die damals für den Entsorgungsnachweis für das HAA-Lager gemacht wurden. Die Nagra gewinnt damit zusätzliche Kenntnisse über den Untergrund und kann so die Gesteinsschichten und -strukturen vertiefter beurteilen. Mittels 3D-Seismik werden der Untergrund flächendeckend erfasst und die Gesteinsschichten dreidimensional dargestellt.

Was ist Seismik?

Mit seismischen Messmethoden wird der geologische Untergrund mittels künstlich angeregter Schwingungen abgebildet. Erzeugt werden diese von Vibrationsfahrzeugen oder kleinen Sprengladungen (in Bohrlöchern von wenigen Metern Tiefe). Die Wellen breiten sich im Untergrund aus und werden von den verschiedenen Gesteinsschichten reflektiert. An der Erdoberfläche zeichnen spezielle Sensoren (Geofone) die zurückgeworfenen seismischen Wellen auf. Wissenschaftler werten die Daten aus, stellen die geologischen Schichten in Karten dar und erstellen Profilschnitte. Diese geben Aufschluss über Lage und Struktur der Gesteinsschichten im Untergrund, insbesondere über Mächtigkeit und Störungszonen. Moderne Seismikmethoden erlauben auch Aussagen über gewisse Gesteinseigenschaften und können selbst kleine strukturelle Unregelmässigkeiten sichtbar machen.

Im Gegensatz zur 2D-Seismik wird bei der 3D-Seismik nicht nur entlang einzelner Messlinien, sondern flächendeckend gearbeitet (vgl. Abbildung 62). Durch das gleichzeitige Abtasten der Gesteinsschichten bis in grosse Tiefen entsteht ein dreidimensionales Bild des Untergrunds.

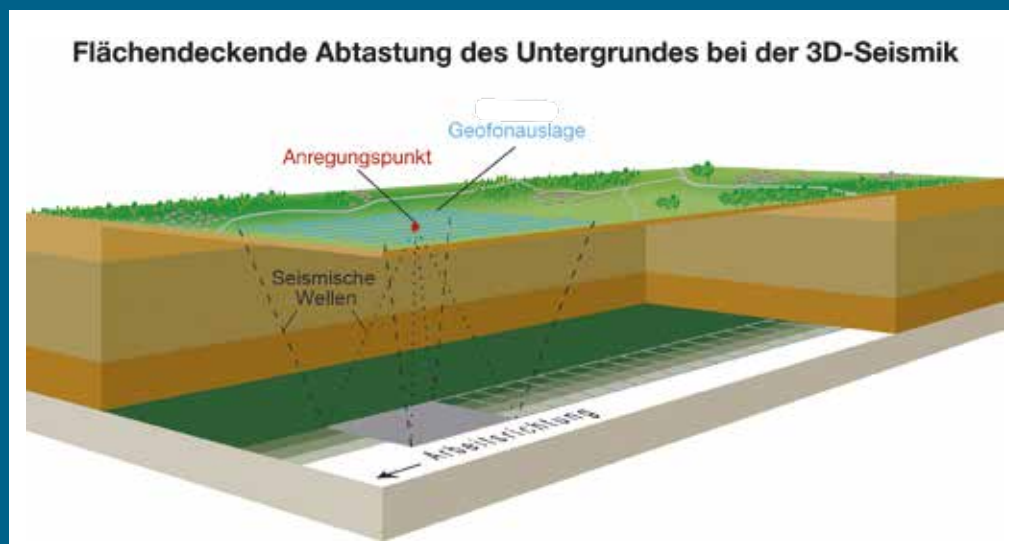


Abbildung 62

Der Untergrund wird bei der 3D-Seismik in sich überdeckenden Flächen-segmenten abgetastet; hier schematisch dargestellt an einer einzelnen Gesteinsschichtgrenze.

