



ARBEITSBERICHT NAB 23-01 BAND 5

Bautechnisches Dossier Standortvergleich
Band 5: Nutzungsvereinbarung

Oktober 2023

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch



ARBEITSBERICHT NAB 23-01 BAND 5

Bautechnisches Dossier Standortvergleich
Band 5: Nutzungsvereinbarung

Oktober 2023

STICHWÖRTER

Bautechnisches Dossier, Nutzungsvereinbarung, Standortvergleich,
Lagerprojekte, Rohbau Untertaganlagen, Referenzbericht,
Rahmenbewilligungsgesuch, RBG

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Aktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

Zusammenfassung

Mit dem Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager reicht die Nagra einen Bericht zur Begründung der Standortwahl ein. Die Nagra dokumentiert die Lagerprojekte der Untertaganlagen für den dafür durchzuführenden Standortvergleich im «Bautechnischen Dossier Standortvergleich», welches neun Bände umfasst.

Die Nutzungsvereinbarung, als Band 5 des Bautechnischen Dossiers, definiert die Anforderungen an das untertage zu erstellende Bauwerk.

Die Planung und Realisierung des geologischen Tiefenlagers, unter Berücksichtigung der Anforderungen und Rahmenbedingungen, erfolgt in den Phasen des Entsorgungsprogramms. Die für die Realisierung nötigen Bau- und Betriebsaktivitäten bedingen entsprechende Funktionen der Bauwerke und Anlagen. Damit die phasenspezifischen Funktionen gewährleistet sind, müssen Bauwerke entsprechende Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen an das geologische Tiefenlager, beschränkt auf den Rohbau der Untertaganlagen, werden in der vorliegenden Nutzungsvereinbarung beschrieben.

Anhand der Nutzungsvereinbarung sind für den Standortvergleich an drei Standorten insgesamt sechs standortspezifische Lagerprojekte in einem Detaillierungsgrad in Anlehnung an die Stufe eines Vorprojekts auszuarbeiten. Bei der Ausarbeitung der Lagerprojekte stehen die vergleichsrelevanten Aspekte im Vordergrund, die in dieser Nutzungsvereinbarung daher fokussiert behandelt werden. Die Nutzungsvereinbarung stellt somit die Grundlage für einen objektiven Vergleich der Lagerprojekte im Rahmen des Standortvergleichs dar.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	VI
Figurenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Zweck des vorliegenden Berichts.....	1
1.2 Geltungsbereich und Abgrenzung	1
1.3 Anforderungen Behörden	2
1.4 Inhalt und Struktur.....	3
2 Übergeordnete Ziele	4
2.1 Gewährleistung der Langzeitsicherheit	4
2.2 Gewährleistung der Sicherheit und Machbarkeit.....	5
3 Vorgaben Realisierung.....	8
3.1 Lagerarchitektur.....	8
3.2 Vorgaben Schacht- respektive Portalstandorte, Lagerfelder und Zugangskonfiguration.....	10
3.3 Phasenspezifische Funktionen	13
3.4 Nutzungsdauer Rohbau.....	25
3.5 Nutzungszustände des gTL.....	29
4 Anforderungen an Lagerkonfiguration und Normalprofile	30
4.1 Anforderungen aus der Langzeitsicherheit.....	30
4.2 Anforderungen aus dem Betrieb (EUU, Einlagerung und Beobachtung).....	32
4.2.1 Betrieb übergeordnet	32
4.2.2 EUU-Betrieb.....	34
4.2.3 Einlagerungsbetrieb	34
4.2.4 Beobachtungsbetrieb.....	36
4.3 Anforderungen des Verschlusses (Verfüllung und Versiegelung)	36
4.4 Anforderungen aus dem Bau	38
4.5 Zusammenfassung der geometrischen Randbedingungen für die Lagerkonfiguration	39
4.6 Zusammenfassung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile.....	40
4.7 Temporäre Bauteile, Bauwerke und Bauzustände.....	45
5 Umwelt- und Drittanforderungen	46
5.1 Geologie.....	46
5.2 Beeinflussung der Umwelt	46
5.2.1 Umweltverträglichkeitsprüfung.....	46
5.2.2 Natur- und Landschaftsschutz	46

5.2.3	Wald.....	46
5.2.4	Oberflächengewässer.....	46
5.2.5	Grund-, Berg- und Tiefenwasser sowie Quellen	47
5.2.6	Lärmschutzanforderungen	47
5.2.7	Luftanforderungen	47
5.2.8	Lichtanforderungen.....	47
5.2.9	Erschütterungen und Körperschall.....	47
5.3	Landbeanspruchung	48
5.4	Auswirkungen auf Bauwerke Dritter	48
5.5	Altlasten / belastete Standorte	48
5.6	Naturgefahren	48
5.7	Materialbewirtschaftung	48
5.8	Personensicherheit	48
5.9	Zivilisatorische Gefahren.....	49
6	Bedürfnisse des Baus, des Betriebs und des Unterhalts	50
6.1	Bauverfahren	50
6.2	Zonenkonzept / Einlagerungsbetrieb mit zeitgleichem Baubetrieb	51
6.3	Lüftungs- und Kühlungskonzept	51
6.3.1	Anforderungen des Lüftungs- und Kühlungskonzeptes	51
6.3.2	Lüftungskonzept	52
6.3.3	Kühlungskonzept	54
6.4	Logistikkonzepte (Bau, Betrieb und Verschluss)	54
6.5	Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept.....	55
6.6	Flucht- und Rettungskonzept	56
6.6.1	Fluchtkonzept	57
6.6.2	Rettungskonzept	57
6.6.3	Spezifikationen von Rettungsraum und Rettungscontainer	58
6.7	Brand- und Explosionsschutzkonzept.....	59
6.8	Notstromversorgung	59
6.9	Abdichtungs- und Entwässerungskonzept.....	59
6.9.1	Bergwasser.....	60
6.9.2	Brauchwasser.....	60
6.10	Erdungskonzept	60
6.11	Unterhaltskonzept.....	61
6.12	Dichtigkeitsanforderungen	61
7	Besondere Vorgaben der Bauherrschaft	62
7.1	Rückholungskonzept.....	62
8	Schutzziele und Risiken.....	63
8.1	Schutzziele.....	63
8.1.1	Erdbeben.....	63
8.1.2	Naturgefahren	63
8.1.3	Brand und Explosion	63

8.1.4	Korrosion / Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) / Gebirgstemperatur	64
8.1.5	Anprall	64
8.1.6	Gas	64
8.2	Besondere Risiken (unvermeidbare/akzeptierte Risiken)	64
8.3	Bautechnische Risikoanalyse	64
9	Normbezogene Bestimmungen	65
9.1	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien des Bundes	65
9.2	Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden	65
9.3	Abweichungen von den Normen und Richtlinien	66
10	Unterschriften	67
11	Literaturverzeichnis	68
12	Glossar	72

Anhang A Übersicht der Anfangs- und Endpunkte pro Lagertyp und Standort A-1

A.1	Jura Ost – HAA-Einzellager mit Verbindung zum Zwilag-Areal (Start bergmännischer Tunnel auf dem ehemaligen JO 3+ - Areal)	A-1
A.2	Jura Ost – SMA-Einzellager mit Verbindung zum Zwilag-Areal (Start bergmännischer Tunnel auf dem ehemaligen JO 3+ - Areal)	A-2
A.3	Nördlich Lägern – HAA-Einzellager mit NL-6	A-3
A.4	Nördlich Lägern – Kombilager mit NL-6	A-4
A.5	Zürich Nordost – HAA-Einzellager mit ZNO-9	A-5
A.6	Zürich Nordost – SMA-Einzellager mit ZNO-9	A-6
A.7	Koordinaten der Zugangsbauwerke	A-7
A.8	Koordinaten der Lagerflächen	A-8

Anhang B Systemdefinitionen der Untertaganlagen B-1

B.1	SD: Lüftungsschacht	B-2
B.2	SD: Zugangstunnel JO (Rampe und Stichtunnel)	B-3
B.3	SD: Zentraler Bereich	B-5
B.3.1	Betriebsraum 1	B-5
B.3.2	Betriebsraum 2	B-6
B.3.3	Einstellräume Betriebsfahrzeuge ohne Vorbeifahrt → NL und ZNO	B-7
B.3.4	Einstellraum Betriebsfahrzeuge mit Vorbeifahrt → JO	B-8
B.3.5	Verbindungstunnel im zentralen Bereich	B-9
B.3.6	Einstellraum Rettungsfahrzeuge	B-10
B.3.7	Wassertank-Kaverne	B-11
B.3.8	ZB Rangierbereich (als Teil des Betriebstunnels) → NL und ZNO	B-12
B.3.9	ZB Bahnhof (als Teil des Betriebstunnels oder ZB) → JO	B-13
B.3.10	Werkstatt Betrieb	B-14
B.3.11	Elektrostation Betrieb	B-15
B.3.12	Rettungsraum / -kaverne	B-16
B.3.13	Zentrale Kühlanlage	B-17

B.4	SD: BEUU / Testbereich	B-18
B.4.1	Betriebsraum EUU (Testbereich)	B-18
B.4.2	Experimentbereiche	B-19
B.4.3	Demonstrationsbereiche	B-20
B.5	SD: Lüftungstunnel HAA und SMA	B-21
B.6	SD: Querverbindungen HAA und SMA.....	B-22
Anhang C	Realisierungsplan der Einzellager.....	C-1
C.1	Realisierungsplan HAA-Einzellager.....	C-1
C.2	Realisierungsplan SMA-Einzellager.....	C-2
Anhang D	Bautechnischer Nutzraum	D-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1:	Übersicht der Standortgebiete mit Angabe der zu entwickelnden Lagerprojekte ..	11
Tab. 3-2:	Übersicht der verwendeten Oberflächeninfrastruktur (OFI) gemäss Nagra (2019b) und (2019c)	11
Tab. 3-3:	Übersicht der Zugangsbauwerke der zu entwickelnden Lagerprojekte	13
Tab. 3-4:	Funktionen der Phase 1 – Bau und Beginn EUU.....	14
Tab. 3-5:	Funktionen der Phase 2 – Weiterführung erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag	16
Tab. 3-6:	Funktionen der Phase 3 – Bau Lager SMA	17
Tab. 3-7:	Funktionen der Phase 4 – Einlagerungsbetrieb SMA & Bau Lager HAA	18
Tab. 3-8:	Funktionen der Phase 5 – Einlagerungsbetrieb HAA / Erweiterung HAA-Lager..	20
Tab. 3-9:	Funktionen der Phase 6 – Beobachtungsphase (bis/mit Verschluss Hauptlager) ...	22
Tab. 3-10:	Funktionen der Phase 7 – Verschluss Hauptlager	23
Tab. 3-11:	Funktionen der Phase 8 – Fortsetzung der Beobachtungsphase	24
Tab. 3-12:	Funktionen der Phase 9 – Verschluss Gesamtlager	25
Tab. 3-13:	Zusammenstellung der Nutzungsdauer der einzelnen Untertagbauwerke.....	27
Tab. 4-1:	Übersicht der für die Betriebslogistik benötigte Bauwerke des zentralen Bereichs	33
Tab. 4-2:	Zusammenstellung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile der Zugangsbauwerke.....	41
Tab. 4-3:	Zusammenstellung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile der wichtigsten Bauwerke auf Lagerebene für den HAA-Lagerteil und die Kontrollstollen	42
Tab. 4-4:	Zusammenstellung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile der wichtigsten Bauwerke auf Lagerebene für den SMA-Lagerteil	43
Tab. B-1:	Systemdefinitionen weiterer Bauwerke	B-1

Figurenverzeichnis

Fig. 1-1:	Systemskizze geologisches Tiefenlager inkl. der Darstellung der Abgrenzung (rot) der Nutzungsvereinbarung Rohbau Untertaganlagen am Beispiel Kombilager	2
Fig. 2-1:	Realisierungsplan für ein Kombilager, ergänzt nach EP21	6
Fig. 3-1:	Systemskizze eines Kombilagers mit Schachterschliessung inkl. Bezeichnungen der Module	9
Fig. 3-2:	Darstellung der Anfangs- und Endpunkte eines Lagerprojekts am Beispiel NL-Kombilager	12
Fig. 3-3:	Graphische Darstellung der pro Bauwerk geforderten Nutzungsdauer am Beispiel Kombilager	26
Fig. 4-1:	Systemskizze der Untertaganlagen eines Kombilagers inklusive der Versiegelungen und Verfüllungen der einzelnen Komponenten	37
Fig. 4-2:	Generisches Kombilager mit Hauptabmessungen aufgrund der Anforderungen ...	40
Fig. 6-1:	Lüftungskonzept eines Kombilagers	53
Fig. A-1:	Jura Ost – HAA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration.....	A-1
Fig. A-2:	Jura Ost – SMA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration.....	A-2
Fig. A-3:	Nördlich Lägern – HAA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration.....	A-3
Fig. A-4:	Nördlich Lägern - Kombilager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration	A-4
Fig. A-5:	Zürich Nordost – HAA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration	A-5
Fig. A-6:	Zürich Nordost – SMA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration.....	A-6
Fig. A-7:	Übersicht X-, Y-, und Z-Koordinaten der Zugangsbauwerke	A-7
Fig. A-8:	Übersicht Eckkoordinaten der Lagerflächen / X-, Y-, und Z-Koordinaten der vier Eckpunkte (P1 bis P4)	A-8
Fig. B-1:	LRP des Zugangstunnels ab dem Zwilag-Areal	B-4
Fig. B-2:	LRP des Betriebsraums 1 im ZB	B-5
Fig. B-3:	LRP des Betriebsraums 2 im ZB	B-6
Fig. B-4:	LRP der Einstellräume der Betriebsfahrzeuge ohne Vorbeifahrt im ZB.....	B-7
Fig. B-5:	LRP des Einstellraums Betriebsfahrzeuge mit Vorbeifahrt im ZB	B-8
Fig. B-6:	LRP des Einstellraums für Rettungsfahrzeuge im ZB.....	B-10
Fig. B-7:	LRP der Wassertank-Kaverne im ZB	B-11
Fig. B-8:	LRP des ZB-Rangierbereichs	B-12
Fig. B-9:	LRP des ZB-Bahnhofes	B-13

Fig. B-10:	LRP der Werkstatt für den Betrieb	B-14
Fig. B-11:	LRP der Elektrostation Betrieb.....	B-15
Fig. B-12:	LRP des Betriebsraums EUU (Testbereich)	B-18
Fig. C-1:	Realisierungsplan eines HAA-Einzellagers gemäss EP21	C-1
Fig. C-2:	Realisierungsplan eines SMA-Einzellagers gemäss EP21	C-2

Abkürzungsverzeichnis

AAR	Alkali-Aggregat-Reaktion
AUZ	Auflockerungszone
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BEUU	Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
BFE	Bundesamt für Energie
EG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
EKAS	Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
EP21	Entsorgungsprogramm 2021 (Nagra 2021a)
FREI-Wege	Flucht-, Rettungs- und Evakuations- sowie Interventionswege
gTL	Geologische(s) Tiefenlager
HEB	Haupterschliessungsbereich
HAA	Hochaktive Abfälle
JO	Jura Ost
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKW	Kernkraftwerk
LRP	Lichttraumprofil
LZS	Langzeitsicherheit
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen
MIRAM	Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien
NAB	Nagra Arbeitsbericht
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NL	Nördlich Lägern
NTB	Nagra Technischer Bericht
NV	Nutzungsvereinbarung
NZA	Nebenzugangsanlage
NZA-B	Nebenzugangsanlage Betrieb
NZA-L	Nebenzugangsanlage Lüftung

mSv	Millisievert
OFA	Oberflächenanlage
OFI	Oberflächeninfrastruktur
OPA	Opalinuston (Wirtgestein)
PSI	Paul Scherrer Institut
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
SD	Systemdefinition (von einzelnen Bauwerken)
SGT (-E3)	Sachplan geologische Tiefenlager (Etappe 3)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
StSV	Strahlenschutzverordnung
Suva	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
TBM	Tunnelbohrmaschine
UTA	Untertaganlagen
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
V1-Versiegelung	Versiegelung der Lagerkammern (HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen)
V2-Versiegelung	Versiegelung der Lagerfeldzugänge
V3-Versiegelung	Versiegelung der Zugangsbauwerke
VF1-Verfüllung	Verfüllung der Lagerfeldzugänge
VF2-Verfüllung	Verfüllung des zentralen Bereichs, EUU und Zugangsbauwerke unterhalb V3-Siegel
ZNO	Zürich Nordost
ZB	zentraler Bereich
ZBW	Zugangsbauwerke
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

1 Einleitung

1.1 Zweck des vorliegenden Berichts

Die Nutzungsvereinbarung ist Band 5 des neunbändigen Bautechnischen Dossiers für den Standortvergleich. Inhalt, Umfang und Zweck des Bautechnischen Dossiers sind in Band 1, "Projektdefinition und Einführung" (Nagra 2023a), detailliert beschrieben.

In der Nutzungsvereinbarung sind aus Sicht des Bauherrn und Betreibers des geologischen Tiefenlagers (gTL)¹ die Anforderungen festgelegt, welche aus den verschiedenen Bau- und Betriebsphasen sowie der Langzeitsicherheit² (LZS) an den Rohbau der Untertaganlagen (vgl. Kapitel 2) gestellt werden. Wo erforderlich, werden sie hergeleitet und begründet. Für die Projektierung bildet die Nutzungsvereinbarung die Grundlage für die Ausarbeitung der sechs Lagerprojekte für den Standortvergleich (vgl. Kap. 3.2 respektive Nagra 2023a).

1.2 Geltungsbereich und Abgrenzung

Ein Tiefenlager lässt sich grossräumig in die Oberflächeninfrastruktur (OFI) und die Untertaganlagen (UTA), welche wiederum aus der Verbindung zwischen Oberfläche und Lagerebene (sog. Zugang nach untertag) und den Bauwerken auf Lagerebene bestehen, unterteilen. Wie in Nagra (2023a) erläutert, sind für den Standortvergleich nur die UTA, d.h. die Verbindung zwischen Oberfläche und Lagerebene (vgl. Kriterium 4.2; BFE 2008) und die Bauwerke auf Lagerebene (vgl. Kriterium 4.1; BFE 2008) relevant. Daher beschränkt sich diese Nutzungsvereinbarung (NV) auf die UTA.

Fig. 1-1 zeigt die wesentlichen Bestandteile eines gTL und die Abgrenzung der Nutzungsvereinbarung in der Systemskizze eines generischen Kombilagers. Die Zugangsbauwerke (Schächte) stellen die Verbindung zwischen der Oberfläche und den Bauwerken auf Lagerebene her. Fig. 1-1 zeigt eine Konfiguration mit drei Schächten (Nr. 1, 2, 8).

Auf Lagerebene umfasst ein Kombilager ein Hauptlager für die hochaktiven Abfälle (HAA-Lagerteil, Nr. 20), ein Hauptlager für die schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA-Lagerteil, Nr. 13), Lagerfeldzugänge (HAA: Nr. 15, 16, 17, SMA: Nr. 9, 10) und je ein Pilotlager (Nr. 18 und 12) inklusive Kontrollstollen (Nr. 19 und 11). Weiter sind sogenannte Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag³ (BEUU, Nr. 4, 5 und 6) beim zentralen Bereich (Nr. 3) geplant. Die Startpunkte aller Lagerfeldzugänge schliessen an den zentralen Bereich an. Die Einzellager HAA und SMA ergeben sich durch eine entsprechende Kombination der dafür benötigten Bauwerke.

¹ Diese NV gilt für alle sechs Lagerprojekte. Aus Gründen der Lesbarkeit wird generell von «dem gTL» gesprochen, da jedes Lagerprojekt ein gTL beschreibt.

² Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers für Mensch und Umwelt nach dessen Verschluss, gemäss ENSI (2020a)

³ Bauten, in denen (u.a.) Langzeitexperimente durchgeführt und sicherheitsrelevante Techniken erprobt und deren Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Diese Bauten werden so geplant, dass sie bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung als Testbereiche (lt. Art. 64 und 65 KEV 2004) integrale Bestandteile des geologischen Tiefenlagers werden können.

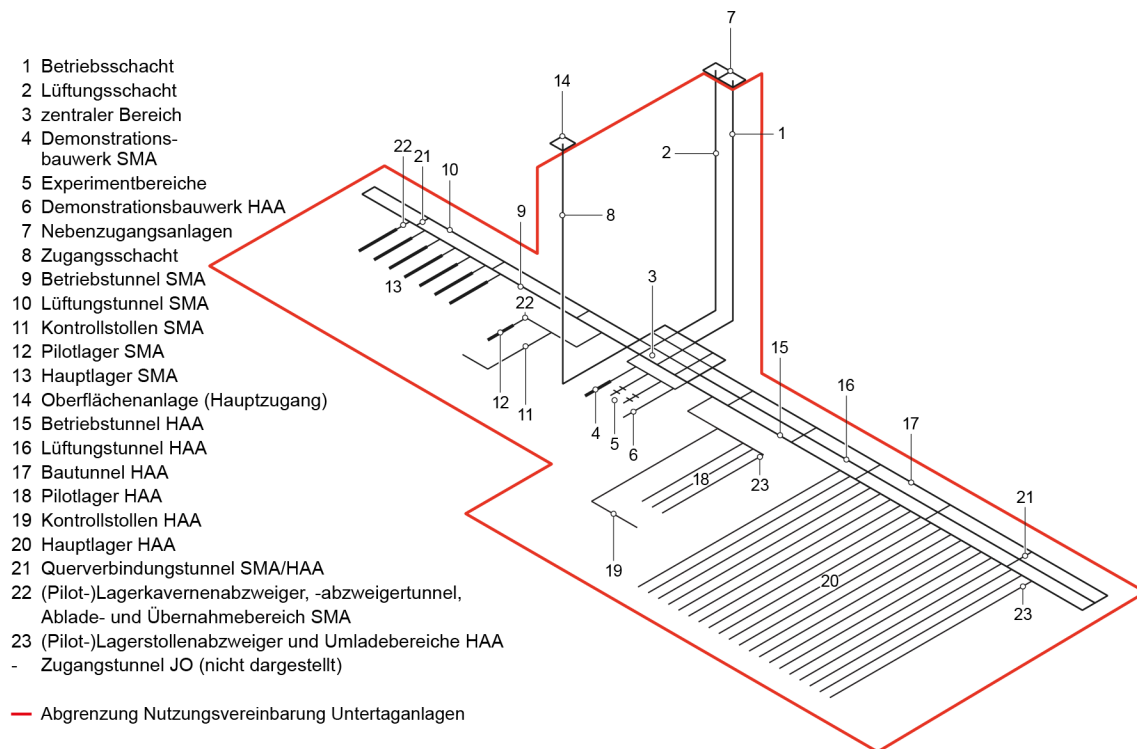


Fig. 1-1: Systemskizze geologisches Tiefenlager inkl. der Darstellung der Abgrenzung (rot) der Nutzungsvereinbarung Rohbau Untertaganlagen am Beispiel Kombilager

Der Rohbau der Untertaganlagen beinhaltet den Ausbruch, die Ausbruchsicherung inkl. allfälliger Bauhilfsmassnahmen, die Verkleidung der Untertagbauwerke, die Entwässerung, sowie weitere Betonteile des Innenausbaus.

Die zu erstellenden Bauwerke sind so auszulegen, dass sie die erforderlichen Funktionen in allen Phasen, insbesondere der Langzeitsicherheit, erfüllen. Es werden daher diejenigen Anforderungen aus dem Bau, den Betriebsphasen (mit verschiedenen Nutzungszuständen, siehe Kapitel 3.5), dem Lagerverschluss, dem Endzustand (Langzeitsicherheit) und den Auslegungsstörfällen⁴ erfasst, die für den Rohbau relevant sind.

1.3 Anforderungen Behörden

Die folgenden behördlichen Richtlinien und Präzisierungen sind massgeblich zu berücksichtigen:

- Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2021, Systematische Sammlung des Bundesrechts, Schweizerischer Bundesrat, SR 732.1 (KEG 2003)
- Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Februar 2019, Systematische Sammlung des Bundesrechts, Schweizerischer Bundesrat, SR 732.11 (KEV 2004)
- Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. ENSI 33/649 (ENSI 2018)

⁴ Auslegungsstörfälle sind die Störfälle, die aufgrund der bisherigen Praxis und Erfahrungen bei der sicherheitstechnischen Analyse, der Begutachtung und dem Betrieb von Anlagen für die Auslegung der Anlage gegen Störfälle bestimmend sind.

- Geologische Tiefenlager. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d (ENSI 2020b)
- Geologische Tiefenlager. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G03/d (ENSI 2020a)

Die Auflistung ist nicht abschliessend. Eine detaillierte Zusammenstellung behördlicher Vorgaben ist im Entsorgungsprogramm (Nagra 2021a, Anhang A.1) zu finden.

1.4 Inhalt und Struktur

Der Aufbau der NV orientiert sich am Inhaltsverzeichnis gemäss SIA 260, Art. 2.2.2 (SIA 2013) respektive SIA 197 Art. 2.1.2. (SIA 2004).

Die Nutzungsvereinbarung ist wie folgt aufgebaut:

- In Kapitel 2 sind zum einen die übergeordneten Ziele der Langzeitsicherheit (Kap. 2.1) beschrieben, um eine Basis für die in Kapitel 4.1 aus der LZS abgeleiteten und relevanten Anforderungen an die Lagerkonfiguration⁵ zu schaffen. Des Weiteren werden die übergeordneten Ziele der Sicherheit und Machbarkeit (Kap. 2.2) des gTL unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen und Zeitvorgaben, erläutert.
- Die Einzelheiten der Realisierung des gTL in den verschiedenen Bau- und Betriebsphasen werden in Kapitel 3 beschrieben. Ausgehend von einer kurzen Beschreibung der einzelnen Module, aus denen sich ein gTL zusammensetzt, werden die übergeordneten geometrischen Randbedingungen (Schachtstandort und Position der Lagerfelder) aufgeführt. Daran anschliessend werden pro Phase, die ein gTL im Rahmen der Realisierung durchläuft, die Funktionen aufgeführt, die ein gTL zu erfüllen hat. Die Nutzungsdauer des Rohbaus der Untertaganlagen wird daraus abgeleitet und dokumentiert.
- Die sich aus den Funktionen ergebenden Anforderungen an die Bauwerke (Rohbau der Untertaganlagen) sind in Kapitel 4 einzeln aufgeführt und zur besseren Übersicht anschliessend zusammengefasst.
- Im Kapitel 5 wird auf die Umwelt- und Drittanforderungen eingegangen.
- Übergeordnete Konzepte des Baus und Betriebs des geologischen Tiefenlagers (u.a. Lüftungskonzept, Logistikkonzept, etc.) werden in Kapitel 6 beschrieben und die aus diesen Konzepten zusätzlich zu Kapitel 4 gestellten Anforderungen an die Bauwerke abgeleitet.
- Besondere Vorgaben der Bauherrschaft werden in Kapitel 7 aufgeführt.
- Das Kapitel 8 beschreibt die Schutzziele und Risiken des Vorhabens gTL.
- Normbezogene Bestimmungen, die für die Realisierung des geologischen Tiefenlagers relevant und zu beachten sind, werden in Kapitel 9 aufgeführt.

⁵ Die Lagerkonfiguration beschreibt die Zusammensetzung und Anordnung der untertägigen Bauwerke eines geologischen Tiefenlagers. Sie stellt die Gesamtheit aller für die geplanten Nutzung notwendigen untertägigen Bauwerke dar und ist vergleichbar mit dem Begriff «Tunnelsystem» der SIA-Norm.

