

entsorgungsprogramm und standortgebiete für geologische tiefenlager

zusammenfassung

Zu dieser Broschüre

Diese Broschüre gibt einen Überblick über die Rahmenbedingungen zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle, über die bisherigen Arbeiten und das zugehörige Entsorgungsprogramm. In den nächsten rund zehn Jahren sollen mit einem vom Bund geregelten Verfahren die Standorte der geologischen Tiefenlager festgelegt werden. Die Nagra hat dabei zu Beginn die Aufgabe, dem Bundesamt für Energie (BFE) Vorschläge zu geologischen Standortgebieten für die Tiefenlager für hochaktive Abfälle (HAA) sowie schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) zu unterbreiten. Diese Broschüre beschreibt in vereinfachter Art, wie ausgehend vom Gebiet der ganzen Schweiz diese Vorschläge erarbeitet wurden. Grundlage dazu bilden die technischen Berichte der Nagra NTB 08-03 «Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse» und NTB 08-01 «Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen». Diese ausführlichen Berichte können von www.nagra.ch heruntergeladen sowie auf CD oder gedruckt gegen einen Unkostenbeitrag bei der Nagra bezogen werden.

Weitere Broschüren und Themenhefte, die bei der Nagra gratis bezogen werden können:

Zeit zum Handeln – Die Entsorgung radioaktiver Abfälle geht uns alle an. (November 2008, 8 Seiten)

Radioaktive Abfälle – Woher, wieviel, wohin? (September 2008, 16 Seiten)

Standortgebiete für geologische Tiefenlager – Warum gerade hier? (November 2008, 32 Seiten)

Spuren der Zukunft – Lernen von der Natur für die Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen.
(April 2007, 32 Seiten)

Weitere aktuelle Informationen finden Sie auf www.nagra.ch.

Entsorgungsprogramm und Standortgebiete für geologische Tiefenlager

Zusammenfassung
November 2008

Herausgeber

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

1 Einleitung	4
Ziel der Entsorgung	4
Konzept geologische Tiefenlagerung	5
Schrittweise Realisierung	5
2 Rückblick und neue Ausgangslage	6
Projekt Gewähr 1985	6
SMA: 1986 bis 2002 (Wellenberg)	7
HAA: 1988 bis 2006 (Entsorgungsnachweis)	8
Sachplan regelt die Standortsuche	9
3 Entsorgungsprogramm	10
Eckpunkte der Entsorgung	10
Inventarisierung der Abfälle	12
Zwischenlagerung und Transporte	13
Realisierung geologische Tiefenlager	14
Finanzierung der Entsorgung	16
4 Sachplan geologische Tiefenlager	18
Etappe 1: Festlegung Standortgebiete	18
Etappe 2: Auswahl von Standorten	19
Etappe 3: Standortwahl und Rahmenbewilligungsverfahren	19
5 Verfahren zur Standortevaluation	20
Schritt 1: Zuteilung der Abfälle	21
Schritt 2: Konzept Sicherheitsbarrieren	22
Die Schritte 3 bis 5	24
Schritt 3: Identifikation Grossräume	26
Schritt 4: Wirtgesteine	27
Schritt 5: Geeignete Konfigurationen	29
Zusammenfassende Bewertung	31
6 Hochaktive Abfälle	32
Schritt 3: Identifikation Grossräume	32
Schritt 4: Wirtgesteine	34
Schritt 5: Geeignete Konfigurationen	37
Zusammenfassende Bewertung	38
7 Schwach- und mittelaktive Abfälle	40
Schritt 3: Identifikation Grossräume	40
Schritt 4: Wirtgesteine	41
Schritt 5: Geeignete Konfigurationen	43
Zusammenfassende Bewertung	50
8 Schlussfolgerungen und Ausblick	52
Vorschläge für Standortgebiete	52
Ausblick	53
Referenzen	54

1 Einleitung

Ziel der Entsorgung

Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist [Lit. 1] und zwar beginnend mit der Entstehung der radioaktiven Abfälle über ihre Behandlung (Verfestigung, Verpackung) und Zwischenlagerung bis zur Entsorgung in einem geologischen Tiefenlager.

Um dies sicherzustellen, muss die von den radioaktiven Abfällen ausgehende Strahlung abgeschirmt werden, und die Abfälle müssen dauerhaft vom Lebensraum ferngehalten werden, damit die radioaktiven Stoffe nicht über die Nahrungskette in den menschlichen Körper gelangen. Die Abschirmung der Strahlung ist selbst bei hochaktiven Abfällen mit rund vierzig Zentimeter Abschirmmaterial einfach zu erreichen. Anspruchsvoll ist hingegen der langfristig zuverlässige Einschluss.

Radioaktive Stoffe zerfallen im Laufe der Zeit. Die Radioaktivität der hochaktiven Abfälle nimmt in den ersten hundert Jahren nach der Einlagerung in einem Tiefenlager auf etwa einen Zehntel und nach rund tausend Jahren auf etwa einen Hundertstel ab. Diese Abfälle müssen trotzdem etwa 200 000 Jahre vom menschlichen Lebensraum ferngehalten werden, bis die Radioaktivität durch Zerfall abgeklungen ist. Die Diskussionen darüber, wie ein langfristiger Einschluss zuverlässig erreicht werden kann, haben das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) bewogen, eine Expertengruppe (Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle, EKRA) einzusetzen. Im Jahr 2000 kam diese zum Schluss, dass nur die geologische Tiefenlagerung die nötige Langzeitsicherheit gewährleisten kann. Ferner hat die EKRA^[Lit. 2] empfohlen, die Tiefenlager so auszulegen, dass eine Kontrolle möglich ist und die eingelagerten Abfälle zurück-



Nagra

Ziel der Entsorgung: Radioaktive Abfälle sollen dauerhaft vom Lebensraum ausgeschlossen werden.

geholt werden können. Das Parlament hat diese Empfehlungen ins neue Kernenergiegesetz (KEG) aufgenommen, das im Februar 2005 in Kraft trat.

Lager an der Erdoberfläche, deren Sicherheit von Unterhalt und Wartung durch den Menschen abhängen, erfüllen die Vorgaben an die Langzeitsicherheit nicht. Wie die Geschichte zeigt, kann man sich nicht darauf verlassen, dass die Gesellschaft genügend stabil ist, um Unterhalt und Wartung langfristig zu garantieren.

Während sich Gesellschaften permanent verändern, zeigt die Erdgeschichte, dass Gesteinschichten über viele Jahrmillionen stabil sein können. Untertage steht die Zeit sozusagen still, unabhängig davon, was an der Erdoberfläche passiert. Wasserundurchlässige Gesteinsschichten können Stoffe über erdgeschichtlich lange Zeiträume einschliessen. Die Dauer, während der hochaktive Abfälle von unserem Lebensraum ferngehalten werden müssen, liegt zwar weit ausserhalb unseres menschlichen Vorstellungsvermögens – auf der erdgeschichtlichen Zeitskala ist sie jedoch kurz.

Konzept geologische Tiefenlagerung

Für praktisch alle Länder, die Kernenergie nutzen, steht die Lagerung der hochaktiven Abfälle in stabilen geologischen Gesteinsschichten, also die geologische Tiefenlagerung, am Ende der Entsorgungskette. In der internationalen Fachwelt besteht Konsens, dass korrekt ausgelegte Tiefenlager einen langfristig sicheren Einschluss der radioaktiven Stoffe gewährleisten und damit den Schutz von Mensch und Umwelt sicherstellen.

Die schweizerische Gesetzgebung schreibt geologische Tiefenlagerung für alle radioaktiven Abfälle vor. Ein geologisches Tiefenlager muss nach Kernenergiegesetz aus einem Hauptlager zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus Testbereichen und einem Pilotlager bestehen.

Im Hauptlager werden die radioaktiven Abfälle eingelagert.

In den Testbereichen (Felslabor am Ort des Tiefenlagers) sind die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch vertieft abzuklären. Vor Inbetriebnahme des Tiefenlagers sind die sicherheitsrelevanten Techniken zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen (inkl. die Technik zur Rückholung von Abfallgebinden).

Im Pilotlager wird das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins (Gestein, in dem das Lager angelegt wird) bis zum Ablauf der Beobachtungsphase überwacht. Bei der Überwachung sind im Hinblick auf den Verschluss des Lagers Daten zur Bestätigung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln. Die Ergebnisse der Überwachung müssen auf die Vorgänge im Hauptlager übertragbar sein. Sie bilden eine Grundlage für den späteren Entscheid über den Verschluss des Tiefenlagers.

Schrittweise Realisierung

International besteht Konsens, dass für die Realisierung von geologischen Tiefenlagern ein schrittweises Vorgehen erforderlich ist. Die Erkenntnisse jedes einzelnen dieser Schritte sollen in die Planung und Umsetzung des nächsten Schritts einfließen. Gleichzeitig soll dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik Rechnung getragen werden.

In der Schweiz ist das schrittweise Vorgehen in der Gesetzgebung bereits vorgeschrieben: Die Standortwahl erfolgt in drei Etappen und wird mit der Rahmenbewilligung abgeschlossen. Danach folgen eine Untersuchungsphase und die nukleare Baubewilligung, später die Betriebsbewilligung und der Betrieb. Auch der Verschluss erfolgt schrittweise: Nach Abschluss des Betriebs wird das Hauptlager verschlossen, und es folgt eine längere Beobachtungsphase im Pilotlager. Erst danach kann aufgrund aller bis dahin gewonnenen Resultate und Erkenntnisse die Gesamtanlage verschlossen werden.

2 Rückblick und neue Ausgangslage

1969 nahm in der Schweiz das erste kommerzielle Kernkraftwerk (Beznau I) den Betrieb auf.

1972 wurde von den Betreibern der Kernkraftwerke (KKW) und dem Bund (verantwortlich für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung) die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) gegründet. Die Entsorgung hochaktiver Abfälle in der Schweiz war damals noch kein Thema, da mit der Wiederaufarbeitung des verbrauchten Brennstoffes und der Entsorgung der resultierenden Abfälle im Ausland gerechnet wurde.

Mitte der Siebzigerjahre wurden die Verträge zwischen den Kernkraftwerksgesellschaften und den Betreibern der Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und England neu ausgehandelt; darin behielten sich die ausländischen Vertragspartner die Option vor, die anfallenden hochaktiven

Abfälle in die Schweiz zurückzusenden. 1977 stand fest, dass in der Schweiz auch ein Lager für hochaktive Abfälle bereitgestellt werden muss.

1979 stimmte das Schweizer Volk dem «Bundesbeschluss zum Atomgesetz» zu und machte die Erteilung einer Rahmenbewilligung für neue Kernkraftwerke von der Gewährleistung der «dauernden, sicheren Entsorgung und Endlagerung» der radioaktiven Abfälle abhängig. Die Betriebsbewilligungen der bereits bestehenden KKW wurden an den sogenannten Entsorgungsnachweis gebunden. Die KKW-Betreiber hatten dafür bis 1985 ein «Gewähr bietendes» Projekt auszuarbeiten.

Projekt Gewähr 1985

Für das Projekt Gewähr ging man von zwei Tiefenlagern aus: einem horizontal zugänglichen Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) im Alpenraum und einem Tiefenlager für hochaktive Abfälle (HAA) in der Nordschweiz.

SMA: Standortevaluation 1978 bis 1988

Ausgehend vom Konzept einer Erschliessung der Lagerzone durch einen horizontalen Zugangstol-



In den letzten Jahrzehnten wurden umfangreiche geologische Daten gewonnen.

Nagra

len wurden in den Jahren 1978 bis 1981 von der Nagra hundert potenzielle Standorte in den Alpen, Voralpen und dem Jura bewertet (dabei unter dem Namen «Altzellen» auch der Standort Wellenberg). Kriterien waren räumliche Ausdehnung, Wasserdurchlässigkeit des Gesteins, Grundwasserverhältnisse, Eignung für den Stollenbau, Vorhersagbarkeit künftiger geologischer Entwicklungen und bereits vorhandene Kenntnisse aus Tunnel- und Stollenbau sowie Bohrungen. In den aus dem Vergleich resultierenden zwanzig weiterzuverfolgenden Standorten wurden in den Jahren 1981/82 nicht-bewilligungspflichtige Abklärungen vorgenommen. Aufgrund der 1983 veröffentlichten Ergebnisse wurden drei Standorte bezeichnet, die in erster Priorität mit bewilligungspflichtigen Sondierungen weiter untersucht werden sollten. Es waren dies Bois de la Glaive (VD/Anhydrit), Oberbauenstock (UR/Mergel) und Piz Pian Grand (GR/Kristallin).

Für diese Standorte unterbreitete die Nagra 1983 dem Bundesrat Sondiergesuche. Aufgrund des Gutachtens der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) bewilligte der Bundesrat 1985 die Untersuchungen der Phase I (d. h. ohne die beantragten Sondierstollen). Die HSK hatte gefordert, dass die Untersuchungen grundsätzlich «von aussen nach innen» vorzunehmen seien, das heisst, dass Erkundungen zunächst von der Oberfläche aus mit Bohrungen und Seismik durchzuführen seien. Der Entscheid über Sondierstollen wurde bis zum Erreichen eines möglichst vergleichbaren Standes der Untersuchungen von Phase I ausgesetzt.

Für das Projekt Gewähr 1985 wurde für SMA der Oberbauenstock als Referenzstandort gewählt, da er aufgrund der beim Bau des Seelisberg-Strassentunnels der A2 gewonnenen Daten den am weitesten fortgeschrittenen Kenntnisstand aufwies. In seiner Entscheid von 1988 erachtete der Bundesrat das Projekt als «Gewähr bietend» und damit den Nachweis der Machbarkeit einer sicheren Tiefenlagerung der SMA als erbracht.

HAA: Standortevaluation 1978 bis 1988

Ausgehend von einem breiten Kenntnisstand zur Geologie der Schweiz wurde Ende der Siebzigerjahre eine Evaluation der in Frage kommenden Wirtgesteine (Kristallin, Steinsalz, Anhydrit, Mergel, Tonsteine) vorgenommen^[Lit. 3]. Basierend darauf wurde zunächst das kristalline Grundgebirge der Nordschweiz untersucht. Dabei wurden auch die sich potenziell eignenden Sedimentschichten im Deckgebirge charakterisiert, welche den kristallinen Sockel in der Nordschweiz überlagern. Die ausgedehnten Feldarbeiten umfassten sieben Tiefbohrungen und ein Netz regionaler 2D-Seismiklinien. Die Resultate zusammen mit ersten Erkenntnissen aus dem 1984 gebauten und seither betriebenen Felslabor Grimsel sowie Erfahrungen aus ausländischen Entsorgungsprogrammen bildeten für HAA die Grundlage des Projekts Gewähr 1985.

Der Bundesrat kam 1988 zum Schluss, dass für die geologische Tiefenlagerung der hochaktiven Abfälle sowohl der Machbarkeits- als auch der Sicherheitsnachweis erbracht worden sind. Der Nachweis eines genügend grossen Gesteinvorkommens mit geeigneten Eigenschaften (Standortnachweis) sei indes noch nicht überzeugend geführt worden. Der Bund machte zur Auflage, neben der bis dahin prioritär untersuchten Wirtgesteinsoption Kristallin auch Sedimentgesteine in die Abklärungen einzubeziehen.

SMA: 1986 bis 2002 (Wellenberg)

1986 wurde der Wellenberg (Mergel, NW) als zusätzlicher Standort neben Bois de la Glaive, Oberbauenstock und Piz Pian Grand in die Evaluation aufgenommen. Gegenüber den anderen drei Standorten war er einfacher von der Oberfläche aus zu erkunden, und aufgrund der vorhandenen Kenntnisse erwartete man eine gute geologische Situation. 1987 beantragte die Nagra bewilligungspflichtige Untersuchungen. Das Gesuch wurde aufgrund des entsprechenden HSK-Gutachtens 1988 vom Bundesrat bewilligt.

Nach Durchführung und vergleichender Auswertung der Sondierungen an allen vier potenziellen Standorten schlug die Nagra 1993 den Wellenberg als Standort vor. Im Juni 1994 reichte die neu gegründete «Genossenschaft für die nukleare Entsorgung Wellenberg» (GNW) ein Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für die Erstellung eines Tiefenlagers ein. Die Nidwaldner Bevölkerung lehnte jedoch die nach kantonalem Recht erforderliche Konzession ab; das RBG-Verfahren wurde sistiert.

In der Folge wurde das Projekt etappiert: Zunächst sollte mit einem Sondierstollen die Eignung des Standorts geprüft werden. Das entsprechende Konzessionsgesuch der GNW wurde zwar im September 2001 vom Nidwaldner Regierungsrat gutgeheissen, ein Jahr später aber von den kantonalen Stimmberechtigten verworfen. Die GNW zog daraufhin das RBG zurück und wurde aufgelöst.

HAA: 1988 bis 2006 (Entsorgungsnachweis)

Nach Abschluss der letzten Sondierbohrung im Kristallin (Siblings 1989) nahm die Nagra 1994 eine Auswertung der Möglichkeiten der Lagerung im Kristallin vor. Die HSK bestätigte 2004 in ihrer Stellungnahme prinzipiell die Möglichkeit eines sicheren Lagers im Kristallin, hatte aber Vorbehalte zum Auffinden eines genügend grossen ungestörten Gesteinbereiches.

1988 veröffentlichte die Nagra eine breit angelegte Studie über die Eignung von Sedimentgesteinen sowie über mögliche Standortregionen. Grundlagen waren sowohl die vorhandenen umfangreichen Kenntnisse zu den Sedimentgesteinen im Falten- und Tafeljura sowie im Molassebecken als auch die im Rahmen der Kristallin-Untersuchungen erworbenen Kenntnisse zu den Sedimentgesteinen und Ergebnisse von Untersuchungen Dritter (insbesondere bei der Suche nach Erdöl und Erdgas).

Diese Auslegeordnung und die nachfolgende Beurteilung durch die Behörden führte von 1990 bis 1993 zu einer regionalen Untersuchungsphase. 1994 wurde nach Zustimmung der Bundesbehörden und ihrer Experten entschieden, in erster Priorität

den Opalinuston als Wirtgestein und das Zürcher Weinland als potenzielles Standortgebiet vertieft zu untersuchen. Es folgten umfangreiche Feldarbeiten und Studien im Zürcher Weinland (3D-Seismik, Bohrung Benken) ergänzt durch Untersuchungen im internationalen Felslabor Mont Terri (JU).

Die Berichte zum Entsorgungsnachweis wurden 2002 dem Bund eingereicht. Als Wirtgestein wurde der Opalinuston im Zürcher Weinland zugrunde gelegt. Nach Prüfung durch die Aufsichtsbehörden und beigezogene ausländische Experten bestätigte der Bundesrat im Sommer 2006 die grundsätzliche Machbarkeit der sicheren Tiefenlagerung von hochaktiven Abfällen im Inland.

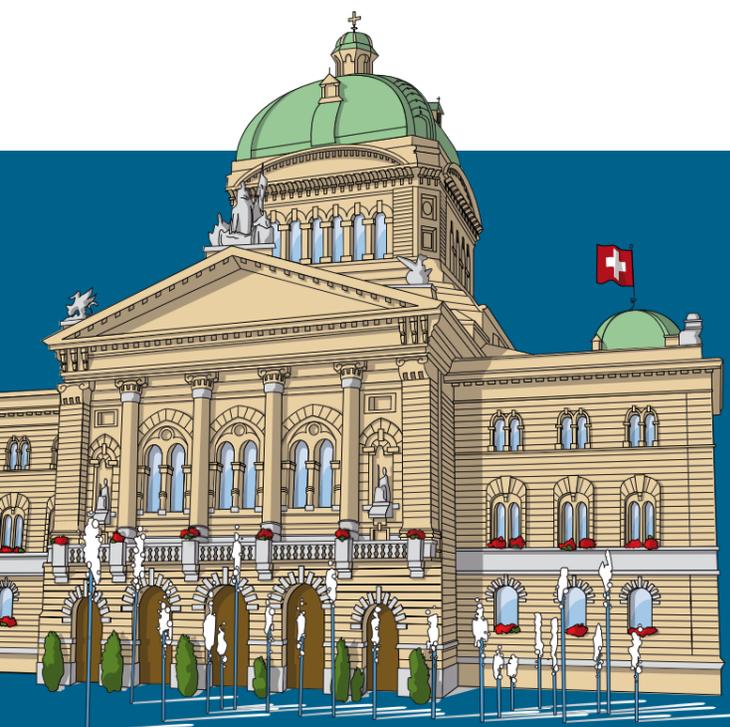
Sachplan regelt die Standortsuche

Mit dem Entsorgungsnachweis ist ein wichtiger Meilenstein erreicht; als nächstes gilt es zu entscheiden, wo die Tiefenlager gebaut werden sollen. In der Verfügung zum Entsorgungsnachweis für HAA hat der Bundesrat die Fokussierung der weiteren Untersuchungen auf das Zürcher Weinland abgelehnt. Vor einer Standortentscheidung muss für HAA also eine erneute Auslegeordnung vorgenommen werden. Mit der Ablehnung des Stand-

orts Wellenberg für ein Lager SMA wurde auch für die SMA ein neues Auswahlverfahren nötig.

Für die SMA entfällt heute die frühere Einschränkung auf einen horizontalen Zugang zum Lager und damit auf Standorte in den Alpen, Voralpen oder im Jura. Mit einem nach unten geneigten Zugang zu einem Lager unter der Talsohle kommen nun auch für die SMA die geologisch einfacher aufgebauten Gebiete des Mittellandes und der Nordschweiz in Frage.

Die Kernenergieverordnung (KEV, Art. 5) schafft eine neue Ausgangslage, indem der Bund in Zusammenarbeit mit den Kantonen die Standortsuche durchführt. Am 2. April 2008 hat der Bundesrat den Konzeptteil zum Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) genehmigt^[Lit. 4]. Er regelt das Auswahlverfahren und die Kriterien für die Standortsuche. Die Nagra hat eine ausschliesslich technisch-wissenschaftliche Aufgabe. Sie kann für ihre Arbeiten auf umfangreiche geologische Daten zurückgreifen, die in den letzten Jahrzehnten erarbeitet wurden. Die Aufsichtsbehörden prüfen die Vorschläge der Nagra. Die Federführung und die gesamtheitliche Bewertung der Verfahrensergebnisse liegen beim Bund.



W4

Gesetzliche Grundlagen

Für die Entsorgung radioaktiver Abfälle gilt eine ganze Reihe gesetzlicher Bestimmungen, Verordnungen und Richtlinien. Der Umgang mit radioaktivem Material ist detailliert geregelt.

Nach der Bundesverfassung (Art. 90) hat der Bund umfassende Kompetenzen in Fragen der Kernenergie.

Das frühere Atomgesetz wurde am 1. Februar 2005 durch das Kernenergiegesetz (KEG) abgelöst. Dieses hat insbesondere den Schutz von Mensch und Natur vor den Gefahren der friedlichen Nutzung der Kernenergie zum Zweck (Art. 1). Wer eine Kernanlage betreibt, ist auf eigene Kosten zur sicheren Entsorgung der radioaktiven Abfälle verpflichtet (Verursacherprinzip, Art. 31). Die Entsorgung hat grundsätzlich in der Schweiz (Art. 30) und in geologischen Tiefenlagern zu erfolgen (Art. 31).

