



Aktennotiz

Datum:	03.05.2016	Seiten: 46	Anhänge: 1	Beilagen: -
Verteiler intern:	GEOL, TISA, [REDACTED]			
Verteiler extern:	AG SiKa: [REDACTED] Basler & Hofmann: [REDACTED] ENSI: [REDACTED] ETH Zürich [REDACTED] Nagra: [REDACTED]			
Sachbearbeiter:	[REDACTED]			
Visum	[REDACTED]			
Visum Vorgesetzter	[REDACTED]			

Klassifizierung	keine
Aktenzeichen	33KRM.LAG
Referenz	ENSI 33/503
Schlagwörter	Lagerauslegung, Schacht, Rampe, Direkte Einlagerung, Glossar



Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“

Zusammenfassung

Zwischen Januar 2011 und Januar 2014 wurden 18 Projektsitzungen mit Teilnahme der AG SiKa, der ENSI-Experten von ETH Zürich und Basler & Hofmann, Marcos Buser (bis April 2012) sowie der Nagra durchgeführt. Als Leitfaden für die thematische Bearbeitung wurde ein Questionnaire mit 65 Fragen verwendet, die inhaltlich in der Form eines Expertenhearings diskutiert wurden.

Im vorliegenden Bericht stellt das ENSI die Ergebnisse aus diesem Hearing zusammen und geht schwerpunktmässig auf die sicherheitstechnischen Vor- und Nachteile von Schächten und Rampen, auf die Vor- und Nachteile einer direkten Einlagerung von hochaktiven Abfällen in den heute verwendeten Transport- und Lagerbehältern sowie auf die Diskussion zur horizontalen Länge der Einlagerungsbereiche für HAA und SMA ein. Im Anhang findet sich ein im Rahmen des Projekts erarbeitetes Glossar zu Begriffen der Lagerkonzeptualisierung und -auslegung.

Als Ergebnis sieht das ENSI keinen unmittelbar dringenden Bedarf für eine Anpassung der Richtlinie ENSI-G03. Langfristig ist seitens ENSI die Überführung übergeordneter Aspekte unter den Anforderungen aus ENSI 33/170 in die G03 vorstellbar. Die von der Nagra vorgeschlagenen Lagerauslegungskonzepte werden grundsätzlich als sinnvoll und sicherheitsgerichtet angesehen. Kritische Aspekte bzgl. Tunnelausbau und Versiegelungsstrecken waren seitens ENSI im Rahmen der Nachforderung (ENSI 33/487) angesprochen worden.

Der Schlussbericht zum Projekt wird gleichzeitig als thematischer Zwischenbericht zum geplanten Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung-II“ angesehen, das nach abgeschlossener Beurteilung des ENSI zum Vorschlag der Nagra zu Etappe 2 SGT vermutlich 2017 gestartet werden soll.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM,LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag und Zusammenhang	3
2	Vorgehen	4
3	Lagerauslegung in anderen Ländern in tonreichem Wirtgestein	5
3.1	Belgien	5
3.2	Konzeptueller Tonstandort für HAA in Deutschland	7
3.3	SMA-Lager in Schachanlage Konrad (Salzgitter, Deutschland)	9
3.4	Centre industriel de stockage géologique (Cigéo, Bure/Frankreich)	11
3.5	Grossbritannien	12
3.6	Kanada, Bruce Site (Ontario)	14
3.7	Zusammenfassung	16
4	Resultate	16
4.1	Zugangsbauwerke	17
4.2	Direkte Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern	20
4.3	Länge der Lagerstollen (HAA) und –kavernen (SMA)	21
4.4	ENSI-Antworten aufgrund der Diskussionen zum Questionnaire	22
5	Schlussfolgerungen: Änderungsbedarf an der ENSI-G03	44
6	Referenzen	44
	Anhang 1: Glossar zum Agneb-Projekt Lagerauslegung	1



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

1 Auftrag und Zusammenhang

Gemäss Art. 3c KEG ist ein geologisches Tiefenlager eine Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird. Diese Anlage ist gemäss Art. 11, Abs. 2 KEV so auszulegen, dass (a) die Grundsätze für Kernanlagen gemäss Art. 10 Abs. 1 KEV sinngemäss erfüllt sind, (b) die Langzeitsicherheit durch gestaffelte passive Sicherheitsbarrieren gewährleistet wird, (c) Vorkehrungen zur Erleichterung von Überwachung und Reparaturen des Lagers oder zur Rückholung der Abfälle die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem Verschluss des Lagers nicht beeinträchtigen und (d) das Lager innert einiger Jahre verschlossen werden kann. Das Lager selbst besteht aus den Elementen Hauptlager (zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle), einem Pilotlager und aus Testbereichen (Art. 64 KEV). Dazu kommen die Zugangsbauwerke zur Erschliessung der untertägigen Anlagen (ENSI-G03, Kap. 5.1).

Mit fortschreitender Standortsuche im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager (BFE 2008) nimmt auch der Detaillierungsgrad der Planung bezüglich der Auslegung der geologischen Tiefenlager zu. Die Nagra plant zur Lagerung der radioaktiven Abfälle der Schweiz zwei Lager, eines für die hochaktiven Abfälle (HAA, diese umfassen verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und direkt eingelagerte abgebrannten Brennelemente) und eines für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA, Betriebs- und Stilllegungsabfälle aus den Kernkraftwerken und Zwischenlagern sowie aus Medizin, Industrie und Forschung in der Schweiz). Falls aufgrund der Ergebnisse der Standortsuche sinnvoll, ergibt sich alternativ die Option, diese beiden Lager an demselben Standort zu errichten (Kombilager). Grundlage für die Diskussionen im Forschungsprojekt waren die vorgeschlagenen Lagerauslegungen der Nagra in den Unterlagen zum Entsorgungsprogramm (NTB 08-01) bzw. zu Etappe 1 SGT (NTB 08-03 bzw. 08-05) sowie in NAB 14-51.

Gemäss Projektplan (ENSI-AN 7354) waren im Rahmen des Projekts alle zur Zeit vorhandenen Fragen zur Lagerauslegung beider Lagertypen aufzunehmen, breit zu diskutieren und die Ergebnisse in einem Synthesebericht zusammenfassen. Dabei sollte zusätzlich abgeklärt werden, ob über die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G03 hinaus gehend zusätzliche Anforderungen an die Auslegung eines geologischen Tiefenlagers gestellt werden müssen.

In nicht abschliessender Art sollten die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Welche Möglichkeiten der Anordnung der Lagerstollen gibt es und welches sind ihre Vor- und Nachteile? Welche Faktoren sind zu berücksichtigen?
- Wie ist die Lagerauslegung optimal auf die geologisch-tektonische Situation am Standort anzupassen (Trennflächengeometrie und -häufigkeit, Spannungsverteilung)? Welche Faktoren sind zu berücksichtigen? Welche Anpassungen in der Auslegung wären möglich/sinnvoll, wenn geologische Komplikationen auftreten?
- Welche vollflächigen Stützmittel können entlang der HAA-Lagerstollen im Opalinuston bzw. Tongesteinen verwendet werden? Welche Anpassungen an die Lagerauslegung aus dem Entsorgungsnachweis sind dazu notwendig (z.B. Ausbruchquerschnitt)? Welche Konsequenzen haben die Anpassungen auf die Langzeitsicherheit?
- Wie stark kann und soll ein Lagerkonzept auf geologische Komplikationen ausgerichtet werden? Welche Komplikationen sind in der Planung zu berücksichtigen?
- Mit welchen Techniken können wirksam und langfristig Wassereintritte in den Zugangsbauwerken (Schacht/Rampe) bei der Querung von Aquiferen oder Störungszonen vermieden bzw. deren Wirkung aufgefangen werden?



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

- Welche Ausbruchstechniken sollen verwendet werden? Was sind die Vor- und Nachteile von Tunnelbohrmaschinen, Teilschnittmaschinen und Sprengvortrieb, z.B. in Bezug auf die Ausbildung der Auflockerungszone?
- Was sind die Vor- und Nachteile der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Schächten und Rampen bei den Zugangsbauwerken?
- Was sind die sicherheitstechnischen Vor- und Nachteile einer Aufteilung des SMA-Lagers auf zwei Wirtgesteine?
- Was sind die sicherheitstechnischen Vor- und Nachteile eines Kombilagers?
- Wie beeinflussen Behältermaterial, Hohlraumverfüllung, Versiegelungsbauwerke und die lagerbedingten Einflüsse die Lagerauslegung?
- Welchen Einfluss hat die Behältergrösse auf das Lagerkonzept?

2 Vorgehen

Für das Projekt wurde ein Projektteam mit breiter Abstützung gewählt, in dem sowohl die Kantone (AG SiKa) als auch die Nagra Einsitz nahm. Zur Überprüfung der Umsetzung der früher von der Expertengruppe Radioaktive Abfälle des Bundes (EKRA) gemachten Vorschläge wurde ausserdem Marcos Buser in das Projektteam aufgenommen und hat das Projekt bis zur 7. Sitzung begleitet. Ausserdem waren für das ENSI diverse Experten aus der Bautechnik vertreten: Florian Amann (Ingenieurgeologie ETH Zürich), Simon Janele und Peter Jost (Basler & Hofmann).

Als Leitfaden für die fachlichen Diskussionen wurde ein zu Beginn des Projekts entwickelter Questionnaire benutzt, in dem 45 Fragen zur Auslegung eines SMA-Lagers sowie 20 Fragen zur Auslegung eines HAA-Lagers formuliert und im Rahmen der Projektsitzungen die Antworten aus dem Projektteam diskutiert wurden. Ausserdem wurde im Verlauf der Diskussionen erkannt, dass es sinnvoll wäre, die in den Diskussionen benutzten Begriffe zu definieren. Das daraus entstandene Glossar (Anhang 1) ist ein wichtiges Ergebnis des Projekts. Aufgrund der Diskussionen an den Sitzungen wurden zusätzliche Themen eruiert, die separat diskutiert wurden, darunter die Frage der sicherheitstechnischen Vor- und Nachteile von Schächten und Rampen als Zugangsbauwerken, die Frage der Vor- und Nachteile einer direkten Einlagerung der BE/HAA in den Transport- und Lagerbehältern, die Vor- und Nachteile eines Kombilagers.

Der vorliegende Schlussbericht stützt sich vor allem auf die Inhalte der Protokolle der Projektsitzungen (ENSI 33/86, 33/147, 33/148, 33/168, 33/171, 33/174, 33/176, 33/183, 33/193, 33/202, 33/224, 33/225, 33/234, 33/318, 33/322, 33/328, 33/338 und 33/381) sowie auf die zu diesen Sitzungen erarbeiteten Unterlagen (Fragen und Antworten zum Questionnaire, Glossar, Folien zu Sitzungen). Neben den Sitzungen wurde am 23.08.2012 auch eine Informationsreise zum Felslabor der Andra in Bure durchgeführt (ENSI-AN-8076).

Im Rahmen des Projekts wurden (neben Protokollen und Reiseberichten) die folgenden Dokumente erstellt:

ENSI-AN-7354: Projektplan zum AGNEB-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“, 21.09.2010

ENSI 33/149: Aussagen von KSA und KNS zur Lagerauslegung, 18.01.2012

ENSI 33/203: Projektstand-Sitzung zu den Projekten "Tiefenlagerung versus Hüte-Konzept" und "ENSI-Projekt Lagerauslegung", 19.12.2012

ENSI 33/335: Schriftliche Beiträge von M. Buser zum Projekt „Lagerauslegung“, 29.10.2014



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

3 Lagerauslegung in anderen Ländern in tonreichem Wirtgestein

Im Folgenden werden die Lagerkonzepte verschiedener Länder betrachtet (in alphabetischer Reihenfolge). Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die Konzepte sich je nach Art des Wirtgesteins deutlich unterscheiden. Darum werden im Folgenden nur Konzepte in tonreichem Wirtgestein oder mit einer wichtigen Geobarriere aus Tongestein (Schacht Konrad, Bruce Site) betrachtet. Die vorliegende Analyse kann nur eine unvollständige sein, da hierfür nur ein stark beschränkter Umfang an Literatur konsultiert worden ist. Für Details zu diesen Konzepten wird auf die nationale Fachliteratur verwiesen.

3.1 Belgien

Wirtgestein: Boom Clay, gering konsolidierter, d.h. plastischer Ton

Art der Abfälle: Verglaste HAA

Zugänge: nur Schächte

Lagertiefe: > 200 m

Lagerauslegung: Die Auslegung befindet sich auf Stufe einer Planungsstudie (Fig. 1). Ein zentraler Zugangsstollen hat rechtwinklig auf gleicher Höhe abzweigende Lagerstollen. Die HAA werden in so genannten „Supercontainern“ eingelagert, die mehrere Barrieren umfassen. Auf eine Bentonitbarriere wird verzichtet. Sowohl für den Supercontainer als auch zur Stollenverfüllung ist Zement vorgesehen. Die Tunnel müssen aufgrund der geringen Festigkeit des Wirtgesteins massiv ausgekleidet werden.

Bewertung: Die Tiefe des Lagers wird geologisch beschränkt durch die Tiefenlage des Boom Clay. Dieser fällt mit leichter Neigung gegen Norden (d.h. in Richtung der nahen holländischen Grenze) ein, so dass für ein belgisches Endlager nur beschränkte Tiefenlagen erreicht werden. Da der wassergesättigte Ton plastisch verformt, ist unabhängig von der Tiefenlage ein Vollausbau aller Stollen auf Lagerniveau notwendig. Gemäss Li et al. (2006) haben sich die Belgier noch nicht für eine finale Auslegung entschieden. Unklar ist aus ENSI Sicht, wie bei einer Einlagerung von Supercontainern die Lücke zwischen Container und Stollenwand mit Zement verfüllt werden soll. Möglicherweise wird hier auf das plastische Kriechen des Boom Clays abgestützt, der diese Lücken kurzfristig schliessen könnte.



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

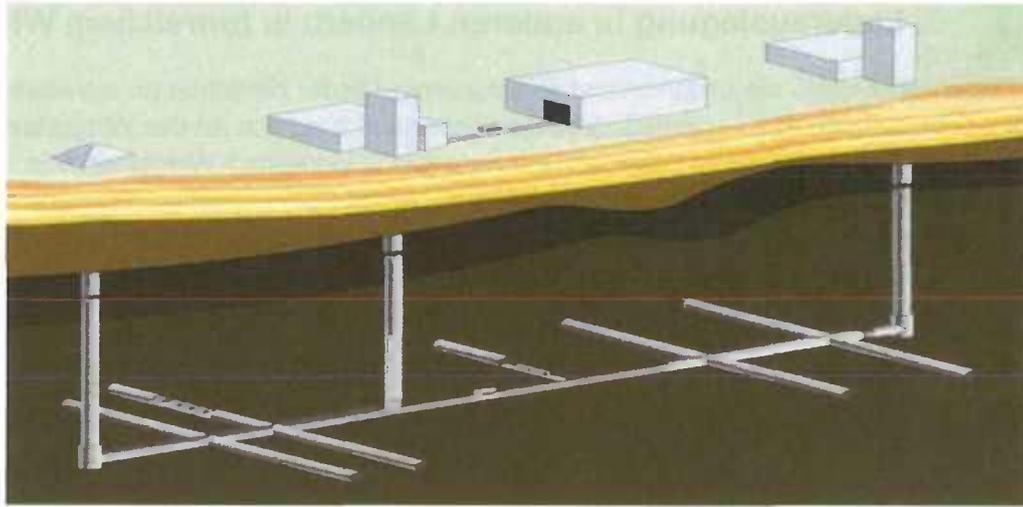


Fig. 1: Auslegung eines HAA-Lagers in Belgien. Die Einlagerung der Abfälle erfolgt in so genannten Supercontainern (Fig. 2). Die Zugänge nach untertage beschränken sich auf Schächte. (Quelle: <http://www.asmeconferences.org/ICEM2013/pdfs/96019.pdf>).

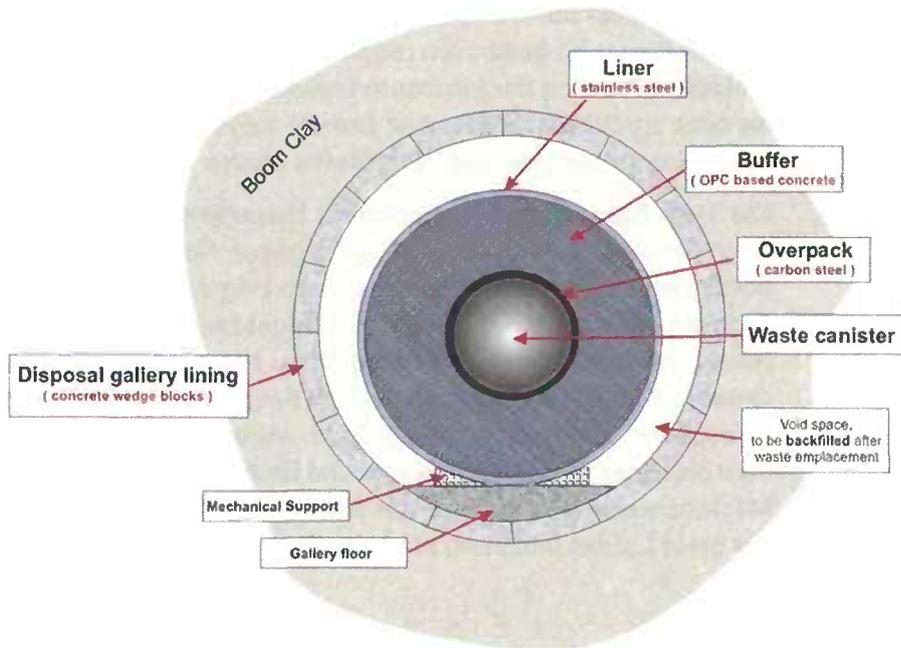


Fig. 2: Belgischer „Supercontainer“ mit verglastem hochaktivem Abfall in Kokille („Waste canister“), Stahlbehälter („Overpack“), Zementfüllung („Buffer“) und Ummantelung aus rostfreiem Stahl („Liner“). Das Konzept sieht vor, dass dieser mittig in den Stollen („Disposal Gallery“) platziert wird, der von einem Ring aus Betonelementen ausgekleidet wird, auf der ein Sockel für den Supercontainer steht (http://science.sckcen.be/en/Disposal_radioactive_waste).



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/PubliDocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

3.2 Konzeptueller Tonstandort für HAA in Deutschland

- Wirtgestein:** Tongestein (konsolidiert). Es gibt in Deutschland keine für die Endlagerung intensiv untersuchten Vorkommen von Tongestein (mit Ausnahme des in der Schweiz untersuchten Opalinustons). Generische Lagerkonzepte wurden aber betrachtet (z.B. DBE Technology 2007) und es gibt aus dem Projekt VerSi (Peiffer 2010) ein deutsches Endlagerkonzept in Tongestein (Figuren 3 und 4).
- Art der Abfälle:** Abgebrannte BE, verglaste HAA, mittelaktive Abfälle
- Zugänge:** 3 Schächte
- Lagertiefe:** ca. 450 m
- Lagerauslegung:** Vom zentralen Hauptschacht ($\varnothing = 9$ m) geht die horizontale Baustrecke in zwei entgegengesetzte Richtungen ab, die jeweils an den anderen Schächten endet (Fig. 3), wobei der Frischwetterschacht ($\varnothing = 7.5$ m) bei den Einlagerungsfeldern III und IV erst später gebaut wird. Auf beiden Seiten der Baustrecke liegt je ein Einlagerungsfeld, deren Lagerstollen in rechtem Winkel von der Baustrecke wegführen und nach ca. 850 m zur Einlagerungstransportstrecke führen, die zunächst parallel zur Baustrecke verläuft, dann aber zum zentralen Hauptschacht einknickt. Ein dazu abgesetzt angelegtes Lager für mittelaktive Abfälle (MAW, Fig. 3) liegt in der Nähe des Hauptschachts mit einem Hauptzugang quer zur Baustrecke. Es besteht aus kurzen Stollen, die beidseitig schräg vom Hauptschacht wegführen (Fig. 4). Der Hauptzugang liegt in rechtem Winkel zur Baustrecke.
- Bewertung:** Im Konzept finden sich diverse, aus dem Nagra-Konzept (vgl. z. B. Lagerauslegung gemäss NAB 14-51) übernommene Grössen (z.B. Querschnitt des HAA-Einlagerungstunnels, Abstand zwischen Einlagerungstunneln). Aufgrund der in Fig. 3 ergibt sich die Möglichkeit, dass die HAW-Einlagerungsfelder von beiden Seiten her mit Abfällen aufgefüllt werden. Aufgrund der zu Beginn durch einen umlaufenden Tunnel aufgefahrenen Einlagerungsfelder „Harfenstruktur“ kann das Gestein im Einlagerungsfeld bezüglich tektonischer Störung und lithologischer Variabilitäten voruntersucht werden.
- Von entscheidendem Unterschied gegenüber dem Lagerkonzept der Nagra ist das in Fig. 3 sichtbare Bewetterungskonzept, bei dem die Frisch- und Abwetterpunkte auf Lagerebene weit auseinander liegen. Bezüglich der Einlagerungstunnel wird vermerkt: „Eine Bewetterung der Einlagerungstunnel sowie der davor liegenden Schleusen erfolgt nicht.“ (Peiffer 2010, S. 38). Dies kann als Vorteil gewertet werden, weil dann die Strecken weniger von Austrocknung betroffen sind. Nachteilig ist die fehlende Bewetterung während des Ausbruchs (Staubentwicklung). In dieser Phase müssten gegebenenfalls mobile Bewetterungsanlagen (Lutten) eingesetzt werden.
- Bezüglich der Geometrie des MAW-Einlagerungsfeldes (Fig. 4) lässt sich festhalten, dass die schräg angeschnittenen Gesteinspfeiler zwischen Hauptzugang und Einlagerungstrecken felsmechanisch schwierige Bedingungen stellen, weil sich hier über längere Strecken die Auflockerungszonen von zwei Stollen überlagern.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

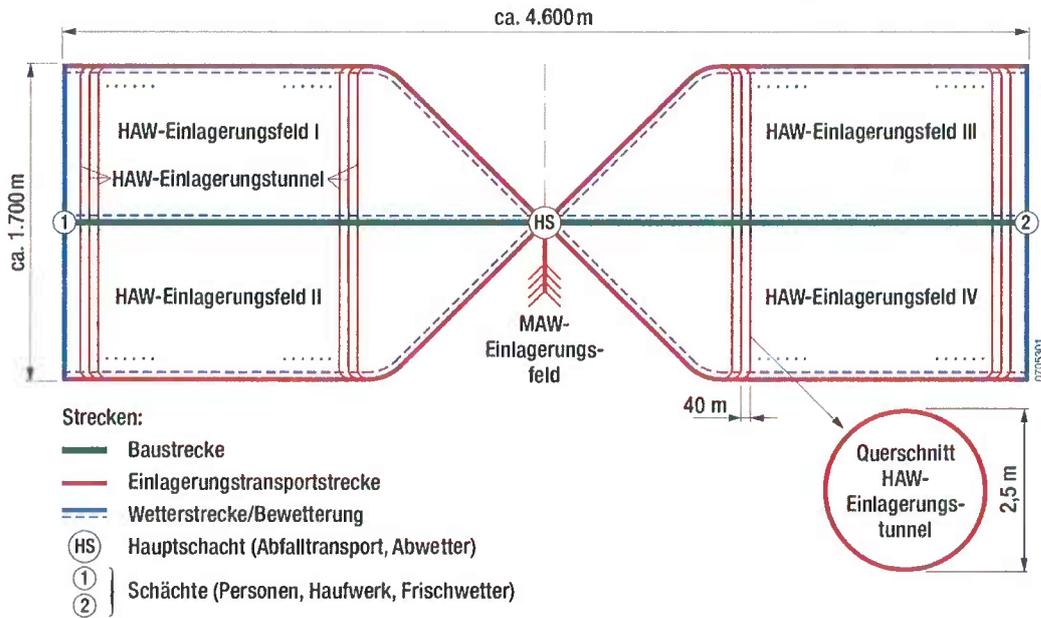


Fig. 3: Konzept für ein Endlager in Tongestein aus Projekt VerSi der GRS (Peiffer, 2010). Beachtenswert sind diverse mit der Lagerauslegung der Nagra identische Parameter sowie das von der Lagerauslegung in NAB 14-51 geometrisch abweichende Bewetterungssystem.