Sondierbohrungen

Die zusätzlichen Sondierbohrungen und begleitenden Untersuchungen in Etappe 3 dienen dazu, den Untergrund in den verbliebenen Gebieten weiter zu erkunden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fliessen in die Standortwahl in Etappe 3 ein. Die Nagra benötigt vertiefte Informationen über die Gesteinsschichten im Bereich der möglichen Lagerperimeter. Weiter wird sie eine mögliche Linienführung für die Zugangsbauwerke (Schacht, Rampe oder Kombination von beidem) untertag planen. Sondierbohrungen der Nagra benötigen gemäss Kernenergiegesetz eine Bewilligung des UVEK. Die Nagra wird entsprechende Gesuche voraussichtlich ab 2015 einreichen. Die Bundesbehörden prüfen die Gesuche dann in Zusammenarbeit mit den betroffenen Kantonen und Gemeinden. Die ersten Bohrplätze werden nach dem Bundesratsentscheid voraussichtlich ab 2017 eingerichtet und die Bohrungen beginnen darauffolgend.

Was sind Sondierbohrungen?

Sondierbohrungen erlauben einen direkten Einblick in den geologischen Untergrund und dessen Aufbau. Es gibt zwei verbreitete Bohrverfahren: Bei Meisselbohrungen wird das Gestein unten im Bohrloch zerkleinert. Man pumpt eine Flüssigkeit durchs Bohrgestänge, welche Gesteinstücke (Bohrklein) an die Erdoberfläche spült. Bei den aufwändigeren Kernbohrungen zermahlen Hohlkronen nur das Gestein am Rande des Bohrlochs. In der Mitte der Bohrkronen bleibt ein so genannter Bohrkern stehen. Der Bohrkern wird gelöst und an die Erdoberfläche hochgezogen, wo das Gestein genau untersucht werden kann. Ergänzend dazu werden verschiedene Bohrlochmessungen, so genannte Logs, sowie weitere hydrogeologische und felsmechanische Tests ausgeführt.

Bohrungen erlauben präzise Aussagen über den Aufbau und die Eigenschaften der durchfahrenen Gesteinsschichten. Mit 3D-Seismik werden die geometrischen Verhältnisse bestimmt. Bohrungen und 3D-Seismik ergänzen sich somit optimal.



TimeLine Film

Abbildung 63
Geothermiebohrung in
Schlattingen (2011).

Ausreichend Platz für ein Kombilager

In den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost besteht auch für ein Kombilager ein ausreichendes Platzangebot in geeigneter Tiefenlage. Die entsprechenden Lagerperimeter sind so beschaffen, dass die Lagerkammern für das HAA- und das SMA-Teillager räumlich getrennt angeordnet werden können.

Der Weg zur Rahmenbewilligung

Gestützt auf die erdwissenschaftlichen Untersuchungen und weitere Projektarbeiten gibt die Nagra gegen 2020 bekannt, für welche Standortgebiete sie Rahmenbewilligungsgesuche für ein HAA- und ein SMA-Lager oder ein Kombilager ausarbeiten wird (vgl. Abbildung 64). Für die weitere Konkretisierung ist wiederum die Zusammenarbeit mit den Standortkantonen, Regionen und Gemeinden vorgesehen. Danach reicht die Nagra die Rahmenbewilligungsgesuche voraussichtlich 2022 ein. Es folgt wieder die behördliche Prüfung, eine breite öffentliche Anhörung und der Bundesratsentscheid, der zirka 2027 erwartet wird. Das Parlament muss die-

sen Entscheid genehmigen. Der Parlamentsentscheid wiederum untersteht dem fakultativen Referendum. Sofern dieses ergriffen wird, entscheidet das Schweizer Stimmvolk etwa 2029 über die Standorte für geologische Tiefenlager.

Gemeinsam zum Ziel

Priorität bei der Standortwahl der Tiefenlager hat die Sicherheit. Transparenz wird im Auswahlverfahren gross geschrieben; auch sollen die regionalen Bedürfnisse möglichst berücksichtigt werden. In Etappe 3 werden deshalb die regionale Partizipation und damit die enge Zusammenarbeit mit den verbleibenden Standortregionen weitergeführt. Dabei wird die Infrastruktur an der Erdoberfläche im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuch weiter konkretisiert. Es geht unter anderem um die Platzierung der Schachtkopfanlagen oder um die Festlegung der Standorte der Baustelleninstallation.

Zuerst im Felslabor Bedingungen prüfen

Ist die Rahmenbewilligung erteilt, werden ein Felslabor (für jedes Lager) und die nötigen Zugangs-

bauwerke wie Schächte oder Zugangstunnel gebaut. An der Oberfläche werden dazu erste Anlagen erstellt. Im Felslabor werden vertiefende Untersuchungen durchgeführt, um die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins am Standort nochmals zu überprüfen und um sicherheitsrelevante Techniken und die Anlagenauslegung zu optimieren. Die Rückholung von Abfallbinden wird vor Ort demonstriert. Nachdem die Untersuchungsergebnisse vorliegen, kann die Nagra das Gesuch für die nukleare Baubewilligung einreichen.