Die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung unterstehen nicht dem KEG, sondern dem Strahlenschutzgesetz. Dieses legt Schutzmassnahmen für alle Tätigkeiten, Einrichtungen und Ereignisse fest, die eine Gefährdung durch ionisierende Strahlung mit sich bringen können. Nach ihrer Anlieferung an Kernanlagen (z. B. Zwischenlager oder Tiefenlager) fallen auch diese Abfälle unter das KEG.

Die Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vom 7. Dezember 2007 sichert die Finanzierung der Entsorgung nach Ausserbetriebnahme der Kernanlagen. Die Fonds werden durch jährliche Beiträge der Entsorgungspflichtigen geäufnet.

Bei der Planung von geologischen Tiefenlagern kommen auch Gesetze der Raumplanung und des Umweltschutzes zum Tragen. Art. 13 des Raumplanungsgesetzes (RPG) vom 22. Juni 1979 besagt, dass der Bund Grundlagen erarbeitet, um seine raumwirksamen Aufgaben erfüllen zu können, und dass er dabei eng mit den Kantonen zusammenarbeitet. Verfügt der Bund über entsprechende Kompetenzen, wie dies bei der Kernenergie der Fall ist, kann er laut RPG konkrete Anweisungen an die zuständigen Behörden des Bundes und der Kantone erteilen.

Mit dem Sachplan geologische Tiefenlager nimmt der Bund diese raumplanerische Aufgabe wahr. Der Sachplan legt Verfahren, Kriterien und Zuständigkeiten bei der Standortwahl für Tiefenlager fest. Die Verantwortung und Leitung des Verfahrens liegen beim Bund. Er ist auch für die Zusammenarbeit mit den betroffenen Kantonen, Nachbarkantonen und Nachbarstaaten zuständig.

Das Umweltschutzgesetz (USG) und die Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) unterstellen geologische Tiefenlager einer zweistufigen Umweltverträglichkeitsprüfung (1. Stufe im Rahmenbewilligungsverfahren, 2. Stufe im Baubewilligungsverfahren).

3 Entsorgungsprogramm

Am 1. Februar 2005 trat das heutige Kernenergiegesetz (KEG) in Kraft. Gemäss Artikel 32 müssen die Entsorgungspflichtigen ein Entsorgungsprogramm einreichen. Sie haben die Nagra mit dessen Ausarbeitung und Einreichung beauftragt. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und das Bundesamt für Energie (BFE) überprüfen das Programm und seine Einhaltung. Das ENSI ist eine öffentlich-rechtliche Anstalt des Bundes und löst auf den 1. Januar 2009 die HSK ab. Der Bundesrat genehmigt das Programm und erstattet der Bundesversammlung regelmässig Bericht. Es ist alle fünf Jahre an die veränderten Verhältnisse anzupassen.

Eckpunkte der Entsorgung

- Seit Ende der Sechzigerjahre wird in der Schweiz die Kernenergie genutzt. In Volksabstimmungen wurde wiederholt der Nutzung der Kern-

energie zugestimmt. Die fünf Kernkraftwerke haben ihren Betrieb wie folgt aufgenommen: Beznau-I 1969, Beznau-II und Mühleberg 1972, Gösgen 1979 und Leibstadt 1984. Aus dem Betrieb und dem späteren Rückbau der Anlagen entstehen radioaktive Abfälle (Bild 1 und Bild 2).

- Rund ein Drittel der insgesamt aus den bestehenden Kernkraftwerken der Schweiz zu erwartenden verbrauchten Brennelemente wurde bisher zur Rezyklierung (Wiederaufarbeitung) nach Frankreich und England transportiert. Die dabei anfallenden hoch- und langlebig mittelaktiven Abfälle müssen zurückgenommen und in der Schweiz entsorgt werden. Seit 2006 besteht ein zehnjähriges Moratorium für die Wiederaufarbeitung. Sollte die Wiederaufarbeitung nicht mehr aufgenommen werden, müssen die verbrauchten Brennelemente im geologischen Tiefenlager direkt entsorgt werden.

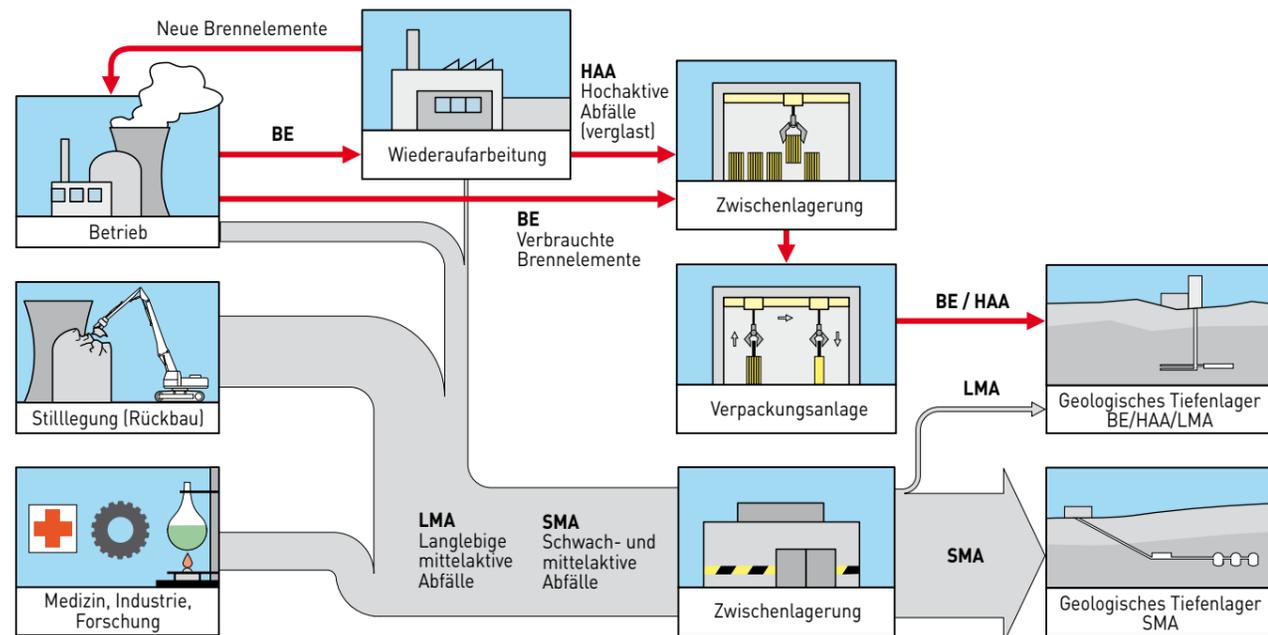


Bild 1

Konzept der nuklearen Entsorgung in der Schweiz. Die Pfeildicke entspricht dem jeweiligen Volumen der Abfallströme. Die Nagra bezeichnet die SMA- und ATA-Abfälle (Kategorien nach Kernenergieverordnung, vgl. Seite 21), die dem Tiefenlager HAA zugeteilt werden, als langlebige mittelaktive Abfälle (LMA).

- Bei Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung entstehen radioaktive Abfälle. Die Abfälle aus diesem Bereich, fast ausschliesslich schwach- und mittelaktive Abfälle, machen rund ein Drittel des Gesamtvolumens aus.
- Die radioaktiven Abfälle werden bereits heute für die spätere Tiefenlagerung vorbereitet (Konditionierung). Damit können die Abfallgebände samt ihrer Verpackung als Einheit gehandhabt und den weiteren Entsorgungsschritten (Transport, Zwischenlagerung und geologische Tiefenlagerung) zugeführt werden. Die Konditionierung erfolgt so, dass die getroffenen Massnahmen zur Barrierenwirkung des Tiefenlagers beitragen.
- Transporte aller Kategorien radioaktiver Abfälle sind gesetzlich geregelt und heute Routine. Die zukünftig notwendigen Transporte zu den Tiefenlagern und die Infrastruktur zur Be- und Entladung der Transportbehälter sind mit der vorhandenen Technik sicher machbar.
- Hochaktive Abfälle aus der Rezyklierung und verbrauchte Brennelemente müssen rund 40 Jahre zwischengelagert werden, bis ihre Wärmeleistung so weit abgeklungen ist, dass eine Einlagerung in einem Tiefenlager möglich ist. Vor der Einlagerung müssen sie aus den Transportbehältern in kleinere Endlagerbehälter umgeladen werden. Bei den anderen Abfalltypen ist die Wärmeleistung nicht signifikant; sie können direkt der Tiefenlagerung zugeführt werden.
- Bis zur Fertigstellung der Tiefenlager müssen die radioaktiven Abfälle zwischengelagert werden. Zwischenlager sind zentral im Zwischenlager Würenlingen und dezentral bei den Kernkraftwerken vorhanden. Die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung werden im Bundeszwischenlager auf dem Areal des Paul Scherrer Instituts in Würenlingen gelagert.
- Die technische Machbarkeit einer sicheren geologischen Tiefenlagerung ist aufgrund langjähriger Forschungsarbeiten dokumentiert und

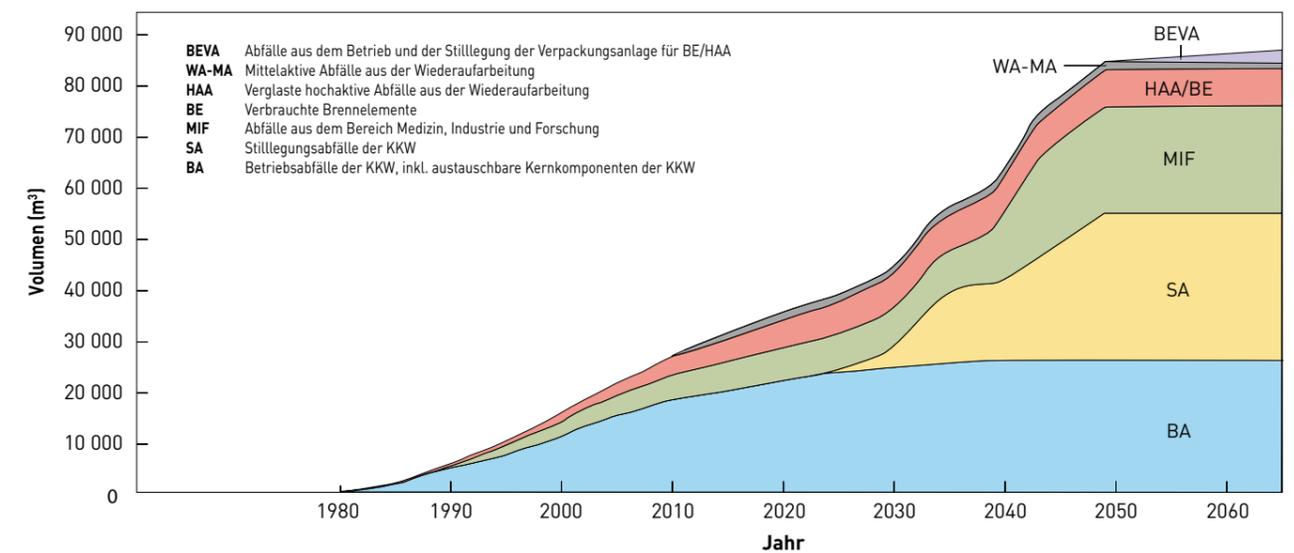


Bild 2

Anfall von radioaktiven Abfällen aus den bestehenden Kernkraftwerken bei einer Betriebsdauer von 50 Jahren sowie aus dem MIF-Bereich für eine Sammelperiode bis 2050 (ohne Reserve von 12.000 m³ für heute noch nicht im Detail spezifizierte MIF-Abfälle aus Grossforschungsanlagen). Die Volumina sind inklusive Verpackung in Endlagerbehältern angegeben.

behördlich anerkannt. Der Entsorgungsnachweis für schwach- und mittelaktive Abfälle wurde 1988 vom Bundesrat gutgeheissen, derjenige für hochaktive, langlebige mittelaktive Abfälle sowie für verbrauchte Brennelemente im Jahr 2006.

- Am Ende der Entsorgungskette sind zwei geologische Tiefenlager vorgesehen, eines für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und eines für hochaktive Abfälle (HAA). Mit dem Sachplanverfahren sollen schrittweise und nachvollziehbar geeignete Standorte festgelegt werden. Die Standortsuche kann auch zu einem einzigen Standort für alle Abfallkategorien führen («Kombilager»).

Inventarisierung der Abfälle

Die radioaktiven Abfälle werden laufend charakterisiert, konditioniert (verfestigt und verpackt) und inventarisiert. Bevor für einen Abfalltyp mit der Konditionierung begonnen werden kann, wird geprüft, ob die hergestellten Abfallgebilde den Anforderungen an Transport, Zwischenlagerung und spätere Tiefenlagerung genügen. Erst danach gibt die Aufsichtsbehörde (ENSI) die Konditionierung frei.

Das Sachplanverfahren soll zu geologischen Tiefenlagern führen, welche die Abfälle der bestehenden und allfällig neuer Kernkraftwerke, aus deren Stilllegung und Abbruch sowie die Abfälle

Herkunft der Abfälle

Angaben in Kubikmeter (in Klammern mit Verpackung in Endlagerbehältern)

	BE	HAA	WA-MA	BA	SA	MIF	BEVA	Total
HAA	1 135 (6 595)	115 (730)				0.2 (2)		1 250 (7 325)
ATA			200 (1 320)	10 (40)		325 (920)		535 (2 280)
SMA				7 645 (26 100)	28 885 (28 920)	27 270 ¹¹ (32 170) ¹¹	2 220 (2 220)	66 020 (89 410)
Total	1 135 (6 595)	115 (730)	200 (1 320)	7 655 (26 140)	28 885 (28 920)	27 595 (33 090)	2 220 (2 220)	67 805 (99 015)

Kategorien (Kernenergieverordnung)

HAA Hochaktive Abfälle
ATA Alphatoxische Abfälle
SMA Schwach- und mittelaktive Abfälle

Herkunft

BE Verbrauchte Brennelemente
HAA Verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WA-MA Mittelaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
BA Betriebsabfälle der KKW, inkl. austauschbare Kernkomponenten der KKW
SA Stilllegungsabfälle der KKW
MIF Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
BEVA Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Verpackungsanlage für BE/HAA

¹¹ Darin enthalten ist auch eine Reserve von 12 000 Kubikmeter für heute noch nicht im Detail spezifizierte MIF-Abfälle aus Grossforschungsanlagen.

Tabelle 1

Volumen der verfestigten und verpackten (d. h. konditionierten) Abfälle bei angenommenen 50 Jahren Betriebszeit der bestehenden KKW und einer Sammelperiode der Abfälle aus dem MIF-Bereich bis 2050.

aus Medizin, Industrie und Forschung aufnehmen können. Die Lagerkapazität wird mit der Rahmenbewilligung festgelegt. Die folgenden Angaben basieren auf den Annahmen eines fünfzigjährigen Betriebs aller heutigen Kernkraftwerke und einer Sammelperiode von Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) bis 2050. Bei der Planung der Tiefenlager ist auch die Erweiterungsfähigkeit infolge zusätzlicher Abfälle durch einen allfällig längeren Betrieb der bestehenden Kernkraftwerke wie auch durch den Bau neuer Kernkraftwerke sowie weiterer MIF-Abfälle zu berücksichtigen.^[Lit. 4 und 5]

In Tabelle 1 sind die zu erwartenden Mengen konditionierter Abfälle zusammengestellt. Sie beruhen auf dem laufend aktualisierten Inventar der bereits vorhandenen Abfälle und einem modellhaften Inventar für die in Zukunft zu erwartenden Abfälle.

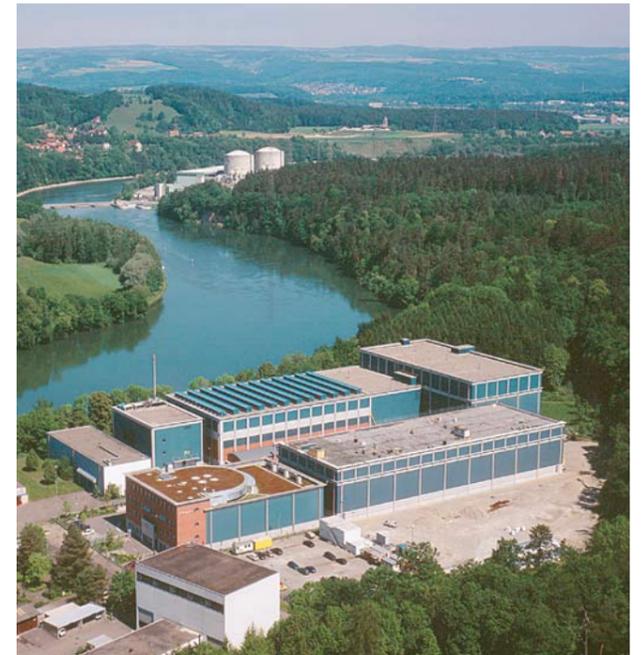
Grössere Abfallmengen fallen an, wenn die ersten stillgelegten Kernkraftwerke zurückgebaut werden (Stilllegungsabfälle SA, ab zirka 2030) (Bild 2, Seite 11). Betriebsabfälle (BA) und verbrauchte Brennelemente (BE) entstehen nur bis zum Betriebsende der KKW.

Zwischenlagerung und Transporte

Die radioaktiven Abfälle müssen zwischengelagert werden, bis sie in die geologischen Tiefenlager gebracht werden können. Für das Tiefenlager SMA ist dies gemäss Realisierungsplan im Entsorgungsprogramm^[Lit. 5] zirka 2035, für die abgebrannten Brennelemente und die verglasten hochaktiven Abfälle unter Berücksichtigung der notwendigen Abkühlzeiten zirka 2050 möglich.

Für die Abfälle der bestehenden Kernkraftwerke steht mit den heute vorhandenen Zwischenlagern genügend Zwischenlagerkapazität zur Verfügung (Bild 3).

Die für den Transport der Abfälle erforderliche Infrastruktur und Technologie sind vorhanden und erprobt (Bild 4).



Comet

Bild 3

Die Anlagen des zentralen Zwischenlagers in Würenlingen (blaue Gebäude).



Comet

Bild 4

Anlieferung eines Transportbehälters zur Zwischenlagerung: Umladevorgang von der Schiene auf die Strasse in Würenlingen.

Realisierung geologischer Tiefenlager

In Bild 5 sind die Realisierungspläne für das Tiefenlager HAA beziehungsweise SMA dargestellt. Die langfristige Planung bis zur Betriebsaufnahme der beiden Tiefenlager ist, wie Erfahrungen mit anspruchsvollen Infrastrukturprojekten zeigen, mit Unsicherheiten von mehreren Jahren verbunden.

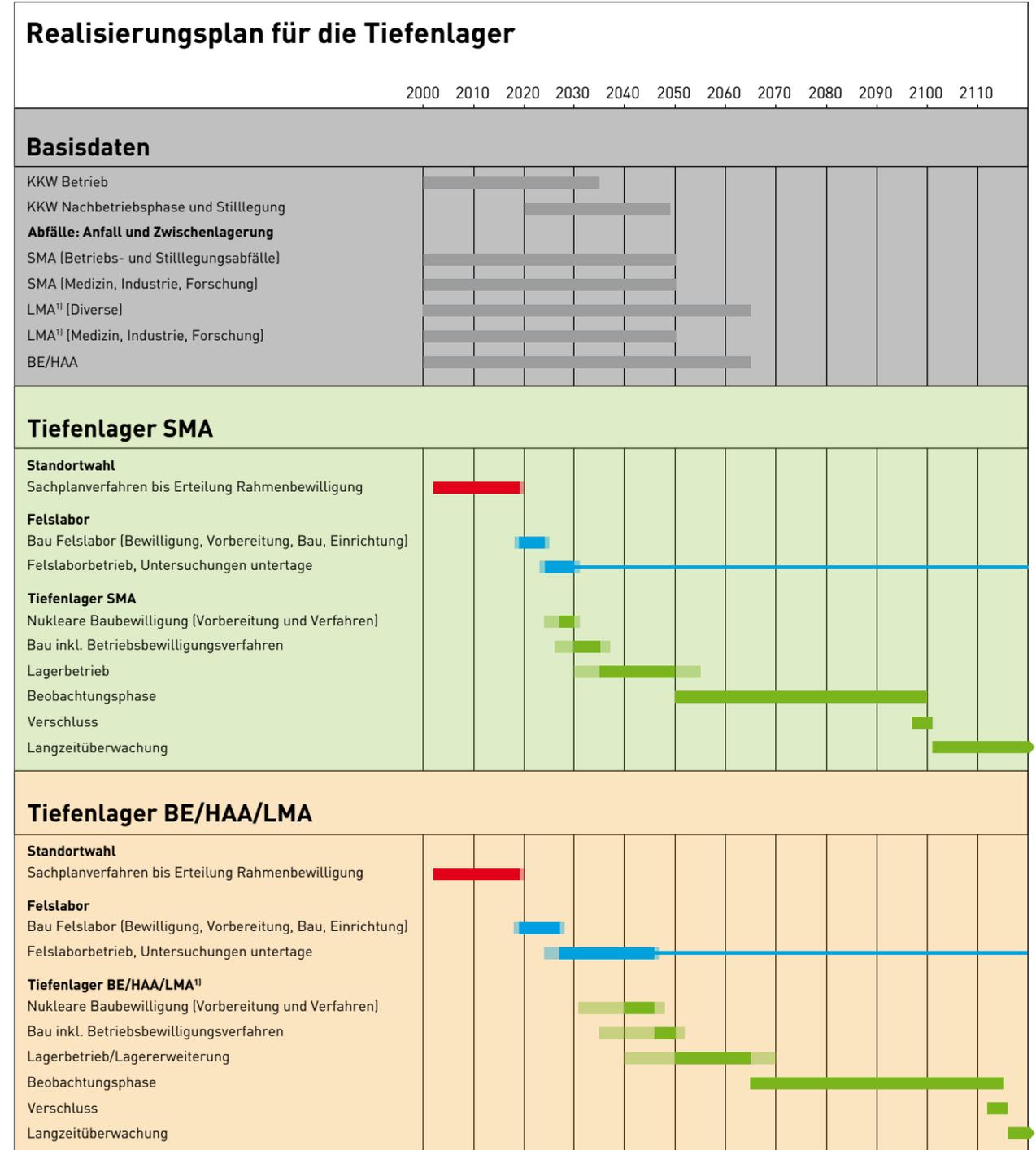
Der Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager spricht von einer frühesten Betriebsaufnahme des Lagers SMA ab 2030 und des Lagers HAA ab 2040. Als Bandbreite wird für die Inbetriebnahme des Lagers SMA 2030 bis 2038 und für diejenige des Lagers HAA 2040 bis 2048 angegeben. Im Sachplan wird darauf hingewiesen, dass es sich dabei nicht um verbindliche Termine handelt, sondern um Schätzungen. Insbesondere sind keine Verzögerungen berücksichtigt, welche aufgrund von Rechtsmitteln (Einsprachen, Beschwerden und Bereinigungsverfahren) entstehen könnten und die den Zeitplan beeinflussen würden.