2 Übergeordnete Ziele

Für die untertägige Lagerkonfiguration und -auslegung⁶ des geologischen Tiefenlagers sind folgende übergeordnete Ziele von Bedeutung (vgl. Projektdefinition in Band 1, Nagra 2023a):

- Gewährleistung der Langzeitsicherheit: Entsorgung der in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager, welches den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung mit beschränkten Lasten für zukünftige Generationen für alle Zeiten und an jedem Ort gewährleistet und die Abfälle nach Verschluss vor Entwendung, gewaltsamen Einwirkungen und Sabotage schützt.
- Gewährleistung der Sicherheit und Machbarkeit in Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb des geologischen Tiefenlagers innerhalb eines angemessenen Zeitraums und zu verhältnismässigen Kosten: Das Themenfeld umfasst die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz (inkl. Strahlenschutz). Weitere Themen sind die Sicherung und die Sicherheit bei Störfällen bzgl. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Unter Machbarkeit wird u.a. die zuverlässige Durchführung aller notwendigen Arbeitsschritte unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismässigkeit verstanden. Die Planung und Realisierung (Erstellung, Betrieb und Verschluss) des geologischen Tiefenlagers erfolgt so, dass die Vorgaben der Langzeitsicherheit zur Qualität der Barrieren des verschlossenen geologischen Tiefenlagers eingehalten werden.

Die beiden übergeordneten Ziele müssen mit der Lagerkonfiguration erreicht werden. Dies bedeutet, dass alle sich aus beiden Zielen ergebenden relevanten Anforderungen für die Lagerkonfiguration (vgl. Kapitel 4) umgesetzt werden müssen.

2.1 Gewährleistung der Langzeitsicherheit

Die übergeordnete Beschreibung der Grundlagen des schweizerischen Lagerkonzepts aus Sicht der Langzeitsicherheit ist im Nagra Arbeitsbericht NAB 24-18 zu finden. Im Folgenden sind die grundlegenden Anforderungen, welche für die Lagerkonfiguration und -auslegung aufgrund der LZS relevant sind, aufgeführt:

- Die **Anordnung des Lagers erfolgt im tiefen Untergrund**, in einer Umgebung, in der ein menschliches Eindringen äusserst unwahrscheinlich ist. Die Umgebung darf zudem nicht anfällig für störende geologische Ereignisse und Prozesse sein, welche sich ungünstig auf die Sicherheit auch nach dem Verschluss auswirken.
- Die **Anordnung und der Bau** der untertägigen Bauwerke muss so erfolgen, dass diese keine nachteiligen Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit haben. Dabei sind mögliche Wechselwirkungen zu berücksichtigen.
- Durch eine **Kompartimentierung** der untertägigen Bauwerke wird sichergestellt, dass die radiologischen Auswirkungen auch im äusserst unwahrscheinlichen Fall eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens oder ungünstiger Einflüsse der Erosion begrenzt bleiben.

⁶ Die Lagerauslegung ist eine weitergehende und für alle Standortgebiete in SGT Etappe 3 anwendbare Konkretisierung des grundlegenden Lagerkonzepts. Sie berücksichtigt stufengerecht Anforderungen an die Sicherheit, technische Machbarkeit und den Umgang mit vorhandenen Ressourcen sowie das Gebot der Optimierung.

- **Radionuklidtransport:** Die technischen Barrieren⁷ werden so ausgelegt, dass die Radionuklidfreisetzung hauptsächlich über die natürlichen Barrieren⁸ erfolgt.
- Die HAA produzieren nach der Einlagerung und Verfüllung aufgrund des andauernden radioaktiven Zerfalls Wärme. Der **Wärmetransport** von den Abfällen über die benachbarten Barrieren soll so erfolgen, dass die Barrieren nicht geschädigt werden.
- Die SMA bilden nach der Einlagerung und Verfüllung infolge chemischer Prozesse Gas. Die Barrieren sind so auszulegen, dass eine geringe **Gasbildungsrate** und eine hohe **Gas-speicherkapazität** gewährleistet wird und das Gas auch über die technischen Barrieren **wegtransportiert** werden kann.
- Die Auslegung (inkl. Materialwahl) der technischen Bauwerke hat so zu erfolgen, dass es zu keinen sicherheitstechnisch relevanten, negativen geochemischen Wechselwirkungen kommt und die **geochemische Kompatibilität** zwischen verschiedenen Systemkomponenten gewährleistet ist.
- Alle Bauwerke, insbesondere die Versiegelungen und Verfüllungen, sollen unter anderem zur **mechanischen Stabilität** der umgebenden Barrieren beitragen.

Ein Katalog der qualitativen und quantitativen Anforderungen an die Lagerkonfiguration und -auslegung aus Sicht der Langzeitsicherheit ist im Nagra Arbeitsbericht NAB 24-18 zu finden.

Der Grossteil der Anforderungen wird bereits durch die Wahl des Lagerkonzepts und der Lage der Lagerfelder⁹ umgesetzt. Die für den Rohbau der Untertaganlagen relevanten Anforderungen sind in Kapitel 4.1 zusammengestellt.

2.2 Gewährleistung der Sicherheit und Machbarkeit

Die Realisierung des gTL soll umweltverträglich, innerhalb eines angemessenen Zeitraums und zu verhältnismässigen Kosten erfolgen. Sie soll mit heutzutage verfügbaren und bewährten Materialien, Technologien und Geräten für den Bau, Betrieb und Verschluss umsetzbar sein.

Das Tiefenlager ist so auszulegen, dass es gegenüber den verbleibenden Ungewissheiten weitgehend unempfindlich ist (Robustheit, Zuverlässigkeit). Die Nagra strebt ein robustes, zuverlässiges und dauerhaftes Tiefenlager an, dessen Tragwerke und Bauteile in der Lage sind, Schädigungen auf Ausmasse zu begrenzen, die in einem vertretbaren Verhältnis zur Ursache stehen. Die phasenweisen Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit müssen vom Rohbau der Untertaganlagen somit auch unter Berücksichtigung von Unschärfen in der Erfassung von Einwirkungen, in der Tragwerksmodellierung und in der Ermittlung von Auswirkungen zuverlässig erfüllt werden.

Der Realisierung des geologischen Tiefenlagers wird der Realisierungsplan eines Kombilagers gemäss Entsorgungsprogramm 2021 (EP21, Nagra 2021a) zugrunde gelegt. Das EP21 beschreibt die verschiedenen Realisierungsphasen Bau, Betrieb, Beobachtung und Verschluss, die teilweise überlappend sind. Sie sind in Fig. 2-1 für ein Kombilager dargestellt, die Realisierungspläne der Einzellager nach EP21 befinden sich in Anhang C.

⁷ Technische Komponente, die über den Verschluss hinaus in einem gTL verbleibt und gemäss Sicherheitskonzept passiv zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt.

⁸ Geologisches Umfeld eines Tiefenlagers, dass gemäss Sicherheitskonzept passiv wirkend zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt.

⁹ Gesteinskörper untertag, der eine Gruppe nebeneinander platzierter Lagerkammern für einen Abfalltyp, inklusive dem Mindestabstand um die Lagerkammern, umschliesst.

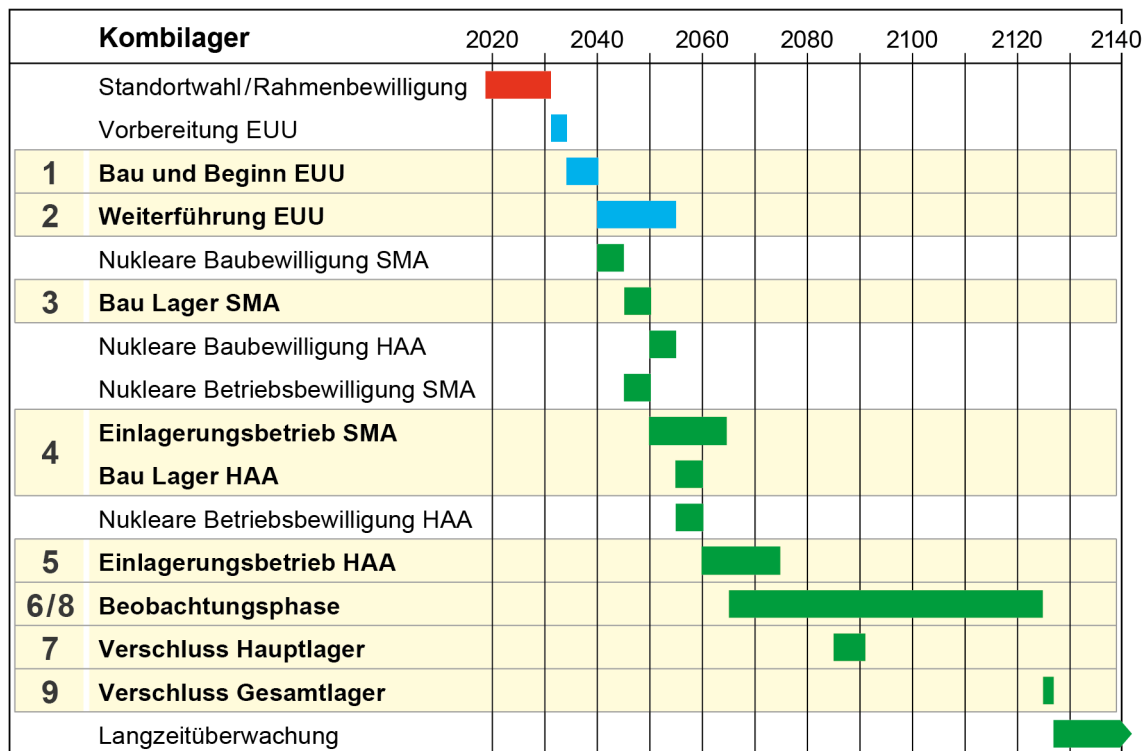


Fig. 2-1: Realisierungsplan für ein Kombilager, ergänzt nach EP21

(Nagra 2021a)

Hervorgehoben sind die Phasen mit Bau- und Betriebstätigkeit; diese Phasen wurden nummeriert und werden nachfolgend erläutert.

Werden die Phasen ohne Bau- und Betriebstätigkeit ausgeklammert, ergeben sich für das Vorhaben Kombilager bis zum Verschluss des geologischen Tiefenlagers insgesamt neun Phasen, die in Kapitel 3.3 näher beschrieben werden. Die Bewilligungsphasen und die Phase der Langzeitüberwachung sind für die Nutzungsvereinbarung des Rohbaus der Untertaganlagen momentan nicht zu berücksichtigen.

Die untertägigen Bauwerke sind so auszulegen, dass sie den Bau, den Betrieb und den Verschluss des geologischen Tiefenlagers gewährleisten können:

- Die **Bau- und Betriebstätigkeiten** müssen gemäss den gesetzlichen und behördlichen Vorgaben bezüglich Umweltschutz, Personen- und Arbeitssicherheit sowie Gesundheitsschutz erfolgen.
- Die **Bauwerke** müssen die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit während der geforderten Nutzungsdauer gewährleisten.
- Mit den **erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU)** werden die geologischen Erkundungen vor Ort auf Lagerniveau weitergeführt, auch während der anschliessenden Bauphasen. Sie dienen der Bestätigung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtsgesteins und sollen den Sicherheitsnachweis standortspezifisch erhärten. Zudem müssen sicherheitsrelevante Technologien für die Einlagerung und Rückholung von Abfällen in den Bauten für EUU (BEUU) demonstriert werden. Die dafür erforderliche Infrastruktur und ein Arbeitsprogramm für die EUU sind im Konzept EUU in Nagra (2021b) zu finden.

- Das für die **Einlagerung** der HAA und SMA benötigte Volumen muss bereitgestellt werden. Es wird von einem Abfallvolumina¹⁰ gemäss EP21 (Nagra 2021a) ausgegangen. Das Betriebskonzept für die geologische Tiefenlagerung ist in Nagra (2022a) beschrieben.
- Die **Beobachtungsphase** stellt gemäss KEG (2003) den längeren Zeitraum dar, während dem ein geologisches Tiefenlager vor dem Verschluss des Gesamtlagers überwacht wird. In der Beobachtungsphase müssen der Zugang zu den Kontrollstollen der Pilotlager und das Durchführen der erforderlichen Messungen gewährleistet werden.
- Der **Verschluss** des gTL sieht die schrittweise Verfüllung der noch offenen untertägigen Hohlräume mit adäquatem Verfüllmaterial sowie die einlagerungsbegleitende Verfüllung und Versiegelung der Lagerkammern (Lagerstollen und Lagerkavernen) und weiterer Tunnels und Schächte vor. Das Verschlusskonzept ist in Nagra (2021c) beschrieben.
- Die Rückholung stellt keine planmässige Phase und somit auch keine zu berücksichtigende Nutzung des geologischen Tiefenlagers dar. Eine Rückholung ohne grossen Aufwand ist bis zum Abschluss der Beobachtung durch das Lagerkonzept und die geordnete Einlagerung gewährleistet.

¹⁰ Für Angaben zu den detaillierten Eigenschaften der Abfälle wird auf Nagra (2014) verwiesen. Die Datenbank des Modellhaften Inventars für radioaktive Materialien (MIRAM) wurde für das RBG aktualisiert und das Abfallvolumen bestätigt.

3 Vorgaben Realisierung

Ausgangslage für die Planung der Lagerprojekte ist das Lagerkonzept der Nagra gemäss EP21. Das Lagerkonzept zeigt, wie das geologische Tiefenlager in seinen Grundzügen gestaltet wird. Die Vorgaben in den folgenden Kapiteln ergeben sich grösstenteils aus dem Lagerkonzept.

Die für ein gTL notwendigen Module (Nagra 2022c) werden eingangs grafisch dargestellt (Kapitel 3.1). Im darauffolgenden Kapitel (3.2) werden die standortspezifischen Vorgaben der Schachtstandorte bzw. der Lage der Portale und der Lagerfelder erläutert. Kapitel 3.3 beschreibt die Realisierungsphasen des gTL, welche im Laufe des Vorhabens gTL durchlaufen werden. Daraus ergeben sich die in Kapitel 3.4 hergeleiteten Nutzungsdauern der einzelnen untertägigen Bauwerke. Anforderungen aus den unterschiedlichen Nutzungszuständen werden in Kapitel 3.5 aufgezeigt.

3.1 Lagerarchitektur

Jeweils mehrere Bauwerke des gTL, die gemeinsam eine Funktion erfüllen und räumlich miteinander verbunden sind, werden in Module zusammengefasst. Die Module (Fig. 3-1) stellen standortunabhängige Bausteine dar, die, unter Berücksichtigung der Beziehungen untereinander (Anforderungen; siehe Kapitel 4), zu standortspezifischen Lagerprojekten angeordnet werden.

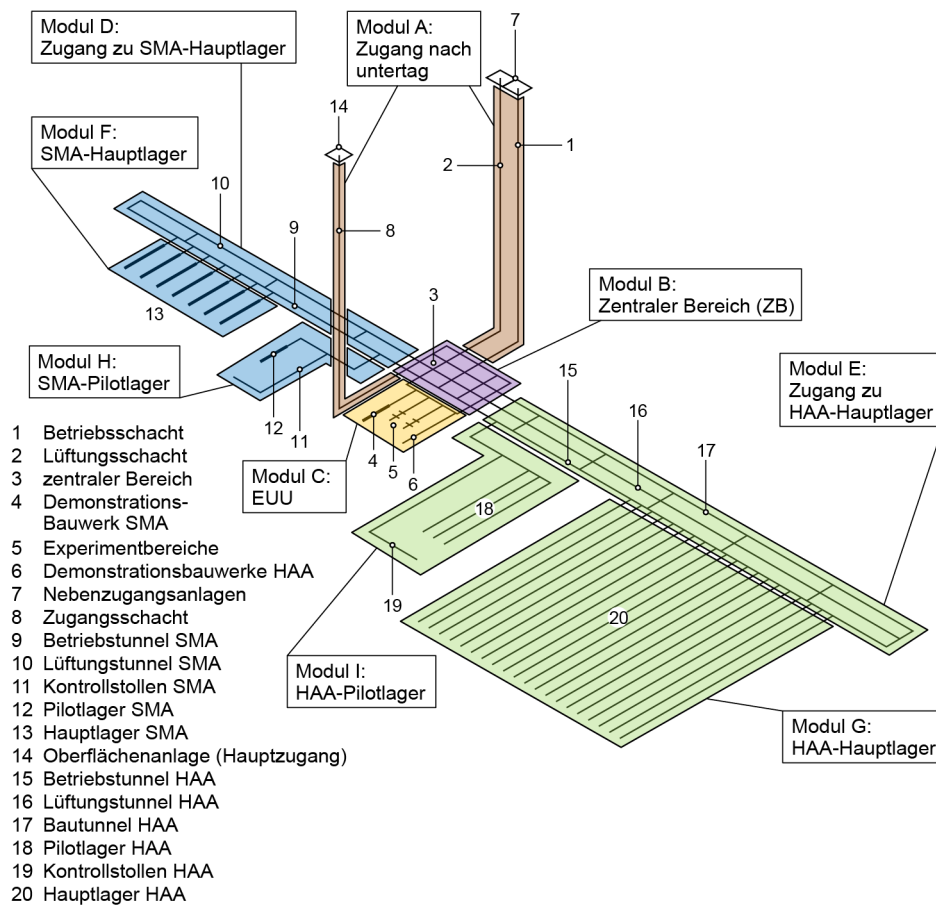


Fig. 3-1: Systemskizze eines Kombilagers mit Schachterschliessung inkl. Bezeichnungen der Module

aus Nagra (2022c)

Das Modul A «Zugang nach untertag» beinhaltet die Erschliessung der Lagerebene von der Oberfläche aus. Es stellt die Verbindung von der Oberflächenanlage [14] und der Nebenzugangsanlage [7] zur Lagerebene dar und besteht aus den folgenden Bauwerken:

- Betriebsschacht [1]
- Lüftungsschacht [2]
- Zugangsschacht [8]

Das Modul B «zentraler Bereich» (ZB) beinhaltet alle erforderlichen Bauwerke und Anlagen für die Ver- und Entsorgung resp. für den Bau, Betrieb und späteren Verschluss des geologischen Tiefenlagers auf der Lagerebene. Das Modul nimmt deshalb im Bereich der Schachtfüsse eine Scharnierfunktion zwischen den Zugangsbauwerken (Modul A) und den Zugängen zu den HAA- und SMA-Hauptlagern (Module D und E) ein.

Das Modul C «EUU» [4 bis 6], beinhaltet die Bauwerke für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag, aufgeteilt in den Demonstrationsbereich SMA [4], die Experimentbereiche [5] und den Demonstrationsbereich HAA [6], die über die Bauwerke des ZB (Modul B) zu erreichen sind.

Mit dem Modul D «Zugang zu SMA-Hauptlager» wird die Erschliessung des SMA-Hauptlagers (Modul F) hergestellt. Es stellt die Verbindung zwischen ZB [3] (Modul B) und SMA-Hauptlager [13] (Modul F) bzw. Pilotlager SMA [12] (Modul H) her und besteht aus folgenden Bauwerken:

- Betriebstunnel SMA [9]
- Lüftungstunnel SMA [10]
- Querverbindungen SMA zwischen den Tunneln [9] und [10]
- Lagerkavernenabzweiger und -abzweigertunnel SMA, angeschlossen an [9] bis zum Abladebereich SMA
- Ablade- und Übernahmebereich SMA zu den einzelnen Lagerkavernen SMA [13]

Das Modul F «SMA-Hauptlager» [13] beinhaltet die Lagerkavernen SMA. In den Lagerkavernen SMA werden die in Endlagerbehältern verpackten SMA dauerhaft eingelagert.

Das Modul H «SMA-Pilotlager» besteht aus dem SMA-Pilotlager [12] und dem SMA-Kontrollstollen [11], der für die messtechnische Überwachung des Pilotlagers benötigt wird.

Mit dem Modul E «Zugang zu HAA-Hauptlager» wird die Erschliessung des HAA-Hauptlagers hergestellt. Es stellt die Verbindung zwischen den Bauten im ZB [3] (Modul B) und dem HAA-Hauptlager [20] (Modul G) her und besteht aus den folgenden Bauwerken:

- Betriebstunnel HAA [15]
- Lüftungstunnel HAA [16]
- Bautunnel HAA [17]
- Querverbindungen HAA zwischen den Tunneln [15] bis [17]
- Lagerstollenabzweiger zwischen [15] und den Umladebereichen
- Umladebereich zu den einzelnen HAA-Lagerstollen [20]

Das Modul G, HAA-Hauptlager [20], beinhaltet die Lagerstollen HAA. In den Lagerstollen HAA werden die in Endlagerbehältern verpackten HAA dauerhaft eingelagert.

Das Modul I «HAA-Pilotlager» besteht aus dem HAA-Pilotlager [18] und dem HAA-Kontrollstollen [19], der für die messtechnische Überwachung des Pilotlagers benötigt wird.

Die Bauwerke der einzelnen Module werden teilweise in verschiedenen Phasen (Fig. 2-1) erstellt (siehe Kap. 3.3). Eine detaillierte Beschreibung des Modularisierungskonzepts und der Module kann Nagra (2022c) entnommen werden.

3.2 Vorgaben Schacht- respektive Portalstandorte, Lagerfelder und Zugangskonfiguration

Auf der Basis der Lage der Schacht- bzw. Portalbauwerke, der Lagerfelder und unter Berücksichtigung des Haupteerschliessungsbereichs (HEB, Nagra 2019a), in dem der ZB liegt, sind pro Standort die spezifischen Lagerprojekte zu entwickeln. Im Hinblick auf den Standortvergleich ist dies als Resultat des Vorgehens gemäss ENSI (2018), für folgende sechs Lagerprojekte (Tab. 3-1) durchzuführen:

Tab. 3-1: Übersicht der Standortgebiete mit Angabe der zu entwickelnden Lagerprojekte

Standort	HAA-Einzellager	Kombilager	SMA-Einzellager
Jura Ost	ja	nein	ja
Nördlich Lägern	ja	ja	nein
Zürich Nordost	ja	nein	ja

Auf Grundlage von Vorschlägen der Nagra in Nagra (2019b) und in Nagra (2019c) wurden in einem partizipativen Prozess mit den betroffenen favorisierten Standorten die Areale für Oberflächen- und Nebenzugangsanlagen festgelegt. Die Lagerprojekte basieren auf den Arealen der Oberflächenanlage (OFA) und Nebenzugangsanlagen (NZA) nach Tab. 3-2 sowie dem OFA-Areal «ZNO-9», welches im Zuge des Partizipationsprozesses das OFA-Areal ZNO-6 abgelöst hat. Die Lage der Schachtköpfe und Portale befindet sich auf diesen Arealen und wurde auf Basis einer beispielhaften Anordnung der Oberflächenanlagen bestimmt.

Tab. 3-2: Übersicht der verwendeten Oberflächeninfrastruktur (OFI) gemäss Nagra (2019b) und (2019c)

Lagerprojekt	OFA-Areal	NZA-Betrieb	NZA-Lüftung
JO – HAA	Zwilag via JO-3+	JO-B1 «Tongrube Schmidberg»	JO-L2
JO – SMA	Zwilag via JO-3+	JO-B1 «Tongrube Schmidberg»	JO-L2
NL – HAA	NL-6	NL-BL1	NL-BL1
NL – Kombi	NL-6	NL-BL1	NL-BL1
ZNO – HAA	ZNO-9	ZNO-BL1	ZNO-BL1
ZNO – SMA	ZNO-9	-	ZNO-L ¹¹

Die Lage der Lagerfelder für die HAA und die SMA wurde unter Berücksichtigung geologischer und langzeitsicherheitstechnischer Kriterien für den Standortvergleich platziert und damit für die Lagerkonfiguration vorgegeben (Nagra NAB 24-01 *in Bearb.*). Die Anforderungen der Langzeitsicherheit an die Lage der Lagerfelder sind, unter weiteren Anforderungen der Langzeitsicherheit, aus Gründen der Nachvollziehbarkeit in Kapitel 4.1 detailliert beschrieben.

Beispielhaft sind in Fig. 3-2 für ein Kombilager am Standort NL die Schachtstandorte und die Lagerfelder SMA und HAA abgebildet. Die Lage der jeweiligen Schachtstandorte und Lagerfelder für alle sechs zu entwickelnden Lagerprojekte sind in Anhang A ersichtlich.

¹¹ Das ZNO-L Areal ist identisch mit dem ZNO-BL1 Areal (lediglich andere Bezeichnung bei gleicher Lage und Grösse) und beherbergt für ein SMA-Einzellager nur einen Lüftungsschacht. Dieser wird in der Grösse eines Betriebsschachts ausgeführt, um über diesen Schacht das SMA-Einzellager bauen zu können.

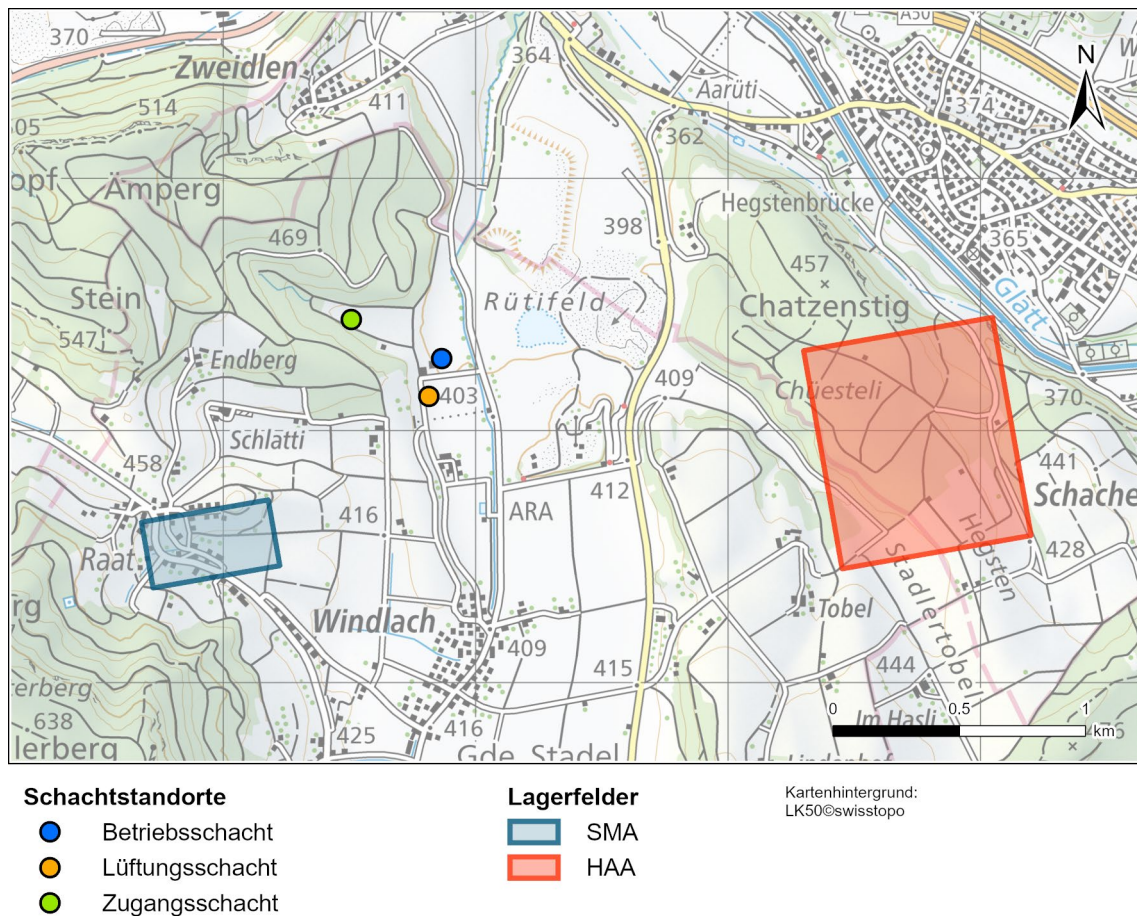


Fig. 3-2: Darstellung der Anfangs- und Endpunkte eines Lagerprojekts am Beispiel NL-Kombilager

Um eine möglichst vertikal mittige Anordnung der Lagerfelder im Opalinuston (OPA) zu erreichen und gleichzeitig eine Ausrichtung der Lagerkammern in die Richtung der maximalen Hauptspannungen (ca. Richtung Schichtfallen) zu gewährleisten (vgl. Kap. 4.1) sind rechteckige Lagerfelder vorgesehen.