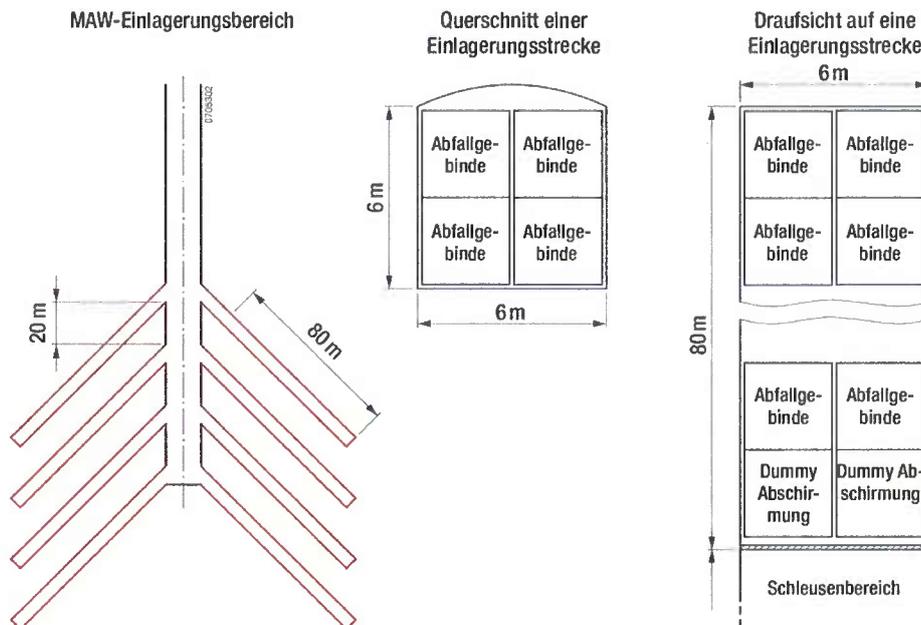


Fig. 4: Konzept für ein MAW-Endlager in Tongestein aus Projekt VerSi der GRS (Peiffer, 2010). Beachtenswert sind die schräg vom Hauptzugang abgehenden Einlagerungsstrecken und die radiologischen Schutzmassnahmen im Schleusenbereich durch Dummy-Abschirmung.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/PubliDocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

3.3 SMA-Lager in Schachtanlage Konrad (Salzgitter, Deutschland)

Wirtgestein: Eisenoolithische Schicht zwischen Tongesteinen

Art der Abfälle: max. 303'000 m³ SMA

Zugänge: zwei Schächte

Lagertiefe: 850 m

Lagerauslegung: Entlang der bautechnisch günstigen Eisenerz-Schicht werden in der Nähe von Schacht Konrad 2 von einer gemeinsamen Einlagerungstransportstrecke parallele Einlagerungskammern aufgeföhren (Figuren 5, 6). Diese Kammern werden von hinten nach vorne beschickt (Fig. 6). Auffallend ist, dass die Abluft mit einem Stollen oberhalb der Einlagerungskammer abgeföhrt wird.

Bewertung: Die Einlagerungskammern sind den K4-Kavernen der Nagra ähnlich. Bezüglich der bautechnischen Verhältnisse des Wirtgesteins bestehen aber grundlegende Unterschiede, die einen Vergleich der beiden Lagerkonzepte (Nagra vs. Konrad) nur bedingt zulassen. So fällt auch auf, dass die Länge der Einlagerungskammern mit 800 m angegeben wird, d.h. deutlich länger als die SMA-Lagerkammern der Nagra. Die eisenoolithische Schicht hat deutlich höhere Festigkeiten als der Opalinuston in entsprechender Tiefe. So wäre eine Abwettersammelstrecke quer und oberhalb der Einlagerungskammern (Fig. 6) im Opalinuston wenig vorteilhaft, da sich die Auflockerungszonen vermutlich überlagern würden und das Wirtgestein oberhalb des Lagers grundsätzlich so wenig wie möglich beeinträchtigt werden soll. Im Opalinuston ist davon auszugehen, dass gerade die Tiefenlage und die tektonische Beanspruchung starken Einfluss auf die Kavernengröße haben werden.



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]



Fig. 5: Planfestgestellte Lagerauslegung für das Endlager im Schacht Konrad. Die eng lamellierten Stollenfelder zwischen Schacht Konrad 1 und Schacht Konrad 2 stammen vom früheren Abbau des Eisenerzes. Das erste Endlagerfeld wird deutlich abseits der ehemaligen Abbaubereiche aufgeföhren. (Quelle: <http://www.endlager-konrad.de>).



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

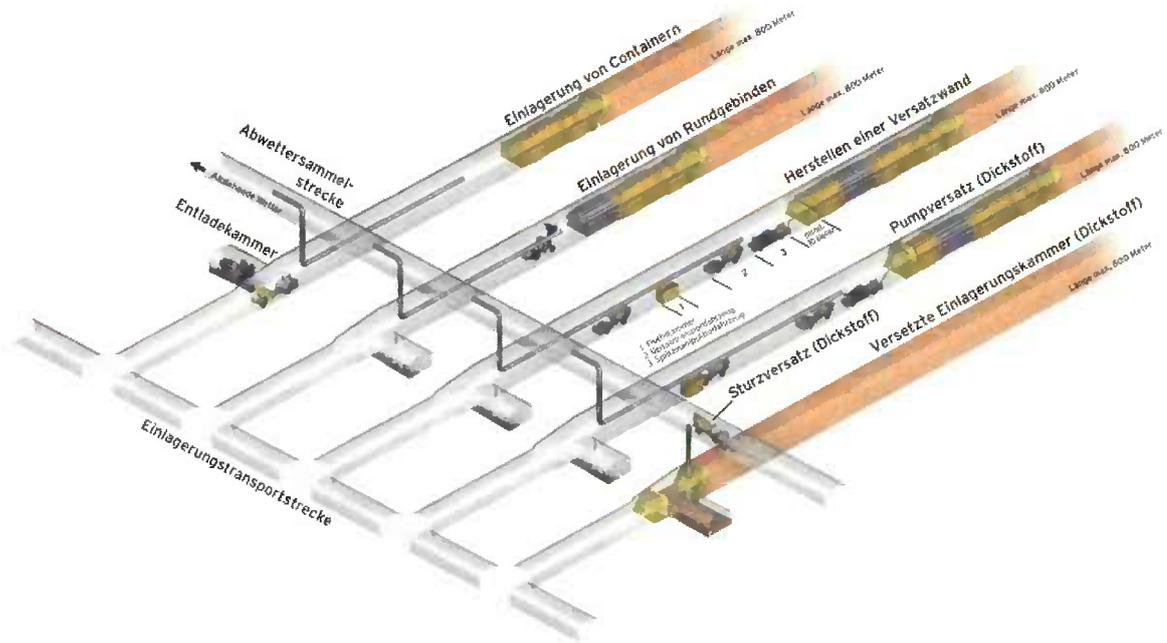


Fig. 6: Detail des planfestgestellten Einlagerungskonzepts zum SMA-Endlager im Schacht Konrad. In den fünf skizzierten Stollen sind verschiedene Phasen bzw. Schritte der Einlagerung und Verfüllung der Kammern gezeigt. Beachtenswert ist die oberhalb der Einlagerungskammern querlaufende Abwettersammelstrecke. Beachtenswert ist auch, dass diese Einlagerungskammern mit 800 m im Längenbereich der HAA-Lagerstollen liegen, wohingegen die Nagra von deutlich kürzeren SMA-Lagerkammern ausgeht (vgl. NAB 14-51).

3.4 Centre industriel de stockage géologique (Cigéo, Bure/Frankreich)

- Wirtgestein: Callovo-Oxfordien-Tongestein, dem Opalinuston sehr ähnlich
- Abfälle: Verglaste HAA, BE, LMA
- Zugänge: bis zu fünf Schächte und ein Rampenpaar (2 räumlich getrennte Oberflächenanlagen)
- Lagertiefe: ca. 500 m
- Lagerauslegung: Entsprechend der Grösse des französischen Nuklearprogramms umfasst der Platzbedarf eine Fläche von 15 km². Wie beim Nagra-Lagerkonzept enden Rampen und Schächte in unmittelbarer Nähe voneinander. Von dort werden über mehrere parallele Zufahrtsstollen die Lagerbereiche erschlossen. Für die HAA sind die Einlagerungsfelder Harfenstrukturen mit im 90°-Winkel zum Umfahrungsstollen abgehenden Lagerstollen. Diese haben einen kleineren Stollenquerschnitt als bei der Nagra, da das französische Einlagerungskonzept von verrohrten Einlagerungstunneln von knapp mehr als 1 m Durchmesser ausgeht, in die die Endlagerbehälter hintereinander eingeschoben werden (Folge einer über 200 Jahre aufrechtzuerhaltenden Rückholbarkeit ohne Verfüllung).
Die LMA-Felder (diese umfassen vor allem Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) um-



Klassifizierung:
Aktenzeichen/PublidoCs:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

fassen einen zentralen Zufahrtsstollen mit seitlich beidseitig abgehenden Kurzstollen. Parallel zueinander liegende Zufahrtsstollen sind am Ende der Einlagerungsfelder durch eine Kehrschleife miteinander verbunden.

Bewertung:

Die Lagerauslegung ist derjenigen der Nagra (NAB 14-51) ähnlich. Auffallend ist das gegenüber dem Lagerkonzept der Nagra stark unterschiedliche Verhältnis im Platzbedarf zwischen HAA- und LMA-Einlagerungsfeldern (als Folge der französischen Wiederaufarbeitung aller BE aus den kommerziellen Reaktoren). Ungewöhnlich sind die oft mehrfach geführten Tunnelsysteme im Untergrund, die sich entweder kreuzen oder auf verschiedenen vertikalen Ebenen liegen, und die Kehrschleifen an den Enden der LMA-Einlagerungsfelder (Fig. 7). Der Grund für diese Schleifen ist nicht klar, könnte aber im Design der unterirdischen Transportmittel für die LMA begründet sein. Auffallend ist ausserdem, dass keine weiträumige Trennung zwischen den HAA- und LMA-Einlagerungsfeldern eingeplant ist. Für die LMA-Einlagerungskammern sind Kammern von mehreren Betonelementen Höhe vorgesehen, was einen massiven Ausbau der Kammern voraussetzt. Bei den grossen Mengen an LMA im französischen Programm wäre eine Verringerung der Kammerdurchmesser mit einer deutlichen Zunahme des Platzbedarfs verbunden.

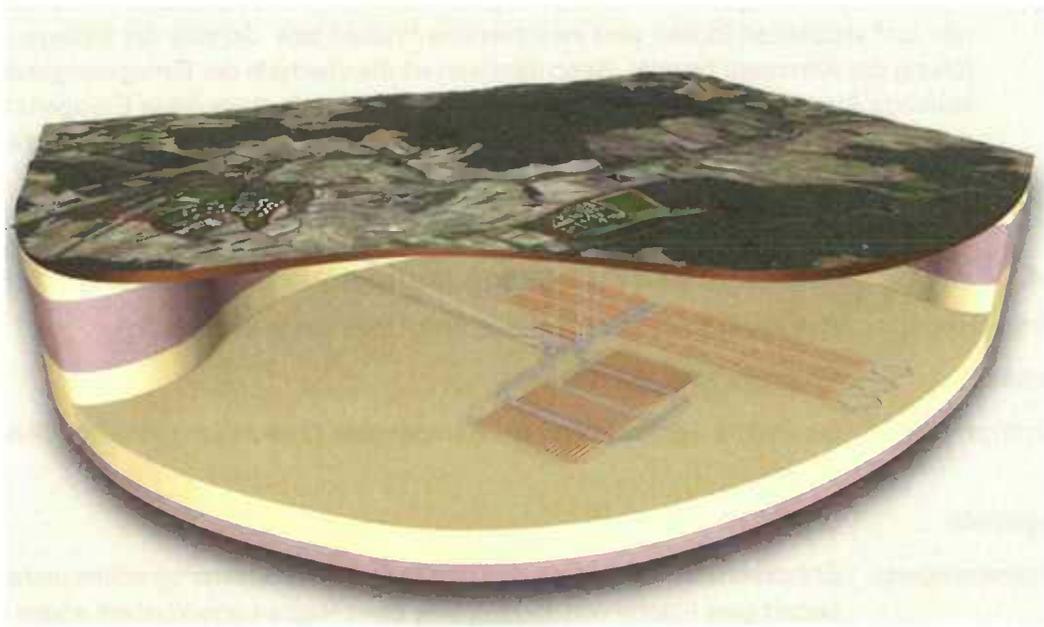


Fig. 7: Lagerkonzepts des französischen HAA- und LMA-Lagers. Der Platzbedarf im Untergrund umfasst 15 km². Man beachte die vierfach ausgelegten Zugangsstollen im LMA-Einlagerungsbereich und die dort am Ende der Einlagerungsbereiche angesetzten Kehrschleifen.

3.5 Grossbritannien

Wirtgestein: toniges Wirtgestein („lower strength sedimentary rock“)

Abfälle: SMA und HAA

Zugänge: mehrere Schächte (shafts), eine Rampe (drift)



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidoocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Lagertiefe: zwischen 200 und 1'000 m, abhängig von der Geologie am Standort

Lagerauslegung: Die Lagerauslegung existiert nur konzeptuell, in einer Studie mit Vergleich der Lagerauslegung zwischen unterschiedlichen Wirtgesteinen (NDA 2010). Grund dafür ist, dass Grossbritannien ein Auswahlverfahren auf der Basis von freiwilligen Kandidaten hat. Damit erscheint bei geeigneter geologischer Situation das Wirtgestein für die Auslegung des Lagers von untergeordneter Wichtigkeit zu sein. Interessant ist, dass zwischen den Einlagerungsfeldern von LMA und HAA eine minimale Distanz von 500 m verlangt wird, um mögliche thermische, mechanische hydrogeologische und chemische Interaktionen zu verhindern. Alle Einlagerungsfelder sind als Harfenstrukturen geplant, d.h. mit umlaufenden Erkundungsstollen.

Bewertung: Auffallend ist die Vielzahl von unterirdischen Zugangsstollen und intermediären Umladestationen, die den Betrieb vor Ort flexibilisieren, aber auch den Ausbruch und damit die Verletzung des Geobarriere erhöhen. Die gleiche Beobachtung gilt für die drei Schächte, durch die eine klare Trennung von Personentransporten, Abwetter und Aushubtransporten erreicht wird, damit auch hier die Systeme unabhängig voneinander sind. Ansonsten sind die Konzepte von bereits bestehenden Konzepten übernommen worden (insbesondere Nagra, DB Tech, SKB-KBS3). Damit ist der Lerneffekt klein.

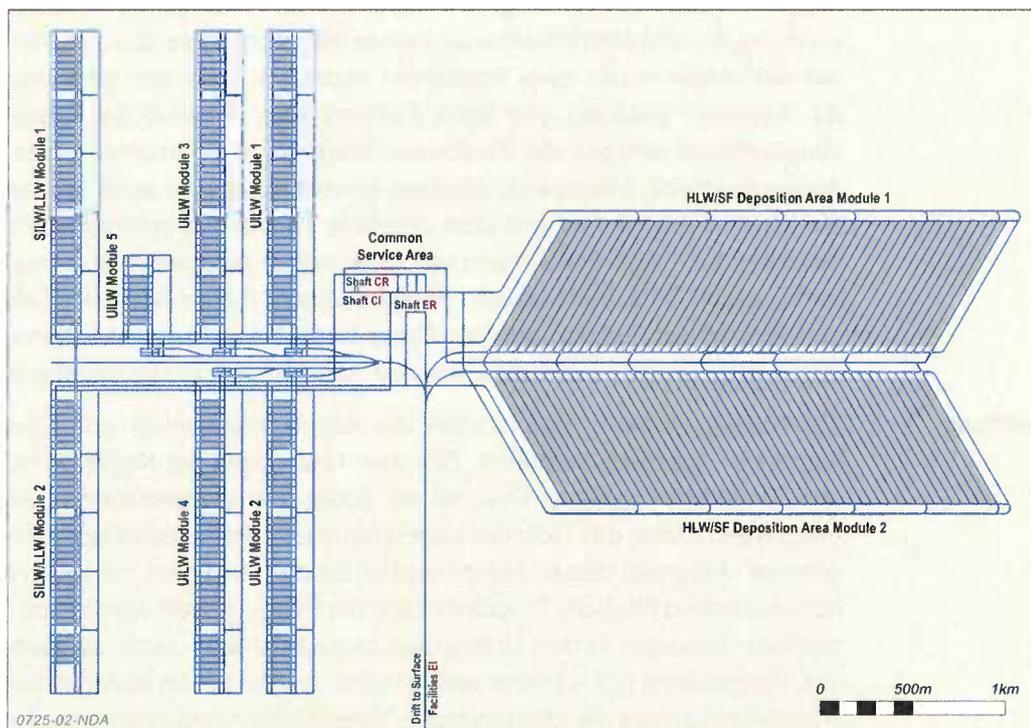


Fig. 8: Aufsicht auf ein konzeptuelles englisches Endlager in tonigem Wirtgestein. In diesem Konzept wurde ein Mindestabstand zwischen HAA- und LMA-Einlagerungsbereichen von 500 m umgesetzt. Auffallend ist die mehrfache Unterteilung der LMA-Lagerbereiche aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzungen, Verpackungen und zur Vermeidung von Interaktionen zwischen verschiedenen Abfalltypen. Das Konzept sieht drei Schächte vor, einen zum Personentransport, einen zur Ventilation und einen für den Aushub.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

3.6 Kanada, Bruce Site (Ontario)

Wirtgestein: kalkiges Wirtgestein (sehr feinkörnig, argillaceous limestone), überlagert von 200 m mächtigen Tongesteinen (Red Shale, Grey Shale, ordovizisch)

Abfälle: SMA und LMA (bis zu 200'000 m³)

Zugänge: 2 Schächte (Wetterschacht, Hauptschacht)

Lagertiefe: 680 m

Lagerauslegung: Die grundsätzliche Lagerauslegung (Fig. 9) enthält diverse ähnliche Elemente wird das HAA-Lager der Nagra. Die Einlagerungskammern biegen jedoch schräg von den Zugangsstollen ab, was aufgrund der felsmechanischen Eigenschaften des vorhandenen Wirtgesteins keine Probleme verursachen sollte (auch wenn die Frage gestellt werden muss, was der Grund für ein Abweichen von einem 90°-Winkel ist. Vorgesehen sind zwei relativ dicht nebeneinander liegende Einlagerungsfelder (panels), die beidseitig von Zugangsstollen begrenzt sind (Harfenstruktur). Der reduzierte Abstand (17.2 m) zwischen den Lagerkammern (emplacement rooms) ist aufgrund der nicht-wärmeproduzierenden Abfälle deutlich geringer als bei den HAA-Lagerfelder der Nagra. Der grössere Kammerquerschnitt entspricht konzeptuell den SMA-Lagerkammern der Nagra (Fig. 10). Der Grund für einen einmaligen Kammerabstand von 40 m ist unbekannt. Der Ausbruch der untertägigen Anlage soll in einem Schub erfolgen, so dass Einlagerung und Ausbruch sich nicht zeitlich überlappen. Die Benennung eines Wetterschachts und eines Hauptschachts lässt eine strikte Trennung der Aktivitäten in den zwei Schächten vermuten. Über den Wetterschacht werden die Abwetter gesogen und beim Auffahren der Aushub transportiert. Über den Hauptschacht erfolgen die Personen-, Material- und Abfalltransporte während des Anlagenbetriebs. Interessant ist, dass sowohl Haupt- als auch Wetterschacht unter die Lagerebene reichen und über spezielle Tunnel das untere Ende zugänglich ist. Interessant ist auch der Umfang der zusätzlichen Anlagen (z.B. „services area“, einschliesslich Büros, Werkstätten, Waschbuchten, Zufluchtsräume, Aufenthaltsräume und geotechnische Laboratorien). Diese Bereiche wurden in der Nähe der Schächte angeordnet (kurze Fluchtwege, grosser Abstand zu Einlagerungsbereichen).

Bewertung: Die Auslegung der Anlage ist stark von den felsmechanisch günstigen Eigenschaften des Wirtgesteins bestimmt. Das dem HAA-Lager der Nagra ähnliche Aussehen des SMA/LMA-Lagers ist Resultat der guten felsmechanischen Eigenschaften des mergeligen Kalks, der Tiefe der Lagerebene und der vorgesehenen Ausbruchquerschnitte. Aufgrund dieser Eigenschaften ist der Vergleich mit dem Nagra-Konzept nur beschränkt möglich. Trotzdem kann die Frage gestellt werden, ob die Verlegung diverser „services“ in den Untergrund sinnvoll ist oder nicht, da damit die Barriere des Wirtgesteins ggf. unnötig verletzt wird. Da jedoch im kanadischen Konzept die Haupt-Geobarriere die überliegenden Tonschichten sind (die durch die Schächte nur an zwei Orten perforiert werden), ist davon auszugehen, dass der Geobarriere des Wirtgesteins keine unmittelbar wichtige Rückhaltefunktion zukommt. Der geringe Abstand zwischen den Einlagerungsfeldern sowie zwischen zwei benachbarten Einlagerungskammern kann damit ebenso wie auch durch die guten felsmechanischen Eigenschaften des Wirtgesteins erklärt werden. Dabei ist bemerkenswert, dass dennoch zwischen den Einlagerungsfeldern darauf geachtet wurde, dass keine direkte



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / EN51 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Verbindung besteht (barrier pillar, Fig. 10). Es ist zu vermuten, dass hier entsprechende Siegel gesetzt werden, um die bestehenden Verbindungen vor Verschluss der Anlage wieder abzudichten.

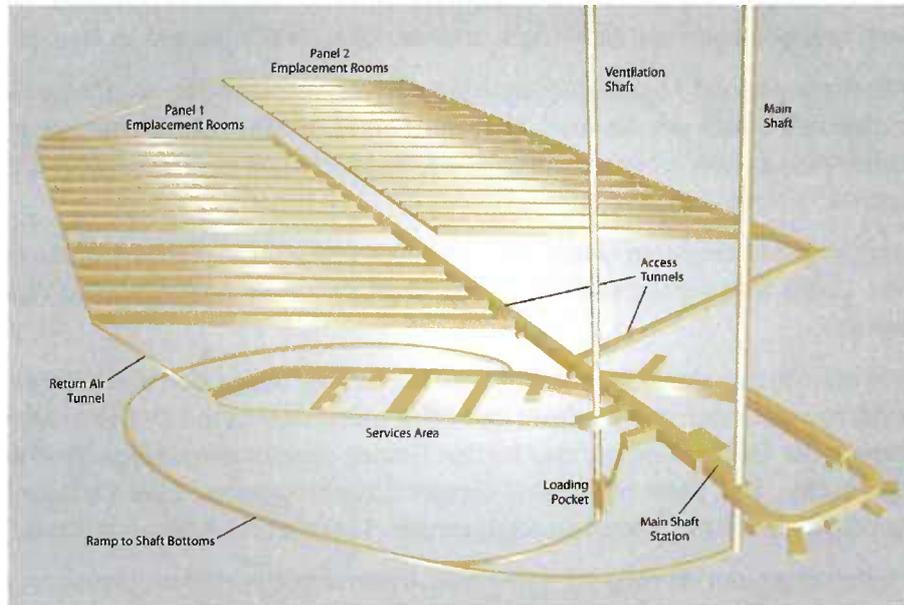


Fig. 9: Seitenansicht auf die Auslegung eines SMA/LMA-Lagers im mergeligen Kalk der Bruce Site, Ontario/Kanada. Auffallend ist, dass die beiden Schächte unter die Lagerebene ragen und der Schachtfuss über zusätzliche Tunnels zugänglich ist.