Im Entsorgungsprogramm^[Lit. 5] wird auf den Zeitplan der Kostenstudie 2006 abgestützt, der von einer Betriebsaufnahme des Lagers SMA im Jahr 2035 und derjenigen des Lagers HAA im Jahr 2050 ausgeht (dunklerer Teil der Balken in Bild 5). Beim Lager HAA ist die Wärmeleistung der hochaktiven Abfälle und verbrauchten Brennelemente ab 2050 so weit abgeklungen, dass deren Einlagerung in einem Tiefenlager HAA technisch und wirtschaftlich sinnvoll möglich ist.

Die wichtigsten Merkmale des Realisierungsplans sind:

- Die Wahl der Standorte erfolgt im Sachplanverfahren. Das Verfahren wird für die Tiefenlager SMA und HAA bis zur Erteilung der Rahmenbewilligung parallel geführt.
- Das Sachplanverfahren führt auch zur Festlegung von Reservestandorten, die bis zur Erteilung der Betriebsbewilligungen verfügbar bleiben.

- Mit der Rahmenbewilligung wird die Anlage in ihren Grundzügen festgelegt; die detaillierte Auslegung der Anlage erfolgt erst für die nukleare Baubewilligung aufgrund der untertägigen Erkundung und der Resultate aus den standortspezifischen Felslabors.
- Der Bau der Anlage erfolgt so weit, wie dies für die Aufnahme des Betriebs notwendig ist. Eine Erweiterung des Lagers innerhalb der erschlossenen Lagerzone ist für das Tiefenlager HAA während der Betriebsphase vorgesehen.
- Eine Erweiterung der Lagerkapazität ist für beide Lagertypen grundsätzlich möglich.
- Nach Abschluss der Einlagerung im Hauptlager erfolgen der Verschluss der Lagerkammern und die Verfüllung ihrer direkten Zugänge sowie die Stilllegung und der Rückbau eines Teils der Oberflächenanlagen. Danach beginnt die Beobachtungsphase.
- Nach Abschluss der Beobachtungsphase erfolgen der Verschluss und der Rückbau der Gesamtanlage (Pilotlager, Zugänge, restliche Teile der Oberflächenanlage); anschliessend kann die langfristige Beobachtung von der Oberfläche aus weitergeführt werden.



¹⁾ Als langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) werden von der Nagra die SMA- und ATA-Abfälle (Kategorien nach Kernenergieverordnung, vgl. Seite 21) bezeichnet, die dem Tiefenlager HAA zugeteilt werden.

Bild 5

Realisierungsplan der geologischen Tiefenlager für SMA und HAA.

Finanzierung der Entsorgung

Die Entsorgung der radioaktiven Abfälle wird durch die Abfallverursacher finanziert. Bei den Kernkraftwerken werden bis zur Ausserbetriebnahme der Werke die laufenden Kosten der Entsorgung durch die Eigentümer direkt bezahlt. Dazu müssen sie entsprechende Rückstellungen bilden. Nach Ausserbetriebnahme erfolgt die Finanzierung über den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds. Die Fonds werden durch die Kernkraftwerkbetreiber geüfnet.

Zur Festlegung der Beiträge für die beiden Fonds und der benötigten Rückstellungen werden die Kosten der Entsorgung und der Stilllegung periodisch geschätzt. Die letzte Kostenstudie wurde 2006 durchgeführt, von den Behörden (HSK) geprüft und Ende 2007 von der Verwaltungskommission des Stilllegungs- und Entsorgungsfonds genehmigt (www.entsorgungsfonds.ch).

Tabelle 2 fasst die Kosten der nuklearen Entsorgung (inkl. aufgelaufene Kosten) für die Kernkraft-

werke zusammen. Die Kosten für die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung sind nicht darin enthalten. Sie werden direkt vom Bund den Verursachern verrechnet. Detaillierte Angaben zu den Kosten der Entsorgung finden sich im Entsorgungsprogramm^[Lit. 5].

Tabelle 3 zeigt die Gesamtkosten (hier inkl. Kosten für die MIF-Abfälle) für die Tiefenlager SMA und HAA von der Realisierung bis zum Verschluss. Auch aufgeführt sind die Kosten für die Anlage zur Verpackung der hochaktiven Abfälle und der verbrauchten Brennelemente in Endlagerbehälter (BEVA).



Die Finanzierung der Entsorgung ist geregelt.

Kosten der Entsorgung der Abfälle der Kernkraftwerke	Millionen CHF
Wiederaufarbeitung	2 740
Zwischenlagerung (ZWILAG; ZWIBEZ-H, KKG-Nasslager), inkl. zentrale Abfallbehandlung	2 245
Beschaffung Transport- und Lagerbehälter für HAA/BE	760
Transporte	388
SMA-Lager	2 110
HAA-Lager, inkl. Verpackungsanlage (BEVA)	5 107
Total Entsorgung	13 350
Stilllegung der Kernkraftwerke und Zwischenlager	2 192
Gesamttotal	15 542

Tabelle 2

Gesamtkosten der Entsorgung der Abfälle der Kernkraftwerke gemäss Kostenstudie 2006 (in Mio. CHF, nicht gerundet, Preisbasis 2006). Die Kosten für die Entsorgung der Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung sind in dieser Tabelle nicht enthalten^[Lit. 5], insbesondere auch nicht für die beiden Tiefenlager SMA und HAA.

Kosten pro Tiefenlager	SMA-Lager	HAA-Lager	BEVA
	Millionen CHF	Millionen CHF	Millionen CHF
Erarbeitung Grundlagen bis Erteilung Rahmenbewilligung	657	785	48
Untersuchungen Untertag und Bau Lageranlagen	929	1434	492
Einlagerungsbetrieb	360	610	669
Beobachtungsphase	381	555	
Vorbereitung und Verschluss Hauptlager	95	221	
Vorbereitung und Stilllegung / Verschluss Gesamtanlage	93	228	67
Total	2 515	3 833	1 276

Tabelle 3

Aufstellung der Kosten (in Mio. CHF, nicht gerundet, Preisbasis 2006) für die geologischen Tiefenlager und die Anlage zur Verpackung der hochaktiven Abfälle und verbrauchten Brennelemente (BEVA) gemäss Kostenstudie 2006 (inkl. Kosten MIF-Abfälle)^[Lit. 5].

4 Sachplan geologische Tiefenlager

Der Bundesrat hat am 2. April 2008 den Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) ^[Lit. 4] verabschiedet. Der Sachplan sieht ein breit angelegtes Auswahlverfahren vor, welches in drei Etappen parallel zu je einem Standort für ein Tiefenlager HAA und ein Tiefenlager SMA führt (Bild 6). Erfüllt ein Standort die Anforderungen für alle Abfallkategorien, kann das Auswahlverfahren auch zu einem Kombilager (HAA und SMA) führen.

Die Resultate der einzelnen Etappen werden in einem Ergebnisbericht und in Objektblättern dokumentiert. Jede Etappe endet mit einer dreimonatigen formellen Anhörung, während der die Standortvorschläge der Entsorgungspflichtigen, die Ergebnisse der behördlichen Überprüfung, die Stellungnahmen und Berichte des Ausschusses der Kantone und der Standortregionen sowie die Entwürfe der Ergebnisberichte und Objektblätter öffentlich aufgelegt werden. Danach entscheidet jeweils der Bundesrat.

Etappe 1: Festlegung Standortgebiete

In Etappe 1 des Sachplanverfahrens müssen die Entsorgungspflichtigen nach den Vorgaben des Sachplans dem BFE geeignete geologische Standortgebiete vorschlagen und ihre Auswahl in einem Bericht begründen. Sie berücksichtigen dabei ausschliesslich Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit. Der Bund informiert die betroffenen Standortkantone und -gemeinden, bevor die Vorschläge veröffentlicht werden. Danach konstituiert sich ein Ausschuss der Kantone. Darin vertreten sind die Standort- und betroffene Nachbarkantone sowie betroffene Nachbarstaaten.

Nach Einreichung der Vorschläge findet eine ausführliche sicherheitstechnische Prüfung der Unterlagen durch die Aufsichtsbehörden des Bundes, insbesondere das ENSI, statt.

Unter der Leitung des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) wird im Umkreis von fünf Kilometern um die geologischen Standortgebiete eine raumplanerische Bestandesaufnahme durchgeführt. Das

BFE legt basierend darauf in Zusammenarbeit mit dem ARE und den Standortkantonen die jeweiligen Planungssperimeter fest (geographischer Raum, in welchem – ausgehend vom geologischen Standortgebiet – die benötigten Oberflächenanlagen gebaut werden könnten). Zudem wird die regionale Partizipation (Beteiligung der Öffentlichkeit) initiiert.

Das BFE beurteilt die Ergebnisse der sicherheitstechnischen Überprüfung, der raumplanerischen Bestandesaufnahme und der Zusammenarbeit mit den Kantonen und Nachbarstaaten und erstellt die Ergebnisberichte sowie Objektblätter.

Nach einer abschliessenden Anhörung gemäss Raumplanungsverordnung (RPV) werden die Ergebnisberichte und Objektblätter dem Bundesrat zur Genehmigung vorgelegt.

Etappe 2: Auswahl von Standorten

Das Sachplanverfahren verlagert sich in Etappe 2 stärker in die betroffenen Regionen. Im Rahmen der regionalen Partizipation wird ein mögliches Tiefenlager in all seinen Dimensionen betrachtet. Die Gemeinden der Standortregion haben folgende konkreten Aufgaben:

- Erstellen einer sozioökonomischen Grundlagenstudie unter Federführung des BFE (gesellschaftliche/wirtschaftliche Auswirkungen);
- Erarbeiten von Szenarien einer nachhaltigen regionalen Entwicklung und von Vorschlägen zu flankierenden Massnahmen;
- Erarbeiten von Vorschlägen zur Ausgestaltung, Platzierung und Erschliessung der Oberflächeninfrastruktur in Zusammenarbeit mit den Entsorgungspflichtigen.

Bei der Oberflächeninfrastruktur besteht Flexibilität, um den Anliegen der Standortgemeinden Rechnung zu tragen bezüglich der Einpassung in die jeweilige Umgebung. Gestützt auf die Zusammenarbeit mit Standortkanton und -gemeinden machen die Entsorgungspflichtigen pro geologisches Standortgebiet mindestens einen Platzierungsvorschlag für die Oberflächeninfrastrukturen. Für die Stand-

orte der Tiefenlager führen die Entsorgungspflichtigen provisorische Sicherheitsanalysen durch.

Die Entsorgungspflichtigen schlagen danach mindestens zwei Standorte für das Lager für hochaktive und zwei Standorte für das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle vor. Das ENSI überprüft die Auswahl aus sicherheitstechnischer Sicht. Das ARE beurteilt die raumplanerischen Aspekte und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Umweltaspekte. Das BFE nimmt basierend auf der behördlichen Überprüfung sowie den Stellungnahmen des Ausschusses der Kantone und der Standortregionen eine Gesamtbeurteilung der Vorschläge vor, erstellt die Ergebnisberichte und aktualisiert die Objektblätter. Nach dreimonatiger Anhörung entscheidet wiederum der Bundesrat.

Etappe 3: Standortwahl und Rahmenbewilligungsverfahren

Die potenziellen Standorte aus Etappe 2 werden in Etappe 3 des Sachplanverfahrens vertieft untersucht und die standortspezifischen geologischen Kenntnisse auf ein Niveau gebracht, welches einen weitergehenden Vergleich der Standorte aus sicherheitstechnischer Sicht ermöglicht. Dazu sind seismische Messungen und Sondierbohrungen notwendig.

Standortgemeinden und -kantone erarbeiten für allfällige negative sozioökonomische Auswirkungen Vorschläge für Kompensationsmassnahmen. Zudem regeln sie zusammen mit den Entsorgungspflichtigen die Frage einer allfälligen Abgeltung.

Die Entsorgungspflichtigen benennen als Folge der vertieften Untersuchungen für beide Lager je einen Standort. Mit dem Einreichen des Rahmenbewilligungsgesuchs beantragen sie auch die Festsetzung des gewählten Standortes im Sachplan.

Nach dem Bundesratsentscheid befindet das Parlament über die Rahmenbewilligung. Der Entscheid der Bundesversammlung untersteht dem fakultativen Referendum, was eine nationale Volksabstimmung ermöglicht.

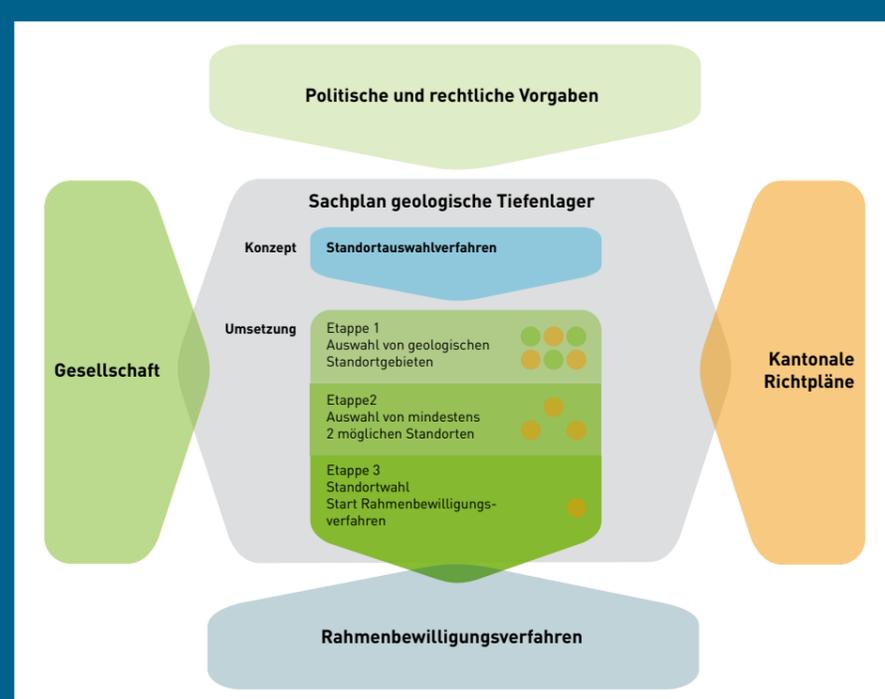


Bild 6
Stellung und Abhängigkeiten des Sachplans geologische Tiefenlager.

5 Verfahren zur Standortevaluation

In Etappe 1 des Sachplanverfahrens müssen die Entsorgungspflichtigen aufgrund sicherheitstechnischer Kriterien und unter Berücksichtigung der bautechnischen Machbarkeit geologische Standortgebiete identifizieren und ihre Vorschläge in einem Bericht^[Lit. 6] zuhanden der Behörden begründen. Die Vorschläge der Nagra basieren ausschliesslich auf wissenschaftlich-technischen Grundlagen, die weitergehende gesamtheitliche Beurteilung ist Aufgabe der Behörden und des Bundesrates.

Das Verfahren und die fünf Schritte zur Auswahl der geologischen Standortgebiete sind im Sachplan festgelegt (siehe Textkasten). In diesem Kapitel werden das Vorgehen und die Resultate der Schritte 1 und 2 (Abfallzuteilung sowie Sicherheits- und Barrierenkonzept) dargestellt. Für die Schritte 3 bis 5 (Grossräume, Wirtgesteine und Konfigurationen) wird nur das Vorgehen beschrieben. Die Resultate werden in den Kapiteln 6 (HAA) und 7 (SMA) vorgestellt.

Die fünf Schritte zur Einengung potenzieller Standortgebiete gemäss «Sachplan geologische Tiefenlager»

Für die Erarbeitung von Vorschlägen geeigneter Standortgebiete für geologische Tiefenlager haben die Entsorgungspflichtigen aus sicherheitstechnischer Sicht folgende anwendungsgerechte Sequenz von Fragestellungen zu beantworten:

Schritt 1 (Zuteilung der Abfälle): Wie werden die Abfälle den beiden Lagertypen SMA und HAA zugeteilt?

Schritt 2 (Konzept Sicherheitsbarrieren): Welche Anforderungen müssen unter Berücksichtigung des zugeteilten Abfallinventars und des zugehörigen Sicherheitskonzeptes beziehungsweise Barrierenkonzeptes an die standortbezogenen geologischen Verhältnisse gestellt werden?

Schritt 3 (Identifikation Grossräume): Wo liegen geeignete geologisch-tektonische Grossräume, die den sicherheitstechnischen Anforderungen genügen?

Schritt 4 (Wirtgesteine): Welche Gesteine in diesen Grossräumen eignen sich potenziell als Wirtgesteine beziehungsweise als einschlusswirksame Gebirgsbereiche?

Schritt 5 (Geeignete Konfigurationen): Wo liegen potenzielle Wirtgesteine in geeigneter Konfiguration (Ausbildung, Anordnung, Tiefenlage, Mächtigkeit, Erschliessung der untertägigen Bauwerke) vor?

Schritt 1: Zuteilung der Abfälle

Das Entsorgungskonzept geht von zwei Tiefenlagern aus: eines für HAA und eines für SMA (vgl. Bilder auf Seite 20 und 21 unten). Grundsätzlich gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, die einzelnen Abfallkategorien gemäss Kernenergieverordnung den jeweiligen Lagern zuzuordnen. Die Entsorgungspflichtigen müssen geeignete Zuteilungen vorschlagen, welche durch die Behörden geprüft werden.

Für die Abfallzuteilung werden die Halbwertszeiten, die radiologische Toxizität, die Abfallvolumina, die Wärmeentwicklung, der Gehalt an Komplexbildnern, Metallen und Organika, die Materialeigenschaften der Abfallgebände und die möglichen Auswirkungen der Abfälle auf das Wirtgestein berücksichtigt. Die Abfallzuteilung ist im NTB 08-05^[Lit. 7] detailliert begründet.

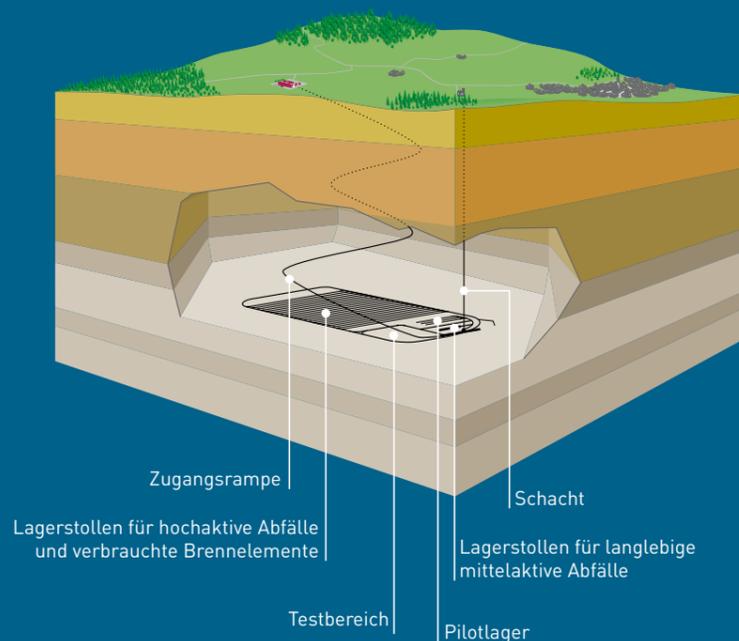
In Tabelle 4 sind alle Abfälle aufgeführt, die in den fünf bestehenden Kernkraftwerken bei einer an-

Abfallzuteilung Kategorien (KEV)	Tiefenlager HAA		Tiefenlager SMA	Total
	In BE/HAA-Stollen m ³	In LMA-Tunnel m ³	In SMA-Kavernen m ³	
HAA Hochaktive Abfälle	7 325	–	–	7 325
ATA Alphatoxische Abfälle	–	2 280	–	2 280
SMA Schwach- und mittelaktive Abfälle	–	430	88 980	89 410
Total	7 325	2 710	88 980	99 015

Tabelle 4

Zuteilung der verpackten Abfälle auf die Tiefenlager HAA und SMA, ausgehend von den Kategorien der Kernenergieverordnung (KEV). Die Nagra bezeichnet alle SMA- und ATA-Abfälle, die dem Tiefenlager HAA zugeteilt werden, als langlebige mittelaktive Abfälle (LMA).

Geologisches Tiefenlager HAA/BE/LMA



Geologisches Tiefenlager SMA



genommenen Betriebsdauer von 50 Jahren entstehen, sowie die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF) bei einer Sammelperiode bis 2050. Die Zahlen sind gerundet und beziehen sich auf Kubikmeter konditionierte und in Endlagerbehältern verpackte Abfälle. Sie enthalten für das Tiefenlager SMA Reserven von 12 000 Kubikmeter für Stilllegungsabfälle aus dem MIF-Bereich. In Schritt 5 werden beim Platzbedarf auch weitere Reserven für zukünftige Entwicklungen berücksichtigt.

Schritt 2: Konzept Sicherheitsbarrieren

Die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers wird durch ein auf die Abfälle abgestimmtes System gestaffelter passiver Sicherheitsbarrieren erreicht. Ziel des Sicherheits- und Barrierenkonzepts ist es, die radioaktiven Substanzen sicher einzuschließen und damit eine unerwünschte Freisetzung in die Biosphäre zu verhindern und so die Langzeitsicherheit des Tiefenlagers zu gewährleisten. Folgende Sicherheitsfunktionen müssen greifen:

- Physische Trennung der Abfälle vom menschlichen Lebensraum («Isolation») und Gewährleistung der Langzeitstabilität;

- Sicherer Einschluss der Radionuklide (radioaktive Stoffe) in den Abfallgebänden, bis der Großteil zerfallen ist;
- Verzögerte Freisetzung der verbleibenden Radionuklide aus den Abfallgebänden ins Nahfeld und in die Geosphäre dank günstiger geochemischer Bedingungen;
- Radionuklidrückhaltung im Nahfeld aufgrund wirksamer Nahfeldbarrieren und in der Geosphäre sowie
- Beschränkung der Freisetzungsraten, so dass die Radionuklidkonzentration im Lebensraum im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung sehr klein bleibt.

Das Sicherheitskonzept soll so ausgelegt werden, dass sich die technischen Barrieren und das Wirtgestein als geologische Barriere gegenseitig ergänzen. Bild 7 zeigt die auf dem Sicherheitskonzept beruhenden Barrierenkonzepte für HAA und SMA.

Die Funktionsweise der einzelnen Elemente des gestaffelten Barrierensystems wird nachfolgend erläutert:

- Die Abfallmatrizen sind langzeitbeständig, das heißt, sie weisen kleine Korrosions- beziehungsweise Zersetzungsraten auf und tragen dadurch

zur Radionuklid-Rückhaltung beziehungsweise zur Verzögerung der Freisetzung bei.