Die Zugangsconfiguration wird u.a. bestimmt durch die betriebliche Anforderung, dass immer mindestens zwei Zugangsbauwerke offen zu halten und zu betreiben sind. Dies, um immer mindestens einen Flucht-, Rettungs- und Evakuations- sowie Interventionsweg (FREI-Wege¹²) zu gewährleisten, auch wenn ein Zugangsbauwerk durch ein Ereignis blockiert bzw. nicht nutzbar ist (vgl. Kap. 6.6). Durch den parallelen Bau- und Einlagerungsbetrieb beim HAA-Lager (vgl. Kap. 4.2) ist für HAA-Einzellager und das Kombilager ein weiterer Zugang erforderlich. Der

¹² FREI = Flucht, Rettung und Evakuierung sowie Intervention

FREI-Wege = Flucht-, Rettungs- und Evakuations- sowie Interventionswege

Zugang nach untertag erfolgt demnach über zwei (SMA-Einzellager) respektive drei (HAA-Einzellager und Kombilager) voneinander unabhängige Zugangsbauwerke:

- Hauptzugangsbauwerk: Zugangsschacht oder Zugangstunnel ab Oberflächenanlage
- Nebenzugangsbauwerk: Betriebsschacht oder Betriebszugangstunnel ab Nebenzugangsanlage (NZA-B)
- Nebenzugangsbauwerk: Lüftungsschacht ab Nebenzugangsanlage (NZA-L)

Ein Zugangstunnel kommt dann zum Einsatz, wenn zwischen der Lage der OFA / NZA an der Oberfläche und dem Haupteerschliessungsbereich grosse horizontale Distanzen zu überwinden sind, wie dies am Standort Jura Ost der Fall ist. In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 3-3) werden die Zugangsbauwerke für die zu entwickelnden Lagerprojekte zusammengestellt.

Tab. 3-3: Übersicht der Zugangsbauwerke der zu entwickelnden Lagerprojekte

Standort	Lagervariante	Hauptzugang	Nebenzugang Betrieb	Nebenzugang Lüftung
JO	HAA-Einzellager	Zugangstunnel via Stichtunnel ¹³ mit Trennwand (Zugangsabteil)	Betriebszugangstunnel mit Trennwand (Betriebsabteil)	Lüftungsschacht
JO	SMA-Einzellager	Zugangstunnel via Stichtunnel	(Betriebs-) Zugangstunnel	Lüftungsschacht
NL	HAA-Einzellager	Zugangsschacht	Betriebsschacht	Lüftungsschacht
NL	Kombilager	Zugangsschacht	Betriebsschacht	Lüftungsschacht
ZNO	HAA-Einzellager	Zugangsschacht	Betriebsschacht	Lüftungsschacht
ZNO	SMA-Einzellager	Zugangsschacht	(siehe Fussnote 14 bei Lüftungsschacht)	Lüftungsschacht ¹⁴

Die Zugangsconfiguration mit drei Schächten trifft somit für ein HAA-Einzellager und ein Kombilager an den Standorten Nördlich Lägern und Zürich Nordost zu. Am Standort Jura Ost verfügt ein Tiefenlager standortgebunden physisch nur über zwei Zugänge von der Oberfläche zur Lagerebene: dem Lüftungsschacht (Fig. 1-1, Nr. 2) und einem Tunnel (Rampe), welcher für das HAA-Einzellager durch eine Trennwand in ein Zugangsabteil (Fig. 1-1, Nr. 8) und ein Betriebsabteil (Fig. 1-1, Nr. 1) mit den analogen Funktionen eines Zugangs- und Betriebsschachts unterteilt ist. Die Systemskizze in Fig. 1-1 ist daher sinngemäss auch für das HAA-Einzellager im Standortgebiet JO gültig.

Ein SMA-Einzellager verfügt über zwei Zugänge, dem Zugangsschacht (JO: Zugangstunnel ohne Trennwand) und dem Lüftungsschacht.

¹³ Abzweiger aus dem (Betriebs-) Zugangstunnel Richtung Areal JO-3+ Richtung Zwischenlager Würenlingen AG (Zwilag). Ab dem Abzweiger wird beim HAA-Einzellager die Trennwand im (Betriebs-) Zugangstunnel realisiert.

¹⁴ Am Standort und in der Grösse des Betriebsschachts realisiert.

3.3 Phasenspezifische Funktionen

Nachfolgend werden die in Fig. 2-1 gezeigten neun Phasen mit untertägigen Bau- und Betriebs-tätigkeiten zur Realisierung eines Kombilagers beschrieben (Tab. 3-4 bis Tab. 3-12, entnommen aus Nagra 2022c und um die Zeitspanne ergänzt).

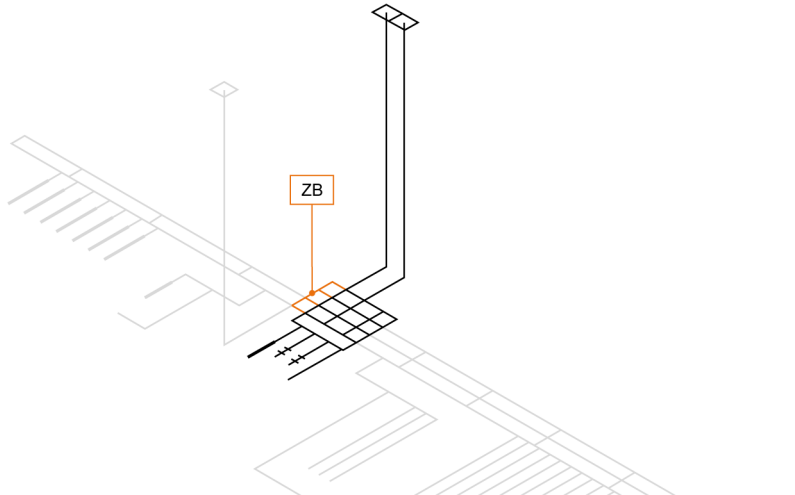
Der Fokus der Beschreibung ist, ausgehend von der Nutzung, auf die **Funktionen** gerichtet, welche die Untertaganlagen in den unterschiedlichen Phasen zu erfüllen haben. Die aus den Funktionen abgeleiteten **Anforderungen** sind ab Kapitel 4.2 beschrieben. Für jede Phase des Kombilagers wird die Zeitspanne gemäss EP21 (Nagra 2021a) angegeben.

Eine detailliertere Beschreibung der einzelnen (Nutzungs-) Phasen kann aus Nagra (2022c) entnommen werden. Die Phasen (Tab. 3-4 bis Tab. 3-12) können sinngemäss, durch Weglassen einzelner Phasen oder Streichen von Tätigkeiten innerhalb einer Phase, für die Einzellager angewendet werden.

Tab. 3-4: Funktionen der Phase 1 – Bau und Beginn EUU

Phase	1 – Bau und Beginn EUU
Vorgesehene Nutzung	Nach Bewilligung des Baugesuchs folgt der Bau von zwei Zugangsbauwerken (Betriebsschacht oder (Betriebs-)Zugangstunnel und Lüftungsschacht) ab den Arealen der NZAs bis auf Lagerebene, von welchen aus der zentrale Bereich und die Bauten für die EUU erstellt werden. Letzteres beinhaltet die Experimentbereiche sowie die Demonstrationsbauwerke HAA und SMA. Gegen Ende der Phase beginnen die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Bau Zugangsbauwerke, ZB und Bauten EUU</i>» • Transport von Bau- und Ausbruchmaterial sowie aller für den Bau und den Aufbau der Experimente erforderlichen Gerätschaften und Medien • Personentransporte für Baupersonal • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen Für die Tätigkeit „<i>EUU-Betrieb</i>“ am Ende der Phase • Ver- und Entsorgung des EUU-Betriebs (Gerätschaften und Medien) • Personentransporte für Betriebspersonal EUU und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung des EUU-Betriebs (inkl. des zentralen Bereichs) • Betrieb der Anlage (inkl. Experimente)

Tab. 3-5: Funktionen der Phase 2 – Weiterführung erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag

Phase	2 – Weiterführung EUU
Vorgesehene Nutzung	Nach Abschluss der Phase 1 werden die erdwissenschaftlichen Untersuchungen zur Bestätigung sicherheitsrelevanter Eigenschaften sowie zur Optimierung der Auslegung der Bauwerke auf Lagerebene weitergeführt. Parallel werden letzte Teile des zentralen Bereichs ausgebrochen.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „Fertigstellung ZB“ • Transport von Bau- und Ausbruchmaterial sowie aller für den Bau erforderlichen Gerätschaften und Medien • Personentransporte für Baupersonal und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung- und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen (Vortriebe und weitere Arbeitsstellen) Für die Tätigkeit „Euu-Betrieb“ • Ver- und Entsorgung des EUU-Betriebs (Gerätschaften und Medien) • Personentransporte für Betriebspersonal EUU und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung- und Kühlung bzw. Bewetterung des EUU-Betriebs (inkl. des zentralen Bereichs) • Betrieb der Anlage (inkl. Experimente)
Graphische Darstellung	 Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut - - - / - - - Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase - - - / - - - In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt - - - / - - - In früheren Phasen verfüllt und versiegelt — Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	Weiterführung EUU 2040 bis/mit 2055

Tab. 3-6: Funktionen der Phase 3 – Bau Lager SMA

Phase	3 – Bau Lager SMA
Vorgesehene Nutzung	In der Phase 3 werden das Zugangsbauwerk (Zugangsschacht oder Zugangstunnel) ab dem OFA-Areal abgeteuft und ab dem zentralen Bereich die Zugänge zum Lager SMA sowie das Pilotlager SMA und das Hauptlager SMA aufgeföhren.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Bau Zugangsbauwerk und Bau SMA-Lager</i>“ • Transport von Bau- und Ausbruchmaterial sowie aller für den Bau erforderlichen Gerätschaften und Medien • Personentransporte für Baupersonal und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen (Vortriebe und weitere Arbeitsstellen) Für die Tätigkeit „<i>EUU-Betrieb</i>“ • Ver- und Entsorgung des EUU-Betriebs (Material, Gerätschaften und Medien) • Personentransporte für Betriebspersonal EUU und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung des EUU-Betriebs (inkl. des zentralen Bereichs) • Betrieb der Anlage (inkl. Experimente)
Graphische Darstellung	Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut --- / --- Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase --- / --- In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt --- / --- In früheren Phasen verfüllt und versiegelt ⊥ Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>Bau Lager SMA 2046 bis/mit 2050</i>

Tab. 3-7: Funktionen der Phase 4 – Einlagerungsbetrieb SMA & Bau Lager HAA

Phase	4 – Einlagerungsbetrieb SMA & Bau Lager HAA
Vorgesehene Nutzung	Mit dem Vorliegen der nuklearen Betriebsbewilligung für den SMA-Lagerteil beginnt der Einlagerungsbetrieb SMA (ab 2050). Dabei wird zuerst das SMA-Pilotlager mit einer repräsentativen Auswahl von Abfallgebinden beschickt, verfüllt, verschlossen und die Langzeitüberwachung im SMA-Pilotlager aufgenommen. Anschliessend beginnt die Einlagerung im Hauptlager SMA. Die SMA werden durch den Zugangstunnel oder Zugangsschacht auf Lagerebene gebracht. Nach dem Vorliegen der nuklearen Baubewilligung HAA erfolgt der Bau des HAA-Lagerteils (ab 2055). Dazu werden die Zugänge zum HAA-Hauptlager über den Betriebszugang (Betriebsschacht oder (Betriebs-)Zugangstunnel) und Teile des zentralen Bereichs aufgeföhren. In dieser Phase werden zudem das Pilotlager HAA sowie die ersten HAA-Lagerstollen erstellt.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Einlagerungsbetrieb SMA</i>“ ab 2050 • Transport von (ggf. in Transportbehältern) verpackten Endlagerbehältern zu den Übernahmebereichen vor den Lagerkammern sowie ggf. von leeren Transportbehältern zurück • Transport von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien für die Verfüllung und Versiegelung der Lagerkavernen • Transport von Betriebspersonal und Besuchern • Ver- und Entsorgung des Einlagerungsbetriebs (Energie, Druckluft etc.) • Flucht- und Interventionsweg • Frischluftversorgung und Kühlung der Arbeitsorte Für die Tätigkeit „<i>Bau Lager HAA</i>“ ab 2055 • Transport von Bau- und Ausbruchmaterial sowie aller für den Bau erforderlichen Gerätschaften und Medien • Personentransporte für Baupersonal und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen (Vortriebe und weitere Arbeitsstellen) Für die Tätigkeit „<i>EUU-Betrieb</i>“ • Ver- und Entsorgung des EUU-Betriebs (Material, Gerätschaften und Medien) • Personentransporte für Betriebspersonal EUU und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung des EUU-Betriebs (inkl. des zentralen Bereichs) • Betrieb der Anlage (inkl. Experimente)

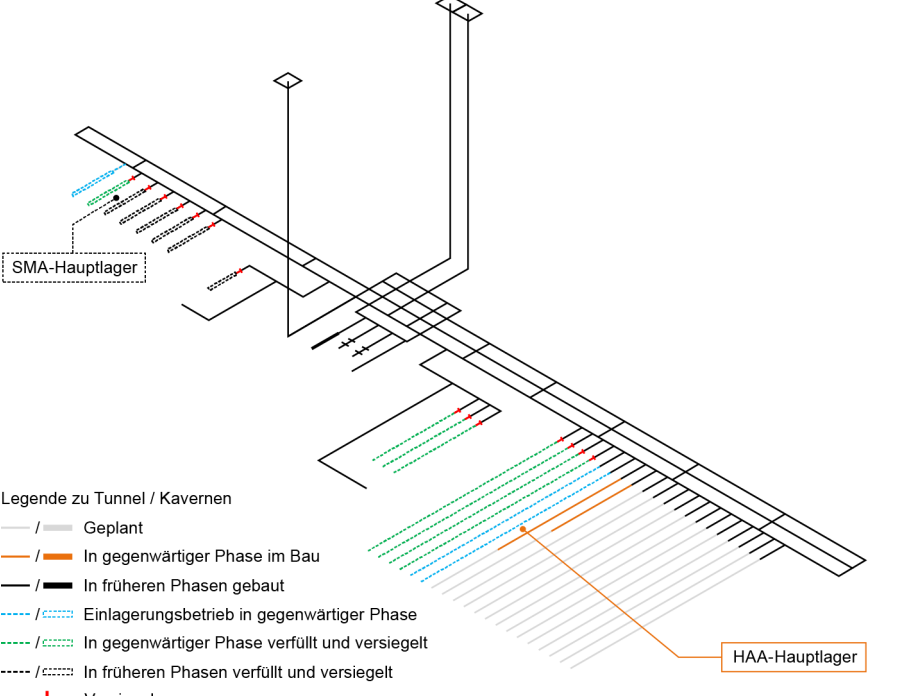
Tab. 3-7 Fortsetzung

Phase	4 – Einlagerungsbetrieb SMA & Bau Lager HAA
Graphische Darstellung	Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut --- / --- Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase --- / --- In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt --- / --- In früheren Phasen verfüllt und versiegelt — / — Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>SMA-Einlagerung 2050 bis/mit 2064</i> <i>Bau Lager HAA (Zugänge und erste Lagerstollen) 2055 bis/mit 2059</i>

Tab. 3-8: Funktionen der Phase 5 – Einlagerungsbetrieb HAA / Erweiterung HAA-Lager

Phase	5 – Einlagerungsbetrieb HAA (& Erweiterung HAA-Lager)
Vorgesehene Nutzung	Nach der Erteilung der nuklearen Betriebsbewilligung für den HAA-Lager teil beginnt die Einlagerung der HAA. Dabei wird zuerst das Pilotlager HAA mit einer repräsentativen Auswahl von Abfallgebinden beschickt, verschlossen und die Langzeitüberwachung im Pilotlager aufgenommen, gefolgt von der Einlagerung in die HAA-Lagerstollen. Dazu werden jeweils parallel weitere Lagerstollen erstellt (zwei pro Jahr) und im Folgejahr die Abfälle eingelagert. Die HAA werden über den Zugangsschacht oder Zugangstunnel auf Lager-ebene gebracht. Die Bautätigkeiten werden über den Betriebsschacht oder (Betriebs-)Zugangstunnel abgewickelt. Am Ende dieser Phase sind sowohl die SMA- als auch die HAA-Einlage- rung abgeschlossen.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Fortführung Einlagerungsbetrieb SMA</i>“ bis/mit 2064 • Transport von (ggf. in Transportbehältern) verpackten Endlager- behältern zu den Übernahmebereichen vor den Lagerkammern sowie ggf. von leeren Transportbehältern zurück • Transport von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien für die Verfüllung und Versiegelung der Lagerkavernen • Transport von Betriebspersonal und Besuchern • Ver- und Entsorgung des Einlagerungsbetriebs (Energie, Druckluft etc.) • Flucht- und Interventionsweg • Frischluftversorgung und Kühlung der Arbeitsorte Für die Tätigkeit „<i>Einlagerungsbetrieb HAA</i>“ 2060 bis/mit 2074 • Transport von (in Transportbehältern) verpackten Endlagerbehältern zu den Übernahmebereichen vor den Lagerstollen sowie von leeren Transportbehältern zurück • Transport von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien für die Verfüllung und Versiegelung der Lagerstollen • Transport von Betriebspersonal und Besuchern • Ver- und Entsorgung des Einlagerungsbetriebs (Lüftung, Energie, Druckluft etc.) • Flucht- und Interventionsweg • Frischluftversorgung und Kühlung der Arbeitsorte Für die Tätigkeit „<i>Erweiterung HAA-Lager - Bau Lagerstollen HAA</i>“ ab 2060 bis/mit ca. 2068 • Transport von Bau- und Ausbruchmaterial sowie aller für den Bau er- forderlichen Gerätschaften und Medien • Personentransporte für Baupersonal und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen (Vortriebe und weitere Arbeitsstellen)

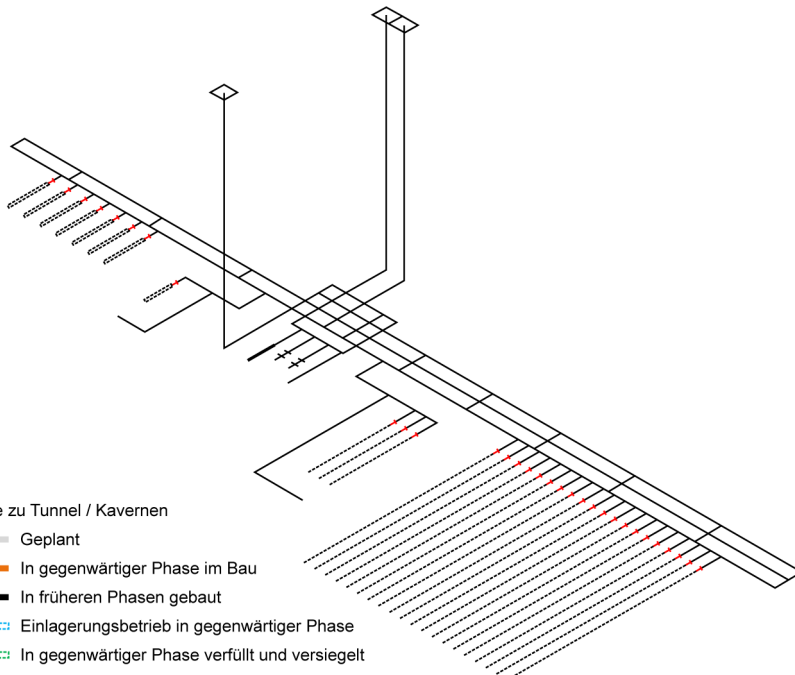
Tab. 3-8 Fortsetzung

Phase	5 – Einlagerungsbetrieb HAA (& Erweiterung HAA-Lager)
Graphische Darstellung¹⁵	 Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut --- / --- Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase --- / --- In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt --- / --- In früheren Phasen verfüllt und versiegelt — / — Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>Einlagerungsbetrieb SMA 2050 bis/mit 2064</i> <i>Einlagerungsbetrieb HAA 2060 bis/mit 2074¹⁶</i> <i>Erweiterung HAA-Lager 2060 bis/mit ca. 2068 (letzten Lagerstollen)</i>

¹⁵ Die Grafik zeigt illustrativ Einlagerungen in der letzten SMA-Kaverne und parallelen Einlagerungsbetrieb der HAA, nachdem die HAA-Pilotlagerstollen bereits verschlossen sind.

¹⁶ Bei Einhaltung des Jahrestakts resultiert eine Zeitreserve von 4 Jahre gegenüber dem Realisierungsprogramm des EP21.

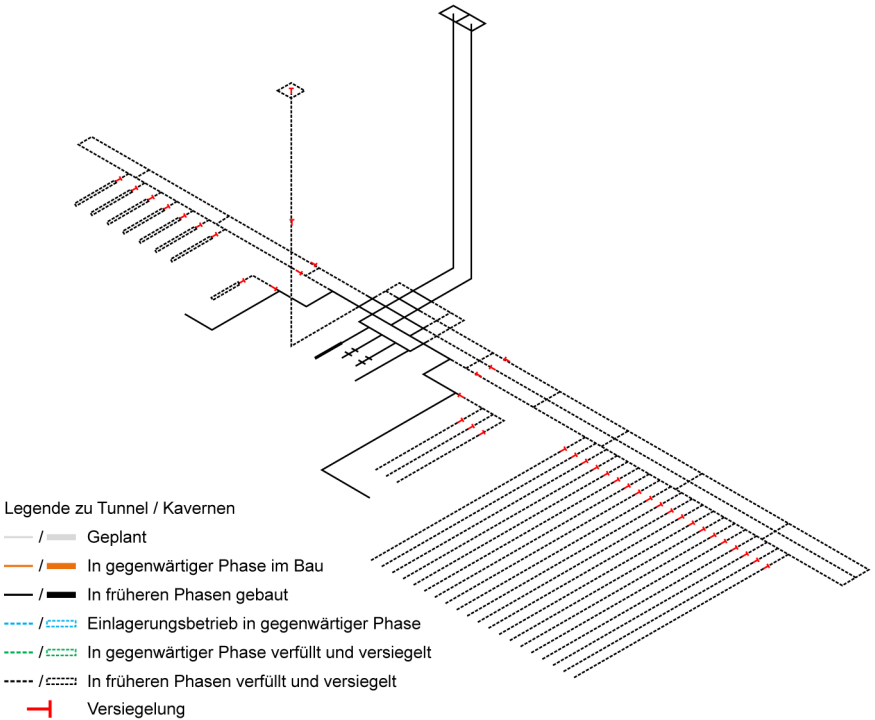
Tab. 3-9: Funktionen der Phase 6 – Beobachtungsphase (bis/mit Verschluss Hauptlager)

Phase	6 – Beobachtungsphase (Beobachtungsphase I)
Vorgesehene Nutzung	Die Beobachtungsphase im jeweiligen Lagerbereich beginnt, wenn alle SMA bzw. HAA eingelagert und die Lagerkammern verschlossen sind. In der Beobachtungsphase wird die Entwicklung des geologischen Tiefenlagers u.a. anhand von Messungen an den Pilotlagern (über die Kontrollstellen), sowie Überwachungsaktivitäten in der Umgebung des Tiefenlagers für längere Zeit beobachtet.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Beobachtungsbetrieb</i>“ • Ver- und Entsorgung der beobachteten Bereiche (Materialien, Energie, Druckluft, Brauchwasser etc.) • Personentransporte für Betriebspersonal Beobachtung und Besucher • Flucht- und Interventionswegs • Luftführung- und Kühlung bzw. Bewetterung
Graphische Darstellung	 Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut - - - / - - - Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase - - - / - - - In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt - - - / - - - In früheren Phasen verfüllt und versiegelt — Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>Beobachtungsphase</i> ab 2066 (bis/mit 2124, siehe Phase 8)

Tab. 3-10: Funktionen der Phase 7 – Verschluss Hauptlager

Phase	7 – Verschluss Hauptlager
Vorgesehene Nutzung	Während der Beobachtungsphase werden im Hinblick auf den Verschluss des Gesamtlagers als erster Schritt die Zugänge zu den Haupt- und Pilotlagern SMA und HAA auf Lagerebene verfüllt und weitere Versiegelungen eingebaut. Zudem wird das Hauptzugangsbauwerk rückgebaut bzw. verschlossen.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Beobachtungsbetrieb</i>“ 2085 bis/mit 2091 (2125) • Ver- und Entsorgung der beobachteten Bereiche (Materialien, Energie, Druckluft, Brauchwasser etc.) • Personentransporte für Betriebspersonal Beobachtung und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung Für die Tätigkeit „<i>Verschluss Hauptlager</i>“ ab 2085 bis/mit 2091 • Transport von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien für die Verfüllung und die Versiegelung der Lagerfelder, weiterer nicht mehr benötigter Hohlräume und des Zugangsschachts • Transport von Baupersonal und Besuchern • Ver- und Entsorgung der Baustellen (Energie, Druckluft etc.) • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen
Graphische Darstellung	Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut — / — Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase — / — In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt — / — In früheren Phasen verfüllt und versiegelt — / — Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>Verschluss Hauptlager</i> 2085 bis/mit 2091

Tab. 3-11: Funktionen der Phase 8 – Fortsetzung der Beobachtungsphase

Phase	8 – Fortsetzung der Beobachtungsphase (Beobachtungsphase II)
Vorgesehene Nutzung	Auch nach dem Verschluss der Haupt- und Pilotlager bleibt der Zugang zum EUU-Bereich sowie den Kontrollstollen des HAA- und SMA-Pilotlagers über die verbleibenden Zugänge offen. Die Beobachtung / Überwachung wird weitergeführt.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „<i>Beobachtungsbetrieb</i>“ 2092 bis/mit 2124 • Ver- und Entsorgung der beobachteten Bereiche (Materialien, Energie, Druckluft, Brauchwasser etc.) • Personentransporte für Betriebspersonal Beobachtung und Besucher • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung
Graphische Darstellung	 Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut - - - / - - - Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase - - - / - - - In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt - - - / - - - In früheren Phasen verfüllt und versiegelt —+— Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>Fortsetzen der Beobachtungsphase</i> 2085 bis/mit 2124

Tab. 3-12: Funktionen der Phase 9 – Verschluss Gesamtlager

Phase	9 – Verschluss Gesamtlager
Vorgesehene Nutzung	Nach Abschluss der Beobachtungsphase erfolgt der Verschluss der bis dann noch verwendeten und offenen Testbereiche der EUU, der Kontrollstollen, aller weiteren offenen Bauwerke auf Lagerebene und der zwei Schächte.
Erforderliche Funktionen	Für die Tätigkeit „Verschluss Gesamtlager“ • Transport von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien für die Verfüllung und die Versiegelung des gTL • Transport für Baupersonal und Besucher • Ver- und Entsorgung der Baustellen (Energie, Druckluft etc.) • Flucht- und Interventionsweg • Luftführung und Kühlung bzw. Bewetterung der Baustellen
Graphische Darstellung	Legende zu Tunnel / Kavernen — / — Geplant — / — In gegenwärtiger Phase im Bau — / — In früheren Phasen gebaut --- / --- Einlagerungsbetrieb in gegenwärtiger Phase --- / --- In gegenwärtiger Phase verfüllt und versiegelt --- / --- In früheren Phasen verfüllt und versiegelt — Versiegelung
Zeitspanne gemäss EP21	<i>Verschluss Gesamtlager 2125 bis/mit 2127</i>

3.4 Nutzungsdauer Rohbau

Die Nutzungsdauer ist definiert als Zeitspanne ab Errichtung, während der ein Tragwerk oder ein Bauteil bei Überwachung und Instandhaltung gemäss Überwachungs- und Unterhaltsplan wie vorgesehen genutzt werden kann (SIA 2013). Bis zur gezielten Verfüllung des jeweiligen Bauwerks im Zuge des Verschlusses der Lager wird eine bauliche und betriebliche Instandhaltung vorausgesetzt. Instandsetzungen sind während der geforderten Nutzungsdauer der Bauwerke zu vermeiden. Die Nutzungsdauer des Ausbaus (Verkleidung Schacht und Tunnel) umfasst den Zeit-

raum zwischen dessen Erstellung und der Verfüllung des Bauwerks¹⁷ unter Berücksichtigung einer angemessenen Reserve.