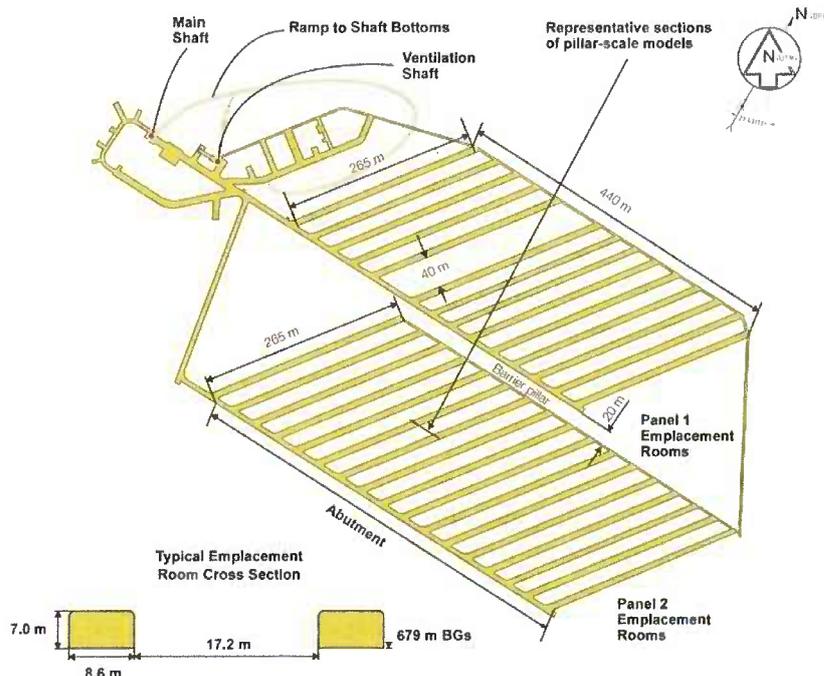


Fig. 10: Aufsicht auf ein Lager für SMA/LMA im mergeligen Kalk der Bruce Site, Ontario/Kanada. Gut sichtbar ist die Nähe der Einlagerungsfelder, die aber durch eine Barriere aus nicht perforiertem Gestein (barrier pillar) voneinander getrennt bleiben bzw. nur über längere Umwege untereinander verbunden sind.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

3.7 Zusammenfassung

Der Vergleich mit anderen nationalen Programmen zeigt die folgenden Aspekte:

- Der Stand der Detaillierung ist in den unterschiedlichen Konzepten sehr unterschiedlich. Noch liegt kein geologisches Tiefenlager in einem tonigen Wirtgestein im Bau vor.
- Die Konzepte und Ausbruchspläne derjenigen Standorte, die tonige Gesteine nur als umhüllende Barriere um ein nicht oder nur partiell toniges Wirtgestein haben (Schacht Konrad, Bruce site) zeigen grössere Ausbruchsquerschnitte und eine Verlagerung von Teilen der Infrastruktur auf die Lagerebene.
- Abstände zwischen den einzelnen Lagerteilen (Einlagerungsfelder) finden sich in allen Konzepten. Damit sollen grundsätzlich Interaktionen zwischen verschiedenen Abfalltypen vermieden werden.
- Vor allem in den wenig fortgeschrittenen Konzepten finden sich eine Vielzahl von Zugangs- und Umfahrungstunneln, die aus Sicht des ENSI grundsätzlich mit Ziel einer Minimierung der Schädigung der Geobarriere auf das für den Betrieb absolut notwendige Minimum beschränkt werden sollten. Das ENSI begrüsst in diesem Zusammenhang, dass die Nagra zwischen fest eingeplanten und nach Bedarf zu ergänzenden Tunnelabschnitten unterscheidet.
- Harfenstrukturen dominieren gegenüber Kammstrukturen ohne Umfahrungstunnel. Gerade in marin abgelagerten, lithologisch homogenen und tektonisch ruhig gelagerten Tonsteinen kann auch hier die Frage gestellt werden, ob beim Auffahren die Verletzung des Tones durch einen Umfahrungstunnel (der bau- und betriebslogistisch nicht gebraucht wird) notwendig ist.
- Die Bewetterung der Anlagen ist ein wichtiger Punkt für die Lagerauslegung. Entscheidend ist dazu, ob Einlagerungs- und Ausbruchsbetrieb parallel gefahren werden sollen und ob die Zuluft durch ein ausgeklügeltes System eines Zuluft- und eines Abluftschachtes erfolgen kann oder die Einlagerungsorte individuell bewettert werden müssen. Allgemein ist der Grad der kontinuierlichen Bewetterung davon abhängig, wie stark die Prozesse im Endlager vollständig ferngesteuert ablaufen können.
- In diversen Konzepten fällt auf, dass von 90° abweichende Winkel beim Zusammentreffen zweier Stollen vorhanden sind. Teil der Ursache mögen die geplanten Transportsysteme sein. Die Andra präsentiert eine Lösung, die komplett automatisiert ist, bei der aber viele Wechsel der Transportfahrzeuge vorgesehen sind, die potenziell störanfällig sein können.

4 Resultate

Die folgenden Kapitel sind eine Auswahl aus den behandelten Themen, d.h. dieses Kapitel hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Im Folgenden sollen die Resultate aus den geführten Diskussionen zu Schacht/Rampe (Kap. 4.1), zur direkten Einlagerung von TLBs (Kap. 4.2) und zur Länge der vorgesehenen Einlagerungsbereiche (Kap. 4.3) betrachtet werden. Eine Zusammenfassung der für das ENSI wichtigen Aspekte aus den Fragen des Questionnaires findet sich in Kap. 4.4.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidoocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

4.1 Zugangsbauwerke

Parallel zu einer auch mit diversen Fachgruppen und im Rahmen eines Forums am 12. September 2013 geführten Diskussion zu den sicherheitstechnischen Vor- und Nachteilen von flachen (Rampen) und vertikalen (Schächte) Zugangsbauwerken, wurde auch im Projekt Lagerauslegung eine fachtechnische Diskussion geführt und diese bildete die Basis der ENSI-Botschaft nach aussen. Die resultierende Kurzform hat den Wortlaut:

Sowohl Schächte als auch Rampen sind bautechnisch machbar. Beide Erschliessungsvarianten können aus technischer Sicht länger als 100 Jahre unterhalten werden. Beide haben Vor- und Nachteile, für beide Erschliessungsarten bestehen weltweit genügend Erfahrungen. Grundsätzlich können Standortareale für Oberflächenanlagen aus bautechnischer Sicht auch ausserhalb der geologischen Standortgebiete erschlossen werden.

Im Detail ist die Diskussion komplexer, d.h. sowohl für Schächte wie auch Rampen können Vorteile und Nachteile genannt werden. Die folgende Auflistung der Aspekte soll hier ein differenzierteres (aber mit der oberen Kurzform stimmiges) Bild vermitteln:

Aspekt „Erkundung“: Für einen Schacht ist in der Regel eine einzige Bohrung notwendig, um eine gute Erkundung der Verhältnisse im Untergrund zu erreichen. Für eine Rampe wären von der Oberfläche aus vermutlich eine ganze Reihe von Bohrungen notwendig, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass ein grosser Teil der Erkundung von der Ortsbrust aus erfolgt und die Erkundung an den Schwierigkeitsgrad der in Kürze anzutreffenden Schichten angepasst werden kann. Die finanziellen Aspekte bzgl. Erkundungsaufwand werden nicht betrachtet, da nicht sicherheitsrelevant.

Aspekt „Wassereinbruch“: Beim Durchstoss durch horizontal liegende wasserführende Schichten wird bei einem Schacht nur eine minimale Oberfläche geschaffen und damit die Wahrscheinlichkeit eines Wassereinbruchs vermindert. Bei einer Rampe (mit Steigung 10%) werden wasserführende Schichten über 10x längere Strecken angeschnitten und damit auch die Wahrscheinlichkeit eines Wassereinbruchs erhöht. Diesen Überlegungen liegt aber zugrunde, dass es sich bei der wasserführenden Schicht um eine verkarstete Schicht handelt. Geht man von einer lateral kontinuierlich wasserführenden Schicht aus, so ist die Menge des Wasserzuflusses abhängig von der Fliessrichtung und eine Rampenführung könnte an diese angepasst werden. Grundsätzlich liegen solche Schichten nicht vor, hingegen ist in der Nordschweiz eher mit Verkarstungen der obersten Malmkalke zu rechnen, auch wenn aus der Literatur keine für ein geologisches Tiefenlager in der Nordschweiz relevanten Fälle von Wasserzutritten aus der Nordschweiz bekannt sind. Kritisch für Schacht und Rampe ist insbesondere die Tiefe der Malmschichten, da damit auch der Wasserdruck steigt.

Aspekt „Konvergenz“: Schächte haben vertikale Wände, entlang derer die Kräfte abgeleitet werden. Rampen müssen mindestens in der Firste, vermutlich aber rundum mit abstützender Auskleidung versehen werden, um die Konvergenz aufzufangen. Tunnelauskleidungen sind aber in vielfältiger Art technisch ausführbar, auch für ein Bauwerk, das (unter Zulassung von Instandhaltungsmassnahmen) 100 Jahre halten soll. In den meisten zu erwartenden Gesteinen wird vermutlich auch ein Schacht vollständig ausgekleidet. Aktuelle Beispiele für Schachtsanierungen an den Zugangsbauwerken von Schacht Konrad zeigen, dass Unterhaltsarbeiten an einem bestehenden Schacht umsetzbar sind. Dies gilt umso mehr in einer Rampe, in der eine Baustelle besser vom Rest der Rampe abgetrennt werden kann.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Aspekt „Flexibilität der Linienführung“: Ein Schacht hat eine vorgängig fixierte Position und von dieser kann nur in Ausnahmefällen abgewichen werden (z.B. mit einem lateralen Versetzungsstollen, durch den der Schacht in zwei Teilschächte zerlegt wird und transporttechnischer Mehraufwand entsteht). Die Linienführung einer Rampe kann an durch Vorausbohrungen erkannte Schwierigkeiten angepasst werden, d.h. sie ist flexibler. Grundsätzlich waren sich im Rahmen des Projekts aber die Tunnelbauer auch einig, dass für problematische Zonen Lösungen praktisch immer möglich sind.

Aspekt „Verfüllung“: Nach erfolgten Einlagerungsarbeiten bzw. beim Verschluss des geologischen Tiefenlagers werden die unterirdischen Zugänge verfüllt und versiegelt und insbesondere am Übergang zum einschlusswirksamen Gebirgsbereich entlang der Zugangsbauwerke Siegel gesetzt. Zusätzliche Siegel entlang der Zugangsbauwerke werden gesetzt, um die einzelnen hydraulischen Stockwerke wieder voneinander zu trennen und über Rampen und Schächte keine hydraulischen Kurzschlüsse zuzulassen. Schächte lassen sich einfacher verfüllen bzw. versiegeln, da die gravitative Setzung die Verfüllung vereinfacht. Bei einer Rampe muss durch technische Massnahmen (z.B. Schneckenförderanlagen) eine Minimaldichte des Versatzmaterials erreicht werden. Es ist dazu darauf hinzuweisen, dass in den Lagerstollen der HAA die gleiche Problematik existiert und dazu Lösungsansätze existieren. Diese müssen nach Art. 65 KEG in den Testbereichen erprobt werden und deren Funktionieren gezeigt werden bevor Abfälle eingelagert werden dürfen.

Aspekt „Fluchtweg“: Der Zugang zu den untertägigen Anlagen und zurück wird für das Personal im Normalfall über den Schacht erreicht. Bei diversen betrieblichen Störungen (Brandfall, Kontaminationsfall, Stromausfall etc.) ist hingegen eine Rampe der sicherere Fluchtweg, weil er vom Personal ohne weitere Hilfsmittel begangen werden kann. Entlang einer Rampe sind für den Störfall auch weitere Schutzräume möglich, in denen sich das Personal zwischenzeitlich schützen und ausharren kann.

Aspekt „Intervention bei Wassereintrich“: Im unwahrscheinlichen Fall eines massiven Wassereintrichs entlang des Schachts während des Lagerbetriebs sind die Interventionsmöglichkeiten beschränkt, das einströmende Wasser kann aufgrund der im Schacht befindlichen Transporteinheiten praktisch ungehindert nach unten und in den Tiefenbereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs strömen. Zum Verhindern eines Eindringens grösserer Wassermengen in das geologische Tiefenlager können bei Bedarf in Zwischenhöhen Auffangeinrichtungen platziert werden (die Nagra verwendet den Begriff der „kontrollierten Flutung“, die Auffangvorrichtungen wären aber aufgrund der durchgehenden Kabel für die Transporteinrichtungen nie dicht) bzw. auf Höhe des Schachtfusses auf der lagerabgewandten Seite ein Auffangbecken ausgebrochen oder schnellschliessende Sicherheitstore zwischen Schachtfuss und Tiefenlager installiert werden. Die Interventionsmöglichkeiten (Abdichten der Einbruchsstelle, Auffangen und Ableiten des Wassers) sind im Schacht beschränkt.

In einer Rampe sind die Auffangmöglichkeiten einfacher, da einströmendes Wasser sich immer an der Tunnelsohle sammelt und von dort seitlich abgeleitet werden kann. Auch hier können bei Bedarf Auffangbecken und auch entlang der Rampe (z.B. vor dem Übergang in den einschlusswirksamen Gebirgsbereich) schnellschliessende Tore installiert werden. Die Interventionsmöglichkeiten (Abdichten der Einbruchsstelle, Auffangen und Ableiten des Wassers) sind entlang einer Rampe deutlich günstiger als bei einem Schacht.

Das Rückpumpen des aufgefangenen Wassers erfolgt in beiden Fällen über Zwischenstationen mit elektrischen Pumpen (und dieselbetriebenen Ersatzsträngen). Die Platzierung dieser



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/PubliDocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Pumpanlagen ist bei einer Rampe einfacher als in einem Schacht mit sehr beengten Verhältnissen.

Aspekt „Niederbrüche und fallende Gegenstände“: Niederbrüche und fallende Gegenstände oder Lasten (insb. bei der Bau- oder Betriebsphase) können bei einem Schacht zu massiven Gefährdungen führen. In einer Rampe ist der Fallweg auf wenige Meter beschränkt, gegebenenfalls würde ein niederfallender Gegenstand entlang der Rampe weiter schlittern, der Einfluss auf die Sicherheit des Tiefenlagers wäre aber begrenzt.

Dieser Aspekt ist insbesondere für den Transport der radioaktiven Abfälle nach untertage zu berücksichtigen. Die Nagra hat anlässlich der Behördeninformation vom 19.06.2014 (ENSI 33/377) auch die Möglichkeit einer Auffangeinrichtung für fallende Endlagerbehälter (Begriff der Nagra: „Schacht-Stossdämpfersystem“) erwähnt. Diese würden jedoch unterhalb des Schachtes platziert und würden lokal gegen unten weitere Teile des Wirtgesteins betreffen, wodurch zu den unter einem Wirtgestein liegenden durchlässigeren Schichten nur eine beschränkte Strecke intakten Gesteins bliebe. Ein solcher Zusatz wäre aus Sicht des ENSI auf jeden Fall mithilfe sicherheitsanalytischer Berechnungen auf seinen Einfluss auf die Langzeitsicherheit zu überprüfen.

- **Vorteile von Schächten:** Der Schacht ist die direkteste Verbindung von unten nach oben, was logistische Vorteile bringt: Kurzer Fluchtweg, kurze Transportwege, kurze Lüftungswege, minimaler Ausbruch, minimale Schädigung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs. Aufgrund der vertikalen Lastenabtragung ist entlang des Schachts mit geringer Verformung zu rechnen. Da der Schacht senkrecht durch wasserführende Schichten führt, wird die Gefahr eines Wassereintruchs minimiert. Der Schacht kann mit grosser Zuverlässigkeit mit einer einzigen Bohrung erkundet werden. Der Schacht kann vertikal und damit in Richtung der Schwerkraft verfüllt werden.
- **Nachteile von Schächten:** Der Schacht stellt für einen allfällig langfristig auftretenden Wasserzutritt die kürzeste Verbindung nach unten zur Lagerebene dar, ebenso für einen hypothetischen Nuklidtransport entlang der Schwächezone des Schachts von unten nach oben. Die Nagra betont dazu, dass ihre Sicherheitsanalysen wegen den langen horizontalen Versiegelungsstrecken für die verschiedenen Zugangsvarianten keinen signifikanten Unterschied für die Langzeitsicherheit sehen: Gemäss Nagra wird die Länge der Versiegelungsstrecke im Schacht durch die WG-Mächtigkeit begrenzt. Im Falle eines überraschenden Wassereintruchs steigt der Wasserspiegel deutlich rascher, was bezüglich Intervention und Selbstrettung höhere Herausforderungen darstellt.
- **Vorteile von Rampen:** Rampen ermöglichen eine flexible Verbindung zwischen Standortareal und Lagerfeldern (der Sachplan geht mit den definierten Planungssperimetern davon aus, dass Rampen bautechnisch möglich sind). Sie bieten für die Logistik eine höhere Flexibilität bzw. mehr Möglichkeiten. Sie bieten gute Fluchtwegen zur Selbstrettung. Bei einem Wassereintruch entlang der Rampe sind die baulichen Möglichkeiten einfacher, einem solchen zu begegnen oder diesen zu verhindern (vorgängige Abdichtung wasserführender Zonen, Verschlussbauwerk(e), Pumpensumpf seitlich des Zugangsbauwerks, etc.). Rampen sind bezüglich ihrer Streckenführung flexibler. Im Falle von abstürzenden Gegenständen sind Rampen günstiger, weil sie nur kurze Fallwege aufweisen. Rampen stellen keine direkten Verbindungen von oben nach unten dar, was den Wasserfluss nach unten und den Nuklidtransport nach oben verzögert (im Konzept der Nagra tragen nur Wirtgestein und Rahmengesteine zur Rückhaltung bei und vor allem der horizontale Pfad bis zum Zugangsbauwerk wird für den Nuklidtransport als massgebend angesehen).



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

- **Nachteile von Rampen:** Rampen sind anspruchsvoller bezüglich der späteren Verfüllung des Hohlraums. Rampen sind deutlich länger als Schächte (Kosten- und Zeitfaktor), sie könnten in engen Kehren und Schlaufen vergrösserte Auflockerungszonen verursachen. Ein Wasserzutritt entlang der Rampe kann aufgrund der grösseren Oberfläche zu insgesamt höheren Wassermengen führen, bzw. einen grösseren Aufwand für Abdichtungsmassnahmen verlangen. Die Massnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit (druckhaftes Gebirge, Ortsbruststabilität, Quelldrucke, etc.) sind in der Regel aufwändiger als bei Schächten.

4.2 Direkte Endlagerung von Transport- und Lagerbehältern

Mit „direkter Endlagerung“ ist das direkte Einlagern der HAA-Abfälle und abgebrannten Brennelementen in den auf eine mehrere Jahrzehnte dauernde Zwischenlagerung ausgerichteten Transport- und Lagerbehältern (TLB) gemeint. Die fachliche Diskussion zu diesem Thema wurde in der 11. Projektsitzung durchgeführt (ENSI 33/224). Dabei galt es, die Vor- und Nachteile ganzheitlich zu betrachten, d. h. nicht nur bezüglich der Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit.

Sicherheitstechnische Vorteile einer direkten Endlagerung von TLBs sind die folgenden:

- Auf ein Umladen der Brennelemente (BE) und HAA-Kokillen vom TLB in den Endlagerbehälter (ELB) kann verzichtet und damit die Anzahl der Handhabungsschritte stark reduziert werden. Da im Referenzkonzept (mit Endlagerbehälter für BE/HAA) das Umladen der BE und HAA von den TLB in die Endlagerbehälter fernhantiert erfolgt, wird durch eine Endlagerung von TLB im Routinefall keine Dosisreduktion für die beteiligten Personen erwartet. Im Störfall können hingegen erhebliche Dosen verursacht werden).
- Die Oberflächenanlage braucht keine heisse Zelle (vorausgesetzt, dass die TLBs nicht neue Dichtungen erhalten). Damit wäre in der Oberflächenanlage mit geringeren Mengen von radioaktiven Betriebsabfällen zu rechnen, ausserdem weniger Stilllegungsabfällen. Dieser Vorteil ist wenig stichhaltig, da die TLBs zur Verfüllung (z. B. durch Magnetit-Sand zur Vermeidung von Kritikalität) und zum Ersatz der Dichtungen (Langzeitdichtigkeit) trotzdem geöffnet werden müssten.
- Die TLBs müssen nicht nachträglich gereinigt und als Altmetall entsorgt werden. Bei Wegfallen dieses Schrittes wird daraus resultierende Dosis eingespart, die aus einer Innenreinigung der TLBs resultieren würde (unter Annahme, dass diese nicht vollständig fernhantiert gemacht werden kann).
- Die notwendige Fläche des Tiefenlagers könnte deutlich verkleinert werden, denn die BE und HAA sind deutlich dichter gepackt. Dieser Vorteil ist wenig stichhaltig, da die Komprimierung der Abfälle auf eine geringere Anzahl Behälter aus thermischen Erwägungen weiter voneinander platziert werden müssten.

Als sicherheitstechnische Nachteile einer direkten Endlagerung von TLBs sind zu nennen:

- Die TLBs (~ 130 t) sind verglichen mit den ELBs (<30 t) deutlich schwerer. Der Transport solcher schwerer Lasten nach Untertage über einen Schacht ist aktuell nicht Stand der Technik.
- Die konzipierten ELBs der Nagra haben einen Durchmesser von 1 m. Zusammen mit der Bentonitverfüllung entstehen notwendige Lagerstollendurchmesser von 2.5 bis 3.0 m. Die TLBs haben einen Querschnitt von knapp 2.5 m. Damit würden die notwendigen Durchmesser der Lagerstollen viel grösser (> 4 m), was auf deren bautechnische Stabilität und das bautechnisch machbare Tiefenfenster einen Einfluss hat.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidos: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

- Die ENSI-G03 gibt vor, dass die BE- und HAA-Behälter über einen Zeitraum von 1000 Jahren dicht sein müssen. Auf diese Anforderung sind die TLBs nicht ausgerichtet. Dies liesse sich auch nicht mit einer anderen Dichtung beheben.
- Aufgrund der massiven Beladung wäre die pro Stollenmeter produzierte Wärme 5x höher als die gegenwärtig von der Nagra vorgegebenen 1500 W pro 5 m Stollenlänge. Damit müsste im umgebenden Bentonit und im Wirtgestein des Nahfelds mit deutlich höheren Temperaturen und um den Behälter mit einer Dehydrierung des Bentonits gerechnet werden, wodurch die Bentonitbarriere geschwächt würde. Im umliegenden Opalinuston müsste mit erhöhtem Grad an Mineralreaktionen gerechnet werden. Die Problematik könnte dadurch entschärft werden, dass die TLBs länger zwischengelagert werden. Um jedoch auf die 1500 W pro 5 m Stollenlänge zu kommen, wären jedoch nach den heute geplanten 40 Jahren Abklinglagerung weitere 100 Jahre Abklinglagerung notwendig (Abschätzung aufgrund von Daten in Johnson et al. 2002).
- Die TLBs müssten aufgrund von Kritikalitätsüberlegungen mit einem absorbierenden Material gefüllt werden (z. B. Magnetit). Dadurch würden die TLBs für den Transport noch schwerer und das Auffüllen der Behälter würde eine heisse Zelle in der Oberflächenanlage bedingen.
- Die TLBs werden zur erhöhten Kühlung bei der Zwischenlagerung mit Kühlrippen gefertigt. Wenn diese nicht vor Einlagerung entfernt werden, verursachen sie ungünstige Hohlräume bei der Verfüllung und damit grössere Oberflächen für die Eisenkorrosion (erhöhte Gasproduktion).
- Alle Typen von TLBs enthalten mehrere Prozente an Harz, das zur Neutronenabsorption zwischen den Stahlteilen eingefügt ist. Bei Castoren liesse sich dieses Harz ggf. durch Ausbohren entfernen (Harzstifte im Eisenmantel), bei den bisher in der Schweiz mehrheitlich eingesetzten TN-Behältern sind die Harze jedoch komplex in der Konstruktion verteilt. Die Harze würden zusätzlich Mengen an Organika in das Endlager einbringen. Die konzeptuell von der Nagra vorgeschlagenen ELBs enthalten keine Organika.
- Das Material, aus dem die ELBs gefertigt werden, kann angepasst werden, so dass die Korrosionsraten ein zulässiges Mass nicht überschreiten. Die Materialkombinationen der TLBs sind jedoch von den weltweit vorhandenen Herstellern vorgegeben und nicht an die Auslegung eines Lagers in einem tonreichen Wirtgestein angepasst.

Das ENSI zieht als Konsequenz aus dieser Diskussion, dass eine direkte Endlagerung der TLBs sicherheitstechnisch nicht sinnvoll ist.

4.3 Länge der Lagerstollen (HAA) und –kavernen (SMA)

Ein intensiv diskutierter Aspekt war die Länge der Lagerstollen für HAA und SMA. Gemäss Konzept der Nagra ist für die HAA-Stollen eine Länge von rund 800 m (je nach Situation zwischen ca. 300 m bis ca. 1000 m) vorgesehen (bestehend aus einem 100 m langen geraden Stück des Abzweigertunnels und einem 700 m langen Einlagerungsbereich), die bei Auffahren der einzelnen Stollen an die lokale Geologie (Durchfahren von Störungszonen) angepasst werden kann. Für die SMA-Stollen wurde in NTB 08-05 eine Länge von 300 m angegeben (bestehend aus einem 100 m langen geraden Stück des Abzweigertunnels und einem 200 m langen Einlagerungsbereich) und es wurden diverse Lagerkavernentypen K4 bis K20 mit unterschiedlichen Kavernenquerschnitten vorgeschlagen, die je nach geotechnischen in-situ Bedingungen eingesetzt werden können. In der Diskussion wurden folgende Aspekte angesprochen:



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publicdocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

- Risiko der Instabilität: Aus Sicht der Bautechnik ist die Länge der Einlagerungsbereiche kein sicherheitstechnisch relevantes Problem, denn die Gefahr von Niederbrüchen liegt alleine in der Geologie des Wirtgesteins (mit dazu gewähltem Querschnitt), nicht in der Länge der Einlagerungsbereiche oder der verwendeten Ausbruchssicherung.
- Länge der Fluchtwege: Die Einlagerung der Abfälle soll ausschliesslich ferngesteuert erfolgen. Daher ist der Aspekt Fluchtweg eher ein Aspekt, der nur die darin arbeitenden Maschinen betrifft.
- Platzbedarf: Die Nagra hat in der 11. Projektsitzung aufgezeigt, wie sich der Platzbedarf mit abnehmender Länge der Lagerstollen (und ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen) verändert. Aus Figur 11 wird ersichtlich, dass für die HAA-Lagerstollen eine Verkürzung auf 600 m wenig zusätzlichen Platzbedarf generiert, während bei Verkürzungen unterhalb 400 m der Gesamtplatzbedarf bereits deutlich zunimmt. Derselbe Trend ist für die SMA Lagerkavernen zu beobachten, wenn diese auf kürzer als 200 m ausgelegt werden.

Das ENSI schliesst daraus, dass die Auslegung mit rund 800 m langen HAA-Lagerstollen und 200 m langen SMA-Lagerkavernen gemäss Nagra-Konzept sicherheitstechnisch vernünftig ist.