- Die Endlagerbehälter stellen bei den HAA den vollständigen Einschluss der Abfälle für mehrere tausend Jahre sicher. Sollten sie einmal undicht werden, tragen sie aufgrund des begrenzten Wasserzutritts und der günstigen Sorptionseigenschaften der Korrosionsprodukte bei vielen Radionukliden zur Rückhaltung beziehungsweise zur Verzögerung ihrer Freisetzung bei.
- Das Verfüllmaterial zwischen den Endlagerbehältern und dem Wirtgestein verfügt über günstige Eigenschaften zur Radionuklid-Rückhaltung und stellt für die Langzeitstabilität der Behälter ein günstiges chemisches Umfeld her. Die Verfüllmaterialien werden so gewählt, dass sie die günstigen Wirtgesteineigenschaften möglichst wenig beeinträchtigen.
- Die Verfüllung und Versiegelung der untertägigen Bauwerke erschweren den menschlichen Zutritt zu den Abfällen und stellen sicher, dass die Stollen mechanisch stabil bleiben. Sie unterbinden eine hydraulische Verbindung zur Erdoberfläche und weisen günstige geochemische Eigenschaften auf, um Radionuklide zurückzuhalten.

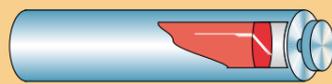
- Geeignete Wirtgesteine tragen durch geringe Wasserführung, eine günstige Ausbildung des Porenraums und geeignete geochemische Bedingungen dazu bei, dass ein allfälliger Radionuklidtransport nur sehr langsam erfolgt. Das Wirtgestein stellt für die technischen Barrieren bezüglich Langzeitstabilität und Radionuklid-Rückhaltung eine günstige hydrogeologische, geochemische und geomechanische Umgebung dar.

- Ein geeignetes geologisches Umfeld zeichnet sich durch eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit von geologischen Ereignissen und Prozessen aus, welche die Langzeitstabilität des Barriersystems innerhalb des zu betrachtenden Zeitraums beeinträchtigen können. Zusätzlich werden Gebiete mit bedeutenden Rohstoffvorkommen gemieden, so dass ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen sehr unwahrscheinlich ist.

Eine ausführliche Diskussion zu Abfallzuteilung, Barriersystem und Anforderungen an die Geologie ist im technischen Bericht NTB 08-05^[Lit. 7] zu finden.

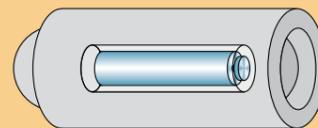
Bild 7
Referenz-Barrierenkonzepte für verglaste hochaktive Abfälle (HAA) und schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA). Die Sicherheitsbarrieren für verbrauchte Brennelemente gleichen denjenigen für HAA, diejenigen für langlebige mittelaktive Abfälle denjenigen für SMA.

Sicherheitsbarrieren HAA



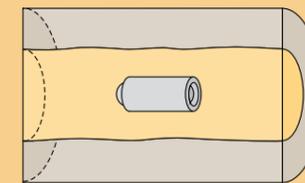
Abfallmatrix (Glas)

- Fixierung der Radionuklide in der Glasmatrix
- Kleine Glaskorrosionsrate



Endlagerbehälter

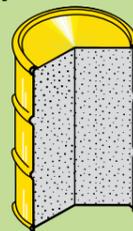
- Einschluss der Abfälle für mehrere tausend Jahre
- Danach: Begrenzung Wasserzutritt und Radionuklid-Rückhaltung (Sorption an Korrosionsprodukten)



Verfüllung (Bentonit)

- Geeigneter Übergang zwischen Endlagerbehältern und Wirtgestein
- Günstige Radionuklid-Rückhalteeigenschaften
- Günstige Bedingungen für Langzeitstabilität der Endlagerbehälter

Sicherheitsbarrieren SMA

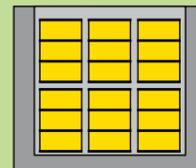


Abfallmatrix (diverse Materialien)

- Fixierung der Radionuklide in der Abfallmatrix
- Kleine Degradationsrate der Abfallmatrix

Endlagerbehälter

- Einschluss der Abfälle für eine beschränkte Zeit
- Danach: Begrenzung Wasserzutritt Radionuklid-Rückhaltung (Sorption an Behältermaterialien und Korrosionsprodukten)



Verfüllung (Zementmörtel)

- Geeigneter Übergang zwischen Endlagerbehältern und Wirtgestein
- Günstige Radionuklid-Rückhalteeigenschaften
- Günstige Bedingungen für Langzeitstabilität der Endlagerbehälter

Geologische Barrieren

Wirtgestein

- Geringe Wasserführung
- Günstige Ausbildung des Porenraums
- Günstige geochemische Bedingungen für Radionuklid-Rückhaltung
- Günstige Bedingungen für Langzeitstabilität der technischen Barrieren

Geologische Situation

- Günstige Konfiguration Wirtgestein zur Anordnung der Lagerstollen respektive Lagerkavernen
- Günstige Bedingungen für Langzeitstabilität des Barriersystems
- Abwesenheit von nutzungswürdigen Rohstoffvorkommen

Anordnung der Lagerkammern tief im Untergrund

- Isolation der Abfälle
- Schutz vor unerwünschtem Zugriff
- Schutz vor unbeabsichtigtem Eindringen
- Schutz vor Erosion



Die Schritte 3 bis 5

In den im Folgenden beschriebenen Schritten 3 bis 5 haben die Entsorgungspflichtigen gemäss Sachplan 13 Kriterien anzuwenden. Diese sind entsprechend ihrer Funktion und Bedeutung für die Langzeitsicherheit und Machbarkeit eines Tiefenlagers in vier Kriteriengruppen eingeteilt (Textkasten).

Die Schritte 3 bis 5 zeichnen sich durch ein mehrstufiges Verfahren bei der Anwendung der Kriterien aus:

- Anwendung von Mindestanforderungen: Varianten, die nicht alle Mindestanforderungen erfüllen, werden ausgeschlossen.
- Für die verbleibenden Varianten werden in den Schritten 4 und 5 sicherheitsgerichtete ver-

schärfte Anforderungen eingeführt. Varianten, die diese verschärften Anforderungen nicht erfüllen, werden zurückgestellt.

- Bewertung: Die Bewertung der dann noch verbleibenden bevorzugten Varianten erfolgt anhand einer vierstufigen Bewertungsskala (sehr günstig, günstig, bedingt günstig und ungünstig) und wird zur Prioritätensetzung genutzt.

Das Auswahlverfahren (Bild 8) mit detaillierter Beschreibung der Kriterien und ihrer Anwendung wird von der Nagra in NTB 08-03^[Lit. 6] ausführlich dargestellt. Die sicherheitsbezogenen Grundlagen sowie die erdwissenschaftlichen Grundlagen für die Schritte 3 bis 5 des Auswahlverfahrens sind in den Referenzberichten NTB 08-05^[Lit. 7] und NTB 08-04^[Lit. 8] dokumentiert.

Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit

Kriteriengruppen / Kriterien

- Eigenschaften des Wirtgesteins beziehungsweise des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches**
 - Räumliche Ausdehnung
 - Hydraulische Barrierenwirkung
 - Geochemische Bedingungen
 - Freisetzungspfade
- Langzeitstabilität**
 - Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften
 - Erosion
 - Lagerbedingte Einflüsse
 - Nutzungskonflikte
- Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen**
 - Charakterisierbarkeit der Gesteine
 - Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse
 - Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
- Bautechnische Eignung**
 - Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen
 - Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung

Schritte gemäss Sachplan	Lager SMA	Lager HAA
Schritte 1 und 2: Abfallzuteilung, Barrieren-/Sicherheitskonzept, Anforderungen und Vorgaben	Festlegung der Abfallzuteilung, des Barrierenkonzepts sowie der Anforderungen beziehungsweise Bewertungsskalen bezüglich Betrachtungszeiträume, Platzbedarf, Tiefenlage, Wirtgesteinseigenschaften, Hebung/Erosion etc.	
Schritt 3: Identifikation und Bewertung der weiter zu betrachtenden geologisch-tektonischen Grossräume Evaluation der grossräumigen Verhältnisse bezüglich Hebung/Erosion, Geodynamik, geologischer Komplexität und räumlicher Verhältnisse. Die Evaluation ergibt «günstig bis sehr günstig» (dunkelgrün/dunkelorange), «ungünstig bis bedingt günstig» (hellgrün/hellorange) oder «ungenügend» (weiss) bewertete geologisch-tektonische Grossräume.		
Schritt 4: Auswahl bevorzugter Wirtgesteine Auswahl potenzieller Wirtgesteine anhand des Gesteinsinventars (dargestellt als 27 repräsentative stratigraphische Sammelprofile). Die Bewertung der potenziellen Wirtgesteine führt schrittweise zur Auswahl von bevorzugten Wirtgesteinen und deren Verbreitungsräumen.		
Schritt 5: Festlegung der geologischen Standortgebiete Zuerst werden innerhalb der weiter betrachteten Verbreitungsräume Karten erstellt für die bevorzugten Wirtgesteine in geeigneter Tiefenlage und mit genügender Mächtigkeit. Dann werden bevorzugte Bereiche abgegrenzt durch Berücksichtigung der Berandung durch regionale Störungszonen, übertiefte Felsrinnen, Zonen mit Anzeichen kleinräumiger Zergliederung (diffus gestörte Zonen) und konzeptionell zu meidenden Zonen mit ungünstigem tektonischem Regime (Neotektonik). Die Bewertung dieser bevorzugten Bereiche führt weiter zu prioritären Bereichen. Diese prioritären Bereiche wiederum ergeben, zusammen mit den überlappenden beziehungsweise in der Nähe liegenden bevorzugten Bereichen, schliesslich die geologischen Standortgebiete. Die Festlegung der Grenzen der geologischen Standortgebiete berücksichtigt die Ungewissheiten in den räumlichen Daten. Die Bewertung der Bereiche bildet die Basis für die Bewertung der geologischen Standortgebiete.		

Bild 8

Auswahl von geologischen Standortgebieten (Schritte gemäss SGT, Etappe 1).

Schritt 3: Identifikation Grossräume

Gliederung der Schweiz in Grossräume

Ausgehend von den Kenntnissen zur Geodynamik und Tektonik lässt sich die Schweiz in geologisch-tektonische Grossräume gliedern (Bild 9).

Die Alpen und der Faltenjura sind gekennzeichnet durch Gebirgstektonik (komplexer Faltenbau, Überschiebungen, engständige Störungen). Der Alpenraum zeigt zudem gegenüber den übrigen Grossräumen erhöhte Hebungsraten.

Im westlichen Tafeljura sind die Sedimentgesteine zwar flach gelagert, aber von engständigen Störungen durchsetzt. Die Gebiete mit der geringsten tektonischen Deformation sind der östliche Tafeljura und das Molassebecken, wo die Schichten im Allgemeinen ebenfalls flach gelagert sind. Im Molassebecken gibt es allerdings Unterschiede: Der Bereich südlich des Faltenjuras (Subjurassische Zone) zeigt eine erhöhte tektonische Komplexität, insbesondere im Westen, wo neben Verfaltung und Aufschiebungen parallel zum Faltenjura vermehrt Querstörungen nachgewiesen sind oder erwartet werden. Im westlichen

Molassebecken gibt es im Vergleich zum östlich anschliessenden Gebiet mehr Hinweise auf kleinräumige Störungen. Zudem deutet die heutige Erdbebenverteilung auf regionale Störungen mit neotektonischer Aktivität hin (Fribourg-Zone). Weiter ist ein schwach ausgeprägter Faltenbau vorhanden. Richtung Osten sind die Hinweise auf Störungen tendenziell abnehmend, und der Faltenbau wird schwächer.

Anforderungen an Grossräume

Bei der Identifikation geeigneter geologisch-tektonischer Grossräume wird primär die Langzeitstabilität betrachtet. Als Betrachtungszeitraum werden 100 000 Jahre (Tiefenlager SMA) beziehungsweise 1 Million Jahre (Tiefenlager HAA) zugrunde gelegt. Gesucht werden Grossräume, in denen im Betrachtungszeitraum keine generellen, das heisst, den ganzen oder grosse Teile des Grossraums betreffenden geologisch-tektonischen Veränderungen zu erwarten sind, welche die Sicherheit trotz geeigneter Auslegung des Lagers in Frage stellen könnten. Die Langzeitstabilität wird insbesondere durch die Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften sowie die Erosion bestimmt.

-  Westliche Subjurassische Zone
-  Östliche Subjurassische Zone
-  Übergangszone östlicher Tafeljura/Molassebecken
-  Westlicher Tafeljura mit Oberrheingraben
-  Östlicher Tafeljura
-  Ostgrenze dichtes rheinisches Störungsmuster

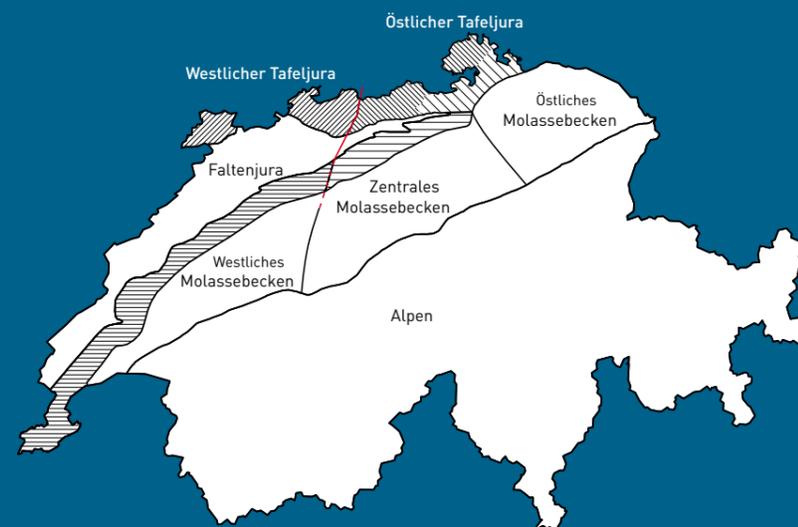


Bild 9

Gliederung der Schweiz in geologisch-tektonische Grossräume.

Ferner werden Modellvorstellungen zur Geodynamik und Neotektonik und seltene geologische Ereignisse wie Vulkanismus untersucht. Es wird auch überprüft, ob die Grossräume aufgrund der tektonischen Überprägung so zergliedert sind, dass die zur Verfügung stehenden Gesteinsblöcke mit grosser Wahrscheinlichkeit für die Aufnahme eines Lagers zu klein sind.

Bewertung der Grossräume

Am Ende von Schritt 3 werden die Grossräume zusammenfassend bewertet und verglichen. Die als geeignet erachteten Grossräume werden weiter betrachtet, die ungenügenden ausgeschlossen.

Schritt 4: Wirtgesteine

Nun werden potenzielle beziehungsweise bevorzugte Wirtgesteine innerhalb der verbleibenden geologisch-tektonischen Grossräume identifiziert. Im Zentrum stehen die Barrierenwirkung des Wirtgesteins, gesteinsbezogene Aspekte der Langzeitstabilität, Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen und bautechnische Eignung.

Bei der Beurteilung wird auch der jeweilige Grossraum berücksichtigt, da einige Wirtgesteins-eigenschaften durch die tektonische Überprägung beeinflusst werden (Wasserführung, bautechnische Eigenschaften etc.). Die Wirksamkeit gewisser Eigenschaften sind von der geologischen Situation abhängig (Wasserfluss als Produkt aus Durchlässigkeit und Gradient, Mächtigkeit, Eingrenzung der lateralen Ausdehnung durch regionale Störungszonen etc.).

Mindestanforderungen an Wirtgesteine

Als Grundlage für die Identifikation von geeigneten sedimentären Wirtgesteinen wird die Schweiz in Areale (Bild 10) aufgeteilt, deren geologischer Aufbau durch repräsentative Gesteinsabfolgen cha-

Selbstabdichtung

Bei der Beurteilung von Wirtgesteinen (Lagergesteinen) ist eine möglichst geringe Wasserdurchlässigkeit zentral.

Bei den tonreichen, sehr geringdurchlässigen Sedimentgesteinen können sich durchlässige Klüfte bei Wasserzutritt durch Quellen der Tonminerale selber abdichten. Die Erfahrung zeigt, dass bei einem über die Sedimentgesteinsabfolge gemittelten Tongehalt über 25 Prozent in der Regel das erforderliche Selbstabdichtungsvermögen vorhanden ist.

Auch Kristallingesteine erfüllen im ungestörten, ungeklüfteten Zustand die Anforderungen an eine geringe Durchlässigkeit; wegen des weitgehend fehlenden Selbstabdichtungsvermögens sind hier aber Störungen und Klüfte für die Beurteilung der Durchlässigkeit entscheidend.

rakterisiert und in Sammelprofilen dargestellt werden kann. Damit verfügt man über das Inventar der in den Grossräumen vorhandenen Gesteine. Die kristallinen Gesteine werden separat bewertet.

Alle Sediment-Formationen, die in den Sammelprofilen nicht eine Mächtigkeit von mindestens hundert Meter haben und die nicht gering wasser-durchlässig sind, werden ausgeschlossen. Durch diese Vorselektion findet eine erste signifikante Reduktion der Möglichkeiten statt.

Geeignete Wirtgesteine zeichnen sich durch geringe Wasserführung aus. Die identifizierten Wirtgesteine müssen die zuverlässige Erstellung des Tiefenlagers gemäss den sicherheitstechnischen Anforderungen für Betriebs- und Langzeitsicherheit ermöglichen. Bautechnische Erschwernisse (bzw. daraus resultierender Zeitaufwand und Kosten) werden später geprüft, da sie im Vergleich zur Sicherheit nur eine untergeordnete Rolle spielen. Hingegen wird untersucht, ob das Wirtgestein für die Sicherheit und die Machbarkeit des Lagers in geeigneter Tiefenlage und Geometrie vorkommt.

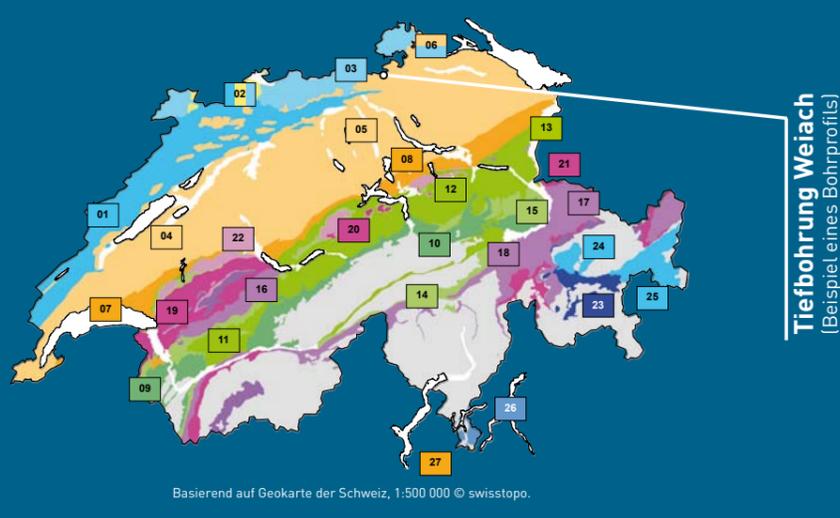
Verschärfte Anforderungen an Wirtgesteine

Für die Auswahl der bevorzugten Wirtgesteine werden verschärfte Anforderungen an die hydraulische Durchlässigkeit und die Charakterisierbarkeit der Wirtgesteine, insbesondere die zuverlässige Lokalisierung und Charakterisierung höher durchlässiger Fliesspfade gestellt. Wirtgesteine, die die Anforderungen und Vorgaben nicht erfüllen, werden nicht weiter berücksichtigt.

Bewertung bevorzugter Wirtgesteine

Am Ende von Schritt 4 werden die Wirtgesteine zusammenfassend bewertet und verglichen.

- Rezente Lockergesteine
- Tertiär des Oberrheingrabens
- Tafeljura
- Faltenjura
- Mittelländische Molasse
- Subalpine Molasse
- Nordhelvetikum (Sedimente)
- Helvetikum im engeren Sinn
- Ultrahelvetikum
- Unterpenninikum (Sedimente)
- Mittelpenninikum (Sedimente)
- Oberpenninikum (Sedimente)
- Oberpenninische Flyschdecken
- Unterostalpin (Sedimente)
- Oberostalpin (Sedimente)
- Südalpin (Sedimente)
- Südalpine «Molasse»
- Kristalline Decken und Massive



Basierend auf Geokarte der Schweiz, 1:500 000 © swisstopo.

Bild 10

Geologischer Aufbau der Schweiz und Gültigkeitsbereiche (ungefähre Position der Nummern in geologisch-tektonischen Einheiten) der stratigraphischen Sammelprofile.

Nr. Nummer des Sammelprofils, Position entspricht Mittelpunkt des Gültigkeitsbereichs

Schritt 5: Geeignete Konfigurationen

In Schritt 5 des Auswahlverfahrens werden geologische Standortgebiete für die bevorzugten Wirtgesteine innerhalb der geeigneten Grossräume abgegrenzt. Dazu werden für die Wirtgesteine Bereiche bestimmt, welche die Mindestanforderungen und danach die verschärften Anforderungen erfüllen. Aufgrund einer vergleichenden Bewertung der verbleibenden Bereiche werden die geologischen Standortgebiete vorgeschlagen.

Jedes Wirtgestein wird dabei auf seine Geometrie (Konfiguration) im jeweiligen lokalen geologisch-tektonischen Umfeld hin untersucht. Die Schwerpunkte der Abklärungen liegen auf Tiefenlage und Mächtigkeit der Wirtgesteine, auf gebietsbegrenzenden geologischen Elementen wie regionale Störungszonen, glazial übertiefte Felsrinnen, Zonen mit Anzeichen erhöhter tektonischer Zergliederung als Folge der tektonischen Überprägung, sowie dem Platzangebot (inkl. Flexibilität zur Anordnung der untertägigen Lagerbauten und Reserven).

Bei der Identifikation geeigneter Konfigurationen ist zwischen flächenhafter Verbreitung der Wirtgesteine (für SMA und HAA) und lokalen Vorkommen (nur für SMA) zu unterscheiden. Während im östlichen Tafeljura und im Molassebecken die Verbreitung der betrachteten Wirtgesteine flächenhaft ist und mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) evaluiert werden kann, wird im Helvetikum der Alpen jedes bekannte grössere lokale Vorkommen von Mergel-Formationen individuell beurteilt. Die angewendeten Kriterien sind in beiden Fällen aber dieselben.

Im Folgenden wird das Vorgehen für Wirtgesteine mit flächenhafter Verbreitung beschrieben, dasjenige für lokale Vorkommen wird analog durchgeführt.

Mindestanforderungen an Bereiche

Für jedes bevorzugte Wirtgestein wird seine Verbreitung unter Berücksichtigung der Tiefenlage und Mächtigkeit untersucht (Bild 11a). Dabei gelten folgende Mindestanforderungen: Das Wirtgestein soll eine Mächtigkeit von mindestens hundert Meter aufweisen und sich in einer Tiefe von mindestens 200 Meter (für das Tiefenlager SMA) beziehungsweise 400 Meter (für ein Tiefenlager HAA) unter Terrain befinden. Die Lagerebene darf aus Gründen der bautechnischen Machbarkeit höchstens 800 Meter (für das Tiefenlager SMA) beziehungsweise 900 Meter (für das Tiefenlager HAA) unter Terrain liegen. Die Mindestanforderungen zur Mächtigkeit verhindern zu kurze Freisetzungswegen, während die Anforderungen an die minimale Tiefenlage verhindern sollen, dass das Lager im Betrachtungszeitraum durch grossräumige Erosion gefährdet sein könnte.