Die Bauabfolge der einzelnen Untertagbauwerke innerhalb einer Phase ist stufengerecht nicht detailliert festgelegt. Daher wird konservativ die Nutzungsdauer aus Beginn und Ende der Phasen (Kapitel 2.2) berechnet (Ergebnis: Nutzungsdauer netto). Eine Ausnahme hiervon bilden die Lagerstollen des Pilotlagers HAA und des Lagerfelds HAA, für welche die Nutzungsdauer genauer bekannt ist. Pro Jahr werden zwei Lagerstollen erstellt und parallel dazu in zwei zuvor erstellte Lagerstollen sukzessive die Endlagerbehälter (ELB) eingebracht sowie laufend verfüllt (Einlagerungsbetrieb HAA – Phase 5). Daraus ergibt sich, unter Berücksichtigung der Pilotlagerstollen, eine Nutzungsdauer von ungefähr drei Jahren pro Lagerstollen.

Entgegen der Darstellung in Tab. 3-5 wird für die Ermittlung der Nutzungsdauer die Erstellung des zentralen Bereichs nicht etappiert, sondern als ein Bauwerk betrachtet. Für die Demonstrationsbauwerke des Bereichs EUU wird angenommen, dass diese die gleiche Nutzungsdauer wie die dazugehörigen Lagerbauwerke aufweisen müssen. Sollen die Demonstrationsbauwerke länger verwendet werden, müssen sie entsprechend dimensioniert werden.

Fig. 3-3 stellt die Nutzungsdauern der Bauwerke in der Übersicht dar. Die detaillierte Herleitung der Nutzungsdauern für die einzelnen Bauwerke befindet sich in Tab. 3-13.

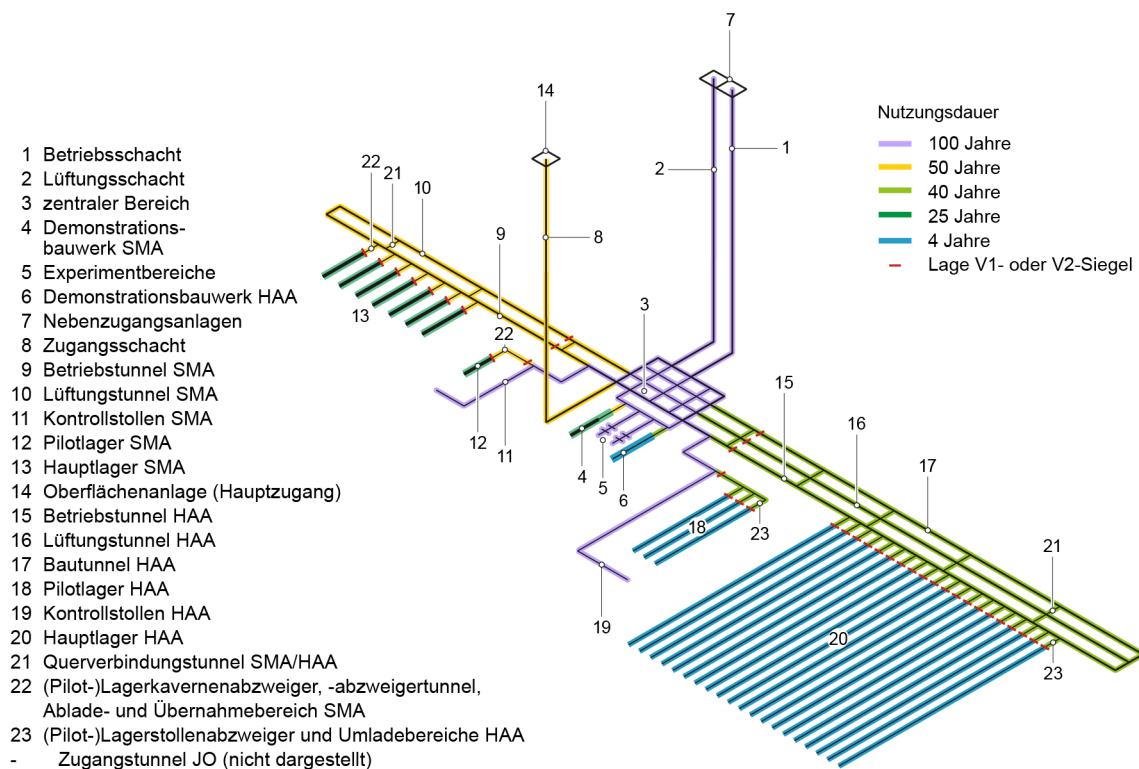


Fig. 3-3: Graphische Darstellung der pro Bauwerk geforderten Nutzungsdauer am Beispiel Kombilager

¹⁷ Die Rückholung ist keine planmässige Phase in der Realisierung des gTL und ist daher nicht bei der Festlegung der Nutzungsdauer zu berücksichtigen. Siehe hierzu die besonderen Vorgaben der Bauherrschaft in Kap. 7.1.

Die Nutzungsdauer gilt für sämtliche Bauteile des Ausbaus der Untertaganlagen (einschaliger Ausbau bzw. Verkleidung / Innenschale bei zweischaligem Ausbau). Die Trag- und Gebrauchstauglichkeit ist für die Nutzungsdauer der jeweiligen Bauwerke gemäss SIA 260 (SIA 2013) nachzuweisen. Die Nutzungsdauer der einzelnen Bauwerke ist in die Projektbasis (Nagra 2023f) zu übernehmen und in den statischen Bemessungen (Nagra 2023g) der Bauteile zu berücksichtigen.

Bei zweischaligem Ausbau weist die Ausbruchsicherung eine temporäre Tragfunktion auf und hat demzufolge nach dem Einbau des Innengewölbes (Verkleidung) keine tragende Funktion mehr.

Erforderliche Zusatzausbrüche (z.B. Nischen für Installationen) müssen die gleiche Nutzungsdauer aufweisen wie die jeweiligen Streckenbauwerke.

Tab. 3-13 zeigt die festgelegten Nutzungsdauern pro Untertagbauwerk. Für die Übersichtlichkeit werden Bauwerke mit ähnlichen Nutzungsdauern in Gruppen zusammengefasst.

Tab. 3-13: Zusammenstellung der Nutzungsdauer der einzelnen Untertagbauwerke

Bauwerk	Zeitpunkt Erstellung (ab)	Zeitpunkt Verfüllung (bis/mit)	Nutzungsdauer (netto) [Jahre]	Nutzungsdauer (festgelegt) [Jahre]
Betriebsschacht (NL, ZNO)	2034	2127	94	100
Lüftungsschacht	2034	2127	94	100
Zugangsschacht (NL, ZNO)	2046	2091	46	50
Zugangstunnel bzw. Betriebs- zugangstunnel (JO) exkl. Stichtunnel zur Zwiilag	2034	2127	94	100
Stichtunnel zur Zwiilag (Zugangstunnel JO)	2046	2091	46	50
Zentraler Bereich	2034	2127	94	100
EUU-Bereich: Experimente	2034	2127	94	100
EUU-Bereich: Demonstrationsbauwerke SMA, Abzweigertunnel	2034	2079 ¹⁸	46	50
EUU-Bereich: Demonstrationsbauwerke SMA, Kaverne, Übernahme- und Abladebereich	2034	2052	19	25
EUU-Bereich: Demonstrationsbauwerke HAA, Abzweiger und Umladebereich	2034	2070	37	40

¹⁸ Aufgrund der Annahme, dass die Nutzungsdauer der Bauwerke des Hauptlagers auch für die Demonstrationsbauwerke im EUU-Bereich gelten, wurde der späteste Zeitpunkt der Verfüllung berechnet. Die Herleitung gilt für alle Demonstrationsbauwerke im EUU-Bereich.

Tab. 3-13 Fortsetzung

Bauwerk	Zeitpunkt Erstellung (ab)	Zeitpunkt Verfüllung (bis/mit)	Nutzungsdauer (netto) [Jahre]	Nutzungsdauer (festgelegt) [Jahre]
EUU-Bereich: Demonstrationsbauwerke HAA, Lagerstollen HAA	2034	2036	3	4
HAA-Lagerfeld, Lagerfeldzugänge, Betriebs- Lüftungs- und Bautunnel inkl. Querverbindungen (mit Ausnahme Teilstück Betriebstunnel)	2055	2091	37	40
HAA: Teilstück Betriebstunnel bis Abzweiger Pilotlager, Pilotlager- zugang, Kontrollstollen	2055	2127	73	100
HAA: Lagerstollenabzweiger und Umladebereiche (inkl. Pilotlager)	2055	2091	37	40
HAA: Pilotlagerstollen HAA	~ 2058	2060	3	4
HAA: Lagerstollen 1 + 2	~ 2059	~ 2061	3	4
HAA: Lagerstollen 3 + 4	~ 2060	~ 2062	3	4
...				
HAA: Lagerstollen 19 + 20	~ 2068	~ 2070 ¹⁹	3	4
SMA-Lagerfeld, Lagerfeldzugänge, Betriebs- und Lüftungstunnel inkl. Querver- bindungen (mit Ausnahme Teilstück Betriebstunnel)	2046	2091	46	50
SMA: Teilstück Betriebstunnel bis Abzweiger Pilotlager, Pilotlager- zugang, Kontrollstollen	2046	2127	82	100
SMA: Lagerkavernenabzweiger und Lagerkavernenabzweigertunnel (inkl. Pilotlager)	2046	2091	46	50
SMA: Abladebereich, Übernahme- bereich und Lagerkaverne (inkl. Pilotlager)	2046	2064	19	25

Die Nutzungsdauern wurden vom Realisierungsplan des Kombilagers (Fig. 2-1) abgeleitet. Für die Einzellager ergeben sich bei einzelnen Bauwerken geringere Nutzungsdauern, die im Sinne eines konservativen Ansatzes nicht berücksichtigt werden.

¹⁹ Bei Einhaltung des Jahrestakts resultiert eine Zeitreserve von ca. 4 Jahren gegenüber dem Realisierungsprogramm des EP21. Für die Nutzungsdauer spielt dies keine Rolle, solange Einlagerung und Verschluss direkt anschliessend an den Bau erfolgen.

3.5 Nutzungszustände des gTL

In jeder Phase treten unterschiedliche Nutzungszustände auf. Der Normalbetrieb, auch Regelbetrieb genannt, stellt den Regelfall des Ablaufs einer Aktivität oder des Betriebs von technischen Anlagen dar. Der Normalbetrieb wird in definierten Zeitabständen durch den Unterhaltsbetrieb unterbrochen, welcher der Anlagenwartung dient. Müssen einzelne Bereiche umgerüstet werden, ist dies ebenfalls eine geplante Abweichung vom Normalbetrieb.

Störfälle²⁰ und Ereignisse (z.B. Brand im konventionellen Bereich) stellen hingegen ungeplante Abweichungen vom Normalbetrieb dar, die das Eingreifen eines Sicherheitssystems erfordern.

Unter Verwendung einer Störfallanalyse muss in den kommenden Projektierungsphasen nachgewiesen werden, dass ein abdeckendes Spektrum von Störfällen durch definierte Schutzmassnahmen wirksam beherrscht wird und damit die grundlegenden Schutzziele eingehalten werden. Die Schutzmassnahmen müssen ausreichend zuverlässig und ausgewogen sein.

²⁰ Jeder vom Normalbetrieb abweichende Anlagezustand, der ein Eingreifen eines Sicherheitssystems erfordert (gemäss KEV). Ereignis, bei welchem eine Anlage vom Normalbetrieb abweicht und (i) die Sicherheit einer Anlage oder eines Gegenstandes beeinträchtigt wird (technischer Störfall); (ii) das zu einer Überschreitung eines Immissionsgrenzwerts oder des Dosisgrenzwerts für nichtberuflich strahlenexponierte Personen führen kann (radiologischer Störfall); oder (iii) bei dem jemand einer Dosis von mehr als 50 mSv ausgesetzt wird (Strahlenunfall) (gemäss StSV).

4 Anforderungen an Lagerkonfiguration und Normalprofile

Im Folgenden werden die Anforderungen, welche an die Lagerkonfiguration und Normalprofile^{2/} gestellt werden, hergeleitet und beschrieben. Die Anforderungen resultieren aus den Vorgaben der Langzeitsicherheit (Kapitel 4.1), der verschiedenen Betriebsphasen des gTL (Kapitel 4.2) und der Verschlussphase (Kapitel 4.3). Anforderungen des Baus sind in Kapitel 4.4 erläutert. Die Abschlusskapitel 4.5 und 4.6 fassen die aus den Anforderungen abgeleiteten geometrischen Randbedingungen und einzuhaltenden Lichtraumprofile (LRP) der untertägigen Bauwerke zusammen.

Kapitel 4.7 beschreibt die Anforderungen an temporäre Bauteile, Bauwerke und Bauzustände.

Anforderungen an die untertägigen Bauwerke des gTL aufgrund der übergeordneten Konzepte (Zonenkonzept, Lüftungskonzept, Flucht- und Rettungskonzept sowie Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz etc.), sind in Kapitel 5.8 beschrieben. Anforderungen an die Bauwerke des gTL aufgrund des Rückholungskonzepts werden in Kapitel 7.1 aufgeführt. All diese Anforderungen sind, falls auslegungsbestimmend, bei der Entwicklung der Normalprofile ebenfalls zu berücksichtigen.

4.1 Anforderungen aus der Langzeitsicherheit

Die Gewährleistung der Langzeitsicherheit nach Verschluss des gTL hat bei der Entwicklung der Lagerprojekte oberste Priorität. Ein gTL ist so auszulegen und zu implementieren, dass nach seinem Verschluss keine weiteren Massnahmen zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit erforderlich sind (vgl. Kap. 2.1).

Die Langzeitsicherheit beruht auf den folgenden fünf Sicherheitsfunktionen für das Tiefenlagersystem als Ganzes:

- **S1: Isolation** der radioaktiven Abfälle von der Erdoberfläche
- **S2: Vollständiger Einschluss** der Radionuklide für eine gewisse Zeit (v.a. für HAA)
- **S3: Immobilisierung, Rückhaltung und langsame Freisetzung** der Radionuklide
- **S4: Kompatibilität** der Elemente des Mehrfachbarrierensystems und der radioaktiven Abfälle untereinander und mit anderen Materialien
- **S5: Langzeitstabilität** des Mehrfachbarrierensystems bezüglich geologischer und klimatischer Langzeitentwicklungen

Zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit sind, wie in (Nagra NAB 24-18) hergeleitet und beschrieben, für die Lagerkonfiguration des gTL die nachfolgend aufgeführten quantitativen oder qualitativen Anforderungen zu erfüllen. Jede dieser Anforderungen unterstützt dabei eine oder mehrere Sicherheitsfunktionen, auf denen die Langzeitsicherheit beruht.

Anforderungen für das gTL, respektive für das HAA- und SMA-Lager aus der LZS:

- Möglichst vertikal mittige Lage der Lagerfelder und der übrigen Bauwerke auf Lagerebene im Wirtgestein;
- Genügend grosser Abstand aller Untertagbauwerke zueinander;
- Genügend grosser seitlicher Abstand der Schächte zu den Lagerfeldern;

^{2/} Das Normalprofil stellt den typischen Querschnitt eines Tunnels dar, inklusive der Angabe der Nutzräume, die durch die Lichtraumprofile definiert werden.

- Verschluss des gTL durch Versiegelung und Verfüllung der Hohlräume;
- Möglichst geringe Schädigung des Wirtgesteins durch den Bau;
- Minimierung der Menge an Bewehrungsstahl respektive anderer metallischer Strukturen oder gasbildenden Stoffen, die im Tiefenlager verbleiben;
- Ausreichende Wärmeleitfähigkeit des Ausbaus der Lagerkammern;
- Ausrichtung der Lagerstollen und Lagerkavernen in Richtung der maximalen horizontalen Hauptspannungen, d.h. JO 170°, NL 170° und ZNO 170° gegenüber Norden;
- Abstand zu kartierten Störungen oder strukturellen Vertiefungen von mindestens 175 m;
- Abstand zu bestehenden Tiefbohrungen von mindestens 50 m;
- Im Falle eines Kombilagers: Mindestabstand SMA-Lager zu HAA-Lager von 200 m;
- Mindestabstand zwischen BEUU (Testbereich) und den Bauwerken des zentralen Bereichs von 80 m;
- Sicherheitsabstand zwischen Achse Betriebstunnel und Anfang V1-Versiegelung (Versiegelung der Lagerkammern) mindestens 100 m (Verschluss inkl. Versiegelung siehe Kapitel 4.3);
- Abstand Pilotlager zum Hauptlager mindestens 200 m;
- Separater Zugangstunnel zum Pilotlager in Form eines kurzen Abzweigers aus dem jeweiligen Betriebstunnel.

Nur für das HAA-Lager geltende Anforderungen aus der LZS:

- HAA-Lagerstollen als Blindstollen ausführen;
- HAA-Lagerstollen fallend (schichtparallel) anordnen, mit einer maximalen Neigung der Lagerstollen von 10 %;
- Mindestachsabstand der Lagerstollen zueinander von 40 m;
- Minimaler Durchmesser der Lagerstollen $D = 2.50 \text{ m}$ ($= 1.10 \text{ m} + 2 \times 0.70 \text{ m}$ / Durchmesser ELB = 1.10 m, plus umhüllende technische Barriere von 0.70 m); → Auslegung siehe Kapitel 4.4, Anforderungen aus dem Bau)
- Begrenzung der Ausdehnung von geologischen Auflockerungszonen bzw. deren Ausprägung (Einsatz einer Schild-TBM und von Tübbing);
- Keine Beeinträchtigung der homogenen (Auf-) Sättigung der Bentonitverfüllung durch den Ausbau inkl. Hohlraumverfüllung der Stollen;
- Verfüllen (Injektion) der Hohlräume zwischen der Ausbruchsicherung und dem Wirtgestein;
- Begrenzung der Hydratationswärme des Injektionsmörtels auf maximal Paläotemperatur des Opalinustons;
- Minimierung (soweit technisch möglich) der Konzentration organischer Beimischungen im Zement des Ausbaus.

Nur für das SMA-Lager geltende Anforderungen aus der LZS:

- Mindestens ca. 20 m Transportpfadlänge der Radionuklide im intakten Opalinuston, ausgehend von jedem Punkt der SMA-Lagerkaverne;
- SMA-Kavernen als Blindkavernen ausführen;
- Mindestachsabstand der SMA-Kavernen zueinander von 80 bis 100 m (Planungsannahme 85 m);
- Begrenzung der Länge der horizontal angeordneten Lagerkavernen (Länge siehe Anforderung aus dem Einlagerungsbetrieb, Kapitel 4.2.3), aufgrund der Schichtneigung des Wirtgesteins;
- Begrenzung der Ausdehnung von geologischen Auflockerungszonen bzw. deren Ausprägung (Einsatz geeignetes Bauverfahren und Ausbau für die SMA-Lagerkavernen);
- Wahl des optimalen SMA-Lagerkavernenprofils zur Minimierung der Auflockerungszone;
- Keine nachteiligen Auswirkungen der entstehenden Zementhydratationswärme auf technische und natürliche Barrieren;
- Begrenzung der schädlichen Wechselwirkung zwischen zementgebundenen Einbauten und den natürlichen und technischen Barrieren;
- Keine Mobilisierung der Radionuklide durch Zusatzstoffe im Ausbau der Kavernen;
- Verwendung eines Zements mit hohem pH-Wert für die Innenschale der Lagerkavernen.

Einige Anforderungen der Langzeitsicherheit werden durch das Lagerkonzept und die Vorgabe der Lage der Lagerfelder (Rechteck mit X-, Y- und Z-Koordinaten der Eckpunkte der Lagerflächen) bereits erfüllt (siehe hierzu Erläuterungen in Kap. 3.2 und Anhang A). Die weiteren Anforderungen der LZS müssen in der Ausarbeitung der standortspezifischen Lagerprojekte berücksichtigt werden.

4.2 Anforderungen aus dem Betrieb (EUU, Einlagerung und Beobachtung)

Für den EUU- und Beobachtungsbetrieb, vor allem aber für den Einlagerungsbetrieb der HAA- und SMA-Abfälle, sind Spezialgeräte und -fahrzeuge (überwiegend Pneufahrzeuge) notwendig. Aus deren Spezifikation und Abmessungen, in Verbindung mit den Abmessungen der zu handhabenden HAA- und SMA-Abfallbehälter, resultieren geometrische Anforderungen wie Lichtraumprofile, Längen, Minimalradien oder maximale Neigungen an die Bauwerke. Zudem ist eine entsprechende Fahrbahnbeschaffenheit für die Pneufahrzeuge vorzusehen.

Nachfolgend sind diese Anforderungen aus den einzelnen Betriebsphasen (Betrieb übergeordnet, EUU, Einlagerung und Beobachtung) aufgeführt.

Gelten Anforderungen in einer Phase für das gesamte gTL, sind diese vorgängig beschrieben. Anforderungen, die entweder nur für den Bereich des Lagerfelds HAA oder SMA gelten, sind im Anschluss daran separat aufgeführt.

4.2.1 Betrieb übergeordnet

Folgende übergeordneten Anforderungen aus dem Betrieb gelten über alle (Bau- und) Betriebsphasen:

- Zugangsbauwerke (ZBW) – Es sind im Regelbetrieb immer mindestens zwei Zugangsbauwerke offen zu halten und zu betreiben (vgl. Kap. 6.6).

- Es ist ein durchgehender Fluchtweg $B = 0.8 \text{ m}$, $H = 2.0 \text{ m}$ zu gewährleisten, vgl. Kap. 6.6 (Ausnahme: Lagerkammern, Zusammenstellung LRP's siehe Kapitel 4.6 und Anhang B).
- Die Normalprofile müssen den Anforderungen der Lüftung in allen Betriebsphasen genügen (vgl. Kap. 6.3). Im Falle einer Sonderlüftung (Lutte) bei Blindstollen oder -kavernen ist die Lutte im Querschnitt als LRP-Lüftung zu berücksichtigen. Das Lüftungs- und Kühlungskonzept ist in Nagra (2022b) beschrieben.

Folgende Bauwerke sind in den Phasen gemäss Tab. 4-1 im zentralen Bereich und in der Nähe des EUU-Bereichs zu erstellen und zu betreiben, um die Betriebslogistik des gTL sicherzustellen. Weiterführende Angaben zu den einzelnen Bauwerken finden sich in den Systemdefinitionen in Anhang B.

Tab. 4-1: Übersicht der für die Betriebslogistik benötigte Bauwerke des zentralen Bereichs

B = in Betrieb, (B) = in Betrieb am Ende der Phase, (n.B.) = nach Bedarf

Phasen Bauwerke	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phasen 4 & 5 & 6	Phase 7	Phase 8	Phase 9
Rettungsraum	(B)	B	B	B	B	B	Gegen Ende der Phase 9 sind alle untertägigen Bauwerke erfüllt.
Betriebsraum 1	(B)	B	B	B	B	B	
Betriebsraum 2	-	-	-	B	-	-	
Einstellräume Betriebsfahrzeuge	-	-	-	B	-	-	
Verbindungstunnel im ZB	(B) (n.B.)	B (n.B.)	B (n.B.)	B	B (n.B.)	B (n.B.)	
Einstellraum Rettungsfahrzeuge	(B)	B	B	B	B	B	
Wassertank- Kaverne	-	-	-	B	-	-	
Werkstatt	-	-	-	B	-	-	
Elektrostation	-	-	-	B	-	-	
Zentrale Kühlanlage	(B)	B	B	B	B	B	
Betriebsraum EUU (Testbereich)	(B)	B	B	B	B	B	
Lüftungstunnel im ZB bis Rettungsraum	-	-	B	B	B	B	

Der Rettungsraum, der Einstellraum der Rettungsfahrzeuge und die Räume für die zentrale Kühlanlage werden sowohl vom Betrieb als auch vom Bau benötigt und stellen somit gemeinsam genutzte Bauwerke dar.

4.2.2 EUU-Betrieb

Weiterführende Informationen zum Konzept der erdwissenschaftlichen Untersuchungen sind in Nagra (2021b) zu finden.

Anforderungen aus dem EUU-Betrieb:

- ZBW – Betriebsschacht: Im Schacht ist eine Schachtförderanlage für den Transport des Baumaterials und der Personen vorzusehen.
- ZBW – Lichtraumprofil Betriebsschacht: Schwerlastförderanlage $B = 7.5 \text{ m}$, $L = 3.5 \text{ m}$, Hilfsfahreinrichtung für reine Personenfahrten mit Personenförderkorb mit $B = 1.8 \text{ m}$, $L = 1.8 \text{ m}$ für 10 Personen, Lichträume für Baulogistik (Abluft, Installationen für Ver- und Entsorgung, etc.) siehe Tab. 4-2.
- ZBW – Lüftungsschacht: Die Anforderungen der Lüftung in den Betriebsphasen ist im Lüftungskonzept (Nagra 2022b) beschrieben. Die freie Fläche des Lüftungsschachts muss diesen Anforderungen genügen (Annahme: Innendurchmesser = 6.0 m).
- Der EUU-Bereich ist nahe des zentralen Bereichs anzuordnen, aber mit einem Abstand von min. 80 m.
- Experimentbereich: Es sind pro Lagertyp (HAA und SMA) je 5 Nischen mit ca. 15 m Länge vorzusehen, die über einen Zugang zu erreichen sind.
- Es ist ein Lichtraumprofil für die Experimentbereiche EUU (siehe Fig. 1-1, Nr. 5) von $B = 2.5 \text{ m}$, $H = 3.5 \text{ m}$ zu berücksichtigen.
- Die Demonstrationsbauwerke je Lagerteil sind in den projektierten Querschnitten der Lagerbauwerke beider Lagerteile und mit vergleichbaren Bauverfahren zu erstellen.

Nur für den HAA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem EUU-Betrieb:

- Die Länge des HAA-Lagerstollens des Demonstrationsbauwerks beträgt 77 m.

Nur für den SMA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem EUU-Betrieb:

- Die Länge der SMA-Lagerkaverne des Demonstrationsbauwerks beträgt 26 m.

4.2.3 Einlagerungsbetrieb

Die Grösse der Lager, d.h. Volumen der Stollen und Kavernen, in denen die Abfälle eingebracht werden, ist abhängig von der Art, Menge und Verpackung der Abfälle. Das zugrunde liegende Abfallszenario geht von einem 60-jährigen Betrieb der Kernkraftwerke aus (KKW Mühleberg 47 Jahre²²) (Nagra 2021a).

Anforderungen aus dem Einlagerungsbetrieb:

- Die Anforderungen aus dem EUU-Betrieb gelten weiterhin.
- ZBW – Zugangsschacht: Im Schacht ist eine Schachtförderanlage für den Transport der einzulagernden Abfälle und des Einlagerungspersonals vorzusehen. Max. Nutzlast 100 t.

²² Das Kernkraftwerk Mühleberg wird nach einer Laufzeit von 47 Jahren gegenwärtig bereits zurückgebaut.