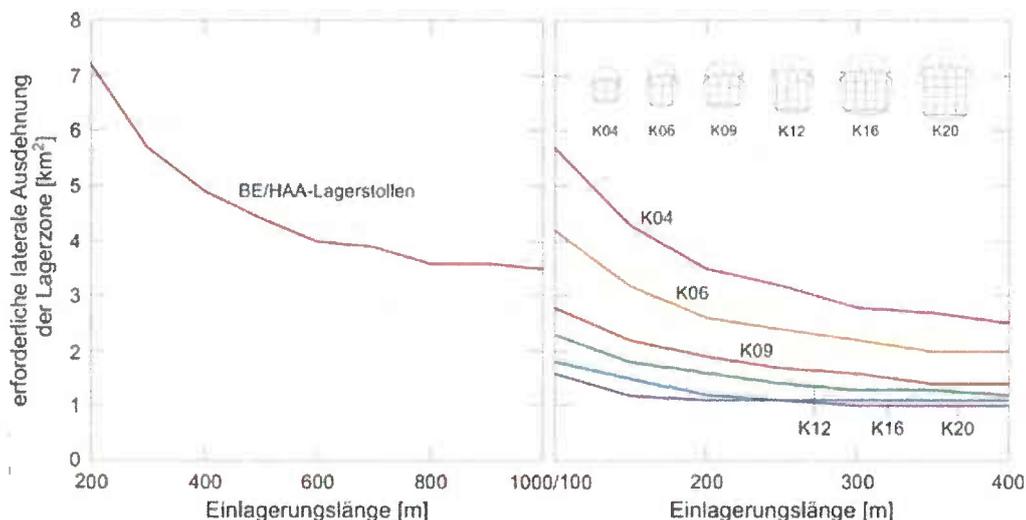


Fig. 11: Abhängigkeit der erforderlichen Fläche eines HAA- (links) bzw. SMA-Lagers (rechts) von der Länge der Lagerstollen bzw. -kavernen und für SMA der Kavernenquerschnitte (K4 bis K20).

4.4 ENSI-Antworten aufgrund der Diskussionen zum Questionnaire

Ab der 4. Projektsitzung (ENSI 33/168) wurden zu einem seitens ENSI erstellten Questionnaire Antworten seitens der Projektteilnehmenden generiert, diese Antworten in den Projektsitzungen besprochen und aus den Antworten seitens ENSI eine zusammenfassende Antwort erstellt. Die hier wiedergegebenen Antworten haben nicht die Funktion, alle Antworten und die darin geäusserten Aspekte wiederzugeben, sondern sind eine vom ENSI selbst formulierte Schlussfolgerung. Es ist zu beachten, dass die ursprünglich im Questionnaire fortlaufende Nummerierung der Fragen später nicht geändert wurde, weil z.B. Fragen bereits im Rahmen anderer Diskussionen abgedeckt worden sind oder aufgrund des Projektfortschritts als obsolet angesehen wurden. Daher sind die Fragennummern nicht fortlaufend, sondern zeigen Lücken. Zum Teil war es sinnvoll die ursprüngliche Frage noch weiter zu unterteilen.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidoocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Die Darstellungen in den Antworten stützen sich auf die heute bzgl. Ausbruch und Stollensicherung vorhandenen Methoden („Stand der Technik“). Generell ist festzuhalten, dass die aktuelle Planung eines Lagers immer zu erfolgen hat, als ob dessen Bau unmittelbar bevorsteht, d. h. mit der Technik gebaut würde, die heute zur Verfügung steht. Das Abstützen auf noch nicht vorhandene Techniken ist nicht zulässig. Eine mögliche zukünftige Optimierung aufgrund neuer Technologien soll jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Fragen zu SMA-Lager:

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
1. Gibt es bautechnische Vorbehalte gegenüber einer Tiefenlage von 200-800 m (oder einen Teilbereich davon) für eine SMA-Untertageanlage bzw. einer Tiefenlage von 500-900 m (oder einen Teilbereich davon) für eine HAA-Untertageanlage in einem tonreichen Gestein?	Es gibt keine grundsätzlichen Vorbehalte. Die Tiefenlage muss standortspezifisch beurteilt werden und es gibt teilweise seitens Nagra wirtgesteinsspezifische Anforderungen. Die bautechnisch einsetzbaren Sicherungsmittel geben keine Grenzen in den genannten Tiefenbereichen vor. Die Sicherungsmassnahmen müssen jedoch an die projektspezifischen Anforderungen (unter Berücksichtigung der SIA-Normen), die Tiefe und geologisch-tektonische Situation angepasst werden. Für die Langzeitsicherheit ist die Ausdehnung der Auflockerungszone unter Berücksichtigung weiterer Anforderungen (darunter die Minimierung eines Einflusses der Interaktion zwischen dem Sicherungsmaterial und dem Material zur Stollenverfüllen (Bentonit) bzw. dem Wirtgestein) in Grenzen zu halten.
2. Ist über den genannten Tiefenbereich mit deutlichen Änderungen bzgl. des Ausbaus der Lagerkavernen zu rechnen?	Ja. Mit zunehmender Überdeckung nehmen die Spannungsmagnituden zu und die Wirkung geologischer Inhomogenitäten sowie der Trennflächenhäufigkeiten wird verstärkt. Mit zunehmender Tiefe ergeben sich auch Einschränkungen in der Grösse der Ausbruchsdimensionen (Kavernenquerschnitte). Bleiben die Gesteins-/Gebirgsfestigkeit sowie der Querschnitt unverändert, sind mit der Tiefe zunehmende Brucherscheinungen und grössere Deformationen zu erwarten sowie u.U. weitere oder andere Gefährdungsbilder bzw. andere Eintrittswahrscheinlichkeiten. Diese müssen mit bautechnischen Massnahmen aufgefangen werden. Grundsätzlich bestimmt die lokale geologische Situation (Gesteinsfestigkeit, Gebirgsdurchtrennung, Spannungsmagnituden) die erforderlichen Sicherungsmassnahmen im zu betrachtenden Zeitraum (Nutzungsdauer). Die Tunneldimensionen und Sicherungsmassnahmen sind auf der Basis stufengerechter generischer Baugrundmodelle, Gefährdungsbildanalysen und geomechanischer Modellierungen zu eruiieren bzw. auszulegen.
3. Wie müsste ein solcher sicherer und über lange Zeiten beständiger Ausbau für die Zugangsstollen einerseits und für die Lagerkammern andererseits sein?	Die Nutzungsdauer ist ein wichtiger Faktor. Der Ausbau für die Lagerkammern wird nur für eine beschränkte Zeit einen Beitrag zur Standfestigkeit leisten, anschliessend trägt das Verfüllmaterial zur Stützwirkung bei. Der Ausbau in den Lagerkammern ist so zu wählen, dass korrodierbare Stoffe (→ Gasproduktion) und für den Ausbau notwendiges freies Wasser (→ Aufquellen der tonigen



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
<p>seits aussehen, unter Berücksichtigung, dass der Ausbau möglichst wenig freies Wasser erzeugt, ein Minimum an Eisen eingesetzt wird und das Ausbruchprofil möglichst klein sein sollte?</p>	<p>Gesteine) auf das machbare Minimum reduziert werden. Der Beitrag des Ausbaus ist dabei immer im Vergleich mit anderen Beiträgen zu sehen. In anderen Lagerteilen (insbesondere ausserhalb des Wirtgesteins) ist die Frage des Ausbaus wenig kritisch.</p> <p>Im Fall der Zugangsbauwerke beträgt die voraussichtliche Nutzungsdauer ca. 50-100 Jahre, während die Lagerkammern nur beschränkt lange offen stehen. Daraus ergeben sich grundsätzlich andere Anforderungen an die Dauerhaftigkeit. Die SIA regelt die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Sicherungsmitteln (z.B. Anker mit einfachem oder mehrfachem Korrosionsschutz). Viele felsmechanische Prozesse, welche die Nutzung der Zugangsbauwerke einschränken könnten, laufen jedoch langsam ab (z.B. Quellvorgänge, veränderliche Festigkeit); in den Zugangsbauwerken sind also fortwährend Unterhalts- und Erhaltungs- bzw. Erneuerungsmassnahmen möglich. Daher sind die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der Sicherungsmittel in den Zugangsbauwerken im Hinblick auf eine permanente Überprüfung und (bei Bedarf) periodische Unterhaltsarbeiten zu definieren. In den Zugangsbauwerken ist ein Entwässerungssystem mit Pumpen zu installieren, welches verhindert, dass Wasser in den Lagerbereich vordringen kann. Für die obersten Meter ist hinsichtlich der Umweltverträglichkeitsprüfung (Grundwasserschutz) je nach Standort von einer Vollabdichtung auszugehen.</p>
<p>4. Welche Vortriebsart empfiehlt sich in einem tonigen Wirtgestein, welche sollten vermieden werden? Welche sind technisch einfach und daher wenig störungsanfällig?</p>	<p>Grundsätzlich ist ein gebirgsschonender Vortrieb zu wählen, der den lokal angetroffenen Verhältnissen angepasst ist. Zu vermeiden ist ein Vortrieb der erhebliche gebirgsschädigende Erschütterungen erzeugt und freies Wasser zur Folge haben kann. In grösseren Tiefen könnte ein Vollausschuss günstige Auswirkungen haben, da er einen frühen Ringschluss (d.h. nahe der Ortsbrust) erlaubt (im Fall eines HAA-Stollens einfacher, bei einer SMA-Kaverne mit grossem Querschnitt schwieriger machbar). Für Querschnitte bis ca. Grösse K09 sind Vortriebe mit raschem Ringschluss gemäss Aussage der Nagra Stand der Technik (Tunnel Sedrun, Eggraintunnel, etc.). Dies werde durch abgetreppte Ortsbrust oder entsprechend gesicherter (verankerter) Ortsbrust erreicht. Zusätzliche Mittel zur Minimierung der Gebirgsschädigung sind kleine Abschlagslängen, umgehende Ausbruchsicherungen, ggf. vorauseilende Bauhilfsmassnahmen (am Wirksamsten dürften Ortsbrustverankerungen sein).</p>
<p>Welche Massnahmen sind anzusetzen, um beim Vortrieb die Spannungsumlagerungen im</p>	<p>Die entstehenden Spannungsumlagerungen können nicht minimiert werden. Die grundsätzliche Spannungsumlagerung wird vor allem durch das regionale Spannungsfeld, die Raumlage der Hohlräume, die Wirtgesteins- bzw. Gebirgseigenschaften, die</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
<p>tonigen Wirtgestein zu minimieren?</p> <p>Gibt es aus Sicht der Lagerkavernen und des dort vergrösserten Ausbruchquerschnitts und -profils Methoden des Ausbruchs, die besonders sinnvoll sind oder vermieden werden sollten?</p> <p>Stellen sich bei der Stollenenerweiterung (Übergang Zugangsstollen/Lagerkavernen) spezielle Anforderungen an den Ausbruch und die Ausbruchssicherung?</p>	<p>Querschnittsform und -grösse, die Baumethode sowie den Zeitpunkt und Widerstand des Ausbaus und der Verfüllung bestimmt. Eine den felsmechanischen Verhältnissen angepasste (optimierte) Umverteilung sollte angestrebt werden.</p> <p>Ein früh eingebrachter (nahe der Ortsbrust) steifer Ausbau wird mehr Einwirkung erfahren und muss stärker dimensioniert werden als ein spät eingebrachter, weniger steifer Ausbau. Im zweiten Fall kann sich jedoch die Ausdehnung der Bruchzone deutlich vergrössern, was den projektspezifischen Anforderungen widerspricht.</p> <p>Neben der Minimierung der Schädigung des Gebirges durch den Vortrieb sind auch folgende Faktoren zu berücksichtigen: (i) Zuverlässigkeit der Erstellung des gewählten (evtl. temporären) Ausbaus, (ii) Möglichkeiten der geologischen Vorauserkundung bzw. der geologischen Aufnahme, (iii) Flexibilität zur Reaktion auf „Überraschungen“.</p> <p>Zum heutigen Zeitpunkt ist eine methodische Festlegung weder notwendig noch sinnvoll, da das Bewilligungsverfahren durch sein stufenweises Vorgehen auch eine stufenweise Konkretisierung zulässt und damit die Möglichkeit zur Berücksichtigung neuer technologischer Entwicklungen gibt.</p> <p>Bezüglich Anforderungen gelten hauptsächlich die Grundsätze der SIA, die projektspezifischen Anforderungen (insbesondere bezüglich der Ausdehnung der Auflockerungszone) und die SUVA-Vorschriften z.B. bezüglich Staubentwicklung, Klimatisierung.</p>
<p>5. Mit welchen Schwierigkeiten ist in einem tonigen Wirtgestein zu rechnen, wenn tektonisch gestörte Zonen durchfahren werden bzgl. Vortrieb, Vortriebstechnik und möglichen Niederbrüchen?</p>	<p>Das Vorgehen muss unterscheiden zwischen den Lagerkammern und den Erschliessungselementen des Bauwerks im Wirtgestein. In tektonisch gestörten Zonen sind gegenüber dem ungestörten Wirtgestein andere gebirgsmechanische Eigenschaften zu erwarten. Je nach Grösse einer Störungszone (und ihren gebirgsmechanischen Eigenschaften und damit ihres Einflusses auf den Ausbau und damit auf die Barrierenwirkung) ist eine solche Zone auslegungsbestimmend und wird mit den Lagerkammern gemieden (bzw. wenn angefahren, grossräumig versiegelt). Bei Bedarf werden Bereiche mit Störzonen für die Einlagerung nicht verwendet und durch Versiegelung abgetrennt. Durch geeignete Erkundung lassen sich diese Bereiche lokalisieren und meiden.</p> <p>Auch Störungszonen geringer Mächtigkeit sollten als bautechnisch relevant behandelt werden, solange keine Erfahrungen bzw. gehauere Erkenntnisse vorliegen. Potenziell auftretende Schwierigkeiten umfassen Ortsbrustinstabilitäten, Niederbrüche und Nachbrüche an First und Ulmen, Deformationen. Von sehr untergeordneter Wahrscheinlichkeit (weil die Wirtgesteine grundsätzlich</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
	<p>nicht wasserführend sind) wären Wasserzutritte und Quellerscheinungen und als denkbare Folgen daraus ein erhöhter Sicherheitsbedarf, eine reduzierte Vortriebsleistung, bis hin zum Steckenbleiben des Vortriebsequipments.</p> <p>Je nach Spannungszustand, Festigkeit, Ausdehnung und Orientierung der Störungszonen gegenüber dem Hohlraum (hier sind solche Störungszonen gemeint, die kleiner als die auslegungsbestimmenden Störungszonen sind) ist mit verschiedenen Gefährdungsbildern und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten zu rechnen (z.B. Niederbrüche im First oder in den Ulmen, bautechnisch relevante, eventuell asymmetrische Deformationen, Ortsbrustinstabilitäten, etc.).</p> <p>Zu den Anforderungen gehören stufengerechte generische geologische und felsmechanische Modelle, Gefährdungsbildanalysen auf Grundlage der stufengerecht zu konkretisierenden geologischen und felsmechanischen Modelle sind erforderlich (siehe auch SIA 198/197). Die Dimensionierung bzw. Planung der Sicherungsmittel, die Abschlagslängen etc. basieren auf den zu erwartenden Gefährdungsbildern und entsprechenden geomechanischen Modellen.</p>
<p>6. Mit welchen Schritten können tektonisch gestörte Zonen im Voraus untertage bestimmt bzw. erkannt werden? (a)</p> <p>Welches könnten Befunde sein, aufgrund derer der weitere Vortrieb</p>	<p>Es ist grundsätzlich zwischen den Zugangsbauwerken, den Erschliessungsbauwerken und den Lagerkammern zu unterscheiden.</p> <p>(a) Für die Lokalisierung von tektonisch gestörten Zonen gibt es verschiedene Möglichkeiten (z.B. Seismik, Geoelektrik, Georadar, Bohrungen, Geomagnetik, elektrische Widerstandstomographie, Vorausbohrungen, Sondierstollen, Pilotstollen). Wichtig ist dabei die Möglichkeit der einzelnen Methoden bzgl. frühzeitiger Voraus erkundung. Neben den klassischen Methoden der Vorauserkundung gibt es Methoden, welche auf Abweichungen der vortriebsbegleitend gemessenen Verschiebungsvektoren am Hohlraumrand gegenüber dem Normalverhalten beruhen. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen haben Interpretationsspielraum, d.h. es lohnt sich allenfalls mit mehreren Methoden der Erkundung oder mehreren Institutionen zu operieren.</p> <p>Die Methoden sind weit entwickelt und praxiserprobt. Alle Methoden haben Vor- und Nachteile. Da Erkundungsbohrungen den aufzufahrenden Querschnitt nicht verlassen sollen (Beeinträchtigung der natürlichen Barriere) sind z.B. Störungszonen, die schleifend zum Hohlraum verlaufen, mit Bohrungen praktisch nicht erkennbar.</p> <p>(b) Ein Vortrieb kann jederzeit gestoppt werden, wenn zusätzliche (Sicherungs-)Massnahmen notwendig sind. Stoppende Befunde sind, abhängig vom Standort, z.B. unerwartete Hohlräume, Klüfte,</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
bei einerseits Zugangstollen und andererseits Lagerkammern auf der Basis von Ergebnissen der Vorerkundung (z.B. Vorausb Bohrungen) gestoppt werden sollte? (b)	<p>unerwartete Ausmasse der Störungszonen oder unerwartetes Verhalten des Ausbaus. Allenfalls kann Vortriebsart, Sicherung und Ausbau angepasst werden.</p> <p>Anforderungen könnten redundante Erkundungssysteme sein, die belastbare Prognosen erlauben. Neben den Erkundungsmethoden selbst, welche methodenspezifische Unsicherheiten aufweisen, sind Entscheidungskriterien sowie Massnahmenkataloge erforderlich.</p>
7. Wie flexibel ist das von der Nagra vorgeschlagene Lagerkonzept beim Auftreten von unerwarteten tektonisierten oder wasserführenden Zonen? Was könnte am Konzept geändert werden, damit mehr Flexibilität entsteht?	<p>Flexibilität besteht (i) durch die Wahl von Standortgebieten mit beschränkter tektonischer Komplexität und genügend Platzreserven zum Ausweichen, (ii) durch die Verwendung von (Umfahrung-)Stollen zur Exploration (und der Verwendung der vortriebsbegleitenden Exploration, vgl. Frage 6) und bei Bedarf Anpassung der Anordnung der Lagerbauten an die Befunde, (iii) durch die Verwendung von Lagerfeldern, welche den geometrischen Bedingungen angepasst werden können (vgl. dazu die konzeptionellen Unterschiede zwischen einem „Harfen-“ und einem „Kammkonzept“), (iv) durch die technische Flexibilität in der Vortriebsart, den hohlraumstabilisierenden Massnahmen, den Lagerkavernenquerschnitten und die Gesamtgrösse der Lagerbereiche an den Standorten, (v) durch die Möglichkeit, durch „Absiegeln“ bzw. „Versiegeln“ auf unerwartete Situationen reagieren zu können.</p> <p>Aus heutiger Sicht sind bezüglich Etappe 2 SGT am Nagra-Konzept gemäss NTB 10-01 keine Änderungen notwendig. Die Flexibilität des bautechnischen Konzepts für ein SMA-Lager ist bereits hoch.</p>
8. Wie sollte der Stollen-/Kavernenausbau in den tektonisierten Zonen aussehen, unter der Annahme, dass diese Zonen aktuell nicht in Bewegung sind und kein Wasser fliesst?	<p>Grundsätzlich wird ungünstigen tektonisierten Zonen ausgewichen bzw. der betroffene Abschnitt wird versiegelt/abgesiegelt.</p> <p>Wenn der tektonisierten Zone nicht ausgewichen wird, ist je nach Grad der Tektonisierung mit mehr oder weniger tieferen Gebirgsfestigkeiten zu rechnen. Die Massnahmen (kürzere Abschlüge, ergänzende gebirgsverbessernde Massnahmen) bzw. Sicherungsmittel (vermehrte Systemankerung, Armierungsverstärkung, Knautschelemente) sind dabei so zu wählen, dass bzgl. der Nutzungsdauer die Sicherheit gewährleistet ist (Gewährleistung Standfestigkeit, Beschränkung des Einflusses auf umgebendes Gebirge, unterschiedlich für Zugangsbauwerke, Erschliessungstunnel und Lagerkammern) und keine signifikanten Nachteile für die Langzeitsicherheit resultieren. Die Betriebssicherheit über eine lange Nutzungsdauer hängt stark von den lokalen Spannungen und dem örtlichen Grad der tektonischen Überprägung ab.</p> <p>Neben den allgemeinen projektspezifischen Anforderungen und den Grundsätzen des SIA (SIA 197) sind Anforderungen für die</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
	Beurteilung vor Ort (Entscheidungskriterien), sowie Massnahmenkataloge zu formulieren.
<p>9. Wie sieht der Vortrieb in tektonisierten Zonen aus?</p> <p>Ist es sinnvoll, je nach Grad der tektonischen Beanspruchung eine alternative Vortriebsmethode zu wählen?</p>	<p>Grundsätzlich wird ungünstigen tektonisierten Zonen ausgewichen bzw. der betroffene Abschnitt wird versiegelt/abgesiegelt.</p> <p>Die Umstellung zu anderen Vortriebs- bzw. Sicherungsmethoden kann je nach primär gewählter Methode anspruchsvoll und zeitaufwendig sein. Je nach Vortriebskonzept können sich dadurch längere ungestützte Standzeiten im Nahbereich der Ortsbrust ergeben (z.B. Umstellung von Schild-TBM zu Teilschnittmaschine), was im tonigen Gebirge ungünstige Auswirkungen haben kann.</p> <p>Das Vortriebskonzept ist der Vielfalt der erwarteten geologischen Bedingungen bzw. bautechnischen Gefährdungsbildern anzupassen, damit möglichst keine Umstellungen notwendig werden. Dies erfordert ein flexibles System.</p>
<p>10. Welche Massnahmen müssten ergriffen werden, wenn der Vortrieb zu einer Lagerkaverne in eine tektonisch stark beanspruchte Zone gelangt?</p> <p>Wäre hier allenfalls ein Zwischensiegel zu setzen, oder ein Endsiegel vor der Zone, oder wäre gar die ganze teilaufgefahrene Kaverne aufzugeben und ohne Einlagerung wieder zu verfüllen?</p>	<p>Abhängig von der Grösse einer tektonisch stark beanspruchten Zone wird dieser bei der Lagerauslegung ausgewichen, die Geometrie eines Lagerfeldes wird angepasst oder die entsprechende Stelle wird, allenfalls unter zusätzlicher Zwischensiegel und/oder verstärktem Tunnelausbau gequert.</p> <p>Es sind auf den Standort und deren geologische Situation bezogen die notwendigen geologischen (Voraus-)Erkundungen vorzunehmen (Seismik, „Georadar“, Bohrungen, Sondierstollen, Umfahrungsstollen, etc.). Eine lokale Reduktion des SMA-Kavernenquerschnitts ist aus logistischen Gründen wenig sinnvoll.</p> <p>Aus Sicht des ENSI ist es wichtig, für die entsprechenden, unvorhersehbaren Situationen Massnahmenpläne zu entwickeln und genügend Flexibilität bzgl. zeitlicher Abläufe und Platzbedarf einzubauen.</p>
<p>11. Welche Massnahmen können ergriffen werden, wenn es entlang einer Lagerkammer zu bedeutenden Niederbrüchen kommt?</p> <p>Müsste eine solche Kammer aus sicherheitstechnischen Gründen aufgegeben werden?</p>	<p>Eine Auflockerungszone (von beschränktem Ausmass) um die aufgefahrenen Lagerkammern wird grundsätzlich auftreten. Ein Niederbruch ist eine Schädigung des geplanten Ausbruchprofils und muss soweit möglich mit arbeits- bzw. bautechnischen Massnahmen vermieden werden.</p> <p>Wenn Niederbrüche dennoch auftreten, sind die aufgelockerten Gesteinsteile auszuräumen und der neue Kammerquerschnitt ist mit dem Ausbau zu sichern (ausmassmindernde Massnahmen, z.B. Stabilisierungsinjektionen). Ebenso sind Massnahmen zu ergreifen, die weitere Niederbrüche verhindern (z.B. geringere Abschlagslängen).</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
	<p>Entscheidungsgrundlagen sind zu erarbeiten, die (unter Berücksichtigung entsprechender Sicherheiten) u.a. auf die minimal erforderliche vertikale Erstreckung der geologischen Barriere abzielen. Eine Lagerkammer ist aufzugeben, wenn die Niederbrüche zu einer grossräumigen Auflockerung führen (z.B. Abschottung und eine Teilverfüllung).</p>
<p>12. Wie leicht kann eine einmal getroffene Wahl für eine Vortriebsmethode bei der Erstellung der Zugangsstollen bzw. Lagerkammern geändert werden?</p> <p>Können/Müssen allenfalls mehrere Vortriebsmethoden gleichzeitig zur Verfügung sein?</p>	<p>Die Auffahrarbeiten sind nur beschränkt unter Zeitdruck. Damit kann die Vortriebsmethode nach Bedarf geändert werden, ist aber mit entsprechendem Aufwand verbunden.</p> <p>Grundsätzlich können verschiedene Methoden parallel vorgehalten werden (z.B. Teilschnitt- und Vollschnittmaschine, Sprengvortrieb). Eine Umstellung von konventionell zu maschinell ist schwierig.</p> <p>Aufgrund der Risikoanalyse sind vorgängig Gefährdungsbilder zu ermitteln und Massnahmen zu planen. Die entsprechenden Installationen sind während der relevanten Bauzeit vorzuhalten.</p>
<p>13. Ist es bau- oder sicherheitstechnisch sinnvoll, um die Einlagerungsfelder herum eine weitere Tunnelstrecke zu führen oder sollte dem Prinzip der Minimierung der Wirtgesteinsschädigung folgend ein solcher vermieden werden?</p>	<p>Es gilt das Gebot der minimalen Schädigung der Geosphäre bzw. es ist eine Abwägung zwischen dem Anliegen minimaler Schädigung und dem Bedürfnis geologischer Datenerhebung vorzunehmen. Die Vor- und Nachteile von Umfahrungsstollen sind standortspezifisch abzuwägen (vgl. Konzept Wellenberg).</p> <p>Die Architektur der Tunnel und Stollen (ohne Lagerkammern) werden durch die Exploration (Sondier-/Pilotstollen), die Bau- und Betriebslogistik, das Lüftungssystem, die Fluchtwege, und die Bedürfnisse zum Unterhalt bestimmt.</p> <p>Das Tunnelsystem muss während der Betriebs- und gleichzeitigen Bauphase aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen so ausgelegt sein, dass keine signifikante gegenseitige Beeinflussung stattfindet. Die fehlende oder sicherheitstechnisch vernachlässigbare gegenseitige Beeinflussung ist nachzuweisen.</p>
<p>14. Muss es einen Unterschied im Ausbau zwischen Lagerstollen bzw. Lagerkavernen einerseits und solchen Untertagebauwerken andererseits geben, die während der Beobachtungsphase offen bleiben?</p>	<p>Für jeden Stollenabschnitt sind die Anforderungen zur Nutzung zu definieren. Der Ausbau muss anschliessend derart gewählt werden, dass die geplante Nutzung nicht eingeschränkt wird (Standfestigkeit während ganzer Zeit des offenen Profilquerschnitts ausreichend, keine bedeutenden Gesteinsverformungen, keine Niederbrüche als primäres Erhaltungsziel). Der notwendige Ausbau ergibt sich aus dem Querschnitt, der Nutzungsdauer, den Spannungsverhältnissen und den Gebirgseigenschaften. Die Anforderungen an die Langzeitbeständigkeit des Ausbaus (bzw. die Notwendigkeit für Unterhalt und Erhaltungsmassnahmen) ergeben sich aus den Nutzungszeiten. Die Einschränkungen bzgl. Ausbau</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
Wenn ja, wie sollte der Ausbau von letzterem aussehen?	<p>(z.B. zulässige Material(mengen)) sind unterschiedlich für die verschiedenen Untertagbauten (vgl. Grundlagen-Text).</p> <p>Für die Tunnels, die während der Beobachtungsphase offen bleiben, gibt es weniger Einschränkungen beim Ausbau als bei den Lagerkammern, ebenso sind entsprechend der langen Betriebszeiten Erhaltungsmassnahmen möglich.</p> <p>Anforderungen an den Ausbau bzw. Ausbauelemente (z.B. Schutzstufen bei Ankern) sind je nach Nutzungsdauer in der SIA geregelt.</p>
15. Welche Teile der Stollenausbauten im SMA- oder HAA-Lager könnten/sollten vor der Verfüllung der Stollen entfernt werden?	<p>Jeder Eingriff verursacht ein Ungleichgewicht und eventuell eine negative Beeinträchtigung der natürlichen Barriereigenschaften des Wirtgesteins. Darum sollen diese auf ein Minimum reduziert und der Entscheid über ein späteres Entfernen der Stützmittel vor der Stollenverfüllung immer als Abwägung zwischen Verbesserungs- und Beeinträchtigungsaspekten geführt werden.</p> <p>Die Anforderungen an den maximal zulässigen Stahlgehalt des Ausbaus pro Laufmeter sollen vorgängig bestimmt und in der Planung eingehalten werden, damit ein Rückbau möglichst nicht erforderlich ist.</p> <p>Wenn eine Entfernung von Teilen des Ausbaus vorgesehen wird, muss dies für die Sicherheit einen Vorteil bringen. Dabei sind auch die (Minimal-)Anforderungen an die verschiedenen Versiegelungsbauwerke zu berücksichtigen.</p>
16. Ergeben sich für die Längen der Zugangsstollen zu den Lagerkavernen Grenzen, die allenfalls ungünstige Eigenschaften bei der Tunnelstabilität oder der langfristigen Sicherheit hätten?	<p>Die Kavernengrösse (vgl. NTB 08-05), und damit der Kavernenquerschnitt, ist aufgrund der bautechnischen Befunde vor Ort festzulegen.</p> <p>Die Länge von Tunnels, Stollen oder Kavernen hat keinen Einfluss auf die geotechnische Stabilität. Die Länge wird viel mehr durch die Wahl der Kavernenquerschnitte, die geometrischen Begrenzungen des Wirtgesteins sowie durch Überlegungen zu Logistik, Lüftung, Fluchtwege; etc. bestimmt.</p> <p>Die geltenden Vorschriften bezüglich Brand, Lüftung, etc. sind in der SIA geregelt. Die Wasserhaltung muss auf den zu erwarteten akkumulierten Bergwasseranfall ausgelegt sein.</p>
17. Gibt es bezüglich der seitlichen Abstände zwischen den Lagerkavernen Grenzen, die allenfalls ungünstige Eigenschaften bei der Tunnelstabilität oder anderen Aspekten mit Bezug zur	<p>Für die Festlegung der seitlichen Abstände zwischen den SMA-Lagerkavernen sind verschiedene Faktoren zu beachten, darunter die geotechnische Stabilität des Wirtgesteins vor Ort, die Migrationsdistanzen, die gegenseitige Beeinflussung durch Spannungsumlagerungen etc. Dass die gegenseitige Beeinflussung der Lagerkavernen die Langzeitsicherheit nicht unzulässig beeinträchtigt, ist im Rahmen von Modellrechnungen aufzuzeigen.</p> <p>Für die Beurteilung des Platzangebots wurde in SGT Etappe 1 von grosszügig gewählten seitlichen Abständen ausgegangen.</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
langfristigen Sicherheit hätten?	Dieses vorsichtige Vorgehen ist weiterhin vorgesehen, denn es stellt auch sicher, dass genügend Platzreserven untertage beibehalten werden.
18. Welche Räumlichkeiten sind für die Lüftungsanlagen untertage einzuplanen? Wie stark sind diese in ihrer Grösse von der Tiefe und der Grösse der Lagerfelder abhängig? Welchen Einfluss haben die Lüftungsanlagen auf die Stollen-/Kavernenquerschnitte?	<p>Die Lüftungsanlage besteht maximal aus</p> <ul style="list-style-type: none">• dem Ventilator (Förderung der Luft, entweder „saugend“ (Unterdruck) oder „blasend“ (Überdruck)),• der Lüftungsführung (entweder offen im freien Querschnitt in den Schächten, Tunnels, Stollen und Kavernen oder geführt in Lutten),• Wettertoren zur Steuerung der Luftführung und Unterteilung in Lüftungsabschnitte, falls erforderlich (vgl. Störfallmanagement),• der Lüftungsüberwachung und einer allfälligen Luftaufbereitung• Transformatoren für die Stromversorgung• Kühlaggregaten, Entfeuchter• zuschaltbare Filter (Staub, Radioaktivität)• Steuerungs- und Kontrollräumen <p>Die Dimensionierung der Lüftungsanlage ist proportional von der (horizontalen oder vertikalen) Tunnellänge und dem entsprechenden Tunnelquerschnitt abhängig. Für unvorhersehbare Lagererweiterungen ist daher das Lüftungssystem modular auszulegen. Die während der Beobachtungsphase offenen Tunnel sind ebenfalls zu belüften.</p> <p>Vor allem für die Ventilatoren sind Aussparungen vorzusehen. Die Lüftungsanlagen haben in einem SMA-Lager keinen Einfluss auf die Ausbruchquerschnitte.</p> <p>Die notwendigen Anlageteile werden bevorzugt oberirdisch angeordnet, gewisse Anlageteile können aber auch untertage errichtet werden. Abschliessende Aussagen dazu sind zur Baubewilligung festzulegen.</p>
19. Welche Prozesse sind bei einer längeren Beobachtungsphase (d.h. abgeschlossener Einlagerung) wichtig in den 19a. Zugangsbauwerken (Rampen/Schächte)? 19b. Erschliessungstunneln?	<p>Die aktuell in der Kostenstudie verwendete Beobachtungsphase dauert entsprechend den Vorgaben in der SEFV 50 Jahre. Mit Bau- und Betriebsphase vor der Beobachtungsphase wird von einer Betriebsdauer der Tunnel von ca. 100 Jahren ausgegangen, mit der Möglichkeit einer Verlängerung. Die dazu erforderliche Bauwerksüberwachung ist Stand der Technik (z.B. Konvergenz). Dazu sind Unterhalts- und Erhaltungsmaßnahmen vorzusehen (diese sind in der Kostenstudie 2011 berücksichtigt). Entsprechend der Überlegungen der EKRA sieht die Nagra vor, nach Abschluss der Einlagerungsphase das Lager schrittweise zu verschliessen, bis im Verlauf der Beobachtungsphase nur noch die</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
	<p>Zugänge zu den Messungen untertage (Pilotlager, evtl. weitere Beobachtungsstellen) offen bleiben.</p> <p>Mögliche beobachtbare Prozesse bzgl. Bauwerksüberwachung in der Beobachtungsphase können umfassen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Konvergenz der offenen Untertagebauten/Verformung der Bausubstanz (Rückrechnen auf Grösse Auflockerungszone)- Deformation Geosphäre und Quellvorgänge (Gleitmikrometer, Inklinometer, Rissaufnahme)- seismische Überwachung- Feuchtigkeit und Wasserhaushalt (inkl. Bau-, Brauch-, Schlepp-, Kondenswasser) inkl. Wasserchemie (gilt insbesondere für die Zugangsbauwerke, auf Lagerniveau sollte es ‚trocken‘ sein)- Korrosion- Temperaturentwicklung (in Raum und Zeit)- Überwachung der Betriebssysteme und der Bausubstanz (Lüftungssystem(e), Energieversorgung, Massnahmen gegen Wassereinbrüche) <p>Wichtig ist, dass während des Betriebs redundante Zugänge sichergestellt sind. Bei einer Beobachtungsphase, die deutlich länger als 50 Jahre dauert, ist mit erhöhtem Instandhaltungsaufwand zu rechnen und der Möglichkeit, dass die Geosphäre negativ beeinflusst wird (langfristige Austrocknung der Tunnelwände mit Effekten bzgl. deren mechanische Stabilität, aber auch bzgl. Rissbildung und zunehmender Rissvergrösserung, vgl. Frage 21).</p>
<p>20. Massnahmen und Ausrüstung zur Langzeitsicherung der Untertagebauwerke:</p> <p>20a. Welche Massnahmen zur Langzeitsicherung der Zugangsstollen sind über einen Zeitraum von bis zu 100 Jahren bautechnisch und organisatorisch notwendig?</p>	<p>20a:</p> <p>Untertagebauten mit einer Nutzungsdauer von 100 Jahren sind heute Standard. Für ein geologisches Tiefenlager könnte für gewisse Elemente aber die entsprechende Nutzungsdauer auch länger ausfallen (unbestimmte Dauer der Beobachtungsphase). Über diesen Zeitraum ist der (eventuell mehrmalige) Ersatz diverser technischer Komponenten (z. B. Leitsysteme, Überwachungssysteme, Lüftungs- und Bergwasserpumpenanlagen, Entwässerungsleitungen etc.) im Rahmen der normalen Unterhaltsarbeiten vorgesehen. Komponenten können auch ersetzt werden, wenn für die Sicherheit relevante, verbesserte Technologien vorliegen (vgl. Grundprinzipien in Art. 4 und 5 KEG) und/oder aus gesetzlichen Gründen zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen sind. Bei den Tunnelauskleidungen ist über 100 Jahre zumindest teilweise mit Erhaltungsmassnahmen zu rechnen. Es wird angestrebt, das Lager so auszulegen, dass für die Erhaltungsmassnahmen keine zusätzlichen Stollen aufgeföhren werden müssen.</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
20b. Welche Anlagenteile müssen innerhalb der Beobachtungsphase ersetzt werden, um den weiteren Betrieb aufrecht zu erhalten?	<p>Als bautechnische Massnahmen ist vorzusehen, dass die Bauwerke eine ausreichende Standsicherheit aufweisen und die Verformung beschränkt bleibt. Dazu sind entsprechend dimensionierte Ausbauten (Tunnelgewölbe) vorzusehen (verstärkte Ausbruchsicherung z. B. Anker und Stahlbögen, optimierte Gewölbestärke und Armierungsgehalt, Verstärkung des Innengewölbes, gegebenenfalls verstärkter Anprallschutz etc.). Bei der konstruktiven Auslegung und der Materialwahl ist auch die Dauerhaftigkeit zu berücksichtigen (chem. Angriff, Korrosion, Stahlqualität, Betonrezeptur etc.). Weiter sollte auch für die Zugangsbauwerke eine teilredundante Ausrüstung (Energieversorgung, Kommunikation, Wasserhaltung etc.) vorgesehen werden, sodass Teile der Ausrüstung während dem Betrieb sicher ausgewechselt werden können.</p> <p>Auf organisatorischer Seite sollten Anforderungen bzgl. Brand- und Katastrophenschutz (Erdbeben, Sabotage, Explosion usw.) und bei Bedarf bzgl. Redundanz beim Zugangskonzept berücksichtigt werden. Eine lange Nutzungsdauer stellt ebenso Anforderungen an die Bauwerksüberwachung (Nachsicherung, Erhaltungsmassnahmen) und die (vorgehaltene) Ausrüstung im Falle von auftretenden Bauwerksschäden. Die Bauwerksüberwachung kann von einem reduzierten Betrieb während der Beobachtungsphase ausgehen (erhöhte Flexibilität bei Reparaturarbeiten).</p> <p>20b:</p> <p>Es ist davon auszugehen, dass diverse Ausrüstungen keine 100-jährige Lebensdauer haben (insbesondere Ausrüstungen zu Kommunikation, Lüftung, Elektrotechnik, Restwasserhaltung, Schachtaufzügen, Beleuchtung, Transport, Fahrbahnbeläge, Schienentransportsysteme etc.). Diese sind nach Bedarf anzupassen/zu reparieren/auszutauschen. Andere Bausysteme (insbesondere Tunnelgewölbe, Gebirgsinjektionskörper gegen Wassereintritte etc.) werden nur nach Bedarf zu erneuern sein.</p> <p>20c:</p> <p>Die Wartung/Reparatur und der Austausch von tunnelinternen Systemen mit kürzerer Lebensdauer werden das Wirtgestein kaum beeinträchtigen. Relevant sind daher vor allem Reparaturen/Austauscharbeiten, die einen direkten Kontakt mit dem Wirtgestein verursachen (z. B. neue Ankerungen, Injektionen, Austausch von Tunnellaibungen aufgrund starker Deformationen). Die Anlage ist so zu planen und zu bauen, dass diese zusätzlichen Verletzungen des Wirtgesteins (in Barrieren-wirksamen Bereichen) auf ein Minimum reduziert werden können.</p>
20c. Wird dabei zwangsweise durch ein Ersetzen weiteres Wirtgestein beeinträchtigt bzw. entfernt?	