Weiter wird dem Einflussbereich von regionalen Störungszonen ausgewichen (Bild 11b). Dafür wird ein Sicherheitsabstand von mindestens 200 Meter eingehalten, der auch den Ungewissheiten bezüglich des exakten Verlaufs der Zonen Rechnung trägt. Auch werden unter übertiefen Felsrinnen (welche von früheren Gletschervorstössen ausgehobelt wurden) Mindesttiefen eingehalten, damit genügend Felsüberdeckung vorhanden ist, falls bei künftigen Gletschervorstössen die leichter erodierbaren quartären Ablagerungen in den Rinnen wieder ausgeräumt würden (Bild 11c).

Bereiche, die entweder zu klein sind oder die eine ungeeignete Form für die Anordnung der Tiefenlager haben, werden ausgeschieden. Dabei wird geprüft, ob die Bereiche eine Fläche von mindestens drei Quadratkilometer bei einer nutzbaren Breite von mindestens einem Kilometer für das Tiefenlager SMA beziehungsweise sechs Quadratkilometer bei einer nutzbaren Breite von mindestens 1,5 Kilometer für das Tiefenlager HAA haben. Damit ist sichergestellt, dass die Gebiete über genügend Flexibilität zur Anordnung der unterirdischen Anlagenteile verfügen und ausreichend Reserve für künftige Entwicklungen aufweisen. Die Be-



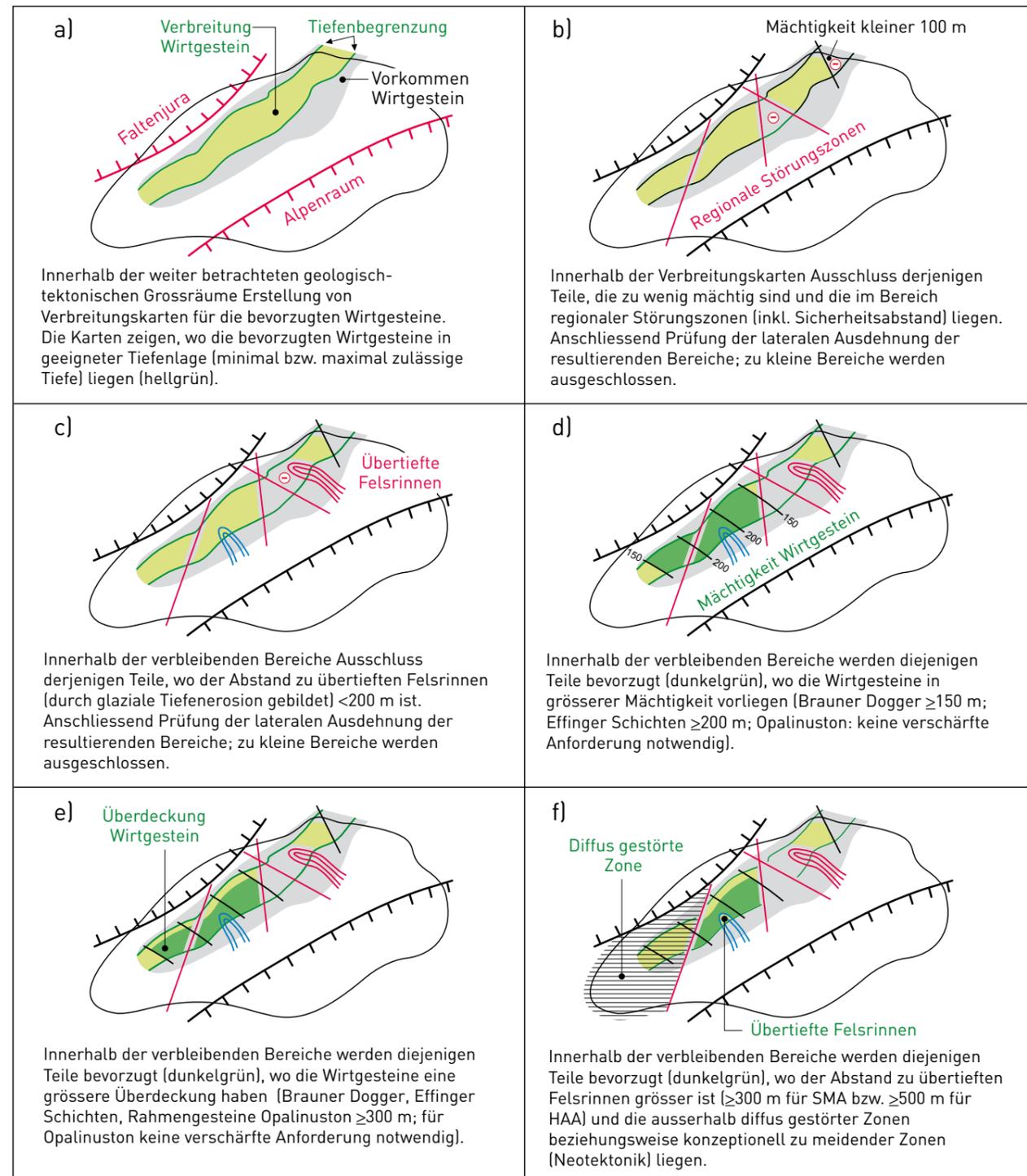


Bild 11

Schematische Darstellung der Anwendung der Mindestanforderungen (a bis c) und der verschärften Anforderungen (d bis f) bei den flächenhaft vorkommenden Wirtgesteinen.

reiche, die alle Mindestanforderungen erfüllen, werden weiter betrachtet.

Verschärfte Anforderungen an Bereiche

Die Anwendung verschärfter Anforderungen verfolgt das Ziel, sicherheitsmässig etwa vergleichbare bevorzugte Bereiche zu bestimmen und den Einfluss von grösseren Ungewissheiten bezüglich Sicherheit zu reduzieren. Je nach Wirtgestein werden für nachfolgende Merkmale, die sicherheitstechnisch besonders wichtig sind, verschärfte Anforderungen gestellt (Bild 11d bis 11f):

- Mächtigkeit,
- Tiefenlage unter Terrain (im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion),
- Tiefenlage unter Oberfläche Fels (im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion),
- Platzangebot untertage unter Berücksichtigung geometrischer Ungewissheiten.

Aus Gründen der Sicherheit und Machbarkeit eines Tiefenlagers wird zudem folgenden Zonen ausgewichen (Bild 11f):

- Felsrinnen,
- Diffus gestörte Zonen und Zonen, bei denen betreffend Neotektonik Vorbehalte bestehen (konzeptionell zu meidende Zonen).

Die verschärfte Anforderungen sind teilweise wirtgesteinsspezifisch. Beispielsweise erfolgt für Wirtgesteine mit guten Kenntnissen bezüglich der Gesteins-Dekompaktion keine Verschärfung der minimalen Tiefenlage, während an Wirtgesteine mit grösseren Ungewissheiten bezüglich Gesteins-Dekompaktion verschärfte Anforderungen hinsichtlich der minimalen Tiefenlage gestellt werden.

Abgrenzung von Standortgebieten

Die oben identifizierten bevorzugten Bereiche werden als Bausteine für die Festlegung der geologischen Standortgebiete verwendet. Dazu werden sie einer vergleichenden Bewertung unterzogen, und es werden prioritäre Bereiche benannt.

Prioritäre Bereiche sind Gebiete mit besonders günstigen Eigenschaften.

Ausgehend von den prioritären Bereichen werden unter Einbezug der bevorzugten Bereiche (verschärfte Anforderungen erfüllt) geologische Standortgebiete abgegrenzt, welche den vorhandenen Interpretationsspielraum der gebietsbegrenzenden Daten abdecken. Damit wird vermieden, dass am Rande der geologischen Standortgebiete womöglich doch geeignete Teilgebiete vorzeitig ausgeschlossen werden. Die geologischen Standortgebiete werden später (in Etappe 3 des Sachplans) vertieft mit Seismik und Bohrungen untersucht, bevor die Anordnung der untertägigen Anlagen festgelegt wird.

Zusammenfassende Bewertung

Die Festlegung von Vorschlägen für geologische Standortgebiete für das Tiefenlager SMA beziehungsweise HAA basiert auf einer Synthese der Ergebnisse aller bisherigen Einengungsschritte und Bewertungen. Die geologischen Standortgebiete sind nach den Vorgaben im Sachplan zusammenfassend zu bewerten. Das Ergebnis ist mit einer qualitativen Werteskala mit den Werten «sehr geeignet», «geeignet», «bedingt geeignet» und «weniger geeignet» darzustellen.

6 Hochaktive Abfälle

In diesem Kapitel werden die Resultate der Schritte 3 bis 5 gemäss Sachplan zur Bestimmung von geologischen Standortgebieten für das Tiefenlager HAA vorgestellt. Das Vorgehen dazu ist in Kapitel 5 beschrieben.

Schritt 3: Identifikation Grossräume

Für das Tiefenlager HAA wird zur Identifikation von geologisch-tektonischen Grossräumen ein Betrachtungszeitraum von 1 Million Jahre zugrunde gelegt.

Langzeitstabilität

Für das Tiefenlager HAA geht man aufgrund geologischer Kenntnisse für 1 Million Jahre davon aus, dass die grossräumige Erosion und die Hebung im Gleichgewicht sind. Im Alpenraum mit heutigen Hebungsraten von 0,4 bis 1,5 Millimeter pro Jahr ergeben sich in dieser Zeit grossräumige Erosionsbeträge von maximal 1000 bis 2000 Meter. Zudem muss damit gerechnet werden, dass die Hebung über 1 Million Jahre nicht grossräumig gleichmässig erfolgt, sondern dass auch unterschiedlich schnelle Bewegungen auf den beiden

Seiten von bestehenden steilstehenden Störungen stattfinden. Für das Tiefenlager HAA wird deshalb der Grossraum der Alpen ausgeschlossen.

Obwohl die heutigen Hebungs- und Deformationsraten im Faltenjura, in der Subjurassischen Zone, im westlichen Tafeljura sowie im westlichen Molassebecken keine erhöhten Werte zeigen, können längerfristig erhöhte Deformationen und lokal erhöhte Hebungsraten nicht ausgeschlossen werden. Der westliche Tafeljura, der Faltenjura, die ganze Subjurassische Zone sowie das westliche Molassebecken werden deshalb für das Tiefenlager HAA unter dem Aspekt der Langzeitstabilität nur als bedingt günstig bewertet.

Der östliche Tafeljura sowie das östliche Molassebecken liegen ausserhalb des Oberrhein-Bresse-Grabensystems und wurden vom alpinen Fernschub nur schwach oder gar nicht erfasst, wobei der Einfluss im Allgemeinen von West nach Ost abnimmt. Diese Grossräume werden als günstig bewertet.

Räumliche Verhältnisse und Explorierbarkeit

Die Lagerstollen für die hochaktiven Abfälle verlangen Lagerebenen, die nur wenig geneigt sind und eine Ausdehnung von mehreren Quadratkilometern haben.

Die Alpen sind generell stark deformiert und zergliedert. Selbst die grösseren tektonischen Anhäufungen (Akkumulationen) würden kaum genügend Platz für das Tiefenlager HAA bieten. Der Faltenjura ist durch seinen Faltenbau und der westliche Tafeljura durch Querstörungen stark zergliedert. Im westlichen Teil der Subjurassischen Zone führen die Störungsmuster zu einer kleinräumigen Zergliederung. Deshalb werden diese Grossräume für das Tiefenlager HAA ausgeschlossen.

Das östliche Molassebecken und der östliche Tafeljura sind bezüglich Schichtverlauf einfach aufgebaut und tektonisch wenig zergliedert; in diesen Grossräumen sind die geometrischen Rahmenbedingungen für die Anordnung eines Tiefenlagers HAA bezüglich räumlicher Verhältnisse und Explorierbarkeit grösstenteils günstig.

Nach Westen und gegen den Faltenjura (östliche Subjurassische Zone) nimmt die Zergliederung des Molassebeckens tendenziell zu und die geometrischen Bedingungen werden komplizierter. Deshalb werden diese Grossräume als bedingt günstig eingestuft.

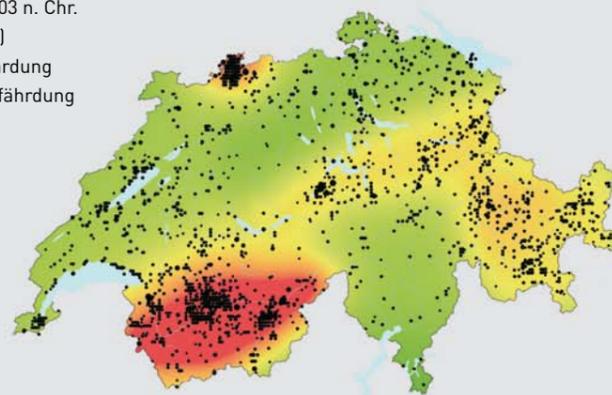
Schlussfolgerung

Aus Gründen der Langzeitstabilität werden die Alpen und aus Gründen der räumlichen Verhältnisse und ihrer Explorierbarkeit werden der westliche Tafeljura, der Faltenjura und die westliche Subjurassische Zone ausgeschlossen. Für das Tiefenlager HAA werden die Grossräume östlicher Tafeljura, Molassebecken und östliche Subjurassische Zone weiter betrachtet (Bild 12).

Erdbeben

im Zeitraum 250 bis 2003 n. Chr.
(Magnitude grösser 2,5)

Hohe Erdbebengefährdung
Geringe Erdbebengefährdung



Daten für Beben bis Anfang 20. Jahrhundert aus Chroniken abgeleitet (nur stärkere Beben).

Einzelne Regionen der Schweiz weisen eine erhöhte Seismizität auf (Wallis, Basel, Teile von Graubünden und Alpen-nordrand). Der Tafeljura sowie das zentrale und östliche Molassebecken liegen ausserhalb dieser Zonen. Die Bewertung der Seismizität erfolgt in Schritt 5 des Auswahlverfahrens (Evaluation der Konfiguration).

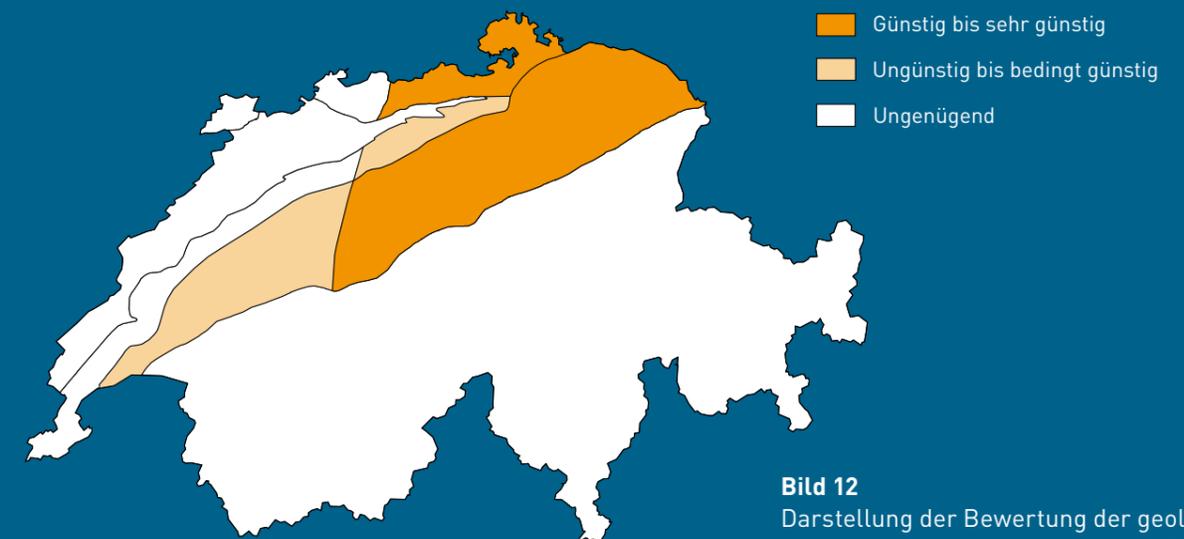


Bild 12
Darstellung der Bewertung der geologisch-tektonischen Grossräume für das Tiefenlager HAA.

Schritt 4: Wirtgesteine

In Schritt 4 des Auswahlverfahrens werden Wirtgesteine identifiziert, die sich für die Aufnahme des Tiefenlagers HAA eignen. Im Zentrum stehen die Barrierenwirkung des Wirtgesteins, wirtgesteinsbezogene Aspekte der Langzeitstabilität, Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen und die bautechnische Eignung.

Mindestanforderungen an Wirtgesteine

Von den in Bild 10 (Seite 28) dargestellten Arealen und Sammelprofilen werden nur diejenigen betrachtet, welche in den weiter zu berücksichtigenden Grossräumen liegen.

Von allen dort vorliegenden Wirtgesteinen erfüllen folgende sechs die Mindestanforderungen:

Prüfung von Wirtgesteinen		Mindestanforderungen							Verschärfte Anforderungen				
Gesteinseinheit bzw. Gesteinsabfolge (Reihenfolge der Sedimentgesteine stratigrafisch)	Verbreitung	Hydraulische Durchlässigkeit	Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade	Potential zur Bildung neuer Wassergangsamkeiten (Verkarstung)	Mächtigkeit	Tiefenlage im Hinblick auf flächenhafte Erosion	Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins	Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften	Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit	Laterale Ausdehnung	Hydraulische Durchlässigkeit	Homogenität des Gesteinsaufbaus	Variabilität Gesteinseigenschaften (Charakterisierbarkeit)
Kalkstein-Formationen verschiedenen Alters	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurass. Zone	■	■	zT									
Sandstein-Formationen verschiedenen Alters	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurass. Zone	■	■										
Evaporitabfolgen der Trias	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurass. Zone				gk		gk		zT	zT			
Opalinuston	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurass. Zone	Alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllt											
Tongesteinsabfolge Brauner Dogger	Tafeljura	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
Effinger Schichten	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurass. Zone	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
USM (Marnes Bariolées s. str.)	Westliches Molassebecken	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
OSM (Basiszone und Bodensee-Schüttung)	Östliches Molassebecken	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
Quartäre Seeablagerungen	Molassebecken						■			zT			
Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke)	Nordschweiz	Alle Mindestanforderungen erfüllt											

Legende	<input type="checkbox"/> Mindestanforderung erfüllt	<input type="checkbox"/> Verschärfte Anforderungen erfüllt
Bevorzugtes Wirtgestein	Mindestanforderung mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht erfüllt	Verschärfte Anforderungen mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht erfüllt
Potenzielles Wirtgestein	Gekoppelte Eigenschaften, zumindest eine der beiden Mindestanforderungen ist nicht erfüllt	Nicht weiter betrachtet
	Mindestanforderung im betrachteten Verbreitungsraum zum Teil nicht erfüllt	

Tabelle 5 Prüfung von Wirtgesteinen aufgrund von Mindest- und verschärften Anforderungen: Zusammenfassung der Evaluation für das Tiefenlager HAA.

Opalinuston, Brauner Dogger, Effinger Schichten, die tonreichen Gesteine der Unteren Süsswassermolasse (USM; Marnes Bariolées s. str.), die tonreichen Gesteine der Oberen Süsswassermolasse (OSM; Basiszone) und das kristalline Grundgebirge der Nordschweiz (Tab. 5).

Verschärfte Anforderungen an Wirtgesteine

Für die Auswahl der bevorzugten Wirtgesteine für das Tiefenlager HAA werden verschärfte Anforderungen gestellt (Tab. 5).

Der Braune Dogger und die Effinger Schichten werden für das Tiefenlager HAA insbesondere wegen ihrer vergleichsweise höheren Heterogenität im Gesteinsaufbau nicht als bevorzugte Wirtgesteine vorgeschlagen. Sie können aber aufgrund ihrer grossräumig geringen Durchlässigkeit wesentlich zur Wirksamkeit der geologischen Barriere beitragen, wenn sie an ein geeignetes Wirtgestein angrenzen.

Bei den tonigen Gesteine der USM und OSM ist schon die Erfüllung der Mindestanforderungen

bezüglich Durchlässigkeit knapp, die verschärften Anforderungen dazu werden nicht erfüllt. Auch die Explorierbarkeit, insbesondere die Lokalisierung der Sandsteinrinnen, ist sehr schwierig. Da auch die Anforderungen an die Homogenität des Gesteinsaufbaus nicht erfüllt sind, werden die tonreichen Gesteine der USM und OSM zurückgestellt.

Das kristalline Grundgebirge ist zwar hinsichtlich der Machbarkeit des Tiefenlagers HAA grundsätzlich eine Option, aber aufgrund der starken Tektonisierung und wegen der beschränkten Grösse der wenig deformierten Blöcke müsste das Lager voraussichtlich in mehrere Kompartimente aufgeteilt werden. Das kristalline Grundgebirge wird wegen der ungünstigen räumlichen Verhältnisse und der schwierigen Explorierbarkeit zurückgestellt.

Als bevorzugtes Wirtgestein für das Tiefenlager HAA verbleibt damit der Opalinuston. Im Molassebecken liegt der Opalinuston zu tief. Weiter betrachtet wird daher der Opalinuston in den beiden Grossräumen östlicher Tafeljura und östliche Subjurassische Zone (Bild 13).

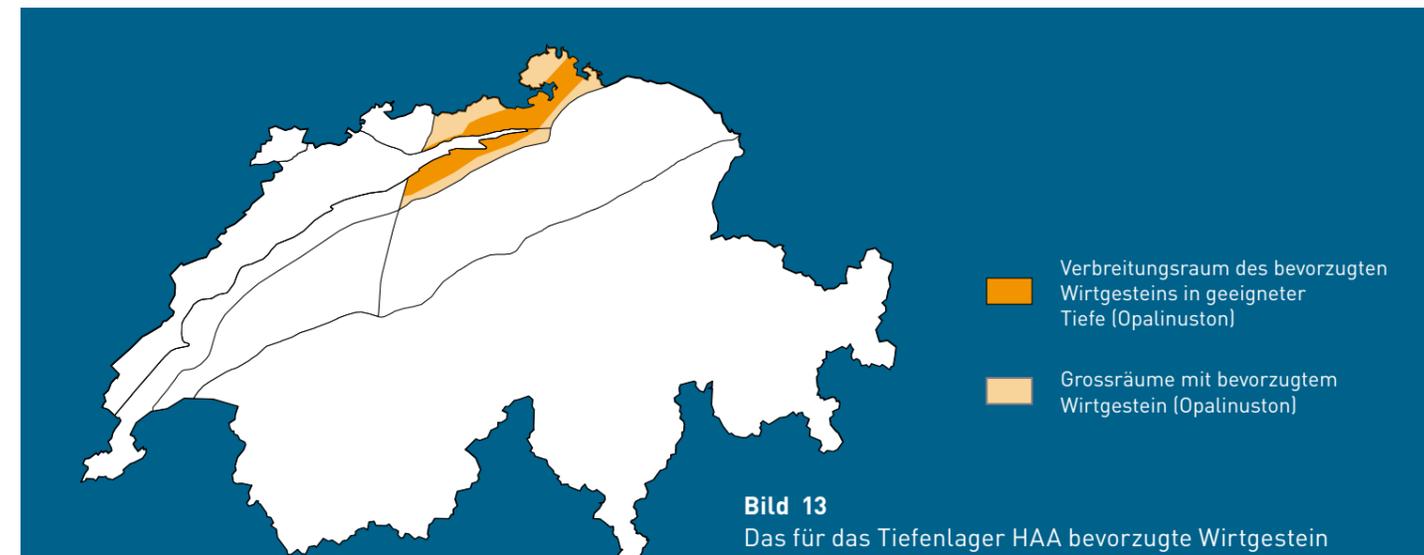


Bild 13 Das für das Tiefenlager HAA bevorzugte Wirtgestein Opalinuston wird in den flachliegenden und wenig bis mässig zergliederten Grossräumen (östlicher Tafeljura, östliche Subjurassische Zone) weiter betrachtet.