- ZBW – Lichtraumprofil Zugangsschacht: Förderkorb ca. $B = 7.2 \text{ m}$, $L = 3.1 \text{ m}$ und Personenkorb ca. $B = 3.4 \text{ m}$, $L = 1.2 \text{ m}$, siehe Tab. 4-2.
- ZBW – Zugangstunnel JO: Im Zugangstunnel erfolgt der Transport im Einlagerungsbetrieb mit einer Zahnradlokomotive. Ein Lichtraumprofil von $B = 3.20 \text{ m}$ und $H = 4.30 \text{ m}$ (obere Ecken gekappt, inkl. Bewegungsfreiraum der Lokomotive, LRP siehe Tab. 4-2 bzw. Anhang B.2) ist zu berücksichtigen.
- Der Kurvenradius des Betriebstunnels beträgt min. $R = 30 \text{ m}$.
- Die Neigung der Betriebstunnel und der für den Betrieb benötigten Tunnel / Kavernen im zentralen Bereich beträgt maximal 6 % (minimal 1 % zur Ableitung von Havarieflüssigkeiten oder Wasser aus Tunnelreinigungen)
- Das Lichtraumprofil (LRP) für den Anlagenbetrieb UTA, d.h. Verbindungstunnel im ZB, von $B = 2.5 \text{ m}$ und $H = 3.5 \text{ m}$ ist zu berücksichtigen.
- Ein Lichtraumprofil auf Lagerebene für den Einlagerungsbetrieb (Transport der Abfälle und der Geräte / Verfüllmaterialien bis zur V1-Versiegelung) von $B = 2.9 \text{ m}$ und $H = 3.5 \text{ m}$ ist zu berücksichtigen.
- Weitere Lichtraumprofile im zentralen Bereich für die Einrichtung des Betriebs sind ebenfalls zu berücksichtigen. Diese werden in Anhang B.3 aufgeführt.

Nur für den HAA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Einlagerungsbetrieb:

- Für die Aufnahme des Abfallmengengerüsts (Nagra 2021a) sind im Hauptlager 20 HAA-Lagerstollen mit einer Einlagerungslänge von je 850 m zu erstellen.
- Aufgrund des parallelen Baus und Betriebs der Lagerstollen ist neben dem Bau- und Betriebstunnel ein separater Lüftungstunnel vorzusehen.
- Die Nahfeldverfüllung der HAA-Lagerstollen erfolgt mittels «Lagerstollen-Verfüllgerät» (LRP: $L = 9.7 \text{ m}$, $B = 2.0 \text{ m}$, $H = 2.25 \text{ m}$).
- Der Kurvenradius der Lagerstollenabzweiger beträgt min. $R = 22 \text{ m}$ (gewählt Achse $R = 22.5 \text{ m}$).
- Die Breite des LRPs für den Anlagenbetrieb wird im Lagerstollenabzweiger reduziert auf $B = 2.4 \text{ m}$.
- Die Kurvenverbreiterung im Lagerstollenabzweiger beträgt $d = 0.8 \text{ m}$.
- Die Umladebereiche HAA sind horizontal auszuführen (ohne Neigung).
- Die Länge des Umladebereichs beträgt min. $L = 46 \text{ m}$ (inkl. dem Schleusenbereich).
- Das umzusetzende LRP des Umladebereichs HAA entspricht dem Bewegungsspielraum des ELB-Umsetzgerätes, siehe Tab. 4-3.

Nur für den SMA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Einlagerungsbetrieb:

- Für die Aufnahme des Abfallmengengerüsts (Nagra 2021a) sind im Hauptlager 7 SMA-Lagerkavernen ($5 \times 230 \text{ m}$ Länge, $2 \times 245 \text{ m}$ Länge) zu erstellen (Reserven vorhanden).
- Die Ablade- und Übernahmebereiche sind horizontal auszuführen (ohne Neigung).
- Die SMA-Lagerkavernen sind horizontal (ohne Neigung) auszuführen.

- Der Kurvenradius der Lagerkavernenabzweiger (und -abzweigertunnel) beträgt min. $R = 20$ m.
- Die Kurvenverbreiterung im Lagerkavernenabzweiger beträgt $d = 0.3$ m.
- Das LRP des Ablade- und Übernahmebereichs SMA wird definiert durch diverse Krananlagen, siehe Tab. 4-3.
- Die Länge des Abladebereichs beträgt min. $L = 9.0$ m, die Länge des Übernahmebereichs min. $L = 11.0$ m.

Weitergehende Informationen zu den Prozessen der Einlagerung der HAA- und SMA-Abfälle können dem Betriebskonzept in Nagra (2022a) entnommen werden.

4.2.4 Beobachtungsbetrieb

Die Anforderungen an das Hauptlager gelten sinngemäss auch für die Pilotlager. Ausnahmen stellen die Anzahl und die Länge der Bauwerke dar.

Anforderungen aus dem Beobachtungsbetrieb:

- Kontrollstollen (in L-Form) um die Pilotlager, mit einem Abstand von mindestens 80 m (bis 100 m, Vorgabe Planung: 100 m).
- Das Lichtraumprofil der Kontrollstollen beträgt $B = 2.5$ m, $H = 3.5$ m.

Nur für den HAA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Beobachtungsbetrieb:

- Für die Aufnahme des Abfallmengengerüsts (Nagra 2021a) sind im Pilotlager drei HAA-Pilotlagerstollen mit einer Einlagerungslänge von je 150 m zu erstellen.

Nur für den SMA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Beobachtungsbetrieb:

- Für die Aufnahme des Abfallmengengerüsts (Nagra 2021a) ist im Pilotlager eine SMA-Pilotlagerkaverne mit einer Länge von 80 m zu erstellen.

4.3 Anforderungen des Verschlusses (Verfüllung und Versiegelung)

Die funktionalen Anforderungen sowie weiterführende Details zum Verschlusskonzept (Versiegelung und Verfüllung) sind in Nagra (2021c) zu finden.

Für den langfristigen, sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle werden die untertägigen Hohlräume in Etappen mit adäquatem Verfüll- und Versiegelungsmaterial verfüllt (Grafiken in den Tabellen in Kapitel 3.3 sowie Fig. 4-1).

Die Lagerkammern für die Abfälle werden direkt nach der Einlagerung mit V1-Versiegelungen verschlossen. In Phase 7 werden die Lagerfeldzugänge verfüllt und mit einer V2-Versiegelung versiegelt. Ausgenommen sind die Verbindungen aus dem ZB zu den Kontrollstollen HAA und SMA (Teilabschnitte der Betriebstunnels HAA/SMA), welche erst in der Phase 9 verfüllt werden. Die Zugangsbauwerke werden in Phase 7 (Zugangsschacht) und 9 (Betriebsschacht und Lüftungsschacht) mit V3-Versiegelungen verschlossen.

In der Lagerkonfiguration sind für die Versiegelungen die Lage und die Längen zu berücksichtigen. Die ungefähre Lage ist in Fig. 4-1 vorgegeben. Die endgültige Lage wird erst während des Baus festgelegt.

Das aktuelle Versiegelungskonzept sieht nicht vor, dass die Profile im Bereich der Versiegelungen für deren Einbau vorbereitet werden. Bei der Erstellung der Bauwerke sind daher keine vor-
gängigen Massnahmen für den späteren Einbau der Versiegelungen vorzusehen.

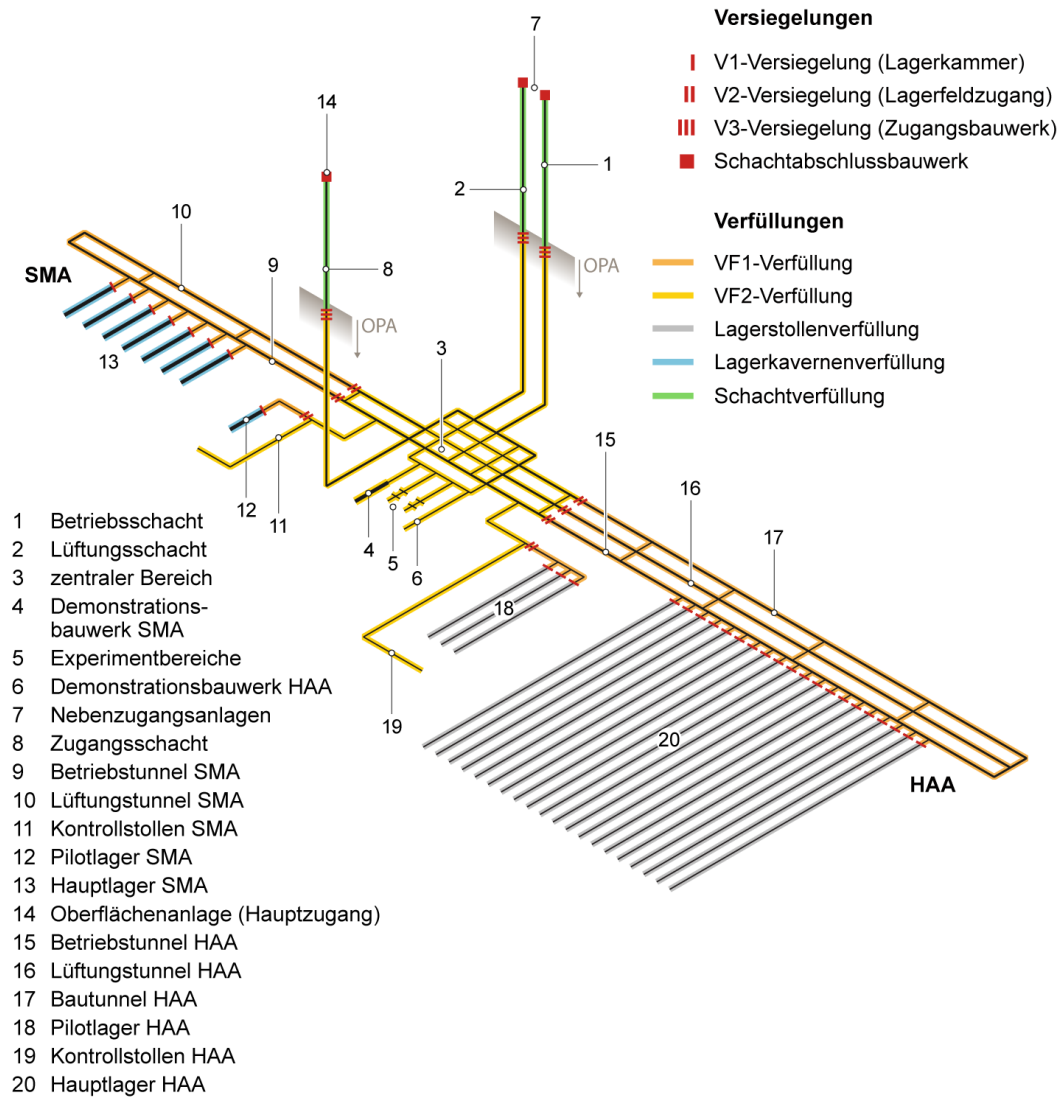


Fig. 4-1: Systemskizze der Untertaganlagen eines Kombilagers inklusive der Versiegelungen und Verfüllungen der einzelnen Komponenten
(Nagra 2021c)

Aus dem vorgesehenen Verschlusskonzept des gTL ergeben sich die folgenden Anforderungen:

Anforderungen aus dem Verschlusskonzept:

- Länge V2-Versiegelung (Versiegelung der Lagerfeldzugänge) ca. 40 m
- Länge V3-Versiegelung (Versiegelung der Zugangsbauwerke) ca. 45 m (bzw. vom Schachtfuss bis Oberkante Opalinuston)

Nur für das HAA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Verschlusskonzept:

- Länge V1-Versiegelung ca. 23 m (erstellt im Profil des HAA-Lagerstollens)

Nur für das SMA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Verschlusskonzept:

- Länge V1-Versiegelung ca. 32 m (am Ende des Lagerkavernenabzweigertunnels in Blickrichtung Kaverne)

Die Lichtraumprofile der benötigten Geräte für die Erstellung der Versiegelung (V1- und V2-Versiegelung), sowie für die Verfüllung ab der V1-Versiegelung in Richtung ZB / Schachtfuss (VF1- und VF2-Verfüllung gemäss Fig. 4-1), liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vor. Für die Verfüll- und Versiegelungsarbeiten wird zum heutigen Projektstand davon ausgegangen, dass die für den Einbau benötigten Lichtraumprofile der Transport- und Einbaugerätschaften nicht auslegungsbestimmend für die Normalprofile sind, respektive diese durch die aktuell berücksichtigten Lichtraumprofile des Einlagerungsbetriebs abgedeckt sind.

4.4 Anforderungen aus dem Bau

Die Anforderungen des Baus des gTL an die Lagerkonfiguration und die Normalprofile sind nachfolgend zusammengefasst:

Anforderungen aus dem Bau:

- Durchgehender Fluchtweg $B = 0.7 \text{ m}$, $H = 2.0 \text{ m}$ (Ausnahme: HAA-Lagerstollen, dort $B = 0.45 \text{ m}$, $H = 1.0 \text{ m}$);
- Lüftungs- und Bautunnel: Maximale Neigung 12 % (in Ausnahmefällen, wie z.B. Unter- oder Überführungen von Tunneln max. 15 %);
- ZBW Schächte – Bautechnischer Nutzraum²³ $t = 20 \text{ cm}$;
- ZBW Tunnel (Rampe und Stichtunnel in JO) – Bautechnischer Nutzraum $t = 20 \text{ cm}$;
- Bauwerke auf Lagerebene: Bautechnischer Nutzraum $t = 20 \text{ cm}$ (Ausnahme HAA-Lagerstollen und SMA-Lagerkavernen, siehe unten);
- Die Bereiche für die Baulogistik werden im zentralen Bereich eingerichtet. Der Platzbedarf für die Materialver- und -entsorgung der Vortriebe, für Transporteinrichtungen, für Materialumschlag, für untertägige Baustelleneinrichtungen (Werkstatt, Büro, etc.), für die Bauwasserhaltung inkl. deren Behandlung sowie für Strom- und Wasserversorgung ist dort entsprechend abzudecken. Bauwerke des Betriebs (siehe Tab. 4-1) können, wenn möglich, für die Baulogistik umgenutzt werden und bei Bedarf früher erstellt oder später verfüllt werden.

²³ Umgang mit bautechnischem Nutzraum im gTL siehe Anhang D

Nur für das HAA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Bau:

- Bautechnischer Nutzraum Lagerstollen HAA $t = 10$ cm (Verzicht auf Raum für spätere bauliche Massnahmen);
- Innendurchmesser der HAA-Lagerstollen min. $D = 2.8$ m (Planungsannahme);
- Maximale Lagerstollenlänge 1'000 m;
- Sicherheitsfaktor der Tragsicherheit ≥ 1.0 nach 75 Jahren ab Erstellung (siehe Kapitel 7.1).

Nur für das SMA-Lagerteil geltende Anforderungen aus dem Bau:

- Bautechnischer Nutzraum Lagerkavernen SMA $t = 10$ cm (Verzicht auf Raum für spätere bauliche Massnahmen).

Weitere Anforderungen des Baus, welche für die Lagerkonfiguration oder die Normalprofile (ohne Sonderausbrüche wie Nischen etc.) gelten, werden in den Konzepten des Kapitels 5.8 beschrieben.

4.5 Zusammenfassung der geometrischen Randbedingungen für die Lagerkonfiguration

Die oben genannten Anforderungen zur Lage und zu den Abständen der Bauwerke auf Lager-ebenen sind in Fig. 4-2 grafisch zusammengefasst.

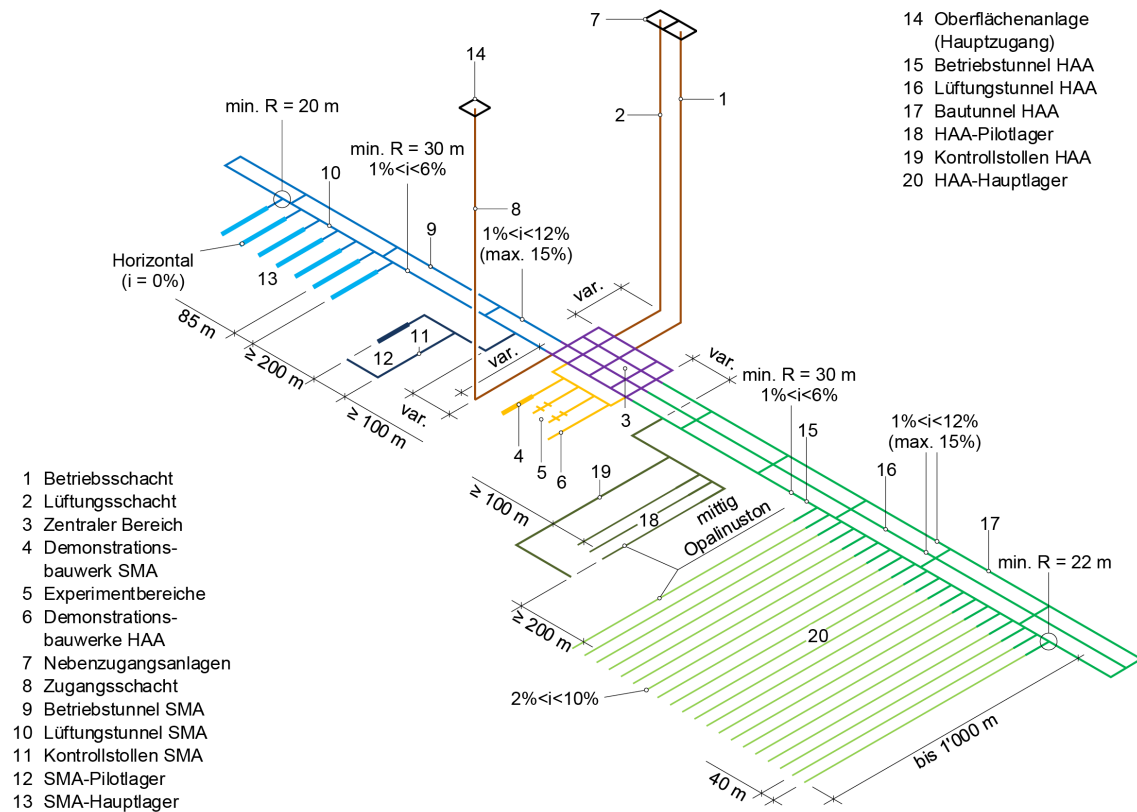


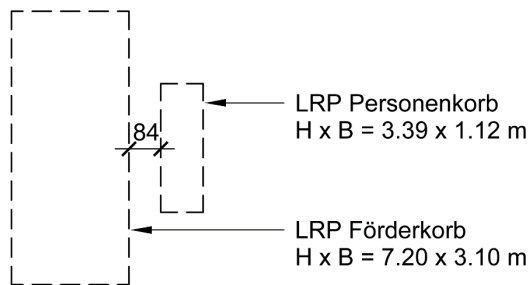
Fig. 4-2: Generisches Kombilager mit Hauptabmessungen aufgrund der Anforderungen
(geometrische Randbedingungen für Lagerkonfiguration, erweiterte Skizze aus Nagra 2022c,
 i = Neigung)

4.6 Zusammenfassung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile

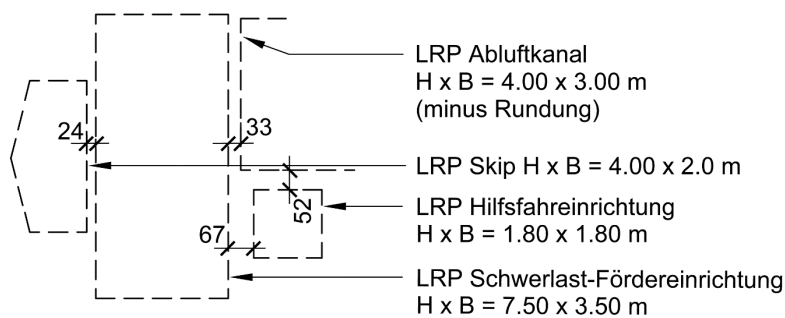
Aus den in Kapitel 3.3 bezeichneten Nutzungen und Phasen ergeben sich die in den folgenden Tabellen (Tab. 4-2 bis Tab. 4-4) einzuhaltenden Lichtraumprofile. Für die Normalprofile stellen diese Lichtraumprofile die Minimalanforderungen dar. Die Breite des Fluchtwegs beträgt in Betriebsphasen 0.8 m und in Bauphasen und reinen Baubereichen 0.7 m.

Tab. 4-2: Zusammenstellung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile der Zugangsbauwerke
(nicht massstäblich)

LRP Zugangsschacht in NL und ZNO

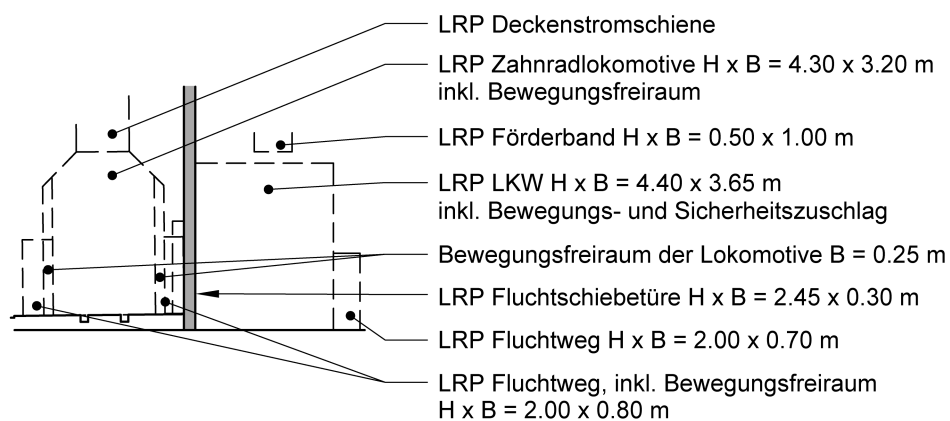


LRP Betriebsschacht in NL und ZNO



LRP Zugangstunnel in JO mit Trennwand für ein HAA-Einzellager

(Blickrichtung in Vortriebsrichtung, links: Einlagerung, rechts: Bau)

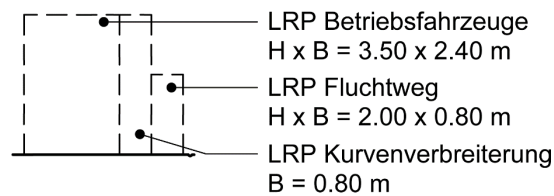


Tab. 4-3: Zusammenstellung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile der wichtigsten Bauwerke auf Lagerebene für den HAA-Lagerteil und die Kontrollstollen
(nicht massstäblich)

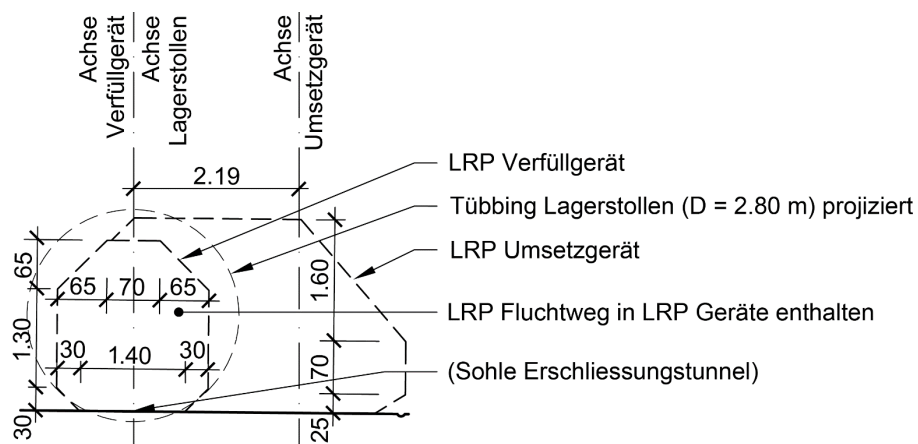
LRP Betriebstunnel HAA



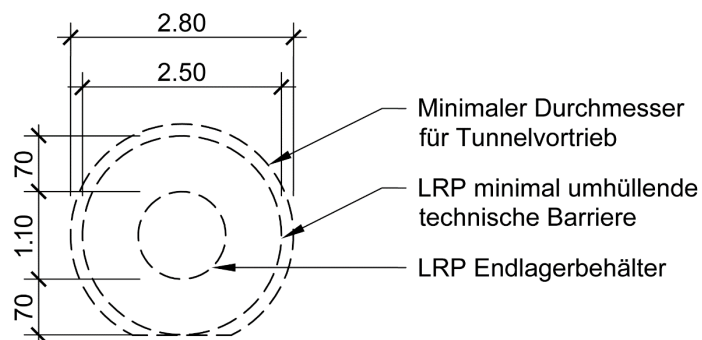
LRP Lagerstollenabzweiger HAA



LRP Umladebereiche HAA



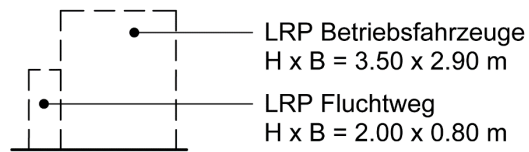
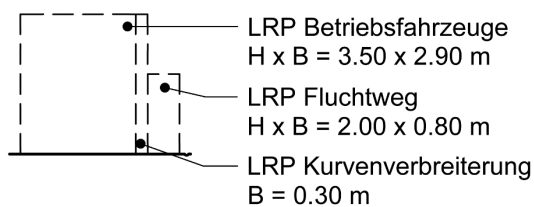
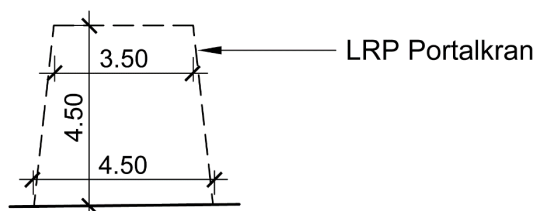
LRP Lagerstollen HAA



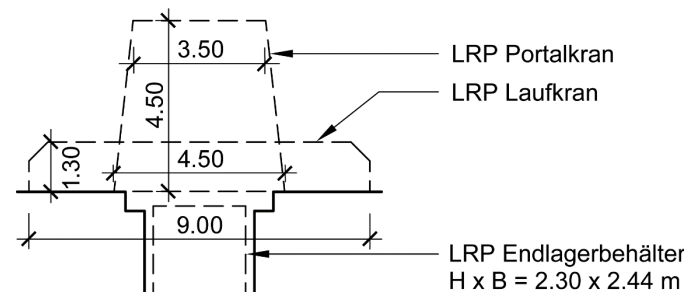
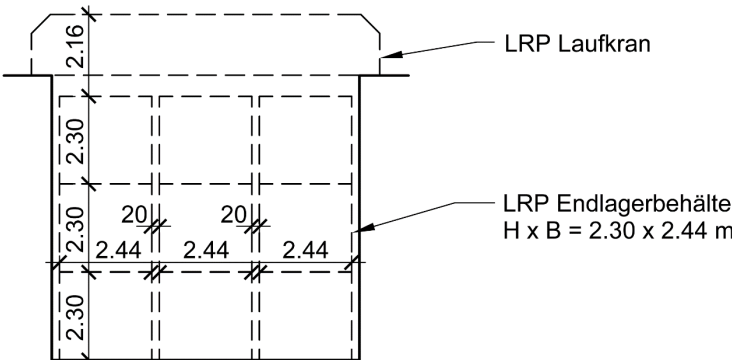
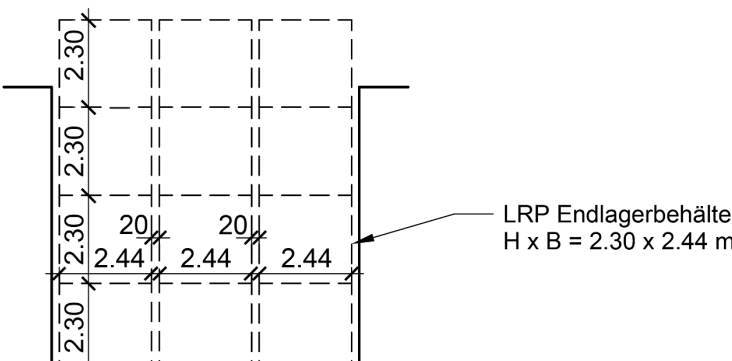
Tab. 4-3 Fortsetzung

LRP Kontrollstollen HAA und SMA und Verbindungstunnel im ZB

Tab. 4-4: Zusammenstellung der mindestens einzuhaltenden Lichtraumprofile der wichtigsten Bauwerke auf Lagerebene für den SMA-Lagerteil
(nicht massstäblich)

LRP Betriebstunnel SMA und Lagerkavernenabzweigertunnel**LRP Lagerkavernenabzweiger SMA****LRP Abladebereich SMA**

Tab. 4-4 Fortsetzung

LRP Übernahmenbereich SMA  Diagram showing the layout of the LRP Übernahmenbereich SMA. It includes a LRP Portalkran (portal crane) with a width of 3.50 m and a height of 4.50 m. A LRP Laufkran (travel crane) is shown with a width of 4.50 m. The LRP Endlagerbehälter (end storage container) has a height of 9.00 m and a width of 2.30 m. The overall width of the area is 9.00 m. The height of the container is 2.44 m. LRP Portalkran LRP Laufkran LRP Endlagerbehälter H x B = 2.30 x 2.44 m
LRP SMA-Lagerkaverne mit Laufkran und 9 Endlagerbehälter (ELBs)  Diagram showing the layout of the LRP SMA-Lagerkaverne mit Laufkran und 9 Endlagerbehälter (ELBs). It includes a LRP Laufkran (travel crane) with a width of 2.16 m. The LRP Endlagerbehälter (end storage container) has a height of 2.30 m and a width of 2.44 m. The overall width of the area is 2.30 m. The height of the container is 2.44 m. The diagram shows a 3x3 grid of containers with a 20 cm gap between them. LRP Laufkran LRP Endlagerbehälter H x B = 2.30 x 2.44 m
LRP SMA-Lagerkaverne mit 12 ELBs  Diagram showing the layout of the LRP SMA-Lagerkaverne mit 12 ELBs. It includes a LRP Endlagerbehälter (end storage container) with a height of 2.30 m and a width of 2.44 m. The overall width of the area is 2.30 m. The height of the container is 2.44 m. The diagram shows a 3x4 grid of containers with a 20 cm gap between them. LRP Endlagerbehälter H x B = 2.30 x 2.44 m

Für die erforderlichen Einrichtungen der Betriebsphasen und des Baus werden weitere untergeordnete Hohlräume im zentralen Bereich benötigt. Diese Bauwerke sind mit ihren Lichtraumprofilen in Anhang B aufgeführt.