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
<p>21. Was wird der langzeitliche Einfluss der Lüftung in den Zugangsbauwerken bzw. den Erschliessungstunneln sein? Können bauliche Massnahmen diesen Einflüssen entgegenwirken?</p>	<p>Betrieb: Die Lüftung ist auf die Bedürfnisse bei Normalbetrieb und Störfall sowie auf den reduzierten Betrieb in der Beobachtungsphase auszurichten. Eine starke Lüftung kann während des Betonbaus ohne geeignete Nachbehandlungsmassnahmen (Feuchtmatten auf Beton) ein unzulässig schnelles Abbinden des Betons bewirken (Gefahr von Schwindrissen). Eine fehlerhafte Lüftung und Luftaufbereitung kann Erkrankungen des Personals verursachen (Kontrolle der Hygiene (SUVA-Vorschriften!), Berücksichtigung von Entgasungsprozessen im umliegenden Gestein). Die Lüftung ist insbesondere nach erfolgter bautechnischer und betrieblicher Risikoanalyse und Entwicklung von Gefährdungsbildern auch auf Brandfälle auszulegen. Es ist bei den Tunnelquerschnitten zu beachten, dass die Lutten zum Teil umfangreich sein können (bis 140 cm Durchmesser)</p> <p>Langzeitauswirkungen: Die Lüftung führt auf Lagerebene zu einer Austrocknung der Tunnelwände und des umgebenden Wirtgesteins sowie zu einer Abkühlung des umliegenden Gesteins. Das Austrocknen des Wirtgesteins führt zu einer Stabilisierung der Hohlräume, sie wird durch die spätere Aufsättigung nach der Verfüllung der Stollen wieder rückgängig gemacht. Auch die Abkühlung direkt um die Lagerkammern wird kurzfristig (HAA: Wärmeintrag) oder mittelfristig (SMA) wieder ausgeglichen.</p> <p>Sorgfältige Planung und regelmässige Wartung helfen negative Effekte zu vermeiden. Für den Fall eines Stromausfalls oder laufender Wartungsarbeiten ist an ein teilredundantes Lüftungssystem (bzw. temporäre Ersatzanlagen) zu denken (z. B. zum Auswechseln einzelner Ventilatoren während des Betriebs).</p> <p>Für den Betrieb eines Tiefenlagers ist zu diskutieren, ob untertage zwei Lüftungssysteme vorzusehen sind, eines im Bereich des Auffahrens, eines im Bereich der Einlagerung (die Abluft in Letzterem muss radiologisch überwacht werden). Da diese Bereiche sich dynamisch verändern, muss das Lüftungssystem mit Hilfe von Wettertoren, Ventilatoren und Entstaubern etc. vergleichbar zum Bergbau oder Tunnelvortrieb periodisch angepasst werden.</p>
<p>22. Welche Massnahmen (bau- und sicherheitstechnisch) wären in den Zugangsbauwerken und den Bau-/Betriebstunneln notwendig, wenn der Einlagerungsbetrieb allenfalls nach einigen Dekaden wieder aufgenommen würde?</p>	<p>Die Nagra plant, einmal mit Endlagerbehälter gefüllte Lagerstollen/-kavernen nach abgeschlossener Einlagerung zu verfüllen und versiegeln. Dadurch wird die Anzahl offener Lagerkammern minimiert. Bei Wiederaufnahme des Einlagerungsbetriebs würden daher zunächst neue Lagerfelder erschlossen und Lagerkammern aufgefahren. Vor Wiederaufnahme der Bautätigkeit müsste die Bausubstanz an der Schnittstelle sorgfältig geprüft werden (Kontrolle von Verformungen, Rissbild, Feuchtstellen etc., Prüfung der Schachtanlage, der dort installierten Aufzugs- und Elektrotechnik,</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
	<p>Beleuchtungs-, Entwässerungs- und Lüftungssysteme, allenfalls deren Ersetzen).</p> <p>Mit der Rückkehr zum Einlagerungsbetrieb ist wieder eine Zweiteilung der Lüftungssysteme (radiologisch überwacht und nicht radiologisch überwacht) vorzusehen (die alten Systeme sind eventuell nicht mehr gebrauchstüchtig) und die neuen Einlagerungsbereiche sind soweit möglich untertägig geologisch/geophysikalisch abschliessend zu erkunden. Falls auch die Bau-/Betriebstunnel aus Platzgründen erweitert werden sollen, sind Vorsondierungen vorzusehen. Mögliche Erweiterungen sind soweit möglich bereits beim Bau des Tiefenlagers einzuplanen (aber nach dem Prinzip der Minimierung des Ausbruchs kein Auffahren auf Vorrat!). Eine spätere Erweiterung könnte auch für die Zugangsbauwerke zu einer deutlichen Verlängerung der Betriebszeit führen und es wäre gegebenenfalls eine bereits verfüllte Rampe wieder aufzufahren und darin Erneuerungs- bzw. Reparaturarbeiten durchzuführen.</p>
44a. Welche Kavernenverfüllungen bieten sich an?	<p>Antwort zu a.</p> <p>Für die Lagerkammern ist bei SMA und LMA ein Zement-basierter Mörtel vorgesehen. Für die weiteren Bauwerke innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sind Bentonit-basierte Vefüllmaterialien (Sand-Bentonit-Gemische) vorgesehen, evtl. könnte auch Opalinuston (in Kombination mit anderen Materialien) verwendet werden (gemäss Nagra ist dies höchstens für nicht sicherheitsrelevante Teile der Zugangsbauwerke vorgesehen).</p> <p>Die möglichen Anforderungen an das Verfüllmaterial können unter anderem umfassen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Es muss im Sinne einer Barriere einen Beitrag zum dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt leisten;• es muss schrumpf- und schwindarm sein;• das Abbinden soll eine genügend geringe Wärmeentwicklung haben;• es soll (so weit möglich) resistent gegen Sulfat, Chlorid und weitere chem. und biologisch aggressive Stoffe sein und die Erhaltung eines stabilen geochemischen Milieus begünstigen;• es soll günstige Radionuklid-Rückhalteeigenschaften aufweisen (hohe Sorptionsfähigkeit);• es soll dauerhaft seine sicherheitsrelevanten Eigenschaften behalten;• es soll bzgl. Umwelt und Hydrogeologie verträglich sein;



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage SMA-Lager	Antwort (Zusammenfassung der Diskussion)
	<ul style="list-style-type: none">• es soll im Detail charakterisierbar sein (Zusammensetzung, Homogenitätsgrad, Langzeitentwicklung, Rissbeschränkung);• es muss eine „Rückholung ohne grossen Aufwand“ gewährleisten.
44b. Inwiefern ist es sicherheitstechnisch sinnvoll, das vorgängig ausgebrochene Material wieder in die Kavernenverfüllungen zu integrieren?	<p>Antwort zu b.</p> <p>Aus Sicht der Nagra ist die Verwendung von ausgebrochenem Material nur für nicht sicherheitsrelevante Teile der Zugangsbauwerke sinnvoll (z. B. nicht für Zwischensiegel). Eine solche Verwendung müsste durch Labor- und in situ-Versuche und -Testreihen abgestützt werden. Die Nagra hat bereits einige Versuche zur Frage durchgeführt, unter welchen Bedingungen der Einsatz von Ausbruchsmaterial sinnvoll ist. Bezüglich einer Einführung in das Thema wird von den Experten auch auf die Empfehlung E2-38 (GDA 2010) hingewiesen.</p> <p>Es ist davon auszugehen, dass zwischen Verfüllung und Wirtgestein kein direkter Kontakt entstehen wird, da ein Rückbau der Ausbruchsicherung nicht sinnvoll ist. Allenfalls ist auch eine anteilige Beimengung von ausgebrochenem Material zur Kavernenverfüllung möglich.</p> <p>Bei einer Wiederverwendung im Lager müsste das ausgebrochene Material zuerst aufbereitet (brechen, evtl. vorpresen) und dann verarbeitbar gemacht werden. In NTB 11-01 ist eine Weiterverwendung des ausgebrochenen Materials anderswo vorgesehen.</p>
45. Sind die Auflockerungszonen auf der Länge der Versiegelungsstrecken zu den Lagerkavernen zwingend zu entfernen?	<p>Nein. Die Auflockerungszone kann nicht vollständig entfernt werden. Es ist aber sinnvoll (und von der Nagra vorgesehen), loses Material so weit wie möglich zu entfernen und evtl. das Ausbruchprofil nachzuprofilieren. Dabei ist zu beachten, dass das Aufbrechen der Ausbruchsicherung und Entfernen der Auflockerungszone dazu führen könnte, dass sich die Auflockerungszone im Bauzustand weiter ausdehnt.</p> <p>Alternativ könnte eine Auflockerungszone von innen mit Injektionslanzen oder Packern mehrphasig (verschiedene Zemente) und mehrfach ausinjiziert werden.</p> <p>Die Nagra verweist darauf, dass hinsichtlich Radionuklid-Rückhaltung die hydraulische Durchlässigkeit der Auflockerungszone auch im Bereich der Versiegelungsstrecken in Grenzen eine beschränkte Rolle spielen kann.</p>



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publicdocs:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Fragen zu HAA-Lager:

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
4. Was sind sicherheitstechnische Vor- und Nachteile, die HAA-Behälter horizontal zu lagern?	<p>Vorteile horizontale Einlagerung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Vertikale Ausdehnung der Bauten in direkter Umgebung der Endlagerbehälter ist kleiner und damit auch der Verlust an vertikaler Migrationsdistanz;• geringerer Durchmesser der Lagerstollen;• ausnutzen der stat. günstigen Kreisform der Lagerstollen, dadurch weniger Stahl und Spritzbeton und weniger Verfüllmaterial. <p>Nachteil horizontale Einlagerung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Nach abgeschlossener Einlagerung ist der direkte Zugang zum einzelnen Endlagerbehälter, ohne an die anderen Behälter zu kommen, nicht möglich. Nach Verfüllung der Betriebsstollen im Konzept "vertikale Einlagerung" verschwindet dieser Unterschied.
5. Was wären sicherheitstechnische Vor- und Nachteile, die HAA-Behälter vertikal zu lagern?	<p>Vorteil vertikale Einlagerung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Die Behälter können selektiv wieder rückgeholt werden. <p>Nachteile vertikale Einlagerung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Grösserer Ausbruchquerschnitt der Lagerstollen, da ELB viel höher als breit;• grösserer Ausbruch bedeutet höhere Beanspruchung des Fels und höherer Bedarf an Ausbruchsicherungsmaterial (Stahl, Beton);• abweichen von der statisch idealen Kreisform;• mehr Verfüllmaterial beim Einlagern, da grösserer Ausbruchquerschnitt.
6. Gibt es aus sicherheitstechnischer Sicht Vor- und/oder Nachteile, die abgebrannten Brennelemente im Verbund oder einzeln zu lagern (vgl. z. B. deutsches Konzept zur Lagerung einzelner Kokillen)?	<p>Aus Sicht der Sicherheit ist der Aspekt nur relevant, wenn z. B. durch sehr hohe Temperaturen die Bau-/Verfüllmaterialien in Mitleidenschaft gezogen werden oder sich die Ausbruchquerschnitte und die dafür vorgesehene Ausbruchsicherung erheblich ändern.</p> <p>Massgebend für den Entscheid ist die zulässige Wärmeentwicklung für die Auslegung der Behälter. Mit dem momentanen Auslegungswert von 1500 W/Behälter (bei einer Behälterlänge von ca. 5 m) kann eine zu starke Beeinträchtigung ausgeschlossen werden. Im deutschen Konzept würde es zu einer Verletzung dieser Vorgabe führen (siehe auch Antwort zu Frage 7).</p>
7. Gibt es aus sicherheitstechnischer Sicht Vor- und/oder Nachteile (betrieblich und langfristig), die abgebrannten Brennelemente in die einzelnen Brennstäbe zu zerlegen und diese so endzulagern?	<p>Das Zerlegen der BE würde die Mindestabmessung (Dicke, Länge) der BE-Behälter gegebenenfalls signifikant verkleinern. Es kann zwischen verschiedenen Stufen der Reduktion der Abmessungen (Einlagern einzelner BE, Einlagern einzelner Brennstäbe) sowie verschiedenen Stufen der Längenreduktion (volle BE-Länge, einfaches oder mehrfaches Zerschneiden der BE) unterschieden werden. Die Dimension der BE-Behälter ist aber für die Sicherheit eines Lagers nicht kritisch, daher sind auch keine Vorteile ersichtlich. Eine Reduktion der Abmessungen wurde mit der Möglichkeit in Verbindung gebracht, kleinere Tunnelquerschnitte zu benötigen und damit die Lagerfelder auch in grössere Tiefen zu platzieren. Ein solches Vorgehen geht aber mit starken Einschränkungen ein-</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
	<p>her, vor Ort dann tatsächlich zu intervenieren, da bei kleineren Tunnelquerschnitten eine Intervention entsprechend erschwert wird. Für eine Reduktion der Länge wären aufwendige Arbeiten notwendig und es würden sich zusätzliche Personendosen und Sekundärabfälle ergeben. Durch das Zerschneiden von Brennstäben würde die Barriere der Hüllrohre aufgegeben.</p> <p>Ein Zerschneiden der Brennstäbe (um kürzere Endlagerbehälter zu erhalten) hat bei horizontaler Einlagerung keine signifikanten Vorteile. Bei vertikaler Einlagerung wären die vertikalen Bohrlöcher kürzer (kleinere vertikale Wirtgesteinsverletzung).</p>
8a. Was ist aus bautechnischer Sicht der „ideale“ Lagerstollen für die BE/HAA-Abfälle?	<p>Antwort zu a.</p> <p>Der ideale Lagerstollen gewährleistet eine gute Barrierenwirkung für die Langzeitsicherheit, seinen zuverlässigen und vernünftigen Bau, eine zuverlässige und vernünftige Einlagerung und zuverlässige und störungsfreie Verschlussarbeiten. Der ideale Stollen aus felsmechanischer Sicht ist kreisrund. Ideal sind ausserdem ein möglichst geringer Ausbruchsinnenquerschnitt und eine beschränkte Ausbruchssicherung, da diese den Querschnitt, die Auflockerungszone, den Armierungsgehalt (und damit die Menge an Gas), die notwendige Zementmenge und das Verfüllvolumen minimieren.</p> <p>Die minimale Grösse wird durch die Möglichkeit begrenzt, dass sich im Lagerstollen Menschen bewegen können (z. B. für die geologische Aufnahme, z. B. für eine Rückholung).</p>
8b. Sind lange Stollen besser als kurze?	<p>Antwort zu b.</p> <p>Bautechnisch sind sowohl kurze als auch lange Stollen möglich. Bei langen Stollen steigt jedoch der Aufwand für Bewetterung, Klimatisierung, Monitoring der Deformation, die Überwindung der Mantelreibung beim Rohrvortrieb. Die Fluchtwege im Ereignisfall (z. B. Brand) verlängern sich (bautechnische Risikoanalyse!). Je kürzer die Lagerstollen sind, desto mehr wächst das Verhältnis zwischen der Einlagerungsstrecke und der Einfahrts- und Siegelstrecke. Die Zunahme der Abzweigungen führt auch zu einer Vergrösserung der abzweigungsbedingten Auflockerungszonen.</p>
8c. Sind Einlagerungsfelder besser als einzelne (z. B. stern- oder federförmig ausgerichtete) Stollen?	<p>Antwort auf c.</p> <p>Für den Bau und die Einlagerung ist der Stollen-Querschnitt so zu wählen, dass machbare bzw. vernünftige Arbeitsbedingungen bestehen. Bei der Ausrichtung der Lagerfelder ist es sinnvoll, sich nach dem Schichtverlauf zu richten und die Stollen in Richtung der Hauptspannungsrichtung auszurichten. Das momentane Konzept der Nagra sieht genau dies vor.</p> <p>Senkrecht abzweigende Lagerstollen sind bezüglich Ausdehnung der EDZ-Entwicklung zu bevorzugen. Sternförmige Stollen sind in ihren Abzweigungsbereichen bezüglich der Verteilung der Gebirgsspannungen äusserst ungünstig.</p> <p>Sternförmig abgehende Stollen verursachen unterschiedliche Abstände der Lagerkammern, was auch bezüglich des Wärmeeintrages in die Umgebung und bezüglich der resultierenden Spannungsfelder komplexe Muster verursacht.</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
<p>9a. Wie flexibel ist das Verschieben/Verlagern von Einlagerungsfeldern in einem HAA-Lager?</p>	<p>Zu 9a:</p> <p>Die unteren Enden der Zugangsbauwerke sollen räumlich getrennt bzw. versetzt von den Einlagerungsbereichen platziert werden. Die KSA hat in einer Stellungnahme darauf hingewiesen, dass die Einlagerungsfelder nicht von einem Zugangsbauwerk oberhalb überfahren werden sollten. Durch diese angestrebte räumliche Trennung zwischen Einlagerungsfeldern und Schachtfuss entsteht Flexibilität bezüglich der Anordnung der Lagerfelder sowie des Pilotlagers und der Testbereiche. Diese Flexibilität könnte ggf. durch die geologischen Gegebenheiten des Wirtgesteins (tektonische Geschichte und ergo vorhandene Störungszonen, Neigung der Gesteinsschichten, Spannungsfeld, ggf. Faziesverteilung), aber auch der Menge der einzulagernden Abfälle und der Grösse der insgesamt verfügbaren Bereiche mit optimalen Wirtgesteineigenschaften (Verhältnis Platzbedarf vs. Platzangebot) eingeschränkt werden.</p> <p>Je grösser die Distanzen zwischen den Lagerteilen, desto aufwändiger werden Bau, Betrieb und Verschluss des Lagers (Möglichkeit sicherheitstechnischer Fehlerquellen). Sicherheitstechnisch sinnvolle Distanzen ergeben sich aufgrund von Überlegungen zum effizienten Betrieb (Transportzeiten) und der Betrachtung der notwendigen Lüftungs- bzw. Klimatisierungsanlagen (Luttenquerschnitte, Zwischenkompressoren).</p> <p>Bezüglich Spannungsfeld und Schichtneigung sind leicht fallende, schichtparallele Einlagerungstunnel zu bevorzugen, da diese einlagerungs- und sicherheitstechnische Vorteile bieten.</p>
<p>9b. Könnte diese Flexibilität durch eine Modifikation des Lagerkonzepts der Nagra noch erhöht werden?</p>	<p>Zu 9b:</p> <p>Die aktuellen Lagerauslegungen weisen (geologische Einschränkungen ausgenommen) bereits ein grosses Mass an Flexibilität auf. Diese kann erhöht werden, wenn zusätzliche Zugangsbauwerke, insbesondere Lüftungsschächte, platziert werden. Die vorgängige (noch nicht abschliessende) Diskussion bzgl. der verschiedenen Lagerauslegungsmöglichkeiten (Harfe, Kamm, Blatt, Stern etc.) lässt den vorläufigen Schluss zu, dass die meisten solchen Varianten bzgl. der Stabilität der Stollen und des Platzbedarfs bzw. der Nutzung der lokalen Situation deutlich ungünstiger sind und weder bzgl. Logistik der Einlagerung noch bzgl. Stabilität Vorteile bringen.</p>
<p>9c. Gibt es sicherheitstechnische Minimal-/Maximallängen für die Stollen bzw. eine minimale/maximale Anzahl von parallelen Stollen für ein Einlagerungsfeld?</p>	<p>Zu 9c:</p> <p>Eine sicherheitstechnisch abgeleitete Minimallänge der Stollen gibt es nicht. Die Nagra geht von einer Minimallänge von ca. 300 m aus (wichtig ist das Verhältnis der Abzweigerstrecke zur Einlagerungsstrecke, vgl. auch Anhang 2 in NTB 08-05). Die maximalen Stollenlängen sind abhängig von den eingesetzten Bewetterungssystemen (Luttenquerschnitte, Reduktion der Arbeitstemperatur), den vorgesehenen Rettungs- und Fluchtwegen und dem Querschnitt der Stollen. Aus Sicht Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz sind lange Hohlräume insbesondere während dem Vortrieb oder bei Blindstollenauslegung zu beschränken. Aus Sicht der Nagra ist eine maximale Stollenlänge von etwa 1000 m realisierbar (Baulogistik).</p> <p>Bei der minimal/maximal vorzusehenden Anzahl der Einlagerungsfelder sind ebenfalls logistische und sicherheitstechnische Gründe (frühzeitiges</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
	Abwerfen verfüllter Lagerfelder zu dessen Schutz) zu beachten. Grösse und Umfang der einzelnen Lagerfelder können durch das geologische Störungsmuster beeinflusst werden, dürfen jedoch nicht durch das Platzangebot eingeschränkt werden. Die einzelnen Lagerstollen müssen einen genügend grossen Abstand voneinander haben, damit sie sich (z. B. gebirgsmechanisch und/oder bzgl. Temperatur) nicht gegenseitig beeinflussen.
10a. Gibt es bautechnische Mindestabstände zwischen den parallelen Lagerstollen in den HAA-Einlagerungsfeldern?	Zu 10a: Zwischen den Lagerstollen sollen sich die Auswirkungsfelder der Einzelstollen nicht überlagern. Aus felsmechanischer Sicht ist es sinnvoll, wenn sich zwei parallele Stollen nicht gegenseitig beeinflussen. Bei rein elastischer Betrachtung reicht der mechanische Einfluss etwa 2-3 Tunnelradien ins Gebirge, bei inelastischem Verhalten reicht der Einfluss weiter. Bei den von der Nagra geplanten Radien der Lagerstollen (~ 1.3 m) wird die beeinflusste Zone kleiner als 20 m (halber Abstand zwischen benachbarten Lagerstollen; siehe Antwort zu 10b.) sein.
10b. Sind diese Abstände nur durch die thermischen Modellierungen bestimmt?	Zu 10b: Aus thermischen Gründen wird aktuell ein Abstand von 40 m eingeplant. Es gibt für die aktuellen Konzepte auch Mindestabstände aus bautechnischen und betrieblichen Gründen. Diese ergeben sich aus den Kurvenradien der Abzweiger. Diese Abstände sind jedoch kleiner als die Minimalabstände aufgrund der thermischen Auswirkungen. Bei der Festlegung des Abstands ist mit der Betrachtung von grösseren und kleineren Alternativabständen aufzuzeigen, dass dieser Abstand zwischen den Lagerstollen optimiert ist (Optimierungsgebot, ENSI-G03).
11a. Wie werden die langen Lagerstollen aufgefahren?	Zu 11a: Das Auffahren der Lagerstollen soll so erfolgen, dass die sich um die Tunnel ergebende EDZ im Bereich der Endlagerbehälter minimale Ausmasse hat (dies gilt auch für die Abzweigertunnel mit Krümmung, die für den Antransport der Maschinen und deren Montage vorgesehen sind), der Ausbruch möglichst profilgenau und kreisrund ist und dass sich ein möglichst rascher Ringschluss der Sicherheitseinbauten ergibt. Die relativ kleinen, zwischen 300 und 1000 m langen Lagerstollen sollen gemäss heutigen Konzepten mit weitgehend vollmechanisierten Vortriebsmethoden aufgefahren werden. Dazu könnte eine Vollschnittmaschine (TBM) oder Teilschnittmaschine (TSM) mit Gripper (= seitliche Verstreben, die die TSM am Fels abstützen) eingesetzt werden. Voraussetzung dazu sind die erwarteten homogenen Gebirgsverhältnisse im Opalinuston, welche eine vorgängige Optimierung der Methode, Arbeitsschritte, Sicherungsmittel und Maschinen begünstigen. Je nach Situation mit oder ohne Umfahrungstunnel (Harfen- bzw. Kammstruktur) sind Möglichkeiten der Vorauserkundung einzuplanen, um auch im nahen Umfeld der Lagerstollen bzw. -kammern grössere Störungen zu erkennen.
11b. Wie stark wird die Geometrie der Einlagerungsfelder von der Ausbruchsmethodik mitbestimmt?	Zu 11b: Grundsätzlich darf die Ausbruchsmethode nicht die Geometrie der Einlagerungsfelder bestimmen, sondern diese sollen durch die Sicherheitsvorgaben definiert werden. Auch bzgl. der Kurvenradien bei den Abzweigern



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
	kann davon ausgegangen werden, dass hier massgeschneiderte technische Lösungen möglich sind.
12. Können die HAA-Einlagerungsfelder in ihrer Grösse reduziert werden, indem man (z. B.) lateral nach oben/unten versetzte Lagerstollen vorsieht, d. h. die Einlagerungsfelder nicht in einer Ebene liegen?	<p>Zu 12:</p> <p>Ziel einer versetzten Auslegung wäre eine Reduktion der lateralen Lagerausdehnung (auf Kosten der vertikalen Ausdehnung). Für eine solche ergibt sich jedoch aufgrund der aktuell in den Standortgebieten vorhandenen Platzangebote kein dringender Handlungsbedarf.</p> <p>In der vorgeschlagenen Lagerauslegung sind die HAA-Einlagerungsfelder etwa mittig zwischen Ober- und Unterkante des Wirtgesteins angelegt, damit die Transportwege durch das Wirtgestein maximale Länge haben. Eine mehrstöckige bzw. versetzte Variante der Lagerstollen ist damit ungünstig für den Freisetzungspfad in einem vertikalen Fließfeld. Eine solche Variante bräuchte ausserdem mehrere Zugangsebenen, allenfalls Aufzüge und Zwischenbühnen, die den Minimalausbruch weiter vergrössern würden. Es müsste bei einer versetzten Anordnung zusätzlich mit anspruchsvollen felsmechanischen Bedingungen (z. B. dreidimensionale EDZ-Effekte, komplexe Spannungsfelder) und damit zusätzlichen bautechnischen Schwierigkeiten gerechnet werden. Diese könnten wiederum dazu führen, dass die Abstände dennoch vergrössert würden und die Platzersparnis nicht mehr relevant ist.</p>
13a. Welche Massnahmen sind zu treffen, um die Wärmeausbreitung der HAA während des Betriebs zu verbessern?	<p>Zu 13a:</p> <p>Für die HAA-Lagerstollen ist eine möglichst kurzfristige Offenhaltung vorgesehen, d. h. nach der Einlagerung der Behälter wird unmittelbar die Verfüllung und Versiegelung der Stollen folgen. Während des Betriebs ist durch eine geeignet ausgelegte Belüftung eine genügende Wärmeabfuhr sicherzustellen, so dass die Temperatur in den Lagerkammern in einem akzeptablen Bereich bleibt (vgl. auch Antwort zu Frage 16 unten).</p>
13b. Was bedeutet diese Wärme bezüglich der Bewetterung während der Einlagerung und während der Beobachtungsphase lüftungstechnisch?	<p>Zu 13b:</p> <p>Die gesamte Lüftung ist im Hinblick auf die Einhaltung der aus Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz geforderten klimatischen Verhältnisse sowie zur Verhinderung von Feuchtigkeitseintrag (Entfestigung Gebirge und ungünstige Verhältnisse zum Einbau von Bentonit) auszulegen. Solche Lüftungssysteme (z. B. mit einer 5x effektiveren Eiskühlung) sind grundsätzlich Stand der Technik. Um den Einfluss der Lüftung (z. B. Austrocknen der Tunnelwände, Kondenswasser beim Herunterkühlen) auf das Wirtgestein zu minimieren, sollten folgende Massnahmen vorgesehen werden:</p> <ul style="list-style-type: none">- Es sollte, wo immer möglich, eine Zirkularlüftung vorgesehen werden (z. B. über Schacht und Rampe).- Es sollten soweit möglich kurze Lüftungswege der (evtl. an der Oberfläche vorgekühlten) Frischluft zu den Arbeitsstellen eingeplant werden.- Es sollten Geräte und Maschinen mit niedriger Wärmeentwicklung eingesetzt werden.- Es sollten bei Bedarf redundante Systeme eingesetzt werden. <p>Klimaanlagen zur Kühlung der Luft sollten im Untergrund nur sparsam eingesetzt werden.</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
14a. Welche Brandschutzmassnahmen müssen aufgrund der Wärmeentwicklung der HAA getroffen werden?	<p>Zu 14a:</p> <p>Die Brandlasten in den untertägigen Anlagen müssen generell aus Gründen des Brandschutzes auf ein Minimum reduziert sein. Bei den einzelnen Phasen des Lagers entstehen unterschiedlich starke Brandlasten. Daher sollte zwischen Auffahrphase, Einlagerungsphase, Verfüllphase und Versiegelungsphase unterschieden werden.</p> <p>Während der Einlagerung der heissen HAA-Behälter muss mit erhöhten Temperaturen an der Behälteroberfläche gerechnet werden. Während des Transports über Schacht oder Rampe in die Tiefe sind diese jedoch durch einen internen Transportbehälter geschützt, der erst beim Einfahren in den Lagerstollen entfernt wird (gemäss Konzept der Nagra in NTB 02-02 und NTB 13-01). Zu dieser Zeit und an diesen Orten ist es angebracht, in der Nähe der BE/HAA-Behälter auf (leicht) entzündliche Flüssigkeiten zu verzichten bzw. entsprechende Sicherheitsmassnahmen einzuplanen (Beschränkung von entzündbaren Bau- und Betriebsstoffen, Bereitstellung von Feuerlöschern). Dazu kommen entsprechende Regelungen zum Betrieb und zur Lagerung feuergefährlicher und/oder explosiver Stoffe/Güter sowie Vorbereitungen für Rettungskonzepte hinsichtlich Brandfalls. Achtung: Gripper-TSMs brauchen Hydraulik-Öle! Die Brandlasten sind durch ein Betriebshandbuch zu regeln (d. h. die künftigen Betreiber können für die Anlage im Detail regeln, wer und was Zugang zur Anlage hat).</p>
14b. Wie wirken sich diese Massnahmen auf die Lagerauslegung aus?	<p>Zu 14b:</p> <p>Für die Anlage ist ein Brandschutzkonzept zu entwickeln und entsprechende Massnahmen sind vor Ort umzusetzen. Dabei wird auch die Frage zu klären sein, wie viele Zugangsbauwerke notwendig sind und wie die Lüftung auszulegen ist. Das ENSI geht davon aus, dass mit Ausnahme eventueller zusätzlicher Fluchtwege die Brandschutzmassnahmen keinen grossen Einfluss auf die Lagerauslegung haben. Einige Überwachungssysteme und Brandschutzmaterialien (Selbstretter, Löschdecken, Gaswarnsysteme, Feuerlöscher) werden kaum zusätzliche Anforderungen verursachen (vgl. Felslabor Mont Terri). Beim Ausbruch sind aber entlang der mehrere km langen Rampe (sofern vorhanden) zusätzliche Massnahmen vorzusehen (Schutzräume in regelmässigen Abständen).</p>
16a. Welche Auswirkungen hat die Wärmeproduktion während des Einlagerungsbetriebs?	<p>Zu 16a:</p> <p>Ein Teil der Wärme stammt aus den HAA-Behältern, ein weiterer Teil aus dem umliegenden Gestein selbst. Damit sind bezüglich Wärme auch die Tiefenlage und der geothermische Gradient vor Ort relevante Parameter für die Wärmeproduktion. Dazu kommt die durch die vor Ort eingesetzten Maschinen verursachte Wärme (typischerweise mit höchsten Abwärmeanteilen während der Bauphase im Vortriebsbereich, d. h. bei der Ortsbrust).</p> <p>In den untertägigen Stollen ist die Temperatur durch ein entsprechend ausgelegtes Lüftungssystem so zu regulieren, dass die entsprechenden SUVA-Vorgaben eingehalten werden können. Die zirkulierende Luft wärmt sich proportional zur Länge der von ihr bestrichenen Stollenlängen auf.</p>



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
16b. Welche Auswirkungen hat die Wärmeproduktion während der Beobachtungsphase?	<p>Untersuchungen der Nagra zeigen, dass die Wärmeproduktion der BE/HAA-Endlagerbehälter keinen relevanten Beitrag zur Temperaturerhöhung in den offenen untertägigen Hohlräumen während der Betriebs- und Beobachtungsphase liefert und diesbezüglich vernachlässigt werden kann. Die Darstellungen sind für das ENSI plausibel.</p> <p>Zu 16b: Für die Lagerauslegung ist wichtig, dass sämtliche Bau- und Verfüllmaterialien die örtlichen Temperaturen ohne schädigende Auswirkungen aushalten können. Für das Wirtgestein bedeutet die Wärme und gleichzeitige Lüftung eine sukzessive Austrocknung (die die Wände stabilisiert), die aber langfristig als reversibel angesehen wird.</p>
16c. Was sind die Konsequenzen daraus für die Lagerauslegung?	<p>Zu 16c: Da die BE/HAA-Endlagerbehälter einzeln zum Einlagerungsort transportiert werden und die Stollen unmittelbar nach der Einlagerung verfüllt werden, ist der Beitrag der HAA zur Lufttemperaturerhöhung vernachlässigbar. Die aus dem Wärmeeintrag langfristig verursachten Änderungen bzgl. Dichte, Ausdehnung und Permeabilitäten sind bei der Langzeitentwicklung zu berücksichtigen.</p>
17a. Wie weit müssen die Lagerstrecken mit LMA (und allenfalls SMA) von den HAA-Einlagerungsfeldern separiert werden?	<p>Zu 17a: Bei den heute von der Nagra gewählten Mindestabständen von ca. 200 m besteht keine felsmechanische Beeinflussung. Damit ist die rein bautechnische Abhängigkeit irrelevant. Der Mindestabstand der Nagra berücksichtigt den Wärmeeintrag durch die wärmeentwickelnden Abfälle des HAA-Lagers sowie die Gasbildung in den verfüllten Untertagebauwerken. Beide Effekte spielen erst lange nach Lagerverschluss eine Rolle. Ein Abstand zwischen HAA- und SMA-Einlagerungsbereichen in einem Kombilager ist nicht bautechnisch begründet, sondern hat sich an der langfristigen Wärme- und Gasproduktion der verschiedenen Lagertypen zu orientieren. Bei einem Sicherheitsabstand von ca. 200 m ist aus heutiger Sicht keine unzulässige gegenseitige Beeinflussung der HAA- und SMA-Einlagerungsbereiche zu erwarten.</p>
17b. Wie empfindlich sind z. B. die LMA/SMA-Abfälle auf den Wärmeeintrag aus den HAA-Einlagerungsbereichen?	<p>Zu 17b: Gemäss Nagra treten im Wirtgestein um die BE/HAA-Lagerstollen zu keinem Zeitpunkt Temperaturen über 80 °C auf (NAB 14-11). Am Ort der LMA- bzw. SMA-Kavernen in einem lateralen Abstand von 200 m oder mehr sind die maximal zu erwartenden Temperaturen deutlich tiefer. Weder SMA noch LMA sind empfindlich auf solche Temperaturen.</p>
18a. Welche Mindestabstände sind zwischen den LMA-Lagertunneln vorzusehen?	<p>Zu 18a: Die Nagra geht von einem Abstand der Kavernenachsen von 100 m aus. Dieser Abstand ist unabhängig von der Kavernengrösse (K4, K6, K9 etc.), d. h. die rein bautechnische Abhängigkeit ist irrelevant.</p>
18b. Müssen die LMA-Tunnel alle an einem Ort vorgesehen werden?	<p>Zu 18b: Es gibt keinen sicherheitstechnischen Grund, dass die LMA-Lagertunnel alle am gleichen Ort sein müssen. Wichtig aus Sicht der Langzeitsicherheit ist eine räumlich getrennte Lagerung der Abfallgruppen 1 und 2 der</p>



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidoocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

Frage HAA-Lager	Antwort ENSI
	LMA (d. h. ohne und mit Störstoffen, welche die Radionuklid-Rückhaltung im Nahfeld langfristig beeinträchtigen).
19. Ist eine klare Trennung zwischen LMA und SMA im HAA-Lager notwendig?	Nein. Die LMA und die SMA unterscheiden sich bzgl. Materialinventar und spezifischer Gasbildungsrate nur geringfügig. Wichtig ist die Aufteilung in die Abfallgruppen 1 und 2.