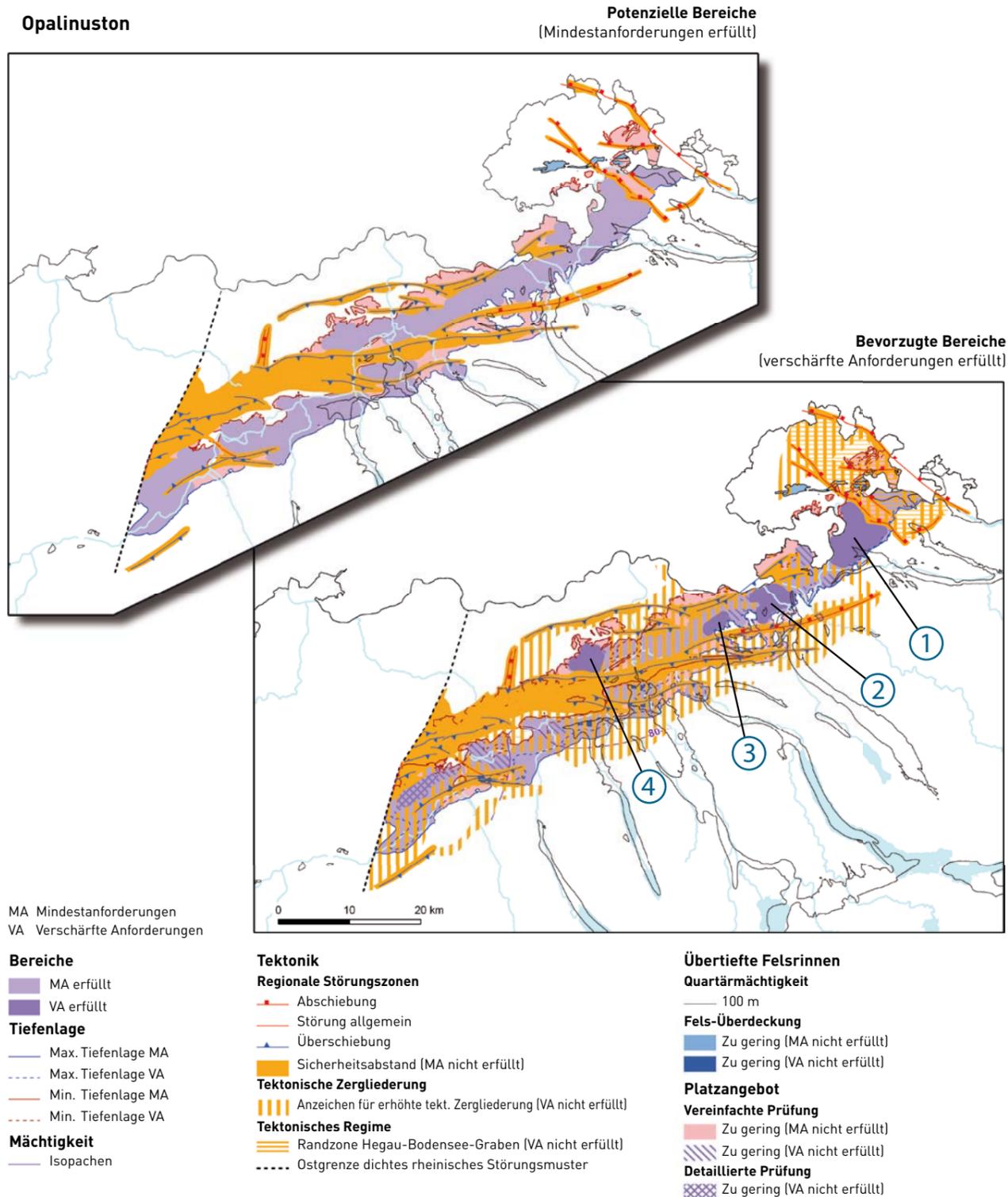


Bild 14
Oben: Bereiche mit Opalinuston für das Tiefenlager HAA. Dargestellt sind Bereiche mit Opalinuston, welche ausserhalb des Einflussbereichs von regionalen Störungszonen liegen und unterhalb übertiefer Felsrinnen eine Tiefenlage von mehr als 400 Meter unter Oberfläche Fels aufweisen. Bereiche, welche bezüglich Grösse und/oder Form als ungeeignet beurteilt werden, sind ausgeschlossen.
Unten: Bevorzugte Bereiche 1 bis 4 mit Opalinuston für ein Tiefenlager HAA, die alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllen.

Schritt 5: Geeignete Konfigurationen

In Schritt 5 werden geologische Standortgebiete für das Tiefenlager HAA in den geeigneten Grossräumen für das bevorzugte Wirtgestein Opalinuston festgelegt.

Zuerst werden Bereiche identifiziert, welche die Mindestanforderungen erfüllen. Danach werden anhand der verschärften Anforderungen bevorzugte Bereiche bestimmt. Anschliessend werden die bevorzugten Bereiche als Bausteine für die Festlegung der geologischen Standortgebiete verwendet.

Mindestanforderungen an Bereiche

Zur Abgrenzung von Bereichen werden die Verbreitungsgebiete mit Opalinuston in geeigneter Tiefenlage in Bezug auf flächenhafte Erosion, Gesteins-Dekompaktion, bautechnische Machbarkeit und genügende Mächtigkeit bestimmt. Um regionale Störzonen wird als Mindestanforderung ein Sicherheitsabstand eingehalten. Ferner werden die Gletschererosion und daraus resultierende Mindesttiefen unter übertieften Felsrinnen einbezogen. Die Anwendung der Mindestanforderungen führt zu einer ersten Abgrenzung von Bereichen mit genügender lateraler Ausdehnung. Für das Wirtgestein Opalinuston erfüllen die in Bild 14 oben dargestellten Bereiche die Mindestanforderungen.

Verschärfte Anforderungen an bevorzugte Bereiche

Bei den identifizierten Bereichen werden nun folgende verschärfte Anforderungen untersucht: Mächtigkeit, Tiefenlage unter Terrain und Tiefenlage unter Oberfläche Fels. Ferner wird aus Gründen der Sicherheit diffus gestörten und konzeptionell zu meidenden Zonen (Neotektonik) ausgewichen. Danach erfolgt die detaillierte Analyse des Platzangebots unter Berücksichtigung der Ungewissheiten in der Geometrie. Es verbleiben die in Bild 14 unten dargestellten bevorzugten Bereiche 1 bis 4, die in Tabelle 6 bewertet sind.

Kriterium / Kriteriengruppe	①	②	③	④
	Bevorzugte Bereiche mit Opalinuston			
Gesamtbewertung für bevorzugte Bereiche	P	P	●	P
1 Eigenschaften Wirtgestein	●	●	●	●
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	●	●	●	●

● Sehr günstig ● Günstig ● Bedingt günstig

P P Prioritäre Bereiche: Bevorzugte Bereiche mit besonders günstigen Eigenschaften

Tabelle 6
 Vergleichende Bewertung der bevorzugten Bereiche für ein Tiefenlager HAA auf Stufe Kriterien und Kriteriengruppe gemäss SGT.

Abgrenzung geologischer Standortgebiete

Die identifizierten bevorzugten Bereiche werden im Folgenden als Bausteine für die Festlegung der geologischen Standortgebiete verwendet.

Dazu werden zunächst prioritäre Bereiche identifiziert. Als prioritäre Bereiche werden bevorzugte Bereiche mit besonders günstigen Eigenschaften bezeichnet. Die Ergebnisse der Bewertung der bevorzugten Bereiche sind in Tabelle 6 dargestellt.

Es werden die Bereiche 1, 2 und 4 als prioritäre Bereiche für die Bezeichnung von geologischen Standortgebieten vorgeschlagen. Der bevorzugte Bereich 3 wird wegen seiner im Vergleich grösseren tektonischen Beanspruchung und Zergliederung und wegen der kleineren Ausdehnung nicht als prioritärer Bereich berücksichtigt.

Ausgehend von diesen prioritären Bereichen werden unter Einbezug der bevorzugten Bereiche – und unter Berücksichtigung des Interpretationsspielraums der bereichsbegrenzenden Daten – geologische Standortgebiete bestimmt. Für das geologische Standortgebiet Nördlich Lägeren werden der prioritäre Bereich 2 und der bevorzugte Bereich 3 zusammengelegt. Somit ergeben sich die in Bild 15 dargestellten geologischen Standortgebiete für das Tiefenlager HAA mit dem Wirtgestein Opalinuston:

- Zürcher Weinland (ZH, TG),
- Nördlich Lägeren (ZH, AG),
- Bözberg (AG).

Zusammenfassende Bewertung

Für das geologische Tiefenlager HAA werden die vorgeschlagenen geologischen Standortgebiete aufgrund einer systematischen Bewertung wie folgt beurteilt^[Lit. 6]:

- Sehr geeignet: Zürcher Weinland (Opalinuston), Bözberg (Opalinuston).
- Geeignet: Nördlich Lägeren (Opalinuston).

Die Frage, ob in diesen Standortgebieten auch SMA entsorgt werden können (Option Kombilager), wird nach der Diskussion der geologischen Standortgebiete für SMA am Ende von Kapitel 7 beantwortet.

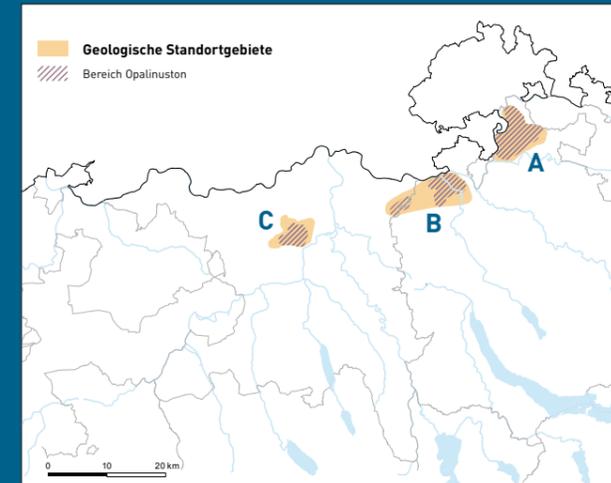
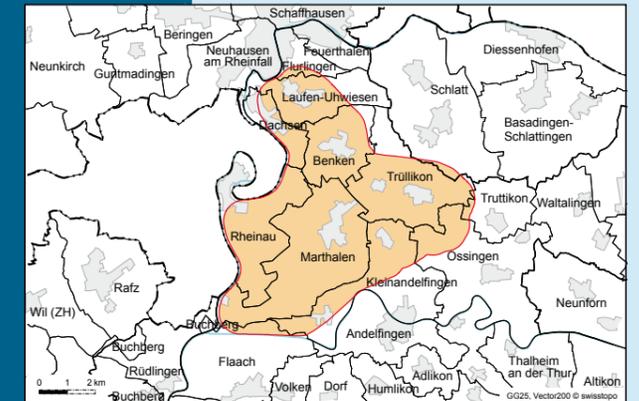
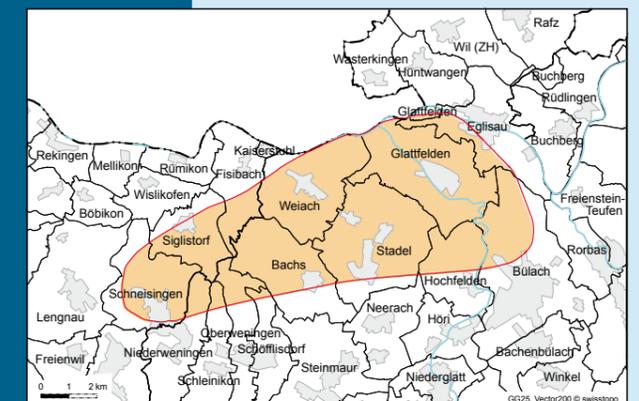


Bild 15

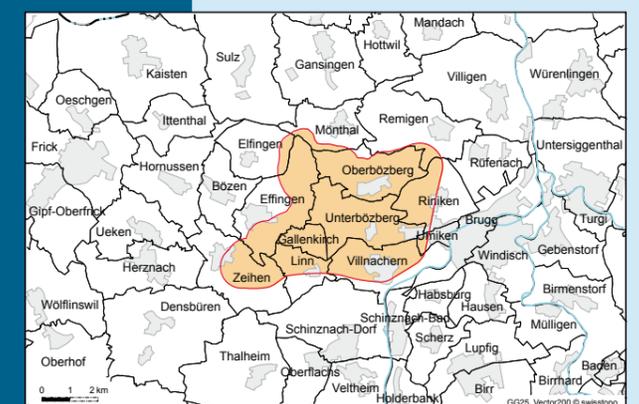
Geologische Standortgebiete für das Tiefenlager für hochaktive Abfälle.



A Zürcher Weinland Kantone ZH und TG Wirtgestein Opalinuston



B Nördlich Lägeren Kantone ZH und AG Wirtgestein Opalinuston



C Bözberg Kanton AG Wirtgestein Opalinuston

7 Schwach- und mittelaktive Abfälle

In diesem Kapitel werden die Resultate der Schritte 3 bis 5 gemäss Sachplan geologische Tiefenlager zur Bestimmung von geologischen Standortgebieten für das Tiefenlager SMA vorgestellt. Das Vorgehen dazu ist in Kapitel 5 beschrieben.

Schritt 3: Identifikation Grossräume

Für das Tiefenlager SMA wird zur Identifikation von geologisch-tektonischen Grossräumen ein Betrachtungszeitraum von 100 000 Jahren zugrunde gelegt. Erdgeschichtlich betrachtet und in Bezug auf geologisch-tektonische Veränderungen ist dies ein vergleichsweise kurzer Zeitraum.

Langzeitstabilität

Bezüglich der grossräumigen Erosion geht man davon aus, dass die Geländeformen in den nächsten 100 000 Jahren in den Grundzügen erhalten bleiben und dass die Erosion mit der Hebung ungefähr Schritt hält. Für den Alpenraum mit heutigen Hebungsraten von 0,4 bis 1,5 Millimeter pro Jahr ergeben sich in dieser Zeit grossräumige Erosionsbeträge von maximal 100 bis 200 Meter. In den anderen Grossräumen sind die Werte bedeutend geringer. Negative Auswirkungen einer zu-

künftigen Erosion lassen sich vermeiden, wenn eine genügend tiefe Lagerebene gewählt wird und lokal auch das Potenzial für glaziale Tiefenerosion berücksichtigt wird. Für das Tiefenlager SMA können alle Grossräume der Schweiz bezüglich Langzeitstabilität als günstig bewertet werden.

Räumliche Verhältnisse und Explorierbarkeit

Im Vergleich zu einem Tiefenlager HAA beansprucht ein Tiefenlager SMA kleinere Lagerebenen, und es besteht grössere Flexibilität in der Anordnung der Lagerkavernen. Die tektonische Überprägung in den verschiedenen Grossräumen führt jedoch zu markanten Unterschieden in den geometrischen Bedingungen für die Anordnung der geologischen Tiefenlager.

Das östliche Molassebecken und der östliche Tafeljura sind bezüglich Schichtverlauf recht einfach aufgebaut und tektonisch wenig zergliedert; in diesen Grossräumen sind die geometrischen Rahmenbedingungen für geologische Tiefenlager grösstenteils günstig. Nach Westen nimmt die Zergliederung des Molassebeckens zu und die geometrischen Bedingungen werden ungünstiger.

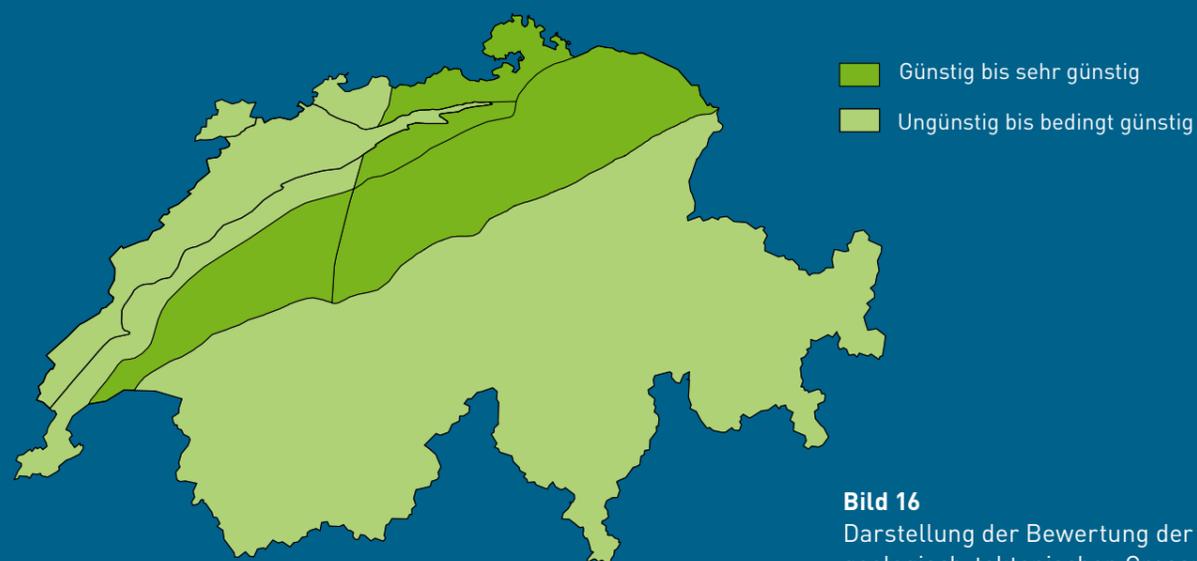


Bild 16
Darstellung der Bewertung der geologisch-tektonischen Grossräume für das Tiefenlager SMA.

Der westliche Tafeljura ist durch ein Bruchmuster stark zergliedert, und die geometrischen Bedingungen sind ungünstig. Der Faltenjura ist wegen seines ausgeprägten Faltenbaus, der Überschiebungen und der tektonischen Zergliederung sehr komplex und kleinräumig. Die Platzverhältnisse werden deshalb im Faltenjura als sehr eingeschränkt eingestuft.

Die Kleinräumigkeit und Komplexität der Subjurasischen Zone ist im Westen wegen der Bruchsysteme und Querstörungen sehr ausgeprägt, und die geometrischen Bedingungen sind ungünstig. Im Osten ausserhalb des Einflussbereiches ist die Situation deutlich einfacher, und die geometrischen Bedingungen sind für die Anordnung eines Tiefenlagers zumindest günstig.

Die Alpen sind als Folge von Überschiebungen und Verfaltungen komplex aufgebaut und die geometrischen Bedingungen in der Regel ungünstig, es gibt dort aber tektonische Anhäufungen von geringdurchlässigen Gesteinen (z. B. Mergel-Formationen des Helvetikums). Diese Anhäufungen können genügend gross und in seltenen Ausnahmefällen sogar günstig sein für die Anordnung des Tiefenlagers SMA.

Trotz erheblicher Unterschiede bei den räumlichen Verhältnissen und ihrer Explorierbarkeit gibt es für das Tiefenlager SMA keinen zwingenden Grund, einen der Grossräume auszuschliessen.

Schlussfolgerungen

Für das Tiefenlager SMA werden alle geologisch-tektonischen Grossräume der Schweiz weiter betrachtet. Eine zusammenfassende Bewertung ist in Bild 16 dargestellt.

Schritt 4: Wirtgesteine

In Schritt 4 des Auswahlverfahrens werden Wirtgesteine identifiziert, die sich für die Aufnahme des Tiefenlagers SMA eignen. Im Zentrum stehen die Barrierenwirkung des Wirtgesteins, dessen

Langzeitstabilität, die Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen und die bautechnische Eigenschaft.

Mindestanforderungen an Wirtgesteine

Zuerst werden die grundsätzlich zu betrachtenden Gesteinseinheiten identifiziert, indem die Mindestanforderungen bezüglich Mächtigkeit und Durchlässigkeit angewendet werden. Dies führt zu einer ersten signifikanten Reduktion der Möglichkeiten: Ausscheiden aller Kalke und Sandsteine sowie aller geringdurchlässigen Gesteine mit ungenügender Mächtigkeit.

Insgesamt erfüllen acht Wirtgesteine die Mindestanforderungen für ein Tiefenlager SMA (Tab. 7): Opalinuston, Brauner Dogger, Effinger Schichten, Mergel-Formationen des Helvetikums, tonreiche Gesteine der Unteren Süsswassermolasse (USM), tonreiche Gesteine der Oberen Süsswassermolasse (OSM), kristallines Grundgebirge der Nordschweiz und Kristallingesteine der Alpen.

Verschärfte Anforderungen an Wirtgesteine

Für die Auswahl der bevorzugten Wirtgesteine für das Tiefenlager SMA werden verschärfte Anforderungen gestellt (Tab. 7).

Wegen ihrer erhöhten horizontalen Durchlässigkeit (Sandsteinrinnen in der USM bzw. OSM mit schwieriger Explorierbarkeit) und/oder ihrer Heterogenität werden die tonreichen Gesteine der USM und die tonreichen Gesteine der OSM zurückgestellt.

Wegen ihrer Heterogenität und der daraus resultierenden schwierigen Explorier- und Nachweisbarkeit von genügend ausgedehnten geringdurchlässigen Kristallinblöcken werden die Kristallingesteine in der Nordschweiz und in den Alpen nicht als bevorzugte Wirtgesteine eingestuft und zurückgestellt.