Die ermittelten Lichtraumprofile für die Baufahrzeuge und die der Baulüftung sind in (Nagra 2023e) beschrieben. Diese LRP können unter Umständen grössere Normalprofile erfordern, als dies aufgrund der hier dargestellten LRP der Betriebsphasen der Fall ist.

4.7 Temporäre Bauteile, Bauwerke und Bauzustände

Für temporäre Bauwerke und Bauteile gelten die gleichen Anforderungen wie für permanent genutzte Bauwerke.

Die Ausbruchsicherung hat die Funktion der Sicherstellung der Hohlraumstabilität und der Gewährleistung der Arbeitssicherheit bis zum Einbau der tragenden Innenschale (Verkleidung). Die Funktionstauglichkeit muss für die Dauer des temporären Bauzustands gewährleistet werden.

5 Umwelt- und Drittanforderungen

Die Umwelt- und Drittanforderungen an die Untertaganlagen des geologischen Tiefenlagers gelten unterhalb der Schnittstelle Terrainoberkante / Schachtkopf.

5.1 Geologie

Für die bautechnisch relevanten Auszüge der Geologie wird für den Standort JO auf den Bericht (Nagra 2023b), für den Standort NL auf den Bericht (Nagra 2023c) und für den Standort ZNO auf den Bericht (Nagra 2023d) verwiesen.

5.2 Beeinflussung der Umwelt

Einzuhalten sind die Bestimmungen der Bundesgesetze über den Umweltschutz (USG 1983), über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, JSG 1986), über den Schutz der Gewässer (GSchG 1991), über den Wald (Waldgesetz, WaG 1991), über den Natur- und Heimatschutz (NHG 1966) sowie der dazugehörigen Verordnungen und Bestimmungen sowie weiterer umweltrelevanter Gesetze.

5.2.1 Umweltverträglichkeitsprüfung

Gemäss «Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (SR 814.011)» (UVPV 1988) ist für Anlagen, welche Umweltbereiche erheblich belasten können, eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen. Die Vorgaben aus der Umweltverträglichkeitsprüfung sind umzusetzen.

Die Anforderungen sind sinngemäss an allen drei Standorten identisch und werden im Folgenden unter den einzelnen Themenbereichen genannt, sofern sie unmittelbaren Einfluss auf den Rohbau der Untertagbauten haben. Ein Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) wird nur für den gewählten Standort erstellt und mit dem Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) abgegeben²⁴.

5.2.2 Natur- und Landschaftsschutz

Die Themen des Natur- und Landschaftsschutzes werden durch die Untertaganlagen nicht tangiert.

5.2.3 Wald

Das Thema Wald wird durch die Untertaganlagen nicht tangiert.

5.2.4 Oberflächengewässer

Das Thema Oberflächengewässer wird durch die Untertaganlagen nicht tangiert.

²⁴ Die Nagra hat in Etappe 2 SGT UVP-Voruntersuchungen für alle hier betrachteten Standortgebiete durchgeführt, die unter nagra.ch abrufbar sind. An allen Standorten lassen sich umweltverträgliche gTL planen und bauen.

5.2.5 Grund-, Berg- und Tiefenwasser sowie Quellen

Eingriffe mit negativen qualitativen oder quantitativen Auswirkungen (Absenkung, Verschmutzung etc.) auf das oberflächennahe Grundwasser und Quelfassungen, respektive auf den Grundwasserhaushalt, sind während der Bauphase zu vermeiden und für die Betriebsphase mit entsprechenden Schutzmassnahmen so weit wie möglich auszuschliessen.

Dauerhafte Einbauten im Grundwasser dürfen das Speichervolumen und den Durchfluss nicht wesentlich und dauernd verringern (Gewässerschutzgesetz, (GSchG 1991). Die Summe aller Einbauten im Gewässerschutzbereich A_u darf die Durchflusskapazität des Grundwasserleiters gesamthaft nicht um mehr als 10 Prozent verringern (Gewässerschutzverordnung, GSchV 1998). Diese Anforderungen sind bei den Schächten und den Zugangstunneln (Rampen) zu berücksichtigen.

5.2.6 Lärmschutzanforderungen

Lärmschutzanforderungen stellen sich bei allen übertägigen und oberflächennahen Bau- und Bauhilfstätigkeiten, z.B. dem Abteufen der Schächte, und in Bezug auf die Personen- und Arbeitssicherheit im Sinne des Gesundheitsschutzes der Personen in den Untertaganlagen.

Bei Bautätigkeiten ist zum Schutz der Umwelt vor Lärmemissionen zudem die «Baulärm-Richtlinie» des Bundesamts für Umwelt (BAFU 2006) einzuhalten.

5.2.7 Luftanforderungen

Die Anforderungen an die Lüftung (Versorgung Frischluft) respektive Luftreinhaltung (Abluft) bei Betriebstätigkeiten sind in Nagra (2022b) gemäss der gesetzlichen und normativen Vorgaben definiert.

JO: Bei der Gestaltung der Portalzonen des (Betriebs-) Zugangstunnels ist darauf zu achten, dass eine möglichst gute Durchlüftung der Tunnelvorzonen sichergestellt ist.

5.2.8 Lichtanforderungen

Die Lichtemissionen sind in allen Phasen des geologischen Tiefenlagers auf das Notwendigste zu begrenzen resp. mit entsprechenden Massnahmen von der Umgebung abzuschirmen. Dies gilt vor allem in Phasen mit Bautätigkeit, in denen ein 24-Stunden-Baubetrieb vorgesehen ist. Sollte zur Sicherung des Areals eine ständige Beleuchtung notwendig sein, sind entsprechende Massnahmen auch während der Betriebsphase umzusetzen. Die «Empfehlung zur Vermeidung von Lichtemissionen» des BAFU (BAFU 2021) ist zu berücksichtigen.

5.2.9 Erschütterungen und Körperschall

Bei der Planung und Auslegung der Untertaganlagen im Einflussbereich des Paul Scherrer Instituts (PSI) in der Region JO sind die für den Betrieb des PSI relevanten Erschütterungswerte durch bauliche und betriebliche Massnahmen einzuhalten (vgl. insbesondere Ziegler & Ziegler 2013).

Empfindliche Messgeräte der EUU sind zu schützen. Erschütterungswerte sind beim weiteren Bau- und Betrieb einzuhalten.

5.3 Landbeanspruchung

An der Oberfläche werden Flächen für die OFA und die NZAs beansprucht (vgl. Fig. 3-2). Für den Bau der Untertaganlagen sind Installationsflächen im Bereich der NZAs vorgesehen.

5.4 Auswirkungen auf Bauwerke Dritter

Die Auswirkungen (Setzungen und/oder Erschütterungen und Körperschall) der Bau- und Betriebstätigkeit auf bestehende Bausubstanz, insbesondere bei geschützten Bauwerken, sind auf ein Minimum zu beschränken und haben den entsprechenden Vorschriften zu genügen. Setzungen und Deformationen von benachbarten Bauwerken sind zu dokumentieren.

5.5 Altlasten / belastete Standorte

In den oberflächennahen Perimetern der drei Standorte sind keine Altlasten oder belastete Standorte bekannt.

5.6 Naturgefahren

Die Auswirkungen allfälliger Naturgefahren müssen durch Massnahmen beherrscht werden. Bei der Festlegung der Lage der Schacht- und Portalstandorte wurden die Naturgefahren berücksichtigt (siehe auch Kapitel 8.1.2).

5.7 Materialbewirtschaftung

Das Materialbewirtschaftungs- und Weiterverwertungskonzept übertag ist nicht relevant für den Standortvergleich.

Für die aktuelle Phase gelten für die UTA folgende Randbedingungen und Anforderungen:

- Das Ausbruchmaterial wird nach übertag abgeführt.
- Die Baulogistik zum Abführen des Materialanfalls ist auf die Spitzenleistungen des Bauprogramms auszulegen.
- Der Materialbedarf wird möglichst just-in-time nach untertag zugeführt.
- Die Baulogistik und die unterirdischen Räumlichkeiten für die Materialversorgung sind auf die Spitzenleistungen des Bauprogramms auszulegen.

5.8 Personensicherheit

Die Personensicherheit von Arbeitskräften und Besuchern der Untertaganlagen ist im Baubetrieb, Regelbetrieb und im Ereignisfall jederzeit zu gewährleisten und die notwendigen Sicherheitselemente auf die entsprechende Personenanzahl auszulegen (vgl. Kap. 6.5). Die Anzahl Personen untertag beträgt gemäss aktueller Planungsannahme max. 95 Personen. Darin enthalten ist eine maximale Besucheranzahl von 25 Personen (Auslegungsgrösse, siehe auch Kapitel 6.6.3).

5.9 Zivilisatorische Gefahren

Die Einwirkungen allfälliger zivilisatorischer Gefahren, die von Handeln oder Untätigkeit der Bevölkerung ausgeht (Vandalismus und Sabotage), müssen verhindert werden. Gefahren, die nicht direkt mit Massnahmen verhindert werden können (Krieg, Terrorismus, etc.), fallen unter die akzeptierten Risiken (siehe Kapitel 8.2).

6 Bedürfnisse des Baus, des Betriebs und des Unterhalts

Nachfolgend werden Anforderungen an den Rohbau der Untertaganlagen zusammengefasst, die sich aus den verschiedenen übergeordneten Konzepten ergeben. Daraus abgeleitete bauwerks-spezifische Anforderungen an die Lagerkonfiguration oder die Normalprofile sind in den jeweiligen Systemdefinitionen festgehalten (Anhang B).

6.1 Bauverfahren

Die Bauverfahren, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen sollen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Kein Wassereintrag in den Opalinuston, um das Gebirge nicht zu schwächen und mögliche Quellvorgänge einzuschränken:
 - keine Wasserbedüsung von Abbaugeräten im Vortriebsbereich (Kühlung oder Bindung von Staub)
 - keine Nassbohrungen (nur Trockenbohrungen)
 - Versiegelung der Ausbruchflächen unmittelbar nach jedem Abschlag
 - Keine Verwendung von Wasser zur Profilreinigung
 - Havarie- oder Brauchwasser muss aufgefangen werden, bevor es mit Opalinuston in Berührung kommt.
- Sicherstellung eines dichten Schachts im durchlässigen Gebirge oberhalb des Opalinustons über die ganze Nutzungsdauer sowie Vermeidung von Umläufigkeiten:
 - Während der Schachtabteufung: Verhinderung des Eindringens von Bergwasser in den Schacht über die ganze Schachthöhe
 - Sicherstellung, dass in der Phase des Schachtbaus kein Wasser in den Opalinuston auf Lagerebene geführt wird
 - Vortrieb eines Schachts in den Opalinuston erst, wenn bis Oberkante Opalinuston eine druckwasserhaltende Schachtverkleidung eingebaut ist
- Hohe Gewichtung der Arbeitssicherheit und des Arbeits- und Gesundheitsschutzes:
 - Sicherstellung Kopfschutz unmittelbar hinter der Tunnelbrust (Sprengvortrieb)
 - Während Schachtabteufung: Unmittelbarer Einbau der Sicherungsmittel ab Schachtbühne
 - Da die Abluft der Vortriebe durch Teilbereiche des ZB geführt werden muss, ist nicht nur im Vortriebsbereich, sondern im ganzen Abstrombereich aus dem Vortrieb die Staubbelastung möglichst gering zu halten. Die MAK-Werte sind auch an den Arbeitsstellen einzuhalten (siehe Kapitel 6.5).
- Bauverfahren sollen sicherstellen, dass das Lager in der geforderten Qualität, zu vertretbaren Kosten und in der erforderlichen Zeit sicher gebaut werden kann.

6.2 Zonenkonzept / Einlagerungsbetrieb mit zeitgleichem Baubetrieb

In den Phasen 4 und 5 werden zeitgleich Abfälle eingelagert und das geologische Tiefenlager baulich erweitert / regulär betrieben. An der räumlichen Grenze zwischen dem Einlagerungsbereich und dem Bau- und Betriebsbereich besteht die zentrale Anforderung, dass beide Bereiche strikt voneinander zu trennen sind. Dies gilt auch für die Lüftung (s. Kapitel 6.3). Die notwendigen Verbindungen zwischen beiden Bereichen sind mittels Schleusen, Türen, Toren oder anderen Massnahmen voneinander zu trennen.

Mit Bezug auf die radiologische Überwachung wird das Tiefenlager ab Beginn der Einlagerung der SMA-Abfälle (Phase 4) nach einem Zonenkonzept betrieben. Die Untertaganlagen werden in «nicht kontrollierte / konventionelle» und «kontrollierte» Zonen, sogenannte Überwachungsbereiche²⁵, geteilt. Die phasenweise Zuordnung der Bauwerke zu der jeweiligen Zone / Bereich ist im Zonenkonzept definiert. Die genauen Anforderungen zu den Übergängen von Zone zu Zone mit Auswirkungen auf die betroffenen Bauteile zur Unterbringung von Schleusen, Toren und Werkleitungsdurchführungen werden in einer späteren Projektphase definiert. Jede Zone muss über mindesten ein separates Zugangsbauwerk verfügen.

6.3 Lüftungs- und Kühlungskonzept

Für detaillierte Angaben zum Lüftungs- und Kühlungskonzept des geologischen Tiefenlagers wird auf Nagra (2022b) verwiesen. Nachstehend werden, in zusammengefasster Form, die mit der Lagerkonfiguration und den Normalprofilen umzusetzenden Lüftungs- und Kühlungsprinzipien erläutert.

6.3.1 Anforderungen des Lüftungs- und Kühlungskonzeptes

Die Lüftung hat folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Zuverlässige und bedarfsgerechte Versorgung der Untertaganlagen und Verteilung von Frischluft im Normalbetrieb sowie bei Abweichungen vom Normalbetrieb;
- Beitrag zur Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz durch die Gewährleistung einer permanenten und zuverlässigen Frischluftversorgung und Sicherstellung der geforderten klimatischen Arbeitsbedingungen (Sauerstoffkonzentration, Entstaubung, Temperatur und Luftfeuchtigkeit);
- Beitrag zur Arbeits- und Personensicherheit durch entsprechend mit Frischluft versorgte Flucht-, Rettungs- und Evakuationswege in den Lüftungstunneln bzw. den Tunneln mit Zuluft, die zugleich Interventionswege darstellen;
- Beitrag zur nuklearen Betriebssicherheit und zum Strahlenschutz durch Gewährleistung einer adäquaten Störfallvorsorge & -bewältigung im Hinblick auf die Einhaltung der Schutzziele im Falle eines Störfalls (bspw. Aufrechterhaltung der Unterdruckstaffelung für den Überwachungsbereich in den kontrollierten Zonen);

²⁵ Bereich mit Betrieb von Anlagen oder beim Umgang mit geschlossenen radioaktiven Quellen.

- Vermeidung der Ansammlung explosionsgefährdender bzw. toxischer Konzentrationen von Gasen;
- Zentrales Element der Ereignisbekämpfung bei Brand und Explosionen (bspw. kontrollierte Brandbekämpfung, Isolation von Bränden durch Brandabschnitte, kontrollierte Entrauchung);
- Beitrag zur Langzeitsicherheit durch Vermeidung von Feuchtigkeitseintrag in die Bauwerke auf Lagerebenen.

Die Unterbringung der für die Lüftung und Kühlung erforderlichen Installationen, wie beispielsweise Ventilatoren, Lutten, Kühlaggregate etc., in Abschnitten (Nischen oder Sonderräumen) der Untertagbauwerke ist zu gewährleisten.

6.3.2 Lüftungskonzept

Das Lüftungskonzept, das Flucht-, Rettungs-, Evakuations- und Interventionskonzept (vgl. Kap. 6.6) sowie das Brandschutzkonzept (vgl. Kap. 6.7) sind eng miteinander verflochten. Das zentrale Element stellt dabei das übergeordnete Lüftungskonzept dar, welches nachfolgend beschrieben wird.

Die lüftungstechnisch intensivste Phase eines Tiefenlagers ist die des parallelen Einlagerungs- und Baubetriebs (vgl. Phase 5 in Tab. 3-8). Im HAA-Lagerteil werden in dieser Phase gleichzeitig neue Lagerstollen aufgefahren und bestehende Lagerstollen mit Abfällen gefüllt. Die Untertaganlagen sind dabei lüftungstechnisch in einen Überwachungsbereich mit Einlagerungsbetrieb und einen konventionellen Bereich mit Baubetrieb aufgeteilt (vgl. Kapitel 6.2). Fig. 6-1 zeigt das übergeordnete Lüftungskonzept eines Kombilagers (oder HAA-Einzellagers) in den Realisierungsphasen 4 und 5. Die Frischluft wird dabei durch den Lüftungsschacht angesaugt und ab Schachtfuss in den Überwachungsbereich und den konventionellen Bereich geleitet. Die Abluft aus diesen zwei Bereichen wird getrennt über den Zugangsschacht bzw. Zugangstunnel (aus Überwachungsbereich) und über den Betriebszugang (aus konventionellem Bereich) abgesaugt. Die Abluft wird anschliessend über die Anlagen an der Oberfläche ausgestossen.

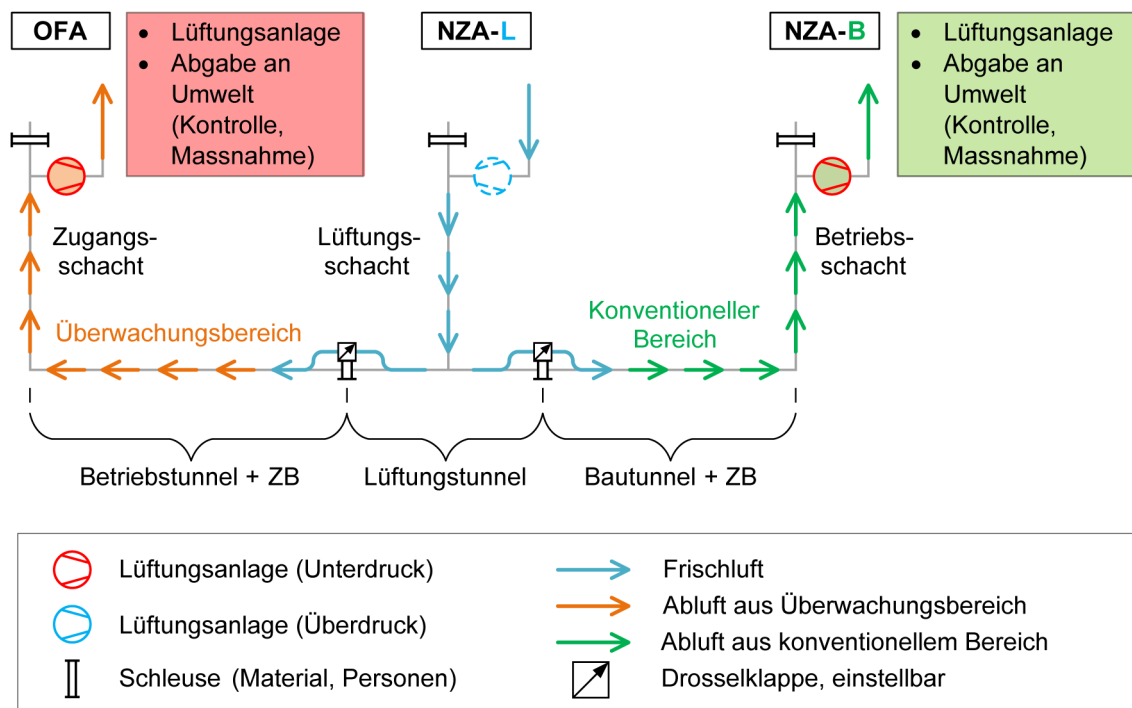


Fig. 6-1: Lüftungskonzept eines Kombilagers

Lüftungskonzept im Unterdruck (saugend) mit zuschaltbarer Überdrucklüftung für die Interventions- und Fluchtwege über die Lüftungstunnel. Dargestellt ist das Konzept im Einlagerungsbetrieb (Phase 4 und 5).

Die erforderlichen Lüftungsanlagen befinden sich an der Oberfläche auf dem OFA- und dem NZA-Areal. Das gTL wird saugend belüftet. Dieses System verhindert dadurch, dass Abluft unkontrolliert, z.B. über Leckagen, an die Umwelt abgegeben wird, wie dies bei einem Überdrucksystem der Fall sein kann. Im Störfall oder Brandereignis auf Lagerebene kann das System durch das Zuschalten eines Ventilators im Schachtkopf des Lüftungsschachts auf dem gesamten Lüftungsweg (vor der Abgabe der Luft in den Überwachungs- und konventionellen Bereich) im Überdruck betrieben werden. Dadurch können die Lüftungstunnel immer als unverrauchter Flucht- und Interventionsweg benutzt werden.

In den Phasen vor und nach Abschluss der Einlagerung radioaktiver Abfälle (Phasen 1 bis 3 bzw. 6 bis 9) ist der Hauptzugang (Zugangsschacht) ab der OFA entweder noch nicht realisiert oder bereits wieder verfüllt, so dass die Zu- und Abluft jeweils separat via Lüftungs- und Betriebschacht zu- resp. abgeführt wird. Wenn immer möglich, fährt das Betriebspersonal im Frischluftstrom nach untertag.

Am Standort Jura-Ost übernimmt der zweigeteilte (Betriebs-) Zugangstunnel die Funktion des Zugangsschachts und des Betriebsschachts. Das Lüftungskonzept ist in diesem Fall analog anwendbar.

Da bei einem HAA-Einzellager die Phase 5 ebenfalls vorhanden ist, kann das Lüftungskonzept des Kombilagers analog angewendet werden (siehe Realisierungsplan HAA-Einzellager in Anhang C.1). Bei einem SMA-Einzellager ist kein paralleler Einlagerungs- und Baubetrieb vorgesehen (siehe Realisierungsplan SMA-Einzellager in Anhang C.2). Das SMA-Einzellager wird daher stets ganz konventionell oder als Überwachungsbereich betrieben. Für das SMA-Einzellager werden aus diesem Grund nur zwei Zugänge (Zugangsschacht und Lüftungsschacht)

benötigt. Das Lüftungskonzept bleibt jedoch gleich: Unterdruck in Bau- oder Betriebsphasen, Überdruck im Ereignisbetrieb.

Bezüglich Frischluftmenge und Luftqualität in den Untertaganlagen gelten in Phasen mit Bautätigkeit die Vorgaben der «Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten» (BauAV 2021), die Richtlinie Nr. 6514 "Untertagarbeiten" der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS 2004), die SIA 196 "Baulüftung im Untertagbau" (SIA 1998) und die Vorgaben der *Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt* (Suva) "Sicher Arbeiten im Tunnelbau, Leitfaden für Tunnelbauer" (BG BAU et al. 2011) sowie die «Baurichtlinie Luft» des Bundesamts für Umwelt (BAFU 2016).

6.3.3 Kühlungskonzept

Die Bauwerke auf Lagerebene werden je nach Standortregion zwischen 400 m bis 1'000 m unter der Oberfläche liegen. Die Gebirgstemperatur nimmt linear mit der Tiefe zu (ca. 3.3°C pro 100 m). Damit beträgt die Ursprungstemperatur im Gebirge, d.h. die Temperatur vor Ausbruch des Tiefenlagers, in 1'000 m Tiefe ca. 48 °C und liegt damit deutlich höher als die für Arbeiten zulässigen Klimagrenzwerte. Neben der Wärmequelle des Gebirges kommen noch weitere technische Wärmequellen (Maschinen, Aggregate usw. des Baus und Betriebs) und beim HAA-Lagerteil die Abwärme der einzulagernden Abfälle hinzu.

In Arbeits- und Aufenthaltsbereichen des Personals oder in Bereichen mit temperaturempfindlichen Installationen ist eine aktive Kühlung der untertägigen Bauwerke erforderlich. Dies ist im Wesentlichen durch Vorkühlung der Zuluft bzw. untertägige Kühlung der Luft mit Monoblöcken mit einer untertägigen Kühlwasserspeisung vorgesehen. Detaillierte Angaben dazu sind in Nagra (2022b) gegeben.

6.4 Logistikkonzepte (Bau, Betrieb und Verschluss)

Die Logistikkonzepte sind bei der Entwicklung der Lagerkonfiguration, der untertägigen Räume und der Profile zu berücksichtigen.

Ausführlichere Erläuterungen zu den verschiedenen Logistikkonzepten befinden sich für die Baulogistik in Nagra (2023e), für die Betriebslogistik in Nagra (2022a) und für die Logistik des Verschlusses in Nagra (2021c).

Baulogistik

Die eingesetzten Bauinstallationen sowie die geplante Baulogistik sind von Bedeutung für die erfolgreiche Ausführung und daher bereits in den frühen Planungsphasen einzubeziehen. Es ist ein Baulogistikkonzept über alle Phasen zu entwickeln, das den Bedürfnissen gerecht wird. Die erforderlichen Installationen und Platzverhältnisse sind aufzuzeigen und in der Lagerkonfiguration, hier vor allem im zentralen Bereich, zu berücksichtigen. Etwaige Reserven oder Optionen sind klar zu begründen und auszuweisen.

Betriebslogistik

Für die Lagerkonfiguration und die Ausgestaltung der Normalprofile sind die Bedürfnisse des Betriebs zu berücksichtigen. Die dafür benötigten Infrastrukturen sind im zentralen Bereich anzuordnen. Auf eine funktionale Anordnung der einzelnen Infrastrukturen ist dabei besonders zu achten.

Logistik des Verschlusses

Es wird davon ausgegangen, dass die Logistik der Verschlussarbeiten keine über die bereits definierten Anforderungen hinausgehenden Anforderungen an die Lagerkonfiguration oder die Ausgestaltung der Normalprofile stellt.