Tiefenlager kommt danach

Ist die Bewilligung erteilt, wird das eigentliche Tiefenlager gebaut. Dazu werden an der Oberfläche zusätzliche Gebäude und weitere Anlagen untertag erstellt. Anschliessend folgt das nukleare Betriebsbewilligungsverfahren. Liegt die Bewilligung vor, kann mit der Einlagerung der Abfälle begonnen werden. Dabei wird zuerst das Pilotlager mit einer repräsentativen Auswahl an Abfällen beschickt und seine Langzeitüberwachung aufgenommen. Danach erfolgt die Einlagerung ins Hauptlager.

Nach Abschluss der Einlagerung und dem Verschluss aller Lagerkammern beginnt die Beobachtungsphase. Wie lange die Beobachtungsphase dauert, ist noch nicht festgelegt. Sie hängt vom Entscheid künftiger Generationen ab. Der Bundesrat ordnet den Verschluss des Tiefenlagers an, nachdem er sich überzeugt hat, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist. Das Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle geht voraussichtlich etwa 2050 und jenes für hochaktive Abfälle etwa 2060 in Betrieb.

Aufgabe für die ganze Gesellschaft

Die Schweiz hat radioaktive Abfälle, die aus den Kernkraftwerken sowie aus Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung stammen. Die sichere Entsorgung der Abfälle darf nicht einfach unseren Nachkommen überlassen werden. Deshalb müssen geologische Tiefenlager zeitgerecht bereitgestellt werden. Dafür tragen wir gemeinsam Verantwortung.

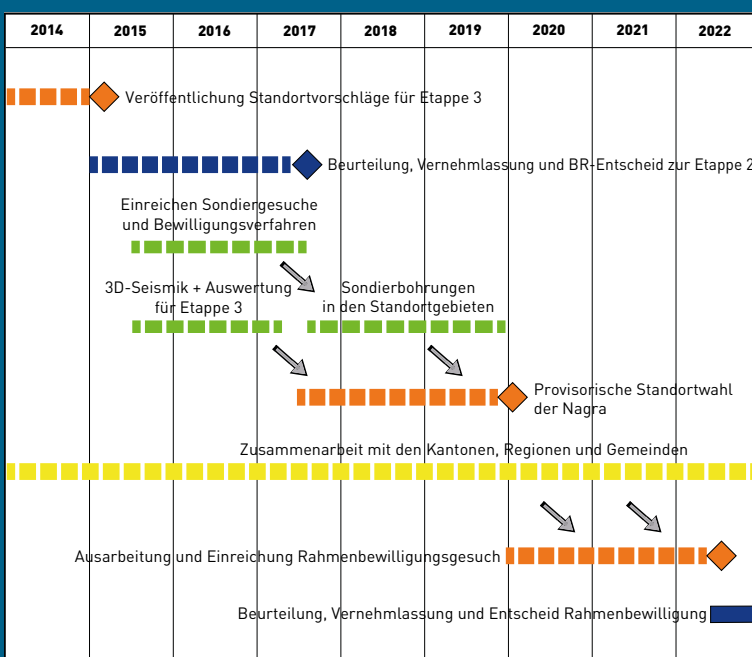


Abbildung 64
Zeitplan, bis die Nagra die Rahmenbewilligungsgesuche für geologische Tiefenlager in der Schweiz einreicht.

Glossar

Auflockerungszone

Beim Bau eines Tiefenlagers bildet sich – wie bei jedem Untertagebauwerk – um die ausgebrochenen Hohlräume herum eine so genannte Auflockerungszone, die von Rissen durchsetzt sein kann. Dort ist möglicherweise die Wasserdurchlässigkeit erhöht. In Gesteinen mit hohem Selbstabdichtungsvermögen wird die Durchlässigkeit nach der Verfüllung des Lagers stark reduziert.

Bautechnische Risikoanalyse

In der bautechnischen Risikoanalyse werden die geologischen Risiken der Zugangsbauwerke bei Bau und Betrieb eines Tiefenlagers ausgewiesen. In der Analyse wird aufgezeigt, ob diese Risiken beherrschbar und welche Massnahmen dazu nötig sind.