Prüfung von Wirtgesteinen		Mindestanforderungen										Verschärfte Anforderungen	
		Hydraulische Durchlässigkeit	Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade	Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)	Mächtigkeit	Tiefenlage im Hinblick auf flächenhafte Erosion	Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins	Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften	Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit	Laterale Ausdehnung	Hydraulische Durchlässigkeit	Variabilität Gesteinseigenschaften (Charakterisierbarkeit)	
Gesteinseinheit bzw. Gesteinsabfolge (Reihenfolge der Sedimentgesteine stratigrafisch)	Verbreitung												
Karbonatgesteins-Formationen verschiedenen Alters	Ganze Schweiz	■	■	zT									
Sandstein-Formationen verschiedenen Alters	Ganze Schweiz	■	■										
Verrucano-Schiefer, Schiefer des Karbons	Helvetikum		gk									gk	
Playa-Serie	Westlicher Tafeljura												■
Evaporitabfolgen der Trias	Tafeljura / Subjurassische Zone				gk		gk		zT			zT	
Evaporitabfolgen der Trias	Alpen			■			zT						■
Kössen-Allgäu-Formation (tonige Fazies)	Ostalpin					zT							■
Lias (Lias indifférent)	Faltenjura / westl. Subjurass. Zone											zT	
Opalinuston	Westl. Tafeljura / Faltenjura / westl. Subjurassische Zone												■
Opalinuston	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurassische Zone	Alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllt											
Aalénien-Tonschiefer	Helvetikum	gk										gk	
Staldengraben-Formation (tonige Fazies)	Préalpes				zT								■
Tongesteinsabfolge Brauner Dogger	Östlicher Tafeljura	Alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllt											
Effinger Schichten	Faltenjura / westl. Subj. Zone	zT	zT	zT									■
Effinger Schichten	Östlicher Tafeljura / östl. Subjurassische Zone	Alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllt											
Renggeri-Ton und Terrain à Chailles	Faltenjura / westlicher Tafeljura			zT	zT								■
Tonschiefer-Abfolgen der Bündnerschiefer	Penninikum		■										
Scaglia	Südalpin					■							■
Mergel-Formationen des Helvetikums	Helvetikum	Alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllt											
Flysch-Formationen	Helvetikum / Penninikum		■									zT	
USM (Marnes Bariolées s. str.)	Westliches Molassebecken	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
Meletta-Schichten	Oberrhengraben / westlicher Tafeljura												■
Formazione di Chiasso	Südalpine Molasse					■							■
Brendenbach-Mergel-Formation	Subalpine Molasse					■							■
OSM (Basiszone und Bodensee-Schüttung)	Östliches Molassebecken	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
Quartäre Seeablagerungen	Molassebecken												■
Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke)	Nordschweiz	Alle Mindestanforderungen erfüllt											
Kristallingesteine (wenig deformierte Blöcke)	Alpen	Alle Mindestanforderungen erfüllt											

Legende

 Bevorzugtes Wirtgestein	 Mindestanforderung erfüllt	 Verschärfte Anforderungen erfüllt
 Potenzielles Wirtgestein	 Mindestanforderung mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht erfüllt	 Verschärfte Anforderungen mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht erfüllt
	gk Gekoppelte Eigenschaften, zumindest eine der beiden Mindestanforderungen ist nicht erfüllt	zT Mindestanforderung im betrachteten Verbreitungsraum zum Teil nicht erfüllt
		 Nicht weiter betrachtet

Tabelle 7
Prüfung von Wirtgesteinen aufgrund von Mindest- und verschärften Anforderungen:
Zusammenfassung der Evaluation für das Tiefenlager SMA.

Die anderen Wirtgesteine erfüllen die verschärften Anforderungen. Die Evaluation führt damit zu folgenden bevorzugten Wirtgesteinen in den entsprechenden Grossräumen (Bild 17):

- Opalinuston,
- Brauner Dogger,
- Effinger Schichten,
- Mergel-Formationen des Helvetikums.

Schritt 5: Geeignete Konfigurationen

In Schritt 5 werden geologische Standortgebiete für das Tiefenlager SMA in den geeigneten Grossräumen für die bevorzugten Wirtgesteine festgelegt.

Für flächenhaft verbreitete Wirtgesteine werden zuerst Bereiche identifiziert, welche die Mindestanforderungen erfüllen. Danach werden anhand der verschärften Anforderungen bevorzugte Bereiche bestimmt. Anschliessend werden die bevorzugten Bereiche als Bausteine für die Festlegung der geologischen Standortgebiete verwendet.

Die nicht flächenhaften, sondern lokalen Vorkommen bei den Mergeln des Helvetikums werden analog mit Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen einzeln bewertet (siehe Seite 44).

Zur Abgrenzung von Bereichen werden die Verbreitungsgebiete mit bevorzugten Wirtgesteinen in geeigneter Tiefenlage in Bezug auf flächenhafte Erosion, Gesteinsdekompaktion und bautechnische Machbarkeit und genügendes Platzangebot bestimmt. Um regionale Störzonen wird ein Sicherheitsabstand eingehalten. Ferner werden die Gletschererosion und daraus resultierende Mindesttiefen unter übertieften Tälern einbezogen. Die Anwendung der Mindestanforderungen führt zu einer ersten Abgrenzung von Bereichen mit genügendem Platzangebot. Die Resultate sind im oberen Teil der Bilder 18 bis 20 für die Wirtgesteine Opalinuston, Brauner Dogger und Effinger Schichten dargestellt.

Verschärfte Anforderungen an bevorzugte Bereiche

Bei den identifizierten Bereichen werden nun folgende verschärfte Anforderungen angewendet: Mächtigkeit, Tiefenlage unter Terrain und Tiefenlage unter Oberfläche Fels. Ferner wird aus Gründen der Sicherheit diffus gestörten und konzeptionell zu meidenden Zonen (Neotektonik) ausgewichen. Es verbleiben die im unteren Teil der Bilder 18 bis 20 für die Wirtgesteine Opalinuston, Brauner



Bild 17
Die für das SMA-Lager bevorzugten Wirtgesteine.

Dogger und Effinger Schichten dargestellten bevorzugten Bereiche, deren Bewertung in Tabelle 8 (Seite 49) zusammengefasst ist.

Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen an Mergel des Helvetikums

Bei der Evaluation der Standortmöglichkeiten für das Lager SMA in den Mergel-Formationen des Helvetikums kann wegen der nur lokalen Anhäufungen (Bild 21 Seite 48) keine grossflächige schrittweise Einengung vorgenommen werden. Jedes Vorkommen wird anhand der vorhandenen Daten einzeln beurteilt. Das Vorgehen ist im NTB 08-03^[Lit. 6] dokumentiert.

Seit Mitte der Achtzigerjahre wurden bei grösseren Bauvorhaben im Bereich der Helvetischen Mergel sowie durch umfangreiche Untersuchungen der Nagra wichtige zusätzliche geologische Detailkenntnisse gewonnen. Dabei handelt es sich um: Strassen-Umfahrungstunnel (Sachseln, Giswil, Lungern), den Lötschberg-Alptransittunnel, Untersuchungsprogramme der Nagra mit Bohrungen am Wellenberg und Oberbauenstock. Basierend darauf wurden sowohl die früher von der Nagra evaluierten Mergel-Formationen als auch die durch die Tunnelbauten erschlossenen Vorkommen anhand der Kriterien des Sachplans SGT neu bewertet. Bei der Evaluation der Mergel-Formationen wird zwar lokal statt grossflächig, ansonsten aber grundsätzlich gleich vorgegangen wie bei den anderen Wirtgesteinen. Auch bei den lokalen Anhäufungen werden zunächst die Mindestanforderungen geprüft und in einem zweiten Schritt die verschärfte Anforderungen angewendet.

Bei den früheren potenziellen Standorten (vgl. Bild 21) zeigt die Überprüfung der geometrischen Verhältnisse anhand der Mindestanforderungen, dass die Ausdehnung der meisten Vorkommen den heutigen Anforderungen nicht genügt. Die Vorkommen Muotathal und Wartau erfüllen die Mindestanforderungen an die geometrischen Verhältnisse nur knapp, einzig der Wellenberg hat ein grösseres Platzangebot.

Bei den neu durch Tunnelbauten erschlossenen Vorkommen zeigt die Überprüfung der geometrischen Verhältnisse anhand der Mindestanforderungen, dass die Vorkommen in Sachseln, Giswil und Lungern zu klein sind für ein Lager SMA beziehungsweise ungenügende geometrische Reserven zur Berücksichtigung allfälliger geologischer Komplikationen aufweisen. Auch die im Lötschbergtunnel angetroffenen Mergel-Vorkommen sind kleinräumig verschuppt und scheiden aus.

Bei der Anwendung der verschärfte Anforderungen scheiden die potenziellen Standorte Wartau und Muotathal aus. Für den potenziellen Standort Wellenberg lassen die Aufschlussverhältnisse auf ein genügendes Platzangebot schliessen, auch unter Berücksichtigung der verschärfte Anforderungen an die Gesteinsüberdeckung von mindestens 400 Meter.

Von den betrachteten Vorkommen von Mergel-Formationen im Helvetikum erfüllt einzig der Wellenberg die verschärfte Anforderungen an einen bevorzugten Bereich für ein Lager SMA.

Abgrenzung geologischer Standortgebiete

Die identifizierten bevorzugten Bereiche werden im Folgenden als Bausteine für die Festlegung der geologischen Standortgebiete verwendet.

Dazu werden zunächst prioritäre Bereiche identifiziert. Als prioritäre Bereiche werden bevorzugte Bereiche mit besonders günstigen Eigenschaften bezeichnet. Die Ergebnisse der Bewertung der bevorzugten Bereiche sind in Tabelle 8 dargestellt.

Für das Wirtgestein Opalinuston werden die Bereiche 1, 2 und 4 (Bild 18) als prioritäre Bereiche für die Bezeichnung von geologischen Standortgebieten vorgeschlagen. Der bevorzugte Bereich 3 wird wegen der grösseren tektonischen Beanspruchung und Zergliederung und wegen bautechnischer Erschwernisse aufgrund der-

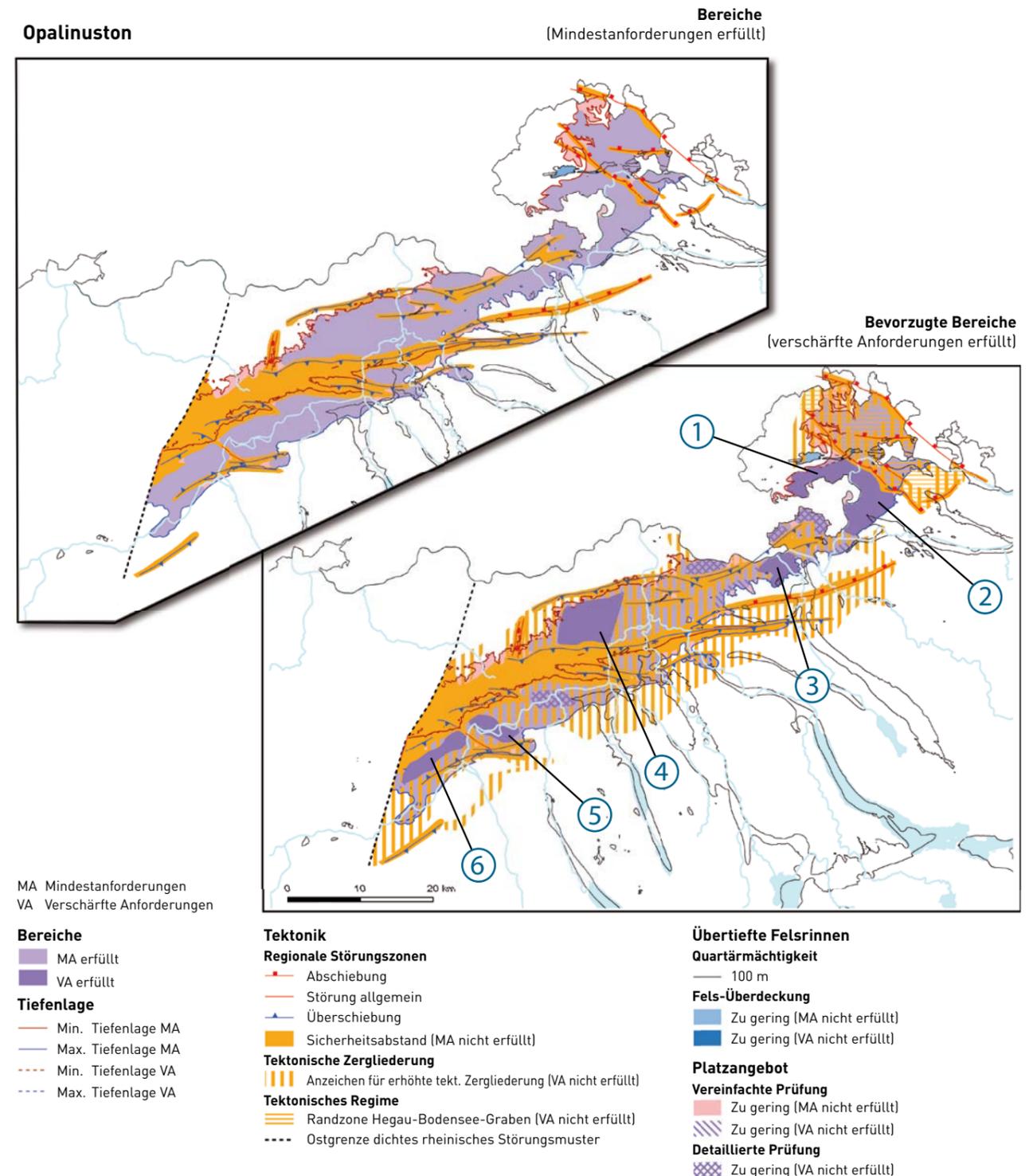
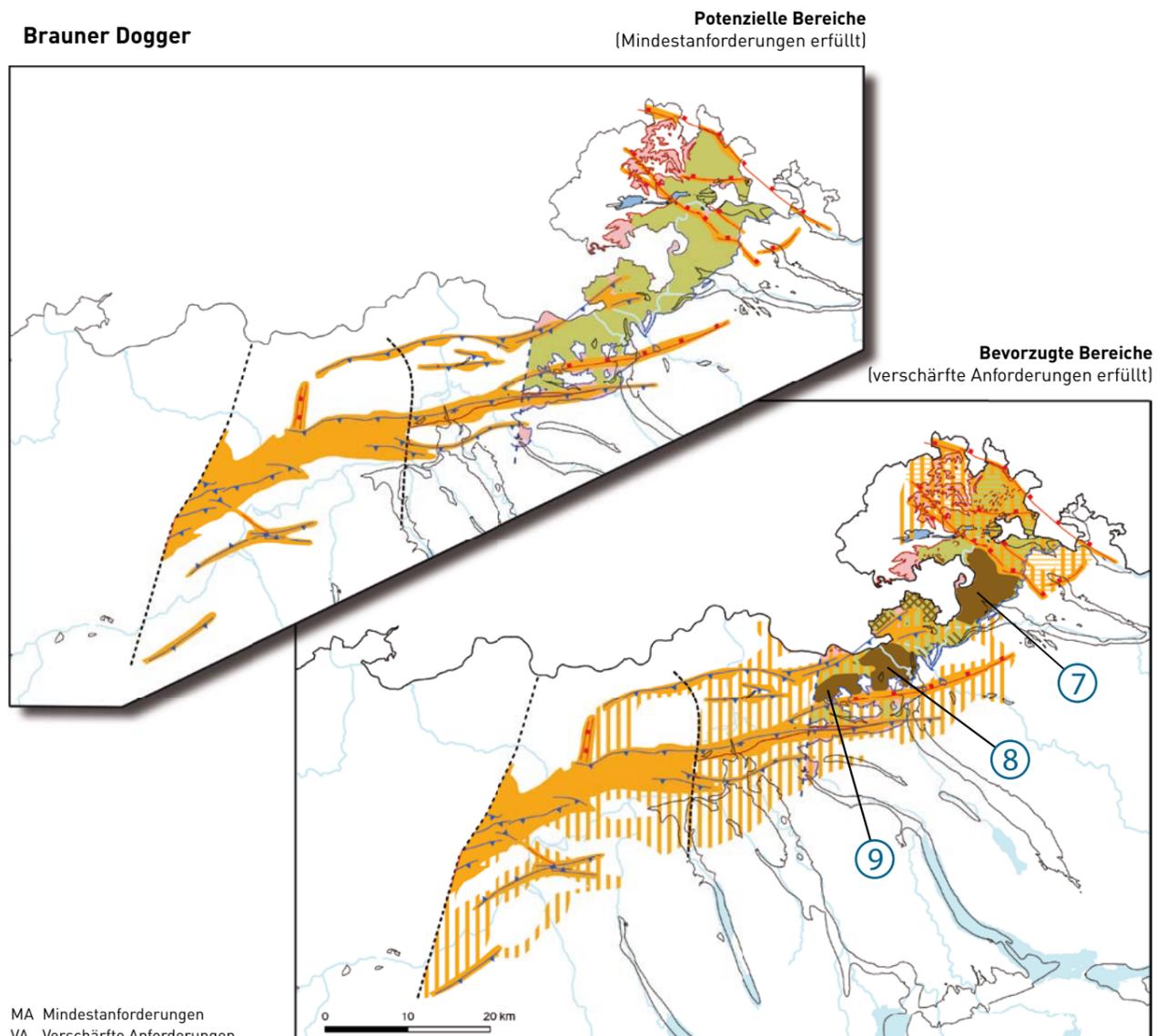


Bild 18

Bereiche mit Opalinuston für das Tiefenlager SMA.

Oben: Bereiche mit Opalinuston, welche ausserhalb des Einflussbereichs von regionalen Störungszonen liegen und unterhalb übertiefer Felsrinnen eine Tiefenlage von mehr als 200 Meter unter Oberfläche Fels aufweisen. Weiter werden Bereiche ausgeschlossen, welche bezüglich Grösse und/oder Form als ungeeignet beurteilt werden.

Unten: Bevorzugte Bereiche 1 bis 6 mit Opalinuston für das Tiefenlager SMA, die alle Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen erfüllen.



MA Mindestanforderungen
VA Verschärfte Anforderungen

Bereiche

- MA erfüllt
- VA erfüllt

Fazies

- Westgrenze Übergangsfazies
- Ostgrenze Übergangsfazies

Tiefenlager

- Min. Tiefenlage MA
- Max. Tiefenlage MA
- Min. Tiefenlage VA
- Max. Tiefenlage VA

Tektonik

Regionale Störungszonen

- Abschiebung
- Störung allgemein
- Überschiebung
- Sicherheitsabstand (MA nicht erfüllt)

Tektonische Zergliederung

- Anzeichen für erhöhte tekt. Zergliederung (VA nicht erfüllt)

Tektonisches Regime

- Randzone Hegau-Bodensee-Graben (VA nicht erfüllt)

- Ostgrenze dichtes rheinisches Störungsmuster

Übertiefe Felsrinnen

Quartärmächtigkeit

- 100 m
- Fels-Überdeckung
- Zu gering (MA nicht erfüllt)
- Zu gering (VA nicht erfüllt)

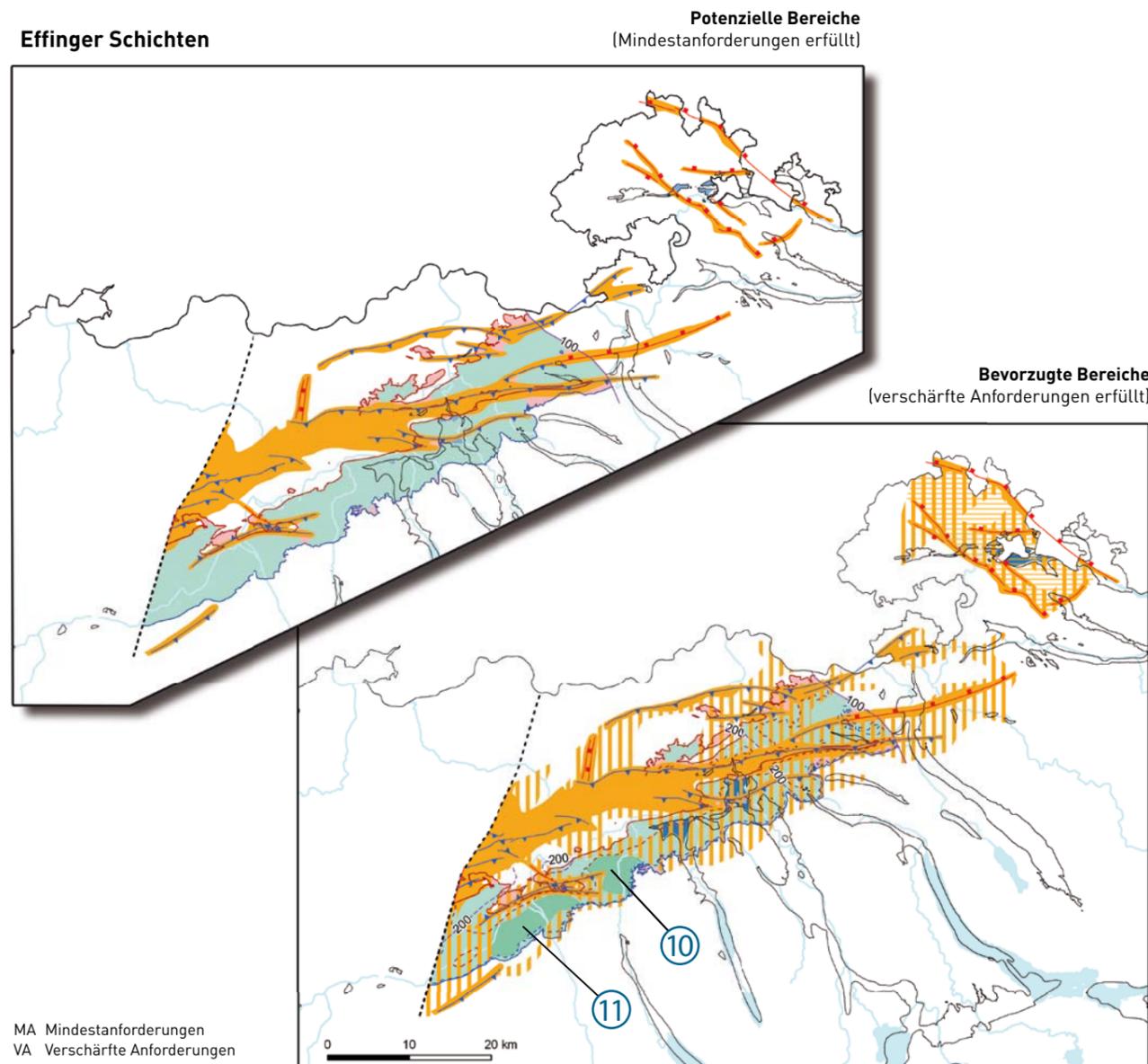
Platzangebot

Vereinfachte Prüfung

- Zu gering (MA nicht erfüllt)
- Zu gering (VA nicht erfüllt)

Detaillierte Prüfung

- Zu gering (VA nicht erfüllt)



MA Mindestanforderungen
VA Verschärfte Anforderungen

Bereiche

- MA erfüllt
- VA erfüllt

Tiefenlage

- Max. Tiefenlage MA
- Min. Tiefenlage VMA
- Max. Tiefenlage VA
- Min. Tiefenlage VA

Mächtigkeit / Isopachen

- Min. Mächtigkeit MA
- Min. Mächtigkeit VA

Tektonik

Regionale Störungszonen

- Abschiebung
- Störung allgemein
- Überschiebung
- Sicherheitsabstand (MA nicht erfüllt)

Tektonische Zergliederung

- Anzeichen für erhöhte tekt. Zergliederung (VA nicht erfüllt)

Tektonisches Regime

- Randzone Hegau-Bodensee-Graben (VA nicht erfüllt)

- Ostgrenze dichtes rheinisches Störungsmuster

Übertiefe Felsrinnen

Quartärmächtigkeit

- 100 m
- Fels-Überdeckung
- Zu gering (MA nicht erfüllt)
- Zu gering (VA nicht erfüllt)

Platzangebot

Vereinfachte Prüfung

- Zu gering (MA nicht erfüllt)
- Zu gering (VA nicht erfüllt)

Detaillierte Prüfung

- Zu gering (VA nicht erfüllt)

Bild 19

Bereiche mit der Tongesteinsabfolge Brauner Dogger für das Tiefenlager SMA.
Oben: Bereiche mit dem Braunen Dogger, welche ausserhalb des Einflussbereichs von regionalen Störungszonen liegen und unterhalb übertiefer Felsrinnen eine Tiefenlage von mehr als 200 Meter unter Oberfläche Fels aufweisen. Weiter werden Bereiche ausgeschlossen, welche bezüglich Grösse und/oder Form als ungeeignet beurteilt werden.
Unten: Bevorzugte Bereiche 7 bis 9 mit dem Braunen Dogger für das Tiefenlager SMA, die alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllen.