5 Schlussfolgerungen: Änderungsbedarf an der ENSI-G03

Ziel des Projekts „Lagerauslegung“ war die Abklärung, ob die Richtlinie ENSI-G03 zu modifizieren ist, um die Lagerauslegung in eine sicherheitsgerichtete Richtung zu lenken. Beispielsweise wäre eine sich unabhängig vom Standort ergebende, sicherheitstechnisch begründbare Einschränkung bezüglich vorgesehener Typen der Zugangsbauwerke (Schächte/Rampen) zwingend in der G03 zu verankern. Eine derartige Erkenntnis wurde im Rahmen des Projekts „Lagerauslegung“ nicht eruiert. Es gibt aber eine Reihe von kleineren Anpassungen, die sich aus dem Projekt ergeben haben:

- In Kap. 5.2.3 soll ergänzt werden, dass der Lagerbetreiber zu den in den Testbereichen durchgeführten Experimenten mit Einsatz radioaktiven Materials aufzuzeigen hat, dass die radioaktiven Materialien bis Lagerverschluss unter die Freimessgrenzen der Strahlenschutzverordnung abgeklungen sind bzw. sicherheitstechnisch unbedenklich sind; andernfalls sind diese radioaktiven Stoffe in das Hauptlager einzulagern.
- Die Anforderungen aus ENSI 33/170 sind auf eine Übernahme in die G03 hin zu prüfen. Eine solche Anpassung ist jedoch nicht dringend, da das ENSI für Etappe 3 SGT ein zu ENSI 33/170 äquivalentes Dokument erstellen wird, dass die behördlichen Anforderungen an die bautechnische Risikoanalyse für das Rahmenbewilligungsgesuch enthalten wird.
- Aufgrund der Ereignisse in der WIPP (05.02.2014 und 14.02.2014) sind zusätzliche Anforderungen an die Bewetterung der Anlage und deren redundante und diversitäre Auslegung in die G03 aufzunehmen.

6 Referenzen

- DBE Technology (2007): Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland. GENESIS. Abschlussbericht.
- ENSI-AN-7354: Projektplan zum AGNEB-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“. ENSI-Aktennotiz, September 2010.
- ENSI-AN-8076: Informationsreise zum Felslabor in Bure (F): Fachgespräche mit Vertretern der ANDRA, 22-23. August 2012. ENSI-Reisebericht, Oktober 2012.
- ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Ausgabe April 2009.
- ENSI 33/86: Startsitung der drei Projekte „Monitoringkonzept und -einrichtungen“, „Auslegung und Inventar des Pilotlagers“ und „Lagerauslegung“. ENSI-Aktennotiz, Juni 2010.
- ENSI 33/147: Protokoll der 2. Projektsitzung zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“. ENSI- Aktennotiz, Januar 2012.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publicdocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

- ENSI 33/148: Protokoll der 3. Projektsitzung zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“. ENSI- Aktennotiz, Januar 2012.
- ENSI 33/149: Aussagen von KSA und KNS zur Lagerauslegung, ENSI-Aktennotiz, Januar 2012.
- ENSI 33/168: 4. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 16. Dezember 2011. ENSI- Aktennotiz, Mai 2012.
- ENSI 33/170: Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT. ENSI-Aktennotiz, Januar 2013.
- ENSI 33/171: 5. Sitzung zum Agneb-Forschungsprojekt Lagerauslegung: Fachsitzung zum Thema Schacht und Rampe, 17. Januar 2012. ENSI- Aktennotiz, Mai 2012.
- ENSI 33/174: 6. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 22. März 2012. ENSI- Aktennotiz, Juni 2012.
- ENSI 33/176: 7. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 27. April 2012. ENSI- Aktennotiz, Juni 2012.
- ENSI 33/183: 8. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 6. Juni 2012. ENSI- Aktennotiz, Juli 2012.
- ENSI 33/193: 9. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 10. Juli 2012. ENSI- Aktennotiz, Oktober 2012.
- ENSI 33/202: 10. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 17. August 2012. ENSI-Protokoll, Dezember 2012.
- ENSI 33/203: Projektstand-Sitzung zu den Projekten "Tiefenlagerung versus Hüte-Konzept" und "ENSI-Projekt Lagerauslegung". ENSI-Aktennotiz, Dezember 2012
- ENSI 33/224: 11. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 21. November 2012. ENSI-Protokoll, Mai 2013.
- ENSI 33/225: 12. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 28. Januar 2013. ENSI-Protokoll, Mai 2013.
- ENSI 33/234: 13. Fachsitzung zum Agneb-Projekt „Lagerauslegung“ am 11. März 2013. ENSI-Protokoll, Juni 2013.
- ENSI 33/318: 14. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 08. Mai 2013. ENSI-Protokoll, November 2013.
- ENSI 33/322: 15. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 21. Juni 2013. ENSI-Protokoll, November 2013.
- ENSI 33/328: 16. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 08. November 2013. ENSI-Protokoll, Dezember 2013.
- ENSI 33/335: Schriftliche Beiträge von M. Buser zum Projekt „Lagerauslegung“. ENSI-Aktennotiz, Oktober 2014.
- ENSI 33/338: 17. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 17. Dezember 2013. ENSI-Protokoll, Februar 2014.
- ENSI 33/381: 18. Fachsitzung des Agneb-Projekts „Lagerauslegung“ am 30. Januar 2014. ENSI-Protokoll, Oktober 2014.
- GDA (2010): Tonmineralogisch orientierte Kombination in Basisabdichtungssystemen. GDA-Empfehlung E 2-38 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (www.gdaonline.de/pdf/E2-38.pdf).
- Li X., Bernier F., Bel J. (2006): The Belgian HWL repository design and associated R&D on the THM behaviour of the host rock and EBS. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 25, 681-693.
- NDA (2010): Geological Disposal – Summary of generic Designs. Nuclear Decommissioning Agency Report no. NDA/RWMD/054, Dezember 2010.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Publidocs: 33KRM.LAG / ENSI 33/503
Titel: Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
Datum / Sachbearbeiter: 03.05.2016 / [REDACTED]

- NAB 14-11: Thermo-hydraulic simulations of the near-field of a SF/HLW repository during early- and late-time post-closure period. Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, Februar 2014.
- NAB 14-51: Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, Dezember 2014.
- NTB 02-02: Projekt Opalinuston: Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, Dezember 2002.
- NTB 08-01: Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, Oktober 2008.
- NTB 08-03: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager – Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, Oktober 2008.
- NTB 08-05: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager – Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, Oktober 2008.
- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, Oktober 2010.
- NTB 11-01: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung – Genereller Bericht und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, Dezember 2011.
- NTB 13-01: Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers – Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Technischer Bericht, Wettingen, August 2013.
- Peiffer, F. (2010): VerSi – Endlagerung im Tonstein, Abschlussbericht zum Vorhaben 3607R02538 „Untersuchung aktueller planerischer Grundsatzfragen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen“, Entwicklung eines synthetischen Tonsteinstandortes, Teil 3: Endlagerkonzept im Tonstein, 103 S.



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Anhang 1: Glossar zum Agneb-Projekt Lagerauslegung

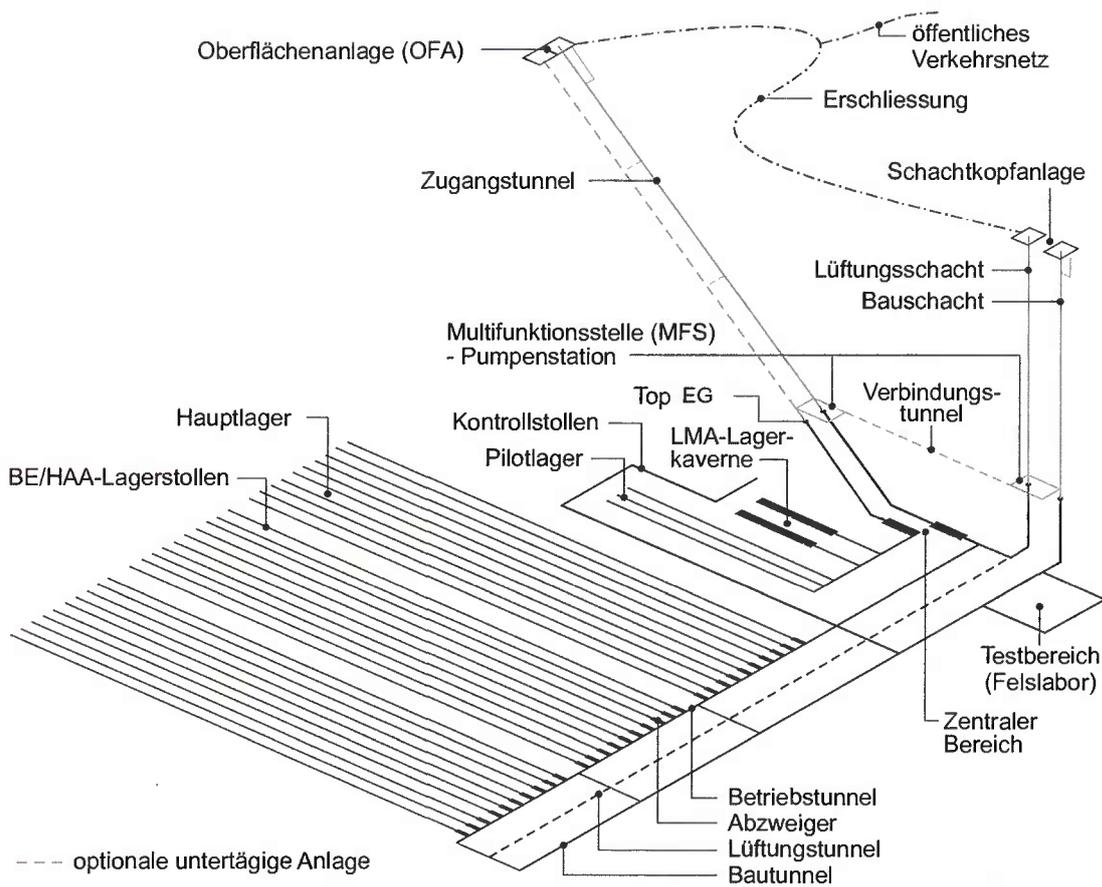


Fig. 1 Systemskizze zur modellhaften Auslegung des HAA-Lagers (NAB 14-51, Fig. 4.3-1)



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

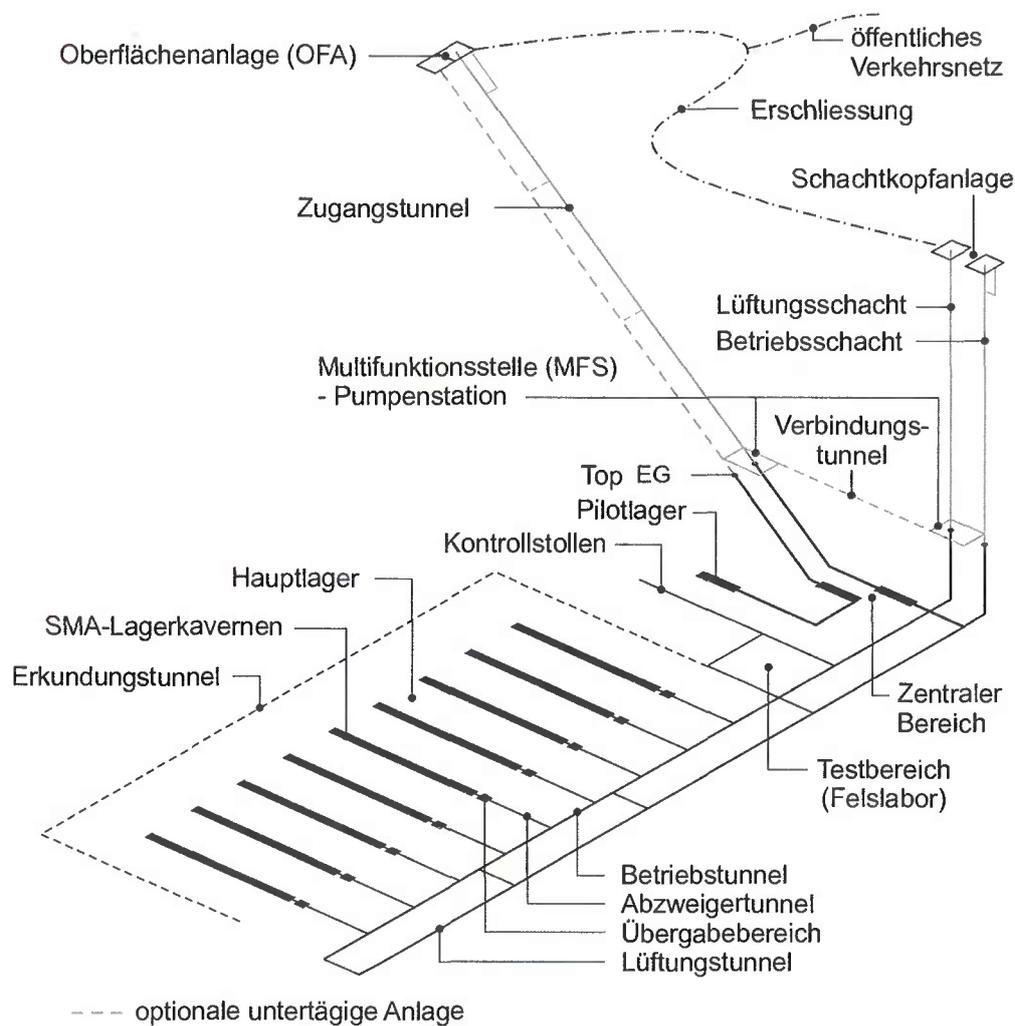


Fig. 2 Systemskizze zur modellhaften Auslegung des SMA-Lagers (NAB 14-51, Fig. 4.3-2)



Klassifizierung:
 Aktenzeichen/Publidoocs:
 Titel:
 Datum / Sachbearbeiter:

keine
 33KRM.LAG / ENSI 33/503
 Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
 03.05.2016 / [REDACTED]

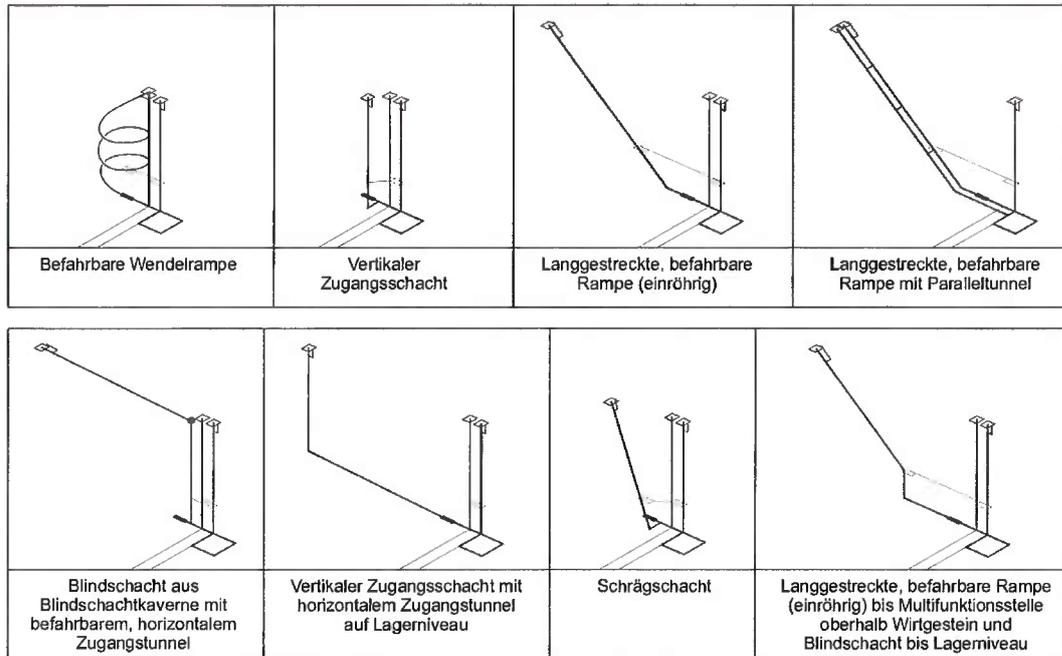


Fig. 3 Beispiele von Auslegungsvarianten für Zugangsbauwerke (modifiziert nach NTB 10-01).

Begriffsdefinitionen:

In den Definitionen sind alle in *kursiver Schrift* gehaltenen Begriffe selbst mit einer Definition erläutert.

Begriff	Definition
Abzweigertunnel, Abzweiger	Der <i>Abzweigertunnel</i> bildet den Zugang zur <i>Lagerkammer</i> und verbindet die <i>Lagerkammer</i> mit dem <i>Betriebstunnel</i> . Über den <i>Abzweigertunnel</i> erfolgt (u. a.) die Einlagerung der Endlagerbehälter. Der <i>Abzweigertunnel</i> ermöglicht das Verschliessen jeder einzelnen <i>Lagerkammer</i> bei offen bleibendem <i>Betriebstunnel</i> . Als <i>Abzweiger</i> wird die Aufweitung des <i>Betriebstunnels</i> bezeichnet, wo der <i>Abzweigertunnel</i> anschliesst. Im HAA-Lager umfasst der <i>Abzweiger</i> auch den <i>Übergabebereich</i> . Im SMA-Lager befindet sich der <i>Übergabebereich</i> am Ende des <i>Abzweigertunnels</i> direkt beim Eingang der <i>Lagerkaverne</i> .
Anlage	Überbegriff für ortsfeste oder ortsfest benutzte Funktionseinheiten (z.B. Bauwerk mit technischen Installationen, Geräten, Maschinen). In KEG/KEV wird <i>Anlage</i> synonym zu <i>Kernanlage</i> verwendet (definiert in Art. 3 KEG)
Anlagenmodul	Teil einer <i>Anlage</i> (z.B. <i>Verpackungsanlage</i> , als Teil der <i>Oberflächenanlage</i>) mit eigener Funktion und eigenem Anforderungsprofil
Auflockerungszone /AUZ (excavation damaged zone, /EDZ)	Zone erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit im Umfeld eines Hohlraums als Folge der Exkavation im geologischen Untergrund. Es wird in der englischen Fachliteratur unterschieden zwischen EDZ (excavation damaged zone) und EdZ (excavation disturbed zone). In der EDZ sind die Transporteigenschaften eines Gesteins verändert, in der EdZ sind andere Eigenschaften (z.B. Beeinflussung der Druckhöhe) betroffen, die Transporteigenschaften allerdings kaum verändert.
Ausbau	Der <i>Ausbau</i> umfasst die tragenden Bauteile zur Gebirgssicherung, in der Regel besteht der <i>Ausbau</i> aus der Ausbruchsicherung (oder dem Aussengewölbe) und je nach Auslegung einer zusätzlichen Verkleidung (Innengewölbe).
Ausbaukonzept	Das <i>Ausbaukonzept</i> beschreibt den vorgesehenen Ausbau und die Art und Weise, wie dieser implementiert wird.



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Bauphase	Die <i>Bauphase</i> eines geologischen Tiefenlagers dauert von der Erteilung der nuklearen Baubewilligung bis zur Erteilung der (nuklearen) Betriebsbewilligung (vgl. Anhang 2, ENSI-G03). Es ist zu beachten, dass beim HAA-Lager in der <i>Betriebsphase</i> parallel zur Einlagerung weitere <i>Lagerstollen</i> für BE und HAA aufgeföhren werden, d.h. weitere Bauarbeiten ausgeföhrt werden.
Bauschacht	<i>Schacht</i> (im HAA-Lager), über den parallel zur Einlagerung radioaktiver Abföhle weitere <i>Lagerkammern</i> (BE/HAA- <i>Lagerstollen</i>) gebaut werden. Über den <i>Bauschacht</i> erfolgt die Baulogistik (Förderung des Ausbruchmaterials, des Baumaterials sowie des Baustellenpersonals) und ein Teil der Ver- und Entsorgung der Tiefenlageranlagen (Lüftung (Abluft), Energieversorgung, Wasserhaltung, Wasserversorgung). Je nach Auslegung und <i>Phase</i> dient der <i>Bauschacht</i> zudem der Förderung von Betriebspersonal und Besuchergruppen. Bemerkung: die Funktionen des <i>Bauschachts</i> können je nach Standort-spezifischer Auslegung auch durch einen Tunnel oder eine Kombination von <i>Schacht</i> und Tunnel erfüllt werden. Bemerkung: Je nach Auslegung und <i>Lagerkonzept</i> kann der <i>Bauschacht</i> nach Abschluss der Einlagerung weitere Funktionen übernehmen, welche hauptsächlich betrieblicher Art und Weise sind, wofür der Begriff <i>Betriebsschacht</i> verwendet wird.
Bautunnel	<i>Lagerfeldzugang</i> im HAA-Lager zwischen dem <i>Bauschacht</i> (Schachtfuss) und einem <i>Lagerfeld</i> (für BE und HAA), über den der Bau der <i>Lagerstollen</i> (die Lagererweiterung) parallel zur Einlagerung erfolgt. Der Bautunnel stellt sicher, dass die räumliche Trennung zwischen Bautätigkeit (Bau von <i>Lagerstollen</i>) und Betriebstätigkeit (Einlagerung von radioaktiven Abföhlen) beim HAA-Lager gewährleistet ist und der <i>Betriebstunnel</i> nicht für Baulogistik benutzt wird.
Beobachtungsphase	Längerer Zeitraum, während dem das <i>Pilotlager</i> (und andere Teile/Aspekte, z.B. Teile der <i>Testbereiche</i>) eines <i>geologischen Tiefenlagers</i> (nach Abschluss der Einlagerung der Abföhle) vor dem <i>Verschluss</i> überwacht wird und die radioaktiven Abföhle ohne grossen Aufwand zurückgeholt werden können (siehe auch Art. 3 KEG).
Betriebsphase	Die <i>Betriebsphase</i> eines geologischen Tiefenlagers dauert von der Erteilung der nuklearen Betriebsbewilligung bis zum <i>Verschluss</i> des Lagers (vgl. Anhang 2, ENSI-G03). Die <i>Betriebsphase</i> umfasst damit sowohl die Einlagerungsphase als auch die <i>Beobachtungs-</i> und die <i>Verschlussphase</i> .
Betriebsschacht	<i>Schacht</i> , über den ein Teil der Ver- und Entsorgung der Tiefenlageranlagen (Lüftung (Abluft), Energieversorgung, Wasserhaltung, Wasserversorgung, Steuerung / <i>Überwachung</i>) erfolgt. Je nach Auslegung und <i>Phase</i> dient der <i>Betriebsschacht</i> zudem der Förderung von Betriebspersonal und Besuchergruppen sowie diverser Materialien. Bemerkung: Die Funktionen des <i>Betriebsschachts</i> können je nach Standort-spezifischer Auslegung auch durch einen Tunnel oder eine Kombination von <i>Schacht</i> und Tunnel erfüllt werden.
Betriebstunnel	<i>Lagerfeldzugang</i> zwischen dem <i>Zentralen Bereich</i> und dem <i>Lagerfeld</i> (mit den einzelnen <i>Lagerkammern</i>), über den die radioaktiven Abföhle und das Verfüll- und Versiegelungsmaterial für die <i>Lagerkammern</i> zu den <i>Lagerfeldern</i> und zu den Lagerkammern geföhrt werden.
Deponie	Ort für die endgültige Ablagerung für nicht mehr gebrauchtes Material. Bemerkung: Der Begriff <i>Deponie</i> sollte für den Ort einer temporären Lagerung vermieden werden, weil im Sinne des Umweltrechts (vgl. Technische Verordnung über Abföhle (TVA): Art. 3, Ziff. 5) eine <i>Deponie</i> eine Abfallanlage ist, in der Abföhle endgültig und kontrolliert abgelagert werden.
Depot, Zwischendepot	Ort für die temporäre Lagerung von Ausbruch- und/oder Aushubmaterial. Anstatt <i>Depot</i> wird der Begriff <i>Zwischendepot</i> bevorzugt, weil damit die zeitlich begrenzte Lagerung ausgedrückt wird.
EDZ	siehe <i>Auflockerungszone</i> (engl. excavation damaged zone)
Einschlusswirksamer Gebirgsbereich (EG)	Der einschlusswirksame Gebirgsbereich ist in Anlehnung an die Definition des AKEnd derjenige Teil der geologischen Barriere, der im Zusammenwirken mit den <i>technischen Barrieren</i> den langfristigen Einschluss der radioaktiven Stoffe bewirkt (nach schweizerischem Verständnis der barrierenwirksame Teil von Wirtgestein und Rahmengesteinen).
Empfangsanlage	Früherer Begriff für <i>Oberflächenanlage</i> (siehe dort)