Bentonit

Bentonit entsteht aus der Verwitterung vulkanischer Asche und enthält vor allem Tonminerale. Die quellfähigen Tonmineralien führen bei Was-

serzutritt zum Aufquellen des Bentonits. Dieser wird zum Verfüllen und Versiegeln von Teilen eines Tiefenlagers verwendet.

Dekompaktion

Die Auflast durch darüberliegende Gesteinsschichten presst das darunterliegende Gestein zusammen. Wenn Gesteinsschichten durch Erosion abgetragen werden, kann die damit einhergehende Entlastung (Dekompaktion) der Gesteine im oberflächennahen Bereich die Wasserdurchlässigkeit erhöhen.

Dosiskurve, Dosisintervall

Eine Dosiskurve stellt den zeitlichen Verlauf der berechneten Dosis an der Erdoberfläche für aus dem Tiefenlager freigesetzte Radionuklide dar. Dosiskurven werden für ein definiertes Abfallinventar für einen realistischerweise zu erwartenden Referenzfall und für ungünstige Fälle berechnet. Als Dosisintervall wird der Abstand zwischen den Maxima der Kurven für diese Fälle bezeichnet. (vgl. Seite 19).

Erosions- bzw. Felsrinne

Bei der Erosion durch fließendes Wasser oder am Rand von Gletschern können Täler oder Einschnitte entstehen, die als Erosionsrinnen oder Felsrinnen bezeichnet werden. Der Einfluss solch tiefer Erosionsrinnen wird bei der Standortwahl eines geologischen Tiefenlagers berücksichtigt.

Faziesraum Ost

Die östlicher gelegenen Standortgebiete

Freisetzungspfade

Dies sind unter anderem verbundene Porenräume, Klüfte oder Störungszonen, die den Transport von Radionukliden durch das Wirt- beziehungsweise Rahmengestein ermöglichen können.

Geologische Barriere

Das Wirtgestein Opalinuston trägt als geologische Barriere zusammen mit den Rahmengesteinen im Umfeld des Tiefenlagers passiv zum Einschluss der radioaktiven Stoffe bei (vgl. Abbildung 65).