Bild 20

Bereiche mit Effinger Schichten für das Tiefenlager SMA.
Oben: Bereiche mit Effinger Schichten, welche ausserhalb des Einflussbereichs von regionalen Störungszonen liegen und unterhalb übertiefer Felsrinnen eine Tiefenlage von mehr als 200 Meter unter Oberfläche Fels aufweisen. Weiter werden Bereiche ausgeschlossen, welche bezüglich Grösse und/oder Form als ungeeignet beurteilt werden.
Unten: Bevorzugte Bereiche 10 und 11 mit Effinger Schichten für das Tiefenlager SMA, die alle Mindestanforderungen und verschärften Anforderungen erfüllen.

Mergel des Helvetikums

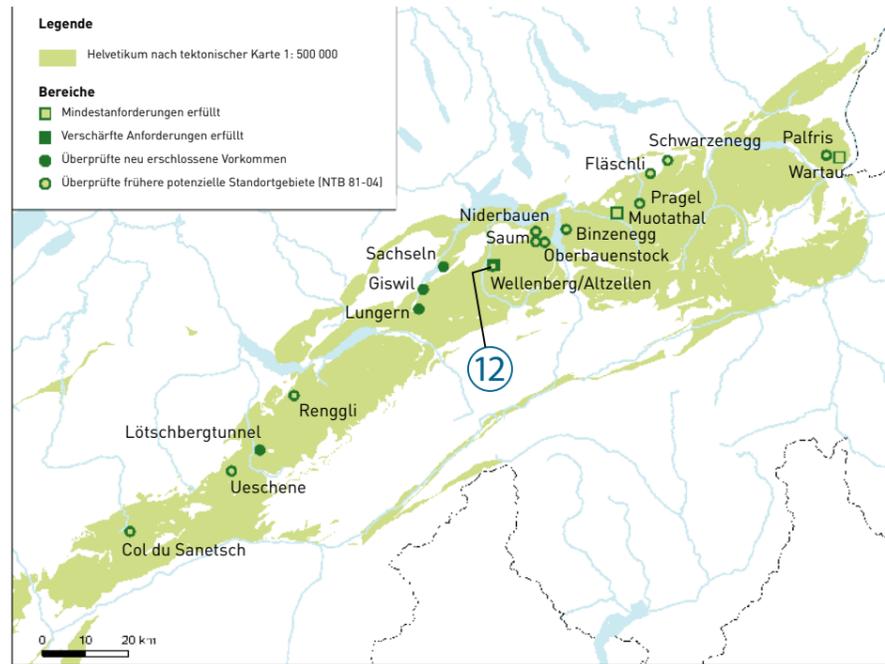


Bild 21 Helvetische Decken mit bekannten grösseren Akkumulationen von Mergel-Formationen des Helvetikums, die bezüglich ihrer potenziellen Eignung für das Lager SMA geprüft wurden.

Tiefenlage nicht als prioritärer Bereich bezeichnet. Die bevorzugten Bereiche 5 und 6 in der Subjurassischen Zone werden wegen ihrer im Vergleich grösseren tektonischen Beanspruchung und Zergliederung und wegen der kleineren Mächtigkeit und der ungünstigeren Ausbildung der Rahmengesteine nicht als prioritäre Bereiche berücksichtigt.

Für den Braunen Dogger (Bild 19) werden die Bereiche 7 und 8 als prioritäre Bereiche vorgeschlagen. Der bevorzugte Bereich 9 wird aufgrund seines beschränkten Platzangebotes und der grösseren Tiefenlage nicht als prioritärer Bereich vorgeschlagen.

Bei den Effinger Schichten (Bild 20) wird der Bereich 10 als prioritärer Bereich vorgeschlagen. Der bevorzugte Bereich 11 wird wegen der erwarteten bautechnischen und betrieblichen Erschwernisse (grössere Tiefenlage, höhere Gebirgsspannungen und höhere Temperaturen auf Lagerebene) nicht als prioritärer Bereich berücksichtigt.

Bei den Mergel-Formationen des Helvetikums wird der Bereich 12 als prioritärer Bereich vorgeschlagen.

Ausgehend von diesen prioritären Bereichen werden unter Einbezug der anderen bevorzugten Bereiche und unter Berücksichtigung des Interpretationsspielraums der bereichsbegrenzenden Daten geologische Standortgebiete abgegrenzt.

Das geologische Standortgebiet Zürcher Weinland enthält den prioritären Bereich 2 des Wirtgesteins Opalinuston und den prioritären Bereich 7 des Wirtgesteins Brauner Dogger. Das geologische Standortgebiet Nördlich Lägeren wird durch den prioritären Bereich 8 und den bevorzugten Bereich 9 des Braunen Dogger und den bevorzugten Bereich 3 des Wirtgesteins Opalinuston gebildet. Das geologische Standortgebiet Jura-Südfuss besteht aus dem prioritären Bereich 10 des Wirtgesteins Effinger Schichten und dem bevorzugten Bereich 5 des Wirtgesteins Opalinuston. Das geologische Standortgebiet Wellenberg enthält den prioritären Bereich 12 des Wirtgesteins Mergel-Formation des Helvetikums.

Kriterium / Kriteriengruppe	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
	Bevorzugte Bereiche Opalinuston						Bevorzugte Bereiche Brauner Dogger			Bevorzugte Bereiche Effinger Schichten		Wellenberg
Gesamtbewertung für bevorzugte Bereiche	P	P	●	P	●	●	P	P	●	P	●	P
1 Eigenschaften des Wirtgesteins	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
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	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● Sehr günstig
 ● Günstig
 ● Bedingt günstig
 P P Prioritäre Bereiche: Bevorzugte Bereiche mit besonders günstigen Eigenschaften

Tabelle 8 Gesamtheitliche zusammenfassende Bewertung der bevorzugten Bereiche für das Tiefenlager SMA auf Stufe Kriterien und Kriteriengruppe gemäss SGT. Die Nummern 1 bis 12 über den Spalten nehmen Bezug auf die in den Bildern 18 bis 21 ausgesonderten bevorzugten Bereiche.

Somit ergeben sich die in Bild 22 dargestellten geologischen Standortgebiete für das Tiefenlager SMA. Von Norden nach Süden kommen folgende geologische Standortgebiete für ein Tiefenlager SMA in Frage:

- Südliches Schaffhausen (SH) mit dem Wirtgestein Opalinuston,
- Zürcher Weinland (ZH, TG) mit den Wirtgesteinen Brauner Dogger und Opalinuston,
- Nördlich Lägeren (ZH, AG) mit den Wirtgesteinen Brauner Dogger und Opalinuston,
- Bözberg (AG) mit dem Wirtgestein Opalinuston,
- Jura-Südfuss (SO, AG) mit den Wirtgesteinen Effinger Schichten und Opalinuston,
- Wellenberg (NW, OW) mit dem Wirtgestein Mergel-Formationen des Helvetikums.

Zusammenfassende Bewertung

Das Resultat der zusammenfassenden Bewertung der geologischen Standortgebiete für das Tiefenlager SMA präsentiert sich aufgrund einer systematischen Bewertung wie folgt^[Lit. 6]:

- Sehr geeignet: Südliches Schaffhausen (Opalinuston), Zürcher Weinland (Brauner Dogger, Opalinuston) und Bözberg (Opalinuston).
- Geeignet: Nördlich Lägeren (Brauner Dogger, Opalinuston), Jura-Südfuss (Effinger Schichten, Opalinuston) und Wellenberg (Helvetische Mergel).

Option Kombilager

Für ein Kombilager HAA/SMA kommen folgende geologische Standortgebiete in Frage (vgl. Kap 7):

- Zürcher Weinland (mit den Wirtgesteinen Brauner Dogger und Opalinuston für SMA sowie mit dem Wirtgestein Opalinuston für HAA);
- Nördlich Lägeren (mit den Wirtgesteinen Brauner Dogger und Opalinuston für SMA sowie mit dem Wirtgestein Opalinuston für HAA).
- Bözberg (mit dem Wirtgestein Opalinuston für SMA und HAA).

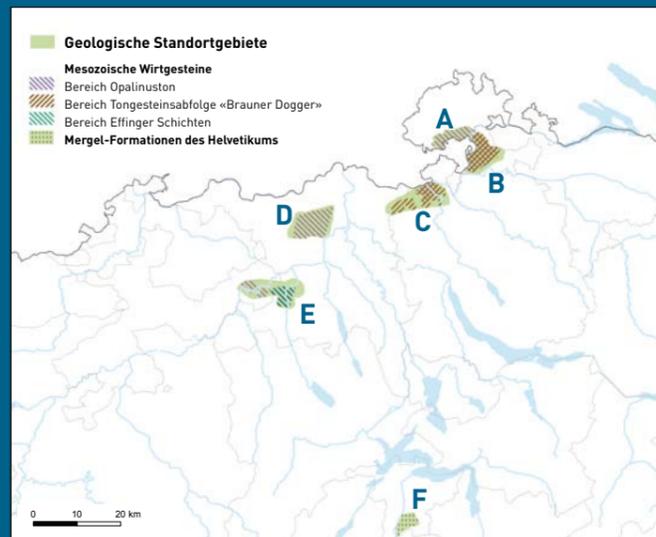
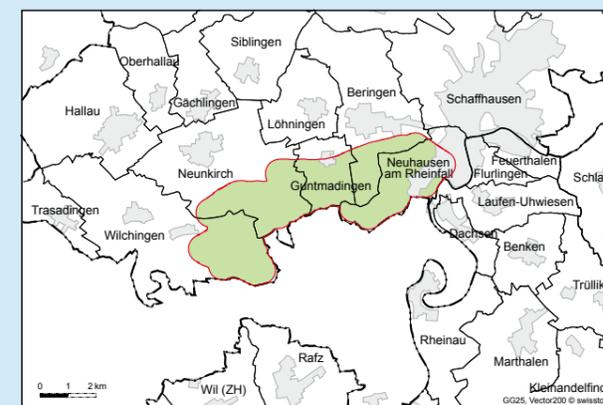
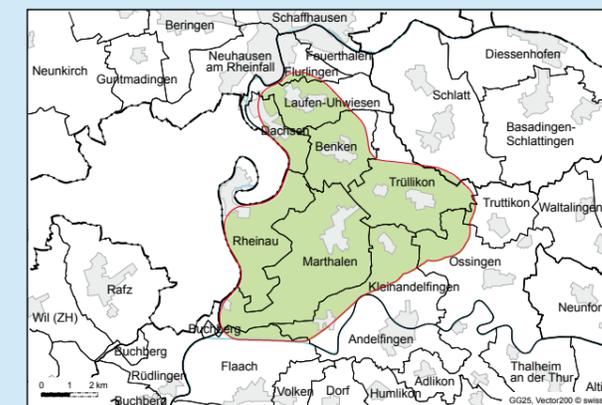


Bild 22

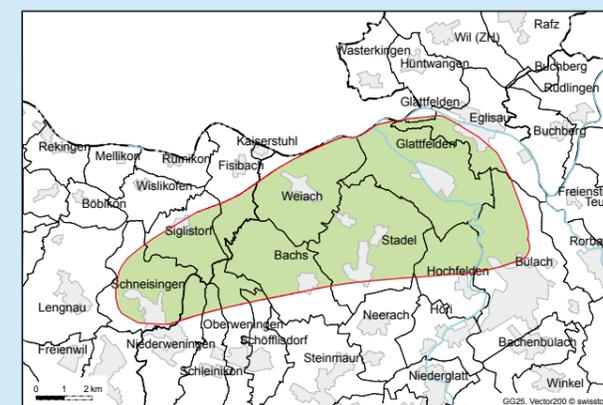
Geologische Standortgebiete für das Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle.



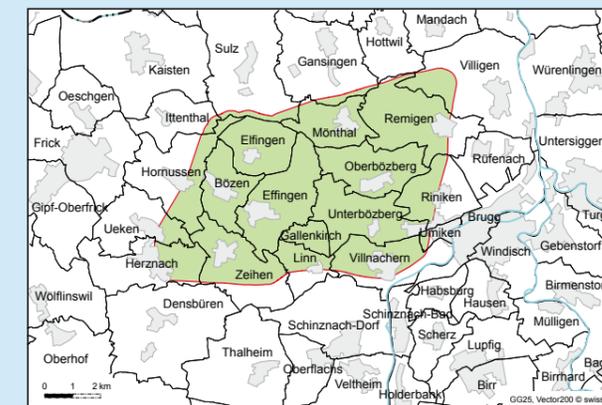
A Südliches Schaffhausen
Kanton SH
Wirtgestein Opalinuston



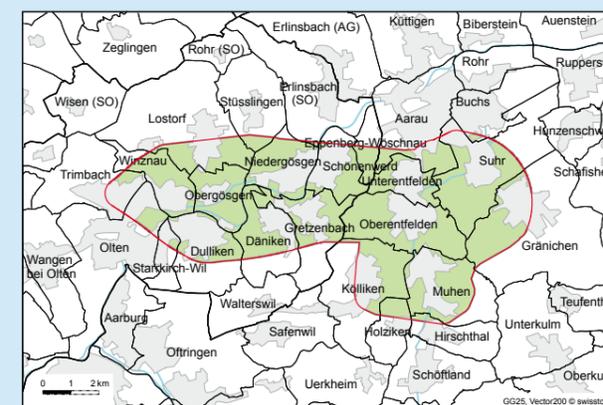
B Zürcher Weinland
Kantone ZH und TG
Wirtgestein Brauner Dogger und Opalinuston



C Nördlich Lägeren
Kantone ZH und AG
Wirtgestein Brauner Dogger und Opalinuston



D Bözberg
Kanton AG
Wirtgestein Opalinuston



E Jura-Südfuss
Kantone SO und AG
Wirtgestein Effinger Schichten und Opalinuston



F Wellenberg
Kantone NW und OW
Wirtgestein Mergel-Formationen des Helvetikums

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Schweiz hat radioaktive Abfälle. Diese fallen seit Jahrzehnten beim Betrieb der fünf Kernkraftwerke sowie in Medizin, Industrie und Forschung an. Wichtige Elemente der Entsorgung sind heute realisiert, die entsprechenden Arbeiten Routine. Dies betrifft insbesondere die Behandlung und Verpackung der radioaktiven Abfälle, ihre Charakterisierung und Inventarisierung sowie die Zwischenlagerung und die dazugehörigen Transporte. Durch die vorbereitende wissenschaftliche Forschungstätigkeit für die geologischen Tiefenlager wurde ein hohes technisch-wissenschaftliches Niveau erreicht. Der Nachweis der Machbarkeit von langfristig sicheren geologischen Tiefenlagern im Inland für alle in der Schweiz entstehenden radioaktiven Abfälle wurde erbracht und vom Bundesrat anerkannt. Die Kenntnisse sind vorhanden, um geologische Standortgebiete für weiterführende Arbeiten vorzuschlagen. Die Finanzierung ist durch Rückstellungen sowie den Stilllegungs- und Entsorgungsfonds sichergestellt. Auch die gesetzlichen Regelungen sind vorhanden und die organisatorischen Vorkehrungen getroffen, um die anstehenden Arbeiten erfolgreich durchzuführen. Im Entsorgungsprogramm wurden das weitere Vorgehen für die zeitgerechte Realisierung der Tiefen-

lager und die Höhe der benötigten finanziellen Mittel dargelegt. Das Programm wird alle fünf Jahre aktualisiert, jeweils durch die Aufsichtsbehörde beurteilt und vom Bundesrat genehmigt, welcher dem Parlament Bericht erstattet.

Das in den nächsten Jahren durchzuführende Standortwahlverfahren wird durch den Konzeptteil des Sachplans geologische Tiefenlager im Detail geregelt. Der Bundesrat hat das vom Bundesamt für Energie (BFE) ausgearbeitete Konzept^[Lit. 4] am 2. April 2008 genehmigt.

Vorschläge für Standortgebiete

Die Vorschläge der Nagra basieren ausschliesslich auf wissenschaftlich-technischen Grundlagen, die weitergehende gesamtheitliche Beurteilung ist Aufgabe der Behörden und des Bundesrates.

Der Sachplan legt fest, dass die Entsorgungspflichtigen dem BFE zu Beginn der ersten Etappe Vorschläge für geologische Standortgebiete unterbreiten müssen. Dazu wurden von der Nagra gemäss den Vorgaben im Sachplankonzept ausgehend vom ganzen Gebiet der Schweiz mit einem

sicherheitsgerichteten Verfahren schrittweise geologische Standortgebiete evaluiert. Gestützt auf dieses Verfahren werden dem BFE für das geologische Tiefenlager HAA die geologischen Standortgebiete Zürcher Weinland (ZH, TG), Nördlich Lägeren (ZH, AG) und Bözberg (AG) vorgeschlagen (siehe Bild 23). Für das Tiefenlager SMA werden die Standortgebiete Südliches Schaffhausen (SH), Zürcher Weinland (ZH, TG), Nördlich Lägeren (ZH, AG), Bözberg (AG), Jura-Südfuss (SO, AG) und Wellenberg (NW, OW) vorgeschlagen. Die geologischen Standortgebiete Zürcher Weinland, Nördlich Lägeren und Bözberg kommen sowohl für ein Lager HAA als auch ein Lager SMA am gleichen Standort in Betracht.

Ausblick

Wie in Kapitel 4 dargelegt, werden nun die im Auftrag der Entsorgungspflichtigen von der Nagra erarbeiteten Vorschläge durch die Behörden sicherheitstechnisch geprüft. Zudem führen sie für die Standortgebiete eine raumplanerische Bestandaufnahme in Zusammenarbeit mit den betroffenen Kantonen durch. Basierend auf den Resultaten kann das BFE danach dem Bundesrat Antrag auf

Aufnahme der vorgeschlagenen und geprüften geologischen Standortgebiete in den Sachplan stellen. Der Bundesrat entscheidet nach einer dreimonatigen öffentlichen Anhörung darüber.

In der Etappe 2 werden unter Beteiligung der Standortregionen Möglichkeiten zur Anordnung und Ausgestaltung der Oberflächenanlagen erarbeitet. Die Sicherheit wird weiter beurteilt und quantifiziert. Zudem werden raumplanerische, sozioökonomische und ökologische Aspekte beurteilt. Die Etappe 2 endet mit einem Bundesratsentscheid zu mindestens zwei Standorten je für SMA und HAA. In Etappe 3 werden diese Standorte vertieft untersucht und Feldarbeiten durchgeführt (z. B. Seismik, Bohrungen). Gestützt auf die Resultate der Untersuchungen werden die Rahmenbewilligungsgesuche ausgearbeitet. Die drei Etappen des Sachplanverfahrens dauern gemäss Konzept gesamthaft rund zehn Jahre. Die Rahmenbewilligung legt die Standorte fest, an denen die Tiefenlager gebaut werden. Sie wird vom Bundesrat erteilt, vom Parlament genehmigt und untersteht dem nationalen fakultativen Referendum. Am Schluss des Sachplanverfahrens liegt der definitive Entscheid also bei den Schweizer Stimmberechtigten.

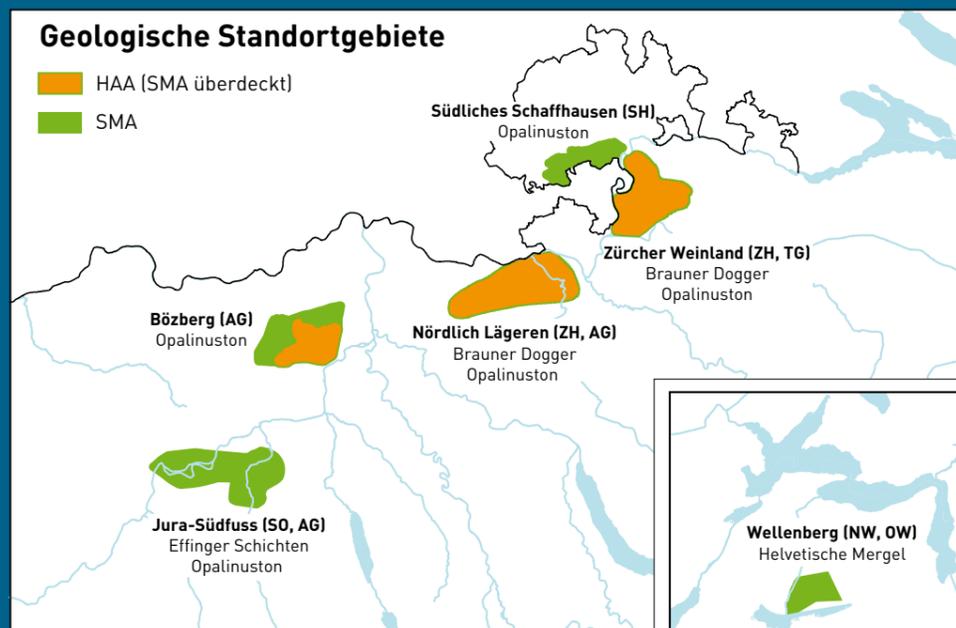


Bild 23
Vorschläge geologischer Standortgebiete für die Tiefenlager HAA und SMA.



Über die Rahmenbewilligung für ein Tiefenlager kann das Volk entscheiden.

Aura

Referenzen

Lit. 1

Schweizerische Eidgenossenschaft (2003): «Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003»; Schweizerische Gesetzessammlung SR 732.1, Bern.

Lit. 2

EKRA (2000): «Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle: Schlussbericht»; Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA). Departement für Umwelt, Energie und Kommunikation(UVEK), Bern.

Lit. 3

Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE), Gruppe der Kernkraftwerksbetreiber und -projektanten (GKBP), Konferenz der Überlandwerke (UeW) und Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) (1978): «Konzept für die nukleare Entsorgung in der Schweiz».

Lit. 4

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

Lit. 5

Nagra (2008): «Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen»; Nagra Technischer Bericht NTB 08-01. Nagra, Wettingen.

Lit. 6

Nagra (2008): «Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse»; Nagra Technischer Bericht NTB 08-03. Nagra, Wettingen.

Lit. 7

Nagra (2008): «Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie»; Nagra Technischer Bericht NTB 08-05. Nagra, Wettingen.

Lit. 8

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

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Schweiz

Tel. 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch

nagra ● **aus verantwortung**