6.5 Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept

Neben allgemeinen Gesetzen, Verordnungen und Suva-Dokumentationen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz, sind die folgenden für den Untertagbau spezifischen Vorgaben bezüglich Arbeitssicherheit- und Gesundheitsschutzes zu berücksichtigen:

- Verordnung 832.311.141 über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeiterverordnung, Bau-AV), 29. Juni 2005 (Stand am 01. Oktober 2011) (BauAV 2021)
- Richtlinie Nr. 6514 Untertagarbeiten, Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS), Auflage Oktober 2005 (EKAS 2004)
- Rettungskonzept für den Untertagbau 88112, Suva, 4. Auflage Juli 2007 (Suva 2007)
- Sicheres Arbeiten im Tunnelbau, Leitfaden für Tunnelbauer, Suva, 0105.2011 (BG BAU et al. 2011)
- Verhütung von Unfällen durch Brände und Explosionen bei der Erstellung von Untertagbauten in Erdgas führenden Gesteinsschichten, 66102, Suva, 1. Auflage 2002 (Suva 2022b)
- 10 lebenswichtige Regeln für Untertagarbeiten, 84074, Suva, 20.05.2019 (Suva 2022a)
- Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) vom 4. Dezember 2003 (BVOS 2003)
- Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS), 15.12.1977 (TAS 1977)

Die maximal zulässigen MAK-Werte (maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte) sind in allen Bau- und Betriebsphasen einzuhalten. Diese sind in der Publikation «Grenzwerte am Arbeitsplatz» der Suva²⁶ ersichtlich (Suva 2021).

Ausblick

Für die Thematik "Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz" wird die Suva in der Erarbeitung des Bauprojekts für die Untertaganlagen miteinbezogen. Für den Bau (Erstellung der Untertaganlagen) ist ein Notfallkonzept, bestehend aus einem Sicherheitskonzept und einem Rettungskonzept, zu erarbeiten. Beide Konzepte richten sich nach der Suva-Dokumentation 88112 "Rettungskonzept für den Untertagbau" (Suva 2007).

Das definitive Notfallkonzept für die Bautätigkeit erarbeitet der jeweilige Bauunternehmer. Dieses Notfallkonzept basiert auf den vom Bauherrn / Projektverfasser im Sinne von Minimalvorgaben erarbeiteten "Notfallkonzept Minimalvorgaben", welches in das übergeordnete Betriebskonzept eingebunden ist. Das "Notfallkonzept Minimalvorgaben" wird für die jeweiligen

²⁶ «Grenzwerte am Arbeitsplatz» werden von der Suva gemäss Art. 50 Abs. 3 der Verordnung des Bundesrats vom 19. Dezember 1983 über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten erlassen. Der Erlass erfolgt im Einvernehmen mit der Grenzwert-Kommission der Schweizerischen Vereinigung für Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit (Suissepro). <https://www.suva.ch/1903.d>

Bauprojekte und die relevanten Vorgaben erarbeitet und für das jeweilige Submissionsprojekt detailliert beschrieben.

Das Notfallkonzept für die Phasen mit Betriebstätigkeit (Phasen 2, 4 bis 9) ist Teil des übergeordneten Betriebskonzepts und wird durch die Nagra erstellt.

Für jede Phase muss ein spezifisches Notfallkonzept erarbeitet werden, um die jeweiligen Randbedingungen der Phase angemessen zu berücksichtigen.

6.6 Flucht- und Rettungskonzept

Es ist ein Flucht- und Rettungskonzept zu erarbeiten, das der Gewährleistung der Personensicherheit (siehe Kapitel 5.8) in allen Phasen und Nutzungszuständen (siehe Kapitel 3.5) dient. Es gewährleistet die zuverlässige Alarmierung und Kommunikation allfälliger Gefahrensituationen und die Sicherstellung der Selbst- bzw. Fremdrettung und Evakuierung aus allfälligen Gefahrensituationen und Gefahrenbereichen (und ggf. anschliessende Versorgung der Personen). Zudem wird sichergestellt, dass die Zugänglichkeit auch für allfällige Interventionen durch Ereignisdienste gewährleistet ist.

Das Flucht- und Rettungskonzept hat somit folgenden **Funktionen**:

- Bereitstellung von ausreichenden und sicheren FREI-Wegen zur Selbst- und Fremdrettung
- Bereitstellung von sicheren Fluchtendpunkten für die Selbst- und Fremdrettung
- Zuverlässige Alarmierung und Kommunikation im Stör- oder Ereignisfall
- Bereitstellung der Zugänglichkeit für Intervention im Stör- oder Ereignisfall

Aus den zu erfüllenden Funktionen ergeben sich für die Lagerkonfiguration und die Normalprofile auf Konzeptebene folgenden **Anforderungen**:

- Spätestens ab Phase 2 (Weiterführung EUU) müssen mind. zwei unabhängige Zugangsbauwerke mit Tagesöffnung betriebsbereit (inkl. Ver- & Entsorgung), als FREI-Wege ausgelegt und mit entsprechenden Transportsystemen ausgerüstet sein, um bei einem Ereignis mindestens einen FREI-Weg gewährleisten zu können, falls ein Zugangsbauwerk durch ein Ereignis blockiert bzw. nicht nutzbar ist. Zeitlich begrenzte Ausnahmen während Bau und Verschluss des gTL sowie bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sind möglich.
- Alle FREI-Wege in den Untertaganlagen sind in ihrer Länge zu einem sicheren Fluchtendpunkt im sicheren Bereich zu begrenzen. Der sichere Bereich ist räumlich vom Gefahrenbereich getrennt, mit Frischluft versorgt und verfügt über den erforderlichen Raum für die in der Sicherheitsplanung definierte Personenzahl, falls keine direkte Selbstrettung an die Oberfläche möglich ist.
- Die Querverbindungen der Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel weisen, abhängig von der Personennutzung und den vorhandenen Gefahrenpotenzialen sowie der Lüftungssituation, einen Abstand von maximal 500 m auf.

In den folgenden Kapiteln werden das Fluchtkonzept und anschliessend das Rettungskonzept des Vorhabens, mit Fokus auf den Einfluss der Lagerkonfiguration oder der Normalprofile, erläutert. Den Abschluss des Kapitels bilden die Angaben zur Dimensionierung des Rettungsraums (vgl. Kap. 6.6.3), der Rettungscontainer und des Sanitätsraums, als Bestandteile des Flucht- und Rettungskonzeptes.

Die Beschreibungen der Konzepte erfolgen für ein Kombilager, lassen sich aber auf die Einzellager übertragen.

6.6.1 Fluchtkonzept

FREI-Wege aus den konventionellen Bereichen in die überwachten Bereiche (vgl. Kap. 6.2) sind zu vermeiden.

Bei den parallel vorgetriebenen Lüftungs- und Betriebstunnels werden die Querverbindungen parallel mit den beiden Vortrieben der Lagerzugänge erstellt. Sie sind maximal 500 m hinter dem Vortrieb fertigzustellen. Auf dem gesamten Frischluftweg, d.h. ab Schachtkopf des Lüftungsschachts bis zum Ende der Lüftungstunnel, dürfen keine brennbaren Materialien oder Leitungstrassen / Medien (zwischen-)gelagert werden. Für den Lüftungstunnel gilt ein Befahrungsverbot.

Die Querverbindungen sind mittels Türen / Tore vom Bau- und Betriebstunnel lüftungstechnisch zu trennen. Die Querverbindungen zwischen Lüftungs- und Betriebstunnel sind als Schleusen auszubilden. In den Querverbindungen zwischen Lüftungs- und Bautunnel reicht eine Abtrennung mit einer Türe oder einem Tor.

Während der Verschlussarbeiten ist darauf zu achten, dass die übergeordneten Anforderungen an die FREI-Wege weiterhin erfüllt werden. Insbesondere bei den Verschlusstätigkeiten des Zugangsschachts respektive des Hauptzugangs ist die Flucht an die Oberfläche zwingend zu gewährleisten.

Zugangstunnel

Im Zugangstunnel JO sind bei einem HAA-Einzellager der Bereich mit Betriebstätigkeit und der Bereich mit Bautätigkeit durch eine Ortbeton-Trennwand voneinander abzutrennen. Der Abstand von Fluchtwegtüren vom einen in den anderen Bereich darf max. 300 m betragen. Diese Trennwand wird bereits für die Phasen 1 bis 3 ohne Einlagerungsbetrieb eingebaut, damit auch in diesen Phasen ein Fluchtweg vorhanden ist.

Die Auslegung der Lüftung hat im Ereignisfall mit Brand im Zugangstunnel dafür zu sorgen, dass der nicht betroffene Fahrraum gegenüber dem betroffenen Fahrraum im Überdruck gehalten wird, um einen Rauchübertritt durch die Türen und Leckagen zu vermeiden und einen rauchfreien Flucht- und Rettungsweg im nicht betroffenen Fahrraum zu gewährleisten.

Rettungscontainer

Während des Baus der Lagerfeldzugänge sind immer dann Rettungscontainer vorzusehen, wenn die Anforderungen an die FREI-Wege (z.B. Länge) nicht erfüllt werden. Sie dienen als Schutz für das Personal und dürfen sich maximal 500 m hinter der Tunnelbrust befinden (Ausnahme HAA-Lagerstollen, dort steht der Rettungscontainer fix im Bereich des Lagerstollenabzweigers).

6.6.2 Rettungskonzept

Schächte und Zugangstunnel

Sofern der Betriebs- oder Zugangsschacht resp. der Zugangstunnel bei JO von einem Ereignis nicht betroffen sind, haben die Rettung und Evakuierung von der Oberfläche her über einen dieser Schächte resp. über den Zugangstunnel zu erfolgen.

Lagerebene

Je nach Ort des Ereignisses (im Baubereich, im Einlagerungsbereich, im ZB oder EUU-Bereich) hat die Rettung über die vom Ereignis nicht betroffenen Tunnel (Betriebs-, Bau- und Lüftungstunnel, Stollensystem im zentralen Bereich) zu erfolgen. Aufgrund der Frischluftzufuhr über die

Lüftungstunnel HAA und SMA werden diese nach ihrer Fertigstellung in jedem Fall für die Rettung und Intervention als sichere Bereiche zur Verfügung stehen.

6.6.3 Spezifikationen von Rettungsraum und Rettungscontainer

Mit Planungsannahmen werden die Auslegungsgrößen (Spezifikationen) an den Rettungsraum und die Rettungscontainer beschrieben.

Rettungsraum in der Rettungskaverne

Der Rettungsraum in der Rettungskaverne des zentralen Bereichs muss Platz für sämtliche Personen aufweisen, welche sich zeitgleich auf Lagerebene befinden. Die Anzahl Personen beträgt nach aktueller Auslegung etwa 95 Personen und setzt sich wie folgt zusammen (Planungsannahme):

- Bau - Vortriebe und rückwärtiger Bereich (Bauleitung, Werkstatt etc.) inkl. Berücksichtigung des Schichtwechsels: ca. 40 Personen
- Einlagerungsbetrieb: 15 Personen
- EUU-Betrieb: ca. 14 Personen
- Besucher: ca. 25 Personen
- Total: ca. 95 Personen

Die Anforderungen an den Rettungsraum richtet sich nach der "Empfehlung für den Einsatz von Fluchtkammern auf Untertagebaustellen" des Deutschen Ausschusses für unterirdisches Bauen (DAUB & ITA-AITES 2018) und beeinflussen sowohl die Lagerkonfiguration als auch das dazugehörige Normalprofil:

- Der Rettungsraum muss alle Personen aufnehmen können, die sich untertag befinden.
- Im Rettungsraum ist ein abgetrennter Sanitätsraum mit min. 4 Betten einzurichten.
- Sanitäranlagen sind vorzusehen.
- Der Rettungsraum muss von den beiden Lüftungstunnels (HAA und SMA) direkt erreichbar sein, ohne dass der Betriebstunnel oder Bautunnel betreten werden muss. Er ist an die Frischluftversorgung anzubinden.
- Der Rettungsraum soll in der Nähe der Büros des Baus und des Betriebsraums 2 (vgl. Anhang B) zu liegen kommen.

Im zentralen Bereich ist eine Rettungskaverne vorzusehen, in die der Rettungsraum integriert wird. Der Rettungsraum dient auch als Pausen- / Sozialraum.

Rettungscontainer

Die Anforderungen an den Rettungscontainer richten sich ebenfalls nach der "Empfehlung für den Einsatz von Fluchtkammern auf Untertagebaustellen" (DAUB & ITA-AITES 2018). Die wichtigsten Anforderungen sind nachfolgend aufgeführt:

- Als Minimalgröße wird 1.0 m² / Person in einem Rettungscontainer veranschlagt
- Mindestens Feuerwiderstand von F30 und isoliert / klimatisiert auf max. 30 °C während 24 Stunden bei Aussentemperatur von 60 °C

- Notluftversorgung von aussen mit einer eigenen Leitung in der Sohle (geschützt vor Brand und mechanischen Einwirkungen)
- Raumüberdruck mindestens 100 Pa
- Redundanz Notluftversorgung mittels Druckluftflaschen für mind. 24 Stunden mit mind. 40 l/min pro Person
- Ausreichender Trinkwasservorrat (4 Liter pro Person über 24 h)
- Toiletten für Betrieb über 24 h bei maximaler Belegung
- Krankentrage, Verbandkasten
- Netzunabhängige Beleuchtung (Notbeleuchtung mit mindestens 5 Lux)
- Redundante Kommunikation nach übertag
- Türen mit Fenster oder Fenster mit Mindestdurchmesser 150 mm neben der Tür
- Notausstiegsöffnung bei blockierter Ausgangstür

Die Auslegung der Rettungscontainer muss auf die Anzahl der im Ereignisfall aufzunehmenden Personen und die zu erwartenden Belastungen angepasst sein.

Sobald die Grösse und Positionierung der Rettungscontainer definiert wurde, muss geprüft werden, ob lokale Anpassungen an den Normalprofilen (Nischen) erforderlich werden.

6.7 Brand- und Explosionsschutzkonzept

Der Brand- und Explosionsschutz ist so zu planen und auszuführen, dass eine gestaffelte Schutzwirkung realisiert wird:

- Die Entstehung von Bränden ist zu verhindern (Prävention).
- Entstandene Brände sind rasch zu erkennen und zu löschen oder zu beherrschen (Detektion, Intervention, Löschanlagen).
- Die Ausbreitung eines nicht gelöschten Brandes ist zu begrenzen (Bildung von Brandabschnitten).

Für den Standortvergleich und das RBG sind für den Rohbau der Untertaganlagen ausschliesslich konstruktive Brandschutzmassnahmen zu berücksichtigen. Weiterführende Anforderungen zum Brandschutz liegen zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor.

6.8 Notstromversorgung

Welche Installationen, wie z.B. Notbeleuchtung, Pumpen Bergwasser, Brandlüftung, Frischluftzufuhr zu Rettungscontainer etc., an eine zentrale Notstromversorgung angeschlossen oder dezentral mit Notstrom versorgt werden, ist in der nachfolgenden Projektphase in einem Notstromversorgungskonzept aufzuzeigen.

6.9 Abdichtungs- und Entwässerungskonzept

Bei den Ausführungen zum Abdichtungs- und Entwässerungskonzept der Untertaganlagen wird zwischen Bergwasser und Brauchwasser unterschieden.

6.9.1 Bergwasser

Der Bergwasseranfall ist zu minimieren, d.h. es ist möglichst kein Bergwasser durch die den Opalinuston überlagernden Gesteinsformationen zur Lagerebene zu bringen (vgl. Kap. 6.1 und 5.2.5)

Die Schächte weisen eine druckhaltende Abdichtung auf (exkl. Streckenführung im OPA, vgl. Kap.6.1). Die Abdichtung bzw. die dafür zur Anwendung kommenden Materialien müssen den salinen Grundwässern und zu erwartenden Gebirgstemperaturen über die geforderte Nutzungsdauer standhalten.

Die Zugangstunnel, hier vor allem der Zugangstunnel zum Zwiilag-Areal (Stichtunnel) am Standort JO, wird aufgrund des anstehenden Wasserdrucks drainiert ausgebildet. Der Wasserandrang soll dabei durch bauliche Massnahmen im Vortrieb auf 5 Liter pro Sekunde und Kilometer (Planungsannahme) reduziert werden.

Bauwerke auf Lagerebene und der (Betriebs-) Zugangstunnel JO sowie alle Bauwerke im Opalinuston erfordern aufgrund der Dichtigkeit des Opalinustons keine Abdichtung im eigentlichen Sinne bzw. werden als drainierte Bauwerke geplant.

Für den unwahrscheinlichen Fall eines Wassereintruchs in den Zugangsbauwerken wird im zentralen Bereich ein Retentionsvolumen in Abhängigkeit der Szenarien zur Verfügung gestellt, um zu verhindern, dass Wasser bis zu den Lagerfeldern gelangt. Hierfür gelten folgende Anforderungen:

- Schachtfusspunkte der Zugänge nach untertag liegen tiefer als Sohlenkote der übrigen Bauten des zentralen Bereichs.
- Falls das Hauptlager tiefer liegt als die Bauten des zentralen Bereichs, wird zwischen den Bauten des zentralen Bereichs und dem Eingang zum HAA- resp. SMA-Hauptlager beim Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel ein relativer Hochpunkt vorgesehen.

6.9.2 Brauchwasser

Das Eindringen von Brauchwasser in das Gebirge ist aufgrund des Quellpotenzials des Opalinustons zu vermeiden. In Phasen mit Bautätigkeit ist Brauchwasser im Vortrieb auf das Minimum zu reduzieren (vgl. Kap. 6.1). Brauchwasser im rückwärtigen Bereich der Vortriebe ist separat zu fassen und darf nicht offen auf der Betonsohle der Stollen geführt werden.

Das in den konventionellen Bereichen anfallende Wasser ist über den Betriebsschacht abzuführen. Das anfallende Wasser in den Überwachungsbereichen ist hingegen über den Zugangsschacht abzuführen. Wasser aus den Überwachungsbereichen darf keinesfalls in den konventionellen Bereich gelangen und umgekehrt (strikte Zonentrennung).

6.10 Erdungskonzept

Elektrisch leitende Objekte der Untertaganlagen (hier: Bewehrung der Betonbauteile) müssen über Erdungsleitungen an die Anlagenerdung angeschlossen werden. Da diese Massnahmen nach der Bauvollendung kaum mehr nachgerüstet werden können, ist der frühzeitigen Planung und der fachmännischen Realisierung besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

6.11 Unterhaltskonzept

Die Dauerhaftigkeit der Untertaganlagen ist im Rahmen der Erhaltung durch den Betreiber sicherzustellen (vgl. Kapitel 3.4). Bis zur Verfüllung des jeweiligen Bauwerks wird daher ein baulicher und betrieblicher Unterhalt gemäss einem Überwachungs- und Unterhaltsplan vorausgesetzt (siehe hierzu SIA 260, Ziffer 0.2.3, SIA 2013).

Instandsetzungen ganzer Bauwerke (Tunnelabschnitte) oder Bauteile (z.B. Innenschale respektive Verkleidung) des Rohbaus der Untertaganlagen sind während der geforderten Nutzungsdauer der Bauwerke zu vermeiden. Die Sohlen der Tunnelrohbauten sind generell unterhaltsfrei auszugestalten und mit Rigolen zu versehen.

Der Überwachungs- und Unterhaltsplan für den Rohbau der Untertaganlagen wird erst in späteren Planungsphasen (Ende Ausführung / Anfang Bewirtschaftung) erstellt. Bedürfnisse des Unterhaltes sind jedoch bereits in der Projektierung der Untertaganlagen zu berücksichtigen.

Für etwaige Umnutzungen der Bauwerke über die verschiedenen Phasen sind Umrüstungen oder Umbauten der betroffenen Bauwerke zu berücksichtigen.

6.12 Dichtigkeitsanforderungen

Die Anforderungen an die Dichtigkeitsklasse richten sich nach SIA 197 (SIA 2004), Ziffer 8.6.2.3:

- Zugangsbauwerke: Dichtigkeitsklasse 1
- Alle Bauwerke auf Lagerebene, ausser Elektrostation: Dichtigkeitsklasse 2
- Elektrostation untertag: Dichtigkeitsklasse 1

Aufgrund des dichten Wirtgesteins Opalinuston wird davon ausgegangen, dass für alle Bauwerke im Opalinuston die obigen Anforderungen der Dichtigkeitsklassen ohne bauliche Massnahmen erfüllt werden.

7 Besondere Vorgaben der Bauherrschaft

Nachfolgend werden alle besonderen Vorgaben, d.h. zusätzlich zu berücksichtigende Anforderungen an das Vorhaben, der Nagra aufgeführt.

7.1 Rückholungskonzept

Das Rückholungskonzept ist in Nagra 2022d beschrieben. Für die Beobachtungsphase sind der Betriebszugang (Schacht oder Zugangstunnel), der Lüftungsschacht, einzelne Bauten des zentralen Bereichs sowie die Zugänge zu den Lagerfeldern bis zu den Kontrollstollen noch in Betrieb (vgl. Kap. 3.3) und stehen auch für eine allfällige Rückholung zur Verfügung. Mit dem regelmässigen Unterhalt dieser noch offenen Infrastrukturen und Anlagen bleibt die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gewährleistet. Bauwerke, die bereits verfüllt wurden, sind, falls sie für die Rückholung benötigt werden, wieder freizulegen und, falls erforderlich, nachzusichern. Dies gilt auch für die Lagerkavernen, welche zum Zeitpunkt einer allfälligen Rückholung bereits mehrere Jahre verfüllt sind. Bei den Lagerstollen sieht das aktuelle Rückholungskonzept keine Nachsicherung vor. Für die ferngesteuerte personenlose Rückholung der HAA aus den Stollen ist aus diesem Grund nachzuweisen, dass der Ausbau nach einer Zeitspanne von 75 Jahren (2058 bis 2125 plus Reserve) noch mehrheitlich intakt ist (Sicherheitsfaktor der Tragsicherheit ≥ 1.0 ²⁷).

²⁷ Die SIA-Norm 260 enthält keine Vorgaben für eine vergleichbare Situation. Die Festlegung der Bauherrschaft vermeidet einerseits mögliche unerwünschte Auswirkungen einer strengeren Anforderung auf die Langzeitsicherheit und berücksichtigt andererseits die ausschliesslich personenlose Nutzung des Stollens mit ferngesteuerten Maschinen bei einer allfälligen Rückholung.

8 Schutzziele und Risiken

Nachfolgend werden die Schutzziele und die besonderen Risiken aufgeführt, die im vorliegenden Projektstand bekannt sind.

8.1 Schutzziele

Die übergeordneten Schutzziele des Vorhabens gTL sind in den Kapiteln 1 und 2 beschrieben. Die Schutzziele betreffend Umwelt (mit Ausnahme der Langzeitsicherheit) sind in Kapitel 5 dargelegt.

8.1.1 Erdbeben

Angestrebt werden der Personenschutz, die Schadensbegrenzung und die Gewährleistung der Funktionstauglichkeit aller Bauwerke der Untertaganlagen bei / nach Erdbeben.

Die Bemessung auf Erdbebeneinwirkung wird durch die Wahl von geeigneten konstruktiven Massnahmen, welche ein duktils Verhalten des Tragwerks ermöglichen, geschehen. Eine Bemessung gegen Beschleunigungen / Antwortspektren nach Norm (SIA 2020) ist aufgrund der Tiefenlage für die Bauwerke auf Lagerebene nicht zweckmässig.

Bei den oberflächennahen Bauwerken (Portale, Tagbautunnel (JO) und Lockergesteinsstrecken) der Untertaganlagen ist eine Bemessung auf Erdbebeneinwirkung in der nächsten Projektphase vorgesehen.

8.1.2 Naturgefahren

Für den Rohbau der Untertaganlagen an sich sind Naturgefahren mit Ausnahme der Gefahr «Erdbeben» (siehe Kapitel 8.1.1) nicht zu berücksichtigen.

Zugangstunnel JO:

Im Portalbereich des Betriebszugangstunnels (NZA-B gemäss Nagra (2019b) und Nagra (2019c)) sind u.a. die Naturgefahren Erdrutsch und Erdsenkung sowie Schneedruck und Lawinen in der Nutzungsvereinbarung der Oberflächeninfrastruktur vertieft abzuklären.

Der Gefahr von Überschwemmung des Zugangstunnels ist mit der steigenden Linienführung (1 % auf den ersten 100 m) entgegenzuwirken.

8.1.3 Brand und Explosion

Ziel des baulichen Brandschutzes (vgl. Kap. 6.7) ist es, Personenschäden sowie Schäden an den Abfällen / Endlagerbehältern durch vorzeitiges Versagen des Tragwerks zu verhindern und die Bausubstanz nicht unzulässig zu schwächen. Die Tragwerke sind daher so zu bemessen und zu erstellen, dass ihre Standsicherheit unter Brandbeanspruchung ausreichend lange erhalten bleibt, insbesondere zur Gewährleistung der Zugänglichkeit für die Ereignis- und Störfallbewältigung.

Brand und Explosion sind in den nächsten Phasen als aussergewöhnliche Einwirkung zu untersuchen und ihre Beherrschung nachzuweisen.

8.1.4 Korrosion / Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) / Gebirgstemperatur

Für die Sicherung und Verkleidung der Untertaganlagen sind geeignete Materialien zu wählen. Die hoch mineralisierten Bergwässer und Gebirgstemperaturen sind bei der Betontechnologie (Betonrezeptur) und der Wahl des Abdichtungssystems zu berücksichtigen.

Für die Entwicklung der Betonrezeptur ist das Merkblatt 2042 «Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten» des SIA (SIA 2012) anzuwenden.

8.1.5 Anprall

Für den Standortvergleich werden Anpralllasten als vernachlässigbar betrachtet.

8.1.6 Gas

In allen Phasen ist die Ansammlung explosionsgefährdender bzw. toxischer Konzentrationen von Gasen zu verhindern (vgl. Kapitel 6.3.2).

8.2 Besondere Risiken (unvermeidbare/akzeptierte Risiken)

Für den Rohbau der Untertaganlagen werden für folgende Risiken die oben genannten technischen, baulichen oder organisatorischen Massnahmen vorgesehen. Verbleibende Restrisiken werden von der Nagra akzeptiert.

- Bauphasen: Erdbeben, extreme Brandereignisse (Definition im Rahmen des Baustellensicherheitskonzepts und des Ereignismanagements) und Explosion;
- Betriebsphasen: eingeschränkte Gebrauchstauglichkeit bei einem Erdbeben, jedoch kein Tragwerksversagen;
- Betriebsphasen: Schäden am Bauwerk nach Brand- oder Explosionsereignis;
- unvorhersehbare Umwelteinflüsse und aussergewöhnliche Naturgefahren, soweit diese nicht durch die einschlägigen Normen abgedeckt sind;
- Sabotage und Vandalismus.

8.3 Bautechnische Risikoanalyse

Standortspezifische Risiken infolge Abweichungen zur Baugrundprognose sowie die Beschreibung der zu ergreifenden risikomindernden Massnahmen sind in der bautechnischen Risikoanalyse (Nagra 2023h) dokumentiert. Die dort definierten Massnahmen sind umzusetzen.

Die in der bautechnischen Risikoanalyse zu berücksichtigenden Projektanforderungen (Gefahrenschwerpunkte) des geologischen Tiefenlagers wurden mithilfe einer Grobanalyse (erste Risiko- beurteilung mit niedrigem Detaillierungsgrad) identifiziert. Die ermittelten Gefahrenschwerpunkte sind Sicherheit, Kosten, Termine und Qualität.

Projektanforderungen respektive Gefahrenschwerpunkte der nuklearen Betriebssicherheit werden in der vorliegenden Nutzungsvereinbarung nicht behandelt.

9 Normbezogene Bestimmungen

9.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien des Bundes

Es gelten die Gesetze und Verordnungen des Bundes sowie die oben aufgeführten Vorgaben, soweit sie damit nicht im Widerspruch stehen.