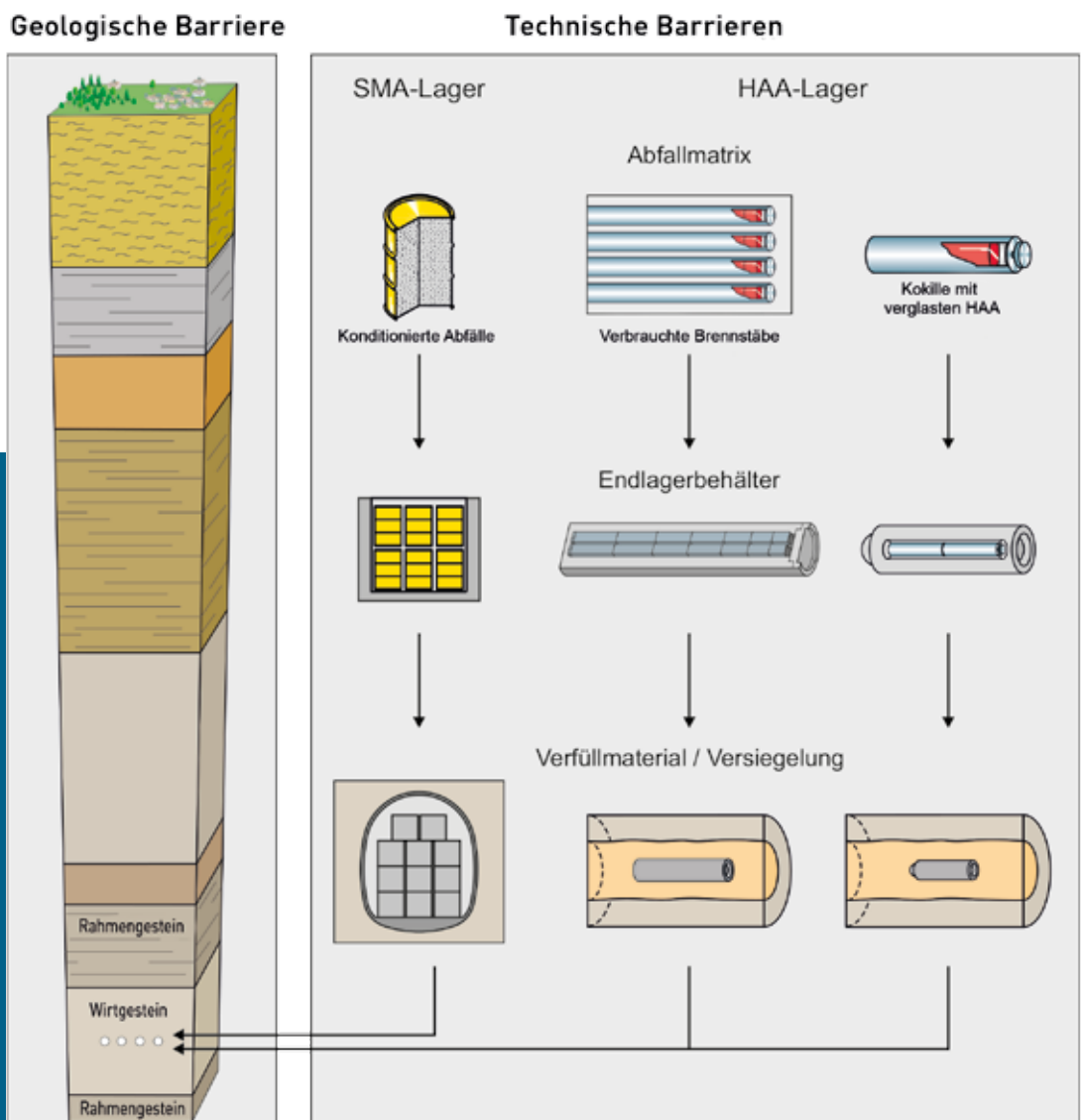


Abbildung 65

Gestaffelte Sicherheitsbarrieren schliessen bei einem geologischen Tiefenlager die radioaktiven Stoffe sicher ein und verhindern weitestgehend deren Freisetzung in den menschlichen Lebensraum. Eine entscheidende Rolle spielt die geologische Barriere.

Geologisches Standortgebiet

Die geologischen Standortgebiete werden durch die für die Lagerung der radioaktiven Abfälle geeigneten geologischen Gesteinskörper im Untergrund definiert.

Geologisches Tiefenlager

Zu einem geologischen Tiefenlager gehören sowohl die Oberflächenanlage als auch die in mehreren hundert Metern Tiefe im Wirtgestein liegende Anlage, in welcher die radioaktiven Abfälle in Stollen oder Kavernen mit Hilfe passiver Sicherheitsbarrieren dauerhaft von Mensch und Umwelt isoliert werden.

Hydraulische Durchlässigkeit, Transmissivität

Die hydraulische Durchlässigkeit und die Transmissivität sind ein Maß für den möglichen Wasserfluss und bestimmt den wassergebundenen Stofftransport im betreffenden Gestein beziehungsweise in einer Störung.

Kombilager

Ein Kombilager enthält Stollen für hochaktive und Kavernen für schwach- und mittelaktive Abfälle. Die unterirdischen Lagerteile werden von einem einzigen Standortareal für die Oberflächenanlage erschlossen und betrieben.

Lagerperimeter (optimiert)

Der untertägige Lagerperimeter umfasst denjenigen Wirtgesteinsbereich im Untergrund eines geologischen Standortgebiets, der unter Sicherheitsaspekten am besten für die Aufnahme des geologischen Tiefenlagers geeignet ist.

Langzeitstabilität der geologischen Barriere

Für einen dauerhaften Einschluss der radioaktiven Abfälle muss die geologische Barriere eines Tiefenlagers über lange Zeit beständig sein. Um dies zu erreichen, müssen bestimmte Gesteinseigenschaften (z.B. Verkarstung) erfüllt und Langzeitveränderungen günstig und prognostizierbar sein.

Mächtigkeit

Die senkrecht zu den Schichtflächen gemessene Dicke einer Gesteinsschicht wird auch als Mächtigkeit bezeichnet.

Oberflächenanlage

Bei der Oberflächenanlage liegt der Zugang zum Tiefenlager. Sie umfasst auch die Anlagen, welche der Anlieferung, Verpackung und Handhabung der Abfallgebinde dienen sowie weitere Gebäude.