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Engineered gas transport system (EGTS)	Verfülltes Tunnelsystem mit <i>Versiegelungsstrecken</i> , welches bzgl. Gastransport Eigenschaften hat, die es erlauben, das im <i>geologischen Tiefenlager</i> entstehende Gas ohne grossen Überdruck in die über dem Wirtgestein/Rahmengestein liegenden Gesteinsschichten abzuleiten.
Erkundungstunnel	Tunnel in der <i>Lagerzone</i> zur Erkundung. Ein <i>Erkundungstunnel</i> kann später auch zu einem <i>Lagerfeldzugang</i> umfunktioniert werden (z.T. auch als "Umfahrungsstollen" oder "Sondierstollen" bezeichnet).
Erschliessung	Verbindung zwischen dem (externen) Hauptver- und -entsorgungsnetz und der <i>Oberflächeninfrastruktur</i> (z.B. <i>Oberflächenanlage</i> , <i>Schachtkopfanlage</i>). Darunter fallen Verkehrserschliessung (Strasse, Schiene), Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Energieversorgung, Kommunikation, etc.
Geologisches Tiefenlager	<i>Anlage</i> im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird (Art. 3 KEG). Gemäss Art. 49 Ziff. 5 KEG gehören auch die mit dem Bau und dem Betrieb zusammenhängenden Erschliessungsanlagen und Installationsplätze (z.B. die <i>Oberflächenanlage</i>) zu einer Kernanlage und damit zum <i>geologischen Tiefenlager</i> .
Hauptlager	Bereich eines <i>geologischen Tiefenlagers</i> , in den der Hauptteil der radioaktiven Abfälle eingelagert wird (Anhang 1, ENSI-G03). Ein <i>geologisches Tiefenlager</i> besteht aus dem <i>Hauptlager</i> zur Aufnahme der radioaktiven Abfälle, aus einem <i>Pilotlager</i> und aus <i>Testbereichen</i> (KEV, Art. 64), aus den <i>Zugangsbauwerken</i> und aus der <i>Oberflächeninfrastruktur</i> .
Kernanlage	Einrichtungen zur Nutzung von Kernenergie, zur Gewinnung, Herstellung, Verwendung, Bearbeitung oder Lagerung von Kernmaterialien sowie zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen (modifiziert gemäss Art. 3 KEG)
Kontrollstollen	Der <i>Kontrollstollen</i> ist der Zugang zu den Messgeräten zur Beobachtung des <i>Pilotlagers</i> und einer der wenigen Lagerteile, die über den Einlagerungsbetrieb hinaus in der <i>Beobachtungsphase</i> zugänglich bleiben.
Lagerauslegung	Übergeordneter Begriff zu den nachstehend genannten Begriffen und untergeordneter Begriff zu <i>Lagerkonzept</i> . Es beschreibt die relevanten Anforderungen und Vorgaben, und umfasst die Spezifikation der <i>Lagerelemente</i> und die <i>Lagerkomponenten</i> , deren sowie administrative und technische Massnahmen, Vorkehrungen, Bemessungen, sicherheitstechnische Klassierungen, Materialauswahl etc. Der Begriff ist breit zu verstehen (vgl. Titel ENSI-G03 und dort insbes. Kap. 5.1). „Auslegung“ bezeichnet in der Technik die Gestaltung von Bauteilen, damit sie ihren definierten Zweck erfüllen können. Das kann alle Aspekte des Entwurfs, der Konstruktion, der Herstellung, des Betriebs und des Einsatzendes betreffen (Quelle: Nagra Broschüre „Langzeitsicherheit – die Hauptaufgabe der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle“).
Lagerbereich	Synonym zu <i>Einlagerungsbereich</i> ; in diesem ist die Einlagerung der radioaktiven Abfälle vorgesehen. Davon ausgeschlossen sind die <i>Zugangsbauwerke</i> (Zugangstunnel, <i>Lüftungsschacht</i> etc.), die <i>Lagerfeldzugänge</i> , die <i>Testbereiche</i> , der <i>Zentrale Bereich</i> und allfällige weitere untertägige Hilfsanlagen. Innerhalb des <i>Lagerbereichs</i> können ein oder mehrere <i>Lagerfelder</i> angeordnet werden. Mit der Rahmenbewilligung werden Kriterien festgelegt, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener <i>Lagerbereich</i> wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird (Art. 14 Abs. 1 Bst. f Ziff. 1 KEG). Die Kriterien beziehen sich gemäss Artikel 63 KEV auf die Ausdehnung geeigneter Wirtgesteinsbereiche, die hydrogeologischen Verhältnisse am Standort und die Verweilzeit des Tiefengrundwassers.
Lagerelemente	Die <i>Lagerelemente</i> sind gemäss Art. 64 KEV als «Elemente eines <i>geologischen Tiefenlagers</i> » vorgegeben: «Ein <i>geologisches Tiefenlager</i> besteht aus dem <i>Hauptlager</i> zur Aufnahme der radio-aktiven Abfälle, aus einem <i>Pilotlager</i> und aus <i>Testbereichen</i> .» Dazu gehören ausserdem die <i>Zugangsbauwerke</i> (ENSI-G03) und die <i>Oberflächeninfrastruktur</i> .
Lagerfeld	Synonym zu <i>Einlagerungsfeld</i> ; als <i>Lagerfeld</i> wird ein Gesteinskörper unter Tag bezeichnet, der eine Gruppe von nebeneinander platzierten <i>Lagerkammern</i> (der gleichen Abfallkategorie) inklusive den Mindestabstand um die <i>Lagerkammern</i> umschliesst. In einem <i>Lagerfeld</i> liegen (als Anlagenelemente) nebst den <i>Lagerkammern</i> auch die <i>Verschlussbauwerke</i> und Teile des <i>Abzweigertunnels</i> . Die <i>Übergabebereiche</i> können (müssen aber nicht zwingend) innerhalb des <i>Lagerfelds</i> liegen.



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

keine
 33KRM.LAG / ENSI 33/503
 Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
 03.05.2016 / [REDACTED]

	<p>Fig. A2.4-1 aus NTB 08-05</p>
Lagerfeldzugang	Überbegriff für untertägige Bauwerke in der Lagerzone, welche den Zugang zu den Lagerfeldern ermöglichen (z.B. Betriebstunnel, Lüftungstunnel, Bautunnel resp. -schächte)
Lagerkammer	Überbegriff für untertägige Hohlräume zur dauerhaften Einlagerung von radioaktiven Abfällen in ihren Endlagerbehältern (z.B. Lagerstollen für BE/HAA, Lagerkavernen für LMA und Lagerkavernen für SMA).
Lagerkaverne	Horizontale Lagerkammer mit mittlerem bis grossem Lichtraumquerschnitt und beschränkter Länge zur Einlagerung von SMA- und LMA-Endlagerbehältern
Lagerkonfiguration	Mit der Lagerkonfiguration wird beschrieben, wie die Lagerauslegung geometrisch im Wirtgestein und im spezifischen Lagerperimeter zu erfolgen hat.
Lagerkonzept	Das Lagerkonzept gibt Aufschluss darüber, wie das geologische Tiefenlager in seinen Grundzügen auszubauen ist; dazu gehört beispielsweise das Mehrfachbarrierenkonzept oder die horizontale Einlagerung in Endlagerbehältern. Die näheren Details des Lagerkonzepts werden durch die Lagerauslegung bestimmt.
Lagerkomponente	Teil des geologischen Tiefenlagers; als Lagerkomponenten werden systemische, funktionale Einheiten innerhalb geologischer Tiefenlager bezeichnet, vergleichbar mit dem medizinischen Begriff «Organ» innerhalb eines Organismus. Beispiele sind das EGTS, die Zwischensiegel, die Bentonitverfüllung entlang der Einlagerungsstrecken, das Lüftungssystem etc.
Lagerperimeter, untertägig	Untertägige Lagerperimeter ergeben sich aus einer bei Bedarf vorgenommenen Unterteilung des geologischen Standortgebiets. Diese Unterteilung in untertägige Lagerperimeter erfolgt zur Prüfung der Relevanz der Variabilität wichtiger Eigenschaften innerhalb des geologischen Standortgebiets. Dazu werden provisorische Sicherheitsanalysen unter Berücksichtigung der zugehörigen Standortareale, gewählten Zugangsbauwerke (Schacht, Rampe) und der jeweils bezeichneten untertägigen Lagerperimeter durchgeführt (modifiziert aus TFS-Antwort zur Frage 78).
Lagerstollen	Langgestreckte Lagerkammer(n) mit kleinem Durchmesser zur Einlagerung von BE- und HAA-Endlagerbehältern. (früher verwendete Begriffe: Einlagerungsstollen, Lagertunnel)
Lagertyp	Der Lagertyp gibt an, ob es sich um ein HAA-, SMA- oder Kombilager handelt.
Lagerzone	Geologische Gesteinskörper unter Tag, die für die Anordnung von Lagerfeldern ausgewiesen und evaluiert werden. Lagerzonen werden begrenzt durch gebietsbegrenzende und/oder anordnungsbestimmende geologische Elemente.
Langzeitsicherheit	Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers für Mensch und Umwelt nach dessen Verschluss über den geforderten Betrachtungszeitraum (mit unterschiedlichen Betrachtungsaspekten gemäss Kernenergie-, Strahlenschutz- und Umweltschutzgesetzgebung)
Lüftungsschacht	Schacht, der zur Hauptsache der Lüftung der Tiefenlageranlagen dient.
Lüftungstunnel	Lagerfeldzugang (optional, im HAA-Lager) zur Sicherstellung der Lüftung der Anlagen in den Lagerfeldern (Lagerfeld-Bewetterung).
Mehrfachbarrierensystem	Ein System von gestaffelten, passiv wirkenden, verschiedenartigen technischen und natürlichen Barrieren zum Einschluss und zur Rückhaltung der im Abfall enthaltenen Radionuklide. Die Wirksamkeit des Mehrfachbarrierensystems darf nicht hauptsächlich von der Wirksamkeit einer einzelnen Barriere abhängig sein. (Anhang 1, ENSI-G03)



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Publicdocs:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Monitoring	<i>Monitoring</i> umfasst das Sammeln von Information über ein Tiefenlagersystem, um Entscheide zum Tiefenlager zu fällen. Durch Messungen werden das Verhalten des Systems und dessen Einfluss auf die Umgebung erfasst, um zu zeigen, ob sich das Tiefenlager wie prognostiziert verhält und damit die dazu gemachten Sicherheitsannahmen korrekt sind (Definition modifiziert aus dem MoDeRn-Projekt, Deliverable 1.3.1, 2009).
Multifunktionsstelle /MFS	Teil der <i>Zugangsbauwerke</i> unter Tag, im Hangenden unmittelbar vor dem Übergang in den <i>einschluss-wirksamen Gebirgsbereich</i> , mit diversen Funktionen, die nicht zwingend in der <i>Lagerzone</i> (bzw. in der Lagerebene) platziert werden müssen (z.B. Nischen für Bergwasser-Pumpenanlagen, technische Räume für die Lüftung, Notfall- und evtl. Besucher-Einrichtungen, <i>Verbindungstunnel</i> zwischen <i>Zugangsbauwerken</i>)
Natürliche Barriere	Gebirgsbereich eines <i>geologischen Tiefenlagers</i> , der gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Sicherheit (inkl. Rückhaltung der Radionuklide) beiträgt (siehe auch Anhang 1, ENSI-G03).
Oberflächenanlage / OFA	Gesamtheit der <i>Anlagenmodule</i> zur Annahme radioaktiver Abfälle, zur Vorbereitung der Einlagerung (z.B. Verpackung) inklusive Anlieferung und Rückschub aller dazu erforderlichen Behälter und Materialien, zum Verlad für den Transport der Endlagerbehälter, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien sowie für alle erforderlichen Nebenprozesse (Ver- und Entsorgung der <i>Oberflächenanlage</i> und von Teilen der Untertageanlagen).
Oberflächeninfrastruktur	Gesamtheit der Anlagen an der Oberfläche, die für die Realisierung (Bau, Betrieb und <i>Verschluss</i>) des <i>geologischen Tiefenlagers</i> notwendig sind. Dazu gehören insbesondere die <i>Oberflächenanlage</i> , die <i>Schachtkopfanlagen</i> , die Erschliessungsbauwerke (z.B. Bahn-, Strassenanschluss), Baustelleneinrichtungen, <i>Depots</i> und allenfalls <i>Deponien</i> , Anlagen Dritter zur Herstellung von Produktionsmitteln (z.B. Verfüllmaterialien, Endlagerbehälter) soweit sie Teil des <i>geologischen Tiefenlagers</i> sind.
Phase	Als <i>Phase</i> wird ein Zeitabschnitt mit einem klar definierten Anfangs- und Endpunkt (Meilenstein) bezeichnet. Die Bezeichnung einer <i>Phase</i> orientiert sich in der Regel an der Hauptaktivität innerhalb dieses Zeitabschnittes. Die <i>Phasen</i> eines <i>geologischen Tiefenlagers</i> sind u.a. in Anhang 2, ENSI-G03, dargestellt: Projektierungs-, <i>Bau-</i> , <i>Betriebs-</i> und Nachverschlussphase.
Pilotlager	Eigenständiger, vom <i>Hauptlager</i> abgetrennter Teil des <i>geologischen Tiefenlagers</i> , in dem das Verhalten der Abfälle, der <i>Verfüllung</i> und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der <i>Beobachtungsphase</i> überwacht wird (Anhang 1, ENSI-G03). Im <i>Pilotlager</i> ist das Verhalten der Abfälle, der <i>Verfüllung</i> und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der <i>Beobachtungsphase</i> zu überwachen. Bei der <i>Überwachung</i> sind im Hinblick auf den <i>Verschluss</i> Daten zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises zu ermitteln (Art. 67 KEV). siehe auch <i>Monitoring</i> und <i>Überwachung</i> .
Rampe	Geneigter <i>Zugangstunnel</i> , der mit Fahrzeugen (z.B. Pneufahrzeuge, Zahnradbahn) befahren werden kann.
Risikoanalyse, bautechnisch	Analyse der Risiken für Bau (und teilweise auch für den Betrieb) eines <i>geologischen Tiefenlagers</i> , umfasst das Ableiten und Aufzeigen von möglichen Gefährdungsbildern bzw. Störfällen, das Aufzeigen von Massnahmen zu deren Verhinderung und zur Eindämmung der Konsequenzen bei Eintritt eines bestimmten Schadensfalles (vgl. ENSI 33/170) bzw. zur Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit. Die Analyse soll im Verlauf der schrittweisen Realisierung der <i>geologischen Tiefenlager</i> stufengerecht von einer qualitativen Betrachtung zu einer quantitativen Risikoabschätzung entwickelt werden.
Rückholbarkeit	Grundsätzliche Möglichkeit, die radioaktiven Abfälle wieder zurückzuholen. Gemäss Kernenergiegesetz muss eine <i>Rückholung</i> der radioaktiven Abfälle ohne grossen Aufwand bis zu einem allfälligen <i>Verschluss</i> des Lagers möglich sein (vgl. Art. 37 KEG). Dabei dürfen Vorkehrungen zur <i>Rückholung</i> der Abfälle die passiven Sicherheitsbarrieren nach dem <i>Verschluss</i> des Lagers nicht beeinträchtigen (Art. 11 KEV).
Rückholung	Umfasst die Bergung und den Transport von eingelagerten radioaktiven Abfällen aus dem <i>geologischen Tiefenlager</i> zurück zur Oberfläche (Anhang 1, ENSI-G03). Gemäss Art. 37 KEG muss bis zu einem allfälligen <i>Verschluss</i> des Lagers eine <i>Rückholung</i> ohne grossen Aufwand möglich sein. Die Auslegung des Lagers orientiert sich primär an der Betriebs- und <i>Langzeitsicherheit</i> , Vorkehrungen für eine einfachere <i>Rückholung</i> dürfen die <i>Langzeitsicherheit</i> nicht beeinträchtigen.



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Schacht	Überbegriff für ein gerades vertikales (oder auch schräges) <i>Zugangsbauwerk</i> .
Schachtkopf	Oberes Ende eines <i>Schachts</i> ; der <i>Schachtkopf</i> liegt in der Regel an der Oberfläche, kann aber bei entsprechenden standortspezifischen Randbedingungen auch unterirdisch angeordnet und ausgestaltet sein (Blindschacht).
Schachtkopfanlage	Gesamtheit der Bauwerke, Installationen und Geräte bei einem <i>Schachtkopf</i> . Wenn sich mehrere <i>Schachtköpfe</i> in unmittelbarer Nähe befinden, kann eine <i>Schachtkopfanlage</i> auch die Bauwerke, Installationen und Geräte mehrerer <i>Schachtköpfe</i> umfassen.
Schachtkopfareal	Fläche an der Erdoberfläche, allenfalls mit eigener <i>Erschliessung</i> , wo eine <i>Schachtkopfanlage</i> platziert werden kann.
Schnellverschluss	Der EKRA-Bericht (2000) erwähnt keinen <i>Schnellverschluss</i> . Die ENSI-G03 hat den Gedanken eines <i>Schnellverschlusses</i> in Form eines <i>temporären Verschlusses</i> aufgenommen.
Selbstverschluss	Der EKRA-Bericht (2000) erwähnt in seiner Figur 9 (S. 55) einen <i>Selbstverschluss</i> . Eine weitere Beschreibung, was „ <i>Selbstverschluss</i> “ bedeutet oder welche Funktion dieser <i>Selbstverschluss</i> hat, fehlt. Die ENSI-G03 hat den <i>Selbstverschluss</i> nicht aufgenommen.
Sicherung der Hohlräume	Der <i>Ausbau</i> beschreibt die <i>Sicherung der Hohlräume</i> im Hinblick auf Bau und Betrieb. Dies umfasst in erster Linie die Stützmittel (z.B. Spritzbeton, GFK-Anker).
Stand von Wissenschaft und Technik	Der <i>Stand von Wissenschaft und Technik</i> (SWT) ist der jeweils gegenwärtige Entwicklungsstand von Wissenschaft (Entwicklung) und Technik (Anwendung), wie er z.B. in den ENSI-Richtlinien gefordert wird.
Standortareal	Fläche an der Erdoberfläche, wo eine <i>Oberflächenanlage</i> (oder Teile davon) platziert werden kann. In Ausnahmen können Teile der <i>Oberflächenanlage</i> unterirdisch angeordnet werden (vgl. Standortgebiet Wellenberg).
Störfallanalyse	Analyse eines vom Normalbetrieb abweichenden Anlagezustandes, der ein Eingreifen eines Sicherheitssystems erfordert (Anhang 1 KEV)
Subrosion	<i>Subrosion</i> bezeichnet in der Geologie die unterirdische Auslaugung und Verfrachtung von meist leicht löslichem (Salz), aber auch schwer löslichem (Kalk) Gestein. Im Untergrund gebildete Hohlräume können zum Nachbrechen überliegender Gesteine in die Hohlräume führen und gegebenenfalls an der Erdoberfläche Einsturztrichter ausbilden.
Technische Barriere	Technische Komponente in einem <i>geologischen Tiefenlager</i> , die über den <i>Verschluss</i> hinaus verbleibt und gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Sicherheit (inkl. Rückhaltung der Radionuklide) beiträgt (siehe auch Anhang 1, ENSI-G03)
Temporärer Verschluss	Rascher <i>Verschluss</i> der <i>Anlage</i> , dessen Anbringung einige Wochen bis Monate benötigt, dessen Wirksamkeit einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte dauert (Anhang 1, ENSI-G03)
Testbereiche	Eigenständige Teile des <i>geologischen Tiefenlagers</i> , um die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins oder der <i>technischen Barrieren</i> zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises vertieft abzuklären, oder um sicherheitsrelevante Techniken zu erproben und deren Funktionstüchtigkeit nachzuweisen (Anhang 1, ENSI-G03). In den <i>Testbereichen</i> sind die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins zur Erhärtung des Sicherheitsnachweises standortspezifisch vertieft abzuklären (Art. 65 KEV). Im internationalen Kontext entsprechen die <i>Testbereiche</i> einem unterirdischen Felslabor am Standort.
Übergabebereich	Teil des <i>Abzweigertunnels</i> , normalerweise beim Eingang in die <i>Lagerkammer</i> , wo die Übergabe (der Umlad) des Endlagerbehälters vom Transportgerät auf das Einlagerungsgerät erfolgt. In der Regel erfordert der Umlad eine Aufweitung dieses Abschnittes. Je nach Anforderungen und Randbedingungen wird der <i>Übergabebereich</i> in der Phase des Einlagerungsbetriebs auch mit Schleusen ausgebildet (vgl. BE/HAA-Lagerstollen).
Überwachung	Eine über längere Zeit kontinuierliche oder periodisch wiederholte Beobachtung einer Eigenschaft oder Messung einer Kenngrösse oder die Summe aller solcher Beobachtungen und Messungen (Anhang 1, ENSI-G03), vgl. auch <i>Monitoring</i> .



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

keine
33KRM.LAG / ENSI 33/503
Schlussbericht zum Agneb-Forschungsprojekt „Lagerauslegung“
03.05.2016 / [REDACTED]

Verbindungstunnel	Verbindungsstrecke unter Tag zwischen <i>Zugangsbauwerken</i> (z.B. zwischen einem <i>Schacht</i> und einer <i>Rampe</i>). <i>Verbindungstunnel</i> liegen in der Regel oberhalb des <i>einschlusswirksamen Gebirgsbereichs</i> , z.B. auf dem Niveau der <i>Multifunktionsstellen</i> .
Verfüllung	Schliessung von Hohlräumen durch Einbringen von Feststoffen. Die <i>Verfüllung</i> kann zur mechanischen Stabilisierung, räumlichen Abtrennung oder Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit der <i>natürlichen</i> und <i>technischen Barrieren</i> dienen (Anhang 1, ENSI-G03).
Verpackungsanlage	<i>Anlagenmodul</i> zur Verpackung der angelieferten Abfälle in Endlagerbehälter für die Einlagerung in das <i>geologische Tiefenlager</i> .
Verschluss	<i>Verfüllen</i> und <i>Versiegeln</i> aller untertägigen Teile und des <i>Zugangsbauwerks</i> des <i>geologischen Tiefenlagers</i> nach Abschluss der <i>Beobachtungsphase</i> (siehe auch Art. 3 KEG). Nach ordnungsgemäsem <i>Verschluss</i> kann der Bundesrat eine weitere, befristete <i>Überwachung</i> anordnen. Nach ordnungsgemäsem <i>Verschluss</i> oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weiter gehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen. (Art. 39 KEG)
Verschlussbauwerk	Verfüllungs- und Versiegelungsbauwerk, das im Rahmen des <i>Verschlusses</i> erstellt wird.
Versiegelung	<i>Technische hydraulische Barriere</i> mit einer gebirgsstützenden Wirkung, die auch zum Schutz der <i>Verfüllung</i> dient (Anhang 1, ENSI-G03)
Versiegelungsstrecke	Abschnitt, in dem die <i>Versiegelung</i> eingebaut wird. Eine <i>Versiegelungsstrecke</i> kann sowohl horizontal und vertikal als auch geneigt zu liegen kommen.
Zentraler Bereich	Zentral angeordnete untertägige Anlagen in der <i>Lagerzone</i> , welche die Infrastrukturanlagen (Ver- und Entsorgung, Transportlogistik, Umladeeinrichtungen, Betriebseinrichtungen) für die Anlagen untertage im Wirtgestein enthalten.
Zugangsbauwerke	Zugänge zum <i>Hauptlager</i> , zum <i>Pilotlager</i> und zu den <i>Testbereichen</i> (Anhang 1, ENSI-G03) Gesamtheit der Zugänge durch das Gebirge von der Oberfläche bis auf die Lagerebene, d.h. Verbindung zwischen Anlagen an der Oberfläche und den Anlagen unter Tag im Wirtgestein (ohne die Verladestationen in den <i>Oberflächenanlagen</i>) Als <i>Zugangsbauwerke</i> kommen Zugangstunnel (z.B. <i>Rampen</i>) und/oder <i>Schächte</i> in Frage (Vertikal- oder Schrägschächte), auch Kombinationen von Tunneln und <i>Schächten</i> sind denkbar (vgl. Fig. 3).
Zwischensiegel	Entlang eines langen <i>Lagerstollens</i> geplante Zwischenabschnitte zur hydraulischen Isolation einzelner Einlagerungsabschnitte