Planungssperimeter

Planungssperimeter bezeichnen für jedes potenzielle Standortgebiet den Raum, innerhalb dessen die Oberflächenanlage stehen könnte, die für den Betrieb des Tiefenlagers nötig ist.

Sachplan geologische Tiefenlager

Die Standortsuche für geologische Tiefenlager wird im Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) des Bundes geregelt und basiert auf einer sicherheitsgerichteten, schrittweisen Einengung in drei Etappen.

Sicherheitsanalyse

Die Sicherheitsanalyse ist eine systematische Untersuchung mit dem Ziel, die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen zu analysieren. Diese sind gesetzlich vorgegeben.

Technische Barrieren

Technische Komponenten wie zum Beispiel die Abfallmatrix, Behälter und die Stollenverfüllung mit Bentonit-Granulat tragen als technische Barrieren passiv zur Rückhaltung der radioaktiven Stoffe bei (vgl. Abbildung 65, Seite 59).

Tiefenlage

Die Tiefenlage eines geologischen Tiefenlagers sorgt für eine räumliche Trennung der Abfälle vom Lebensraum des Menschen. Die Lagerebene muss genug tief sein, damit Erosionsprozesse das Lager nicht freilegen, darf aber wegen der bautechnischen Machbarkeit nicht zu tief liegen.

Wirtgestein, Rahmengesteine, einschlusswirksamer Gebirgsbereich

Das Wirtgestein nimmt die Lagerkammern des geologischen Tiefenlagers auf und trägt massgeblich zur Radionuklidrückhaltung bei. Ober- und unterhalb des Wirtgesteins können gering durchlässige Rahmengesteine liegen. Jene Gesteinschichten, die zum Einschluss der radioaktiven Stoffe beitragen (Wirtgestein und Rahmengesteine), werden als «einschlusswirksamer Gebirgsbereich» bezeichnet.

Zugangsbauwerk

Die untertägige Anlage des geologischen Tiefenlagers wird über Zugangsbauwerke erschlossen wobei Schächte, Zugangstunnel (Rampe) oder Kombinationen von beiden in Frage kommen.

Zurückstellen von Standortgebieten

Standortgebiete, die sich beim sicherheitstechnischen Vergleich als eindeutig weniger geeignet als andere erweisen oder das Schutzkriterium nicht erfüllen, werden in Etappe 2 des Sachplanverfahrens zurückgestellt und nicht weiter in Etappe 3 untersucht.

Berichte und Unterlagen zum Thema

Nagra Technische Berichte (NTB)

Die Nagra beschreibt den sicherheitstechnischen Vergleich detailliert in einem technischen Bericht (NTB 14-01). Weitere Berichte (NTB-14-02, 14-03, 14-04) behandeln die geologischen Grundlagen, die charakteristischen Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme sowie das modellhafte Inventar für radioaktive Materialien. Darüber hinaus umfasst die Berichterstattung zu Etappe 2 zahlreiche weitere Berichte. Die verfügbaren Dokumente können kostenlos von der Website der Nagra heruntergeladen oder zum Selbstkostenpreis bestellt werden.

Weiterführende Informationen zu den Vorgaben von Bund und ENSI:

ENSI: «Herleitung, Beschreibung und Anwendung der sicherheitstechnischen Kriterien für die Standortevaluation», November 2007.

BFE: «Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil», April 2008.

ENSI: «Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich (SGT-Etappe 2)», April 2010.

ENSI: «Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT», Januar 2013.

ENSI: «Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT», Januar 2013.

ENSI: «Ablauf der Überprüfung des geologischen Kenntnisstands vor Einreichen der sicherheitstechnischen Unterlagen für Etappe 2 SGT», Januar 2013.

Weitere Unterlagen:

BFE: Sozioökonomisch-ökologische Wirkungsstudie SÖW in Etappe 2 – Schlussbericht, November 2014

www.ensi.ch

www.bfe.admin.ch

Zum gleichen Thema hat die Nagra ein Faltblatt veröffentlicht, welches das Wichtigste kurz zusammenfasst. Das Faltblatt ist unter www.nagra.ch als pdf verfügbar oder kann kostenlos unter info@nagra.ch bezogen werden.

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Postfach 280
Schweiz

Tel. 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch

nagra ● **aus verantwortung**