9.2 Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden

Es gelten die Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden per 01.01.2023.

Nachfolgend sind ausgewählte Normen des Untertagbaus und des Betonbaus sowie weitere relevante Vorgaben des Untertagbaus aufgeführt. Weitere Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden werden stufengerecht in einer späteren Projektphase aufgelistet.

Eine Doppelnennung im Literaturverzeichnis (Kapitel 11) ist möglich.

BVOS	Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen von 2003, Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW
EKAS 6514	Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit EKAS, EKAS Richtlinie Nr. 6514, Untertagarbeiten, Ausgabe Oktober 2005
ENSI B12	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Notfallschutz in Kernanlagen, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B12/d, Ausgabe August 2019
ENSI G03	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G03/d, Ausgabe 2020
L-UT	BG BAU Prävention, Leitfaden für Planung und Umsetzung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzkonzeptes auf Untertagebaustellen, München 2007
SECO 2020	Schweizerische Eidgenossenschaft, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Wegleitung zu den Verordnungen 3 und 4 zum Arbeitsgesetz, Gesundheitsschutz, Plangenehmigung. August 2020, Bern.
SIA 118	Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten, Ausgabe 2013
SIA 118/198	Allgemeine Bedingungen für Untertagbau, Ausgabe 2007
SIA 196	Baulüftung im Untertagbau, Ausgabe 1998
SIA 197	Projektierung Tunnel – Grundlagen, Ausgabe 2004
SIA 198	Untertagbau Ausführung, Ausgabe 2004
SIA 199	Erfassen des Gebirges im Untertagbau, Ausgabe 2015
SIA 260	Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Ausgabe 2013
SIA 261	Einwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe 2020

SIA 261/1	Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen, Ausgabe 2020
SIA 262	Betonbau, Ausgabe 2013
SIA 262/1	Betonbau – Ergänzende Festlegungen, Ausgabe 2019
SIA 267	Geotechnik, Ausgabe 2013
SIA 267/1	Geotechnik – Ergänzende Festlegungen, Ausgabe 2013
SIA 382/1	Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2014.
Suva 1903	Grenzwerte am Arbeitsplatz. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Juni 2019, Publikationsnummer 1903.d
Suva 2869	Rast, H., Hofer, L., Jost, M. & Kunz, I. Arbeitsmedizinische Prophylaxe bei Arbeiten im Untertagebau im feucht-warmen Klima. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, März 2003, Publikationsnummer 2869/26.d
Suva 66102	Verhütung von Unfällen durch Brände und Explosionen bei der Erstellung von Untertagebauten in Erdgas führenden Gesteinsschichten, 1. Auflage 2002
Suva 84074	10 lebenswichtige Regeln für Untertagarbeiten, 20.05.2022
Suva 88112	Rettungskonzept für den Untertagebau, 4. Auflage Juli 2007
TAS	Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen, 15.12.1977, Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW
Verordnung 832.311.141	Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeiterverordnung, BauAV), 29. Juni 2005 (Stand am 01. Oktober 2011)

9.3 Abweichungen von den Normen und Richtlinien

Von vorgegebenen Richtlinien und Normen darf abgewichen werden, falls eine Abweichung zweckmässig, kostengünstig und im Interesse der zukünftigen Nutzung oder der Sicherheit ist, und nur in Fällen, in denen keine Gefährdung von Personen oder der Umwelt vorliegt. Sie ist auf jeden Fall nach dem neusten Stand der Technik zu begründen und vom Auftraggeber zu genehmigen.

10 Unterschriften

Die Nutzungsvereinbarung dient ausschliesslich der Projektierung der sechs Lagerprojekte für den Standortvergleich zur Begründung der Standortwahl (siehe auch Nagra 2023a). Sie stellt sicher, dass alle Projekte die gleichen Anforderungen erfüllen. Es handelt sich noch nicht um eine Vereinbarung zwischen Bauherrn und Planer, weshalb auf physische Unterschriften des Bauherrn und des Projektverfassers, wie sonst üblich, verzichtet wird.

11 Literaturverzeichnis

- BAFU (2006): Baulärm-Richtlinie. Richtlinie über bauliche und betriebliche Massnahmen zur Begrenzung des Baulärms gemäss Artikel 6 der Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1886. Stand 2011. Umwelt-Vollzug Nr. 0606. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BAFU (2016): Luftreinhaltung auf Baustellen. Richtlinie über betriebliche und technische Massnahmen zur Begrenzung der Luftschadstoff-Emissionen von Baustellen (Baurichtlinie Luft). Umwelt-Vollzug Nr. 0901. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BAFU (2021): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Umwelt-Vollzug Nr. 2117. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BauAV (2021): Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV)., vom 18. Juni 2021, Stand am 01. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.311.141, Schweiz.
- BFE (2008): Sachplan Geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.
- BG BAU, ITA & Suva (2011): Sicher Arbeiten im Tunnelbau. Leitfaden für Tunnelbauer. ITA, Lausanne.
- BVOS (2003): Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) vom 15.10.2003. Vorschriftensammlung Bergbau der Bezirksregierung Arnsberg.
- DAUB & ITA-AITES (2018): Empfehlungen für den Einsatz von Fluchtkammern auf Untertagebaustellen. DAUB-Arbeitskreis.
- EKAS (2004): Untertagarbeiten. EKAS Richtlinie Nr. 6514. Ausgabe Oktober 2005. Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit EKAS, Luzern.
- ENSI (2018): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2020a): Geologische Tiefenlager. Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2020b): Geologische Tiefenlager. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG), vom 24. Januar 1991, Stand am 01. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.20, Schweiz.
- GSchV (1998): Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.201, Schweiz.

- Jagdgesetz, JSG (1986): Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, JSG), vom 20. Juni 1986, Stand am 01. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 922.0, Schweiz.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Februar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- Nagra (2014): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien – MIRAM 14. Nagra Technischer Bericht NTB 14-04.
- Nagra (2019a): Platzierung der Hauptschliessungsbereiche (HEB) in den Standortgebieten Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-19.
- Nagra (2019b): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 1: Einführung und Grundlagen. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 1.
- Nagra (2019c): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 2: Standortspezifische Vorschläge. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 2.
- Nagra (2021a): Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 21-01.
- Nagra (2021b): Konzept erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU). Nagra Arbeitsbericht NAB 21-14.
- Nagra (2021c): Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12.
- Nagra (2022a): Betriebskonzept für die geologische Tiefenlagerung. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-06.
- Nagra (2022b): Lüftungs- und Kühlungskonzept geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-31.
- Nagra (2022c): Module der Lagerarchitektur. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35.
- Nagra (2022d): Rückholungskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-13.
- Nagra (2023a): Bautechnisches Dossier - Band 1: Einführung und Projektdefinition. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 1.
- Nagra (2023b): Bautechnisches Dossier - Band 2: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Jura Ost. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 2.
- Nagra (2023c): Bautechnisches Dossier – Band 3: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Nördlich Lägern. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 3.
- Nagra (2023d): Bautechnisches Dossier – Band 4: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Zürich Nordost. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 4.

Nagra (2023e): Bautechnisches Dossier – Band 6: Technischer Beschrieb und Pläne Lagerprojekte. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 6.

Nagra (2023f): Bautechnisches Dossier – Band 7: Projektbasis. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 7.

Nagra (2023g): Bautechnisches Dossier – Band 8: Tunnelstatik. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 8.

Nagra (2023h): Bautechnisches Dossier – Band 9: Bautechnische Risikoanalyse. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 9.

Nagra NAB 24-01 (*in Bearb.*): Definition der Bewertungsobjekte für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-01.

Nagra NAB 24-18 (*in Bearb.*): Safety concept and requirements. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-18.

NHG (1966): Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG), vom 01. Juli 1966, Stand am 01. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451, Schweiz.

SIA (1998): Baulüftung im Untertagebau : Verständigung, Grundlagen und Hinweise, Planung, Berechnungen, Ventilationsmaterial, Ausführung, Leistung, Kontrolle und Unterhalt. Schweizer Norm SIA Empfehlung 196, SN 531 196. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA (2004): Projektierung Tunnel: Grundlagen. Schweizer Norm SIA 197, SN 505 197. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA (2012): Vorbeugung von Schäden durch die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) bei Betonbauten. SIA Merkblatt 2042. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA (2013): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizer Norm SIA 260, SN 505 260. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA (2020): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizer Norm SIA 261: 2020, SN 505 261. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

StSV (2017): Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.

Suva (2007): Rettungskonzept für den Untertagebau. Ein praktisches Arbeitsmittel für Planer und Unternehmer. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern.

Suva (2021): Grenzwerte am Arbeitsplatz. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern.

Suva (2022a): 10 lebenswichtige Regeln für Untertagarbeiten. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern.

- Suva (2022b): Erdgas bei Untertagarbeiten: Verhütung von Bränden und Explosionen. Technisches Merkblatt. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern.
- TAS (1977): Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS) vom 14.12.1977, Stand Dezember 2005. Vorschriftensammlung Bergbau der Bezirksregierung Arnsberg.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG), vom 07. Oktober 1983, Stand am 01. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.
- UVPV (1988): Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV), vom 19. Oktober 1988, Stand am 01. August 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.011, Schweiz.
- Waldgesetz, WaG (1991): Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG), vom 04. Oktober 1991, Stand am 01. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 921.0, Schweiz.
- Ziegler, A. & Ziegler, C. (2013): Erschütterungsimmissionen bei verschiedenen Bauaktivitäten. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-19.

12 Glossar

Fachausdruck	Erläuterung
Auflockerungszone	Neben den natürlichen Brüchen im Gestein, entstehen beim Ausbrechen von Kavernen und Tunneln Entlastungsklüfte. Diese verlaufen parallel zur Tunnelwand. Eine solche Zone wird Auflockerungszone genannt.
Bautechnischer Nutzraum	Der bautechnische Nutzraum t setzt sich gemäss SIA 197 (SIA 2004) aus dem Raum für Abweichungen (a) und dem Raum für spätere bauliche Massnahmen (b) zusammen. Siehe auch Anhang D.
Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU) / Testbereich	Bauten, in denen (u.a.) Langzeitexperimente durchgeführt und sicherheitsrelevante Techniken erprobt und deren Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden. Diese Bauten werden so geplant, dass sie bei Vorliegen der nuklearen Baubewilligung als Testbereich (lt. Art. 64 und 65 KEV) integrale Bestandteile des geologischen Tiefenlagers werden können.
Einschlusswirksamer Gebirgsbereich (EG)	Räumlicher Körper im geologischen Untergrund, der bei zu erwartender Entwicklung des geologischen Tiefenlagers für den Betrachtungszeitraum, im Zusammenwirken mit technischen Barrieren, den Einschluss und die Rückhaltung der im Abfall enthaltenen radioaktiven Stoffe sicherstellt. Zum EG gehören das Wirtgestein sowie obere und untere barrierenwirksame Rahmengesteine (ENSI 2018).
Instandhaltung	Bewahren der Gebrauchstauglichkeit durch regelmässige Massnahmen (Definition gemäss SIA 260, SIA 2013)
Instandsetzung	Wiederherstellen der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für eine vereinbarte Dauer (Definition gemäss SIA 260, SIA 2013).
Lagerauslegung	Die Lagerauslegung ist eine weitergehende und für alle Standortgebiete in SGT Etappe 3 anwendbare Konkretisierung des Lagerkonzepts. Sie berücksichtigt stufengerecht Anforderungen an die Sicherheit, technische Machbarkeit und den Umgang mit vorhandenen Ressourcen sowie das Gebot der Optimierung.
Lagerfeldzugänge	Überbegriff für untertägige Bauwerke, die den Zugang zum Lagerfeld ermöglichen. Hierzu gehören der Betriebstunnel, Lüftungstunnel, Bautunnel, Pilotlagerzugang sowie die Querverbindungen.
Lagerkonfiguration	Eine Lagerkonfiguration legt die Zusammensetzung und Anordnung der Bauwerke eines geologischen Tiefenlagers fest. Oft wird damit eine standortspezifische Konfiguration gemeint. Für ein Standortgebiet sind zurzeit noch mehrere Lagerkonfigurationen denkbar. Eine Lagerkonfiguration besteht aus der Konfiguration der Zugangsbauwerke, der Oberflächeninfrastruktur sowie der Bauwerke auf Lagerebene. Lagerkonfigurationen können mit sogenannten Systemskizzen übersichtlich dargestellt werden.

Fachausdruck	Erläuterung
Lagerkonzept	Das Lagerkonzept gibt Aufschluss darüber, wie das geologische Tiefenlager in seinen Grundzügen gestaltet wird. Dazu gehört beispielsweise das Konzept des Mehrfachbarrierensystems oder das Konzept einer Einlagerung von Endlagerbehältern in langen, schichtparallelen Lagerkammern resp. vertikalen Lagerkammern in einem geeigneten Wirtgestein. Das Lagerkonzept ist die Umsetzung des Entsorgungskonzepts unter Berücksichtigung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase.
Lagerprojekt	Das Lagerprojekt stellt die standortspezifische Umsetzung der Lagerauslegung für den Zweck des betrachteten Realisierungsschritts dar. In ein Lagerprojekt fliessen auch Anforderungen hinsichtlich Raumnutzung und Umwelt sowie Bedürfnisse von Anspruchsgruppen ein. Bei den Lagerprojekten für den Standortvergleich im Rahmenbewilligungsgesuch handelt es sich gemäss ENSI 33/649 um Vorprojekte in Anlehnung an die Normen SIA 112 und SIA 197.
Rahmengesteine	Ober- und/oder unterhalb des Wirtgesteins liegende Gesteinsschichten, deren Eigenschaften wie z. B. Tonmineralgehalt und hydraulische Durchlässigkeit zusätzlich zum Wirtgestein wesentlich zur Barrierenwirkung beitragen (ENSI 2018).
Störfall	Jeder vom Normalbetrieb abweichende Anlagezustand, der ein Eingreifen eines Sicherheitssystems erfordert (gemäss KEV). Ereignis, bei welchem eine Anlage vom Normalbetrieb abweicht und (i) die Sicherheit einer Anlage oder eines Gegenstands beeinträchtigt wird (technischer Störfall); (ii) das zu einer Überschreitung eines Immissionsgrenzwerts oder des Dosisgrenzwerts für nichtberuflich strahlenexponierte Personen führen kann (radiologischer Störfall); oder (iii) bei dem jemand einer Dosis von mehr als 50 mSv ausgesetzt wird (Strahlenunfall). (StSV 2017)
technische Barrieren	Technische Komponente, die über den Verschluss hinaus in einem geologischen Tiefenlager verbleibt und gemäss Sicherheitskonzept passiv zur Rückhaltung der Radionuklide beiträgt. (ENSI 2020a)
Testbereich	Siehe «Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (BEUU) / Testbereich»
Überwachungsbereich	Überwachungsbereiche sind Bereiche, die zum Schutz vor Exposition durch ionisierende Strahlung durch den Betrieb von Anlagen oder durch die Handhabung von geschlossenen radioaktiven Quellen besonderen Anforderungen unterliegen. (StSV 2017)
Wirtgestein	Das Wirtgestein ist die Gesteinsformation, welche das Lager mit seinen Abfällen aufnimmt. Als Wirtgestein wird derjenige Bereich der Geosphäre bezeichnet, der für den Schutz der technischen Barrieren, für die Begrenzung des Wasserzuflusses zum Lager und für die Rückhaltung der Radionuklide massgebend ist.

Fachausdruck	Erläuterung
zentraler Bereich	Gesamtheit aller zentral angeordneten untertägigen Bauwerke, welche die Betriebs-Infrastrukturanlagen (Ver- und Entsorgung, Transportlogistik, Betriebseinrichtungen) für die Bauwerke auf Lagerebene enthalten.
Zugangsbauwerke	Bauwerke wie Zugangstunnel oder Schächte, welche ausgehend von den Anlagen an der Erdoberfläche die Anlagen im geologischen Untergrund erschliessen.

Anhang A Übersicht der Anfangs- und Endpunkte pro Lagertyp und Standort

A.1 Jura Ost – HAA-Einzellager mit Verbindung zum Zwiilag-Areal (Start bergmännischer Tunnel auf dem ehemaligen JO 3+ - Areal)

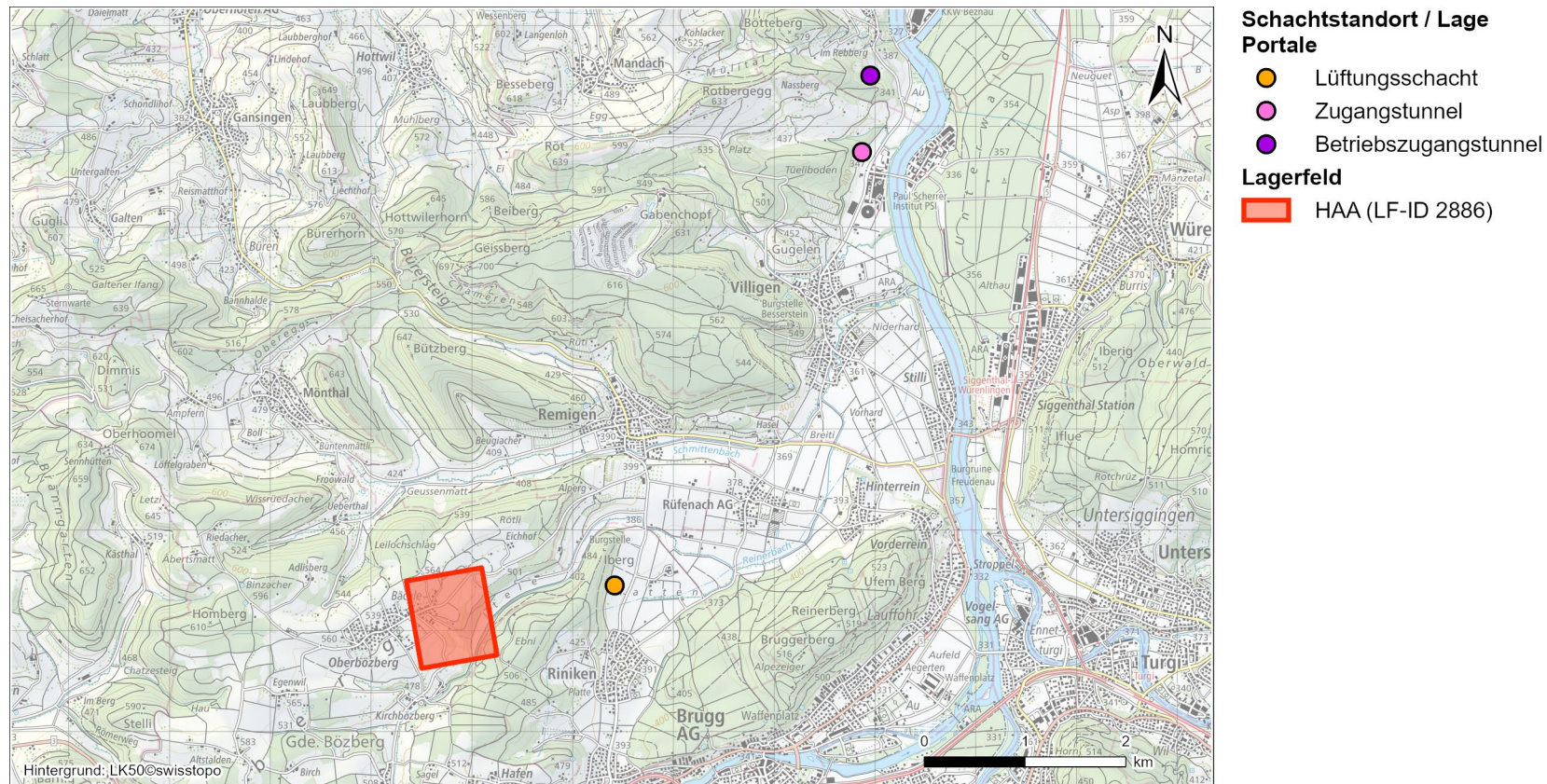


Fig. A-1: Jura Ost – HAA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration

A.2 Jura Ost – SMA-Einzellager mit Verbindung zum Zwiilag-Areal (Start bergmännischer Tunnel auf dem ehemaligen JO 3+ - Areal)

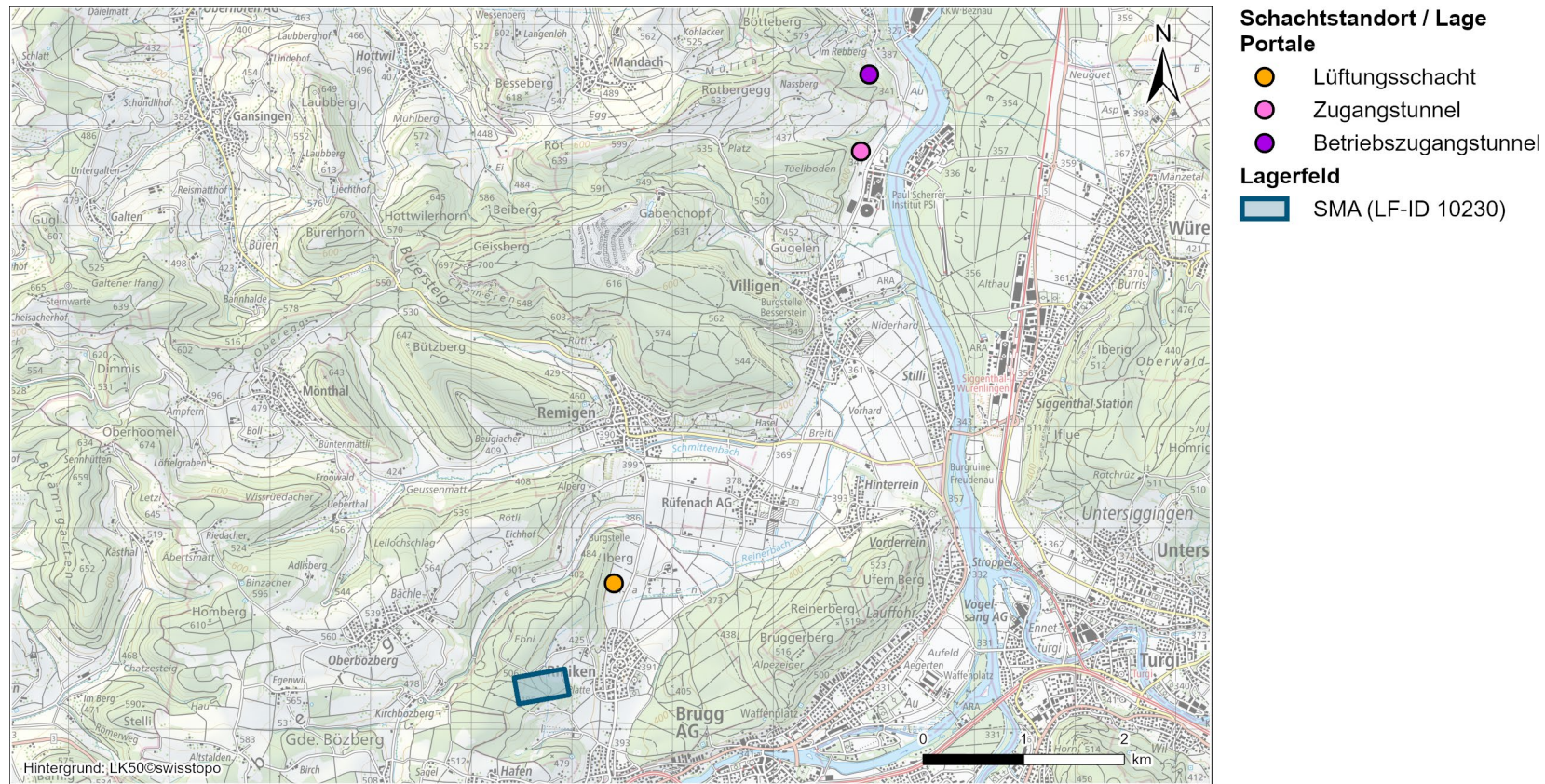


Fig. A-2: Jura Ost – SMA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration

A.3 Nördlich Lägern – HAA-Einzellager mit NL-6

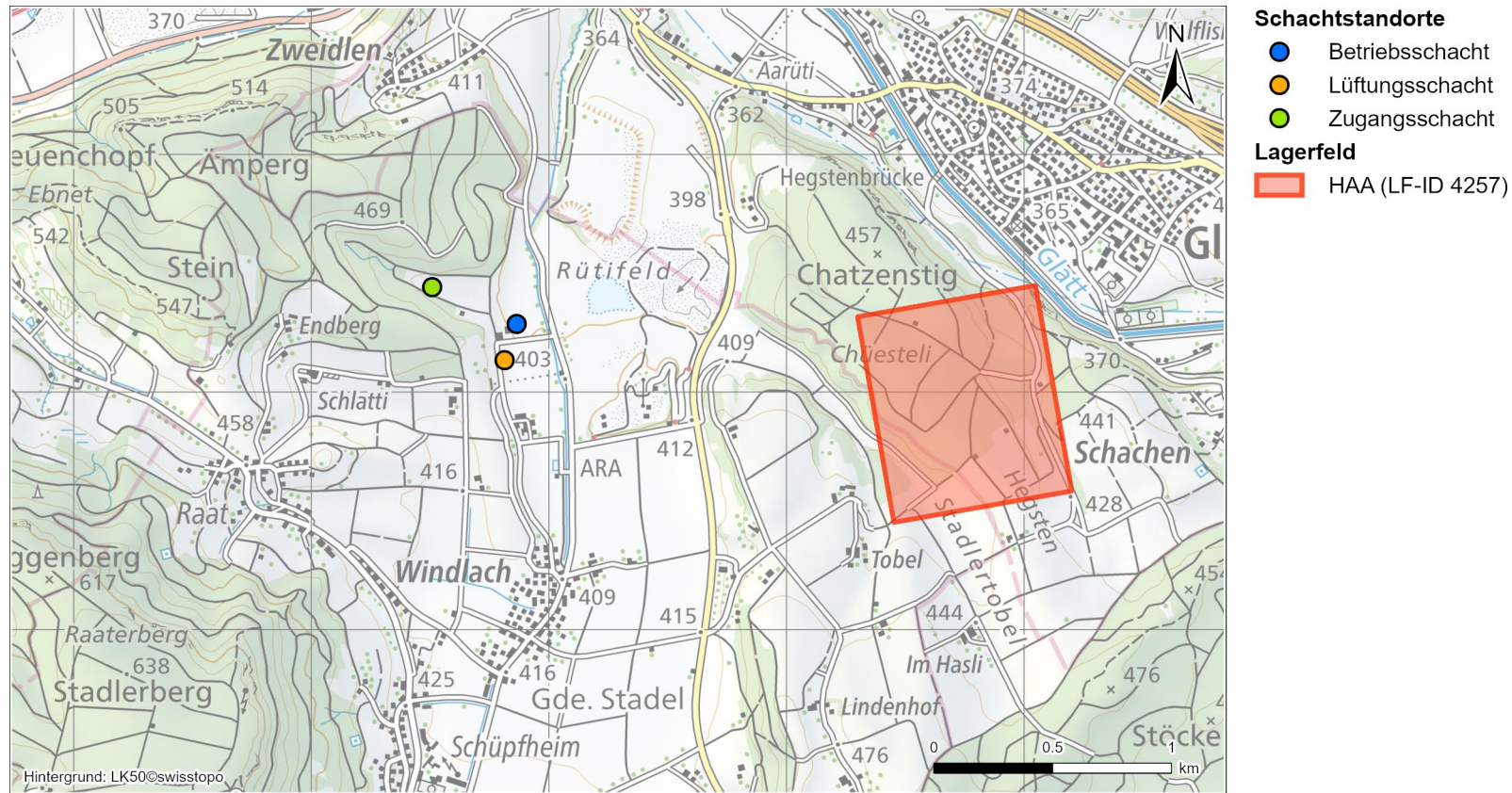


Fig. A-3: Nördlich Lägern – HAA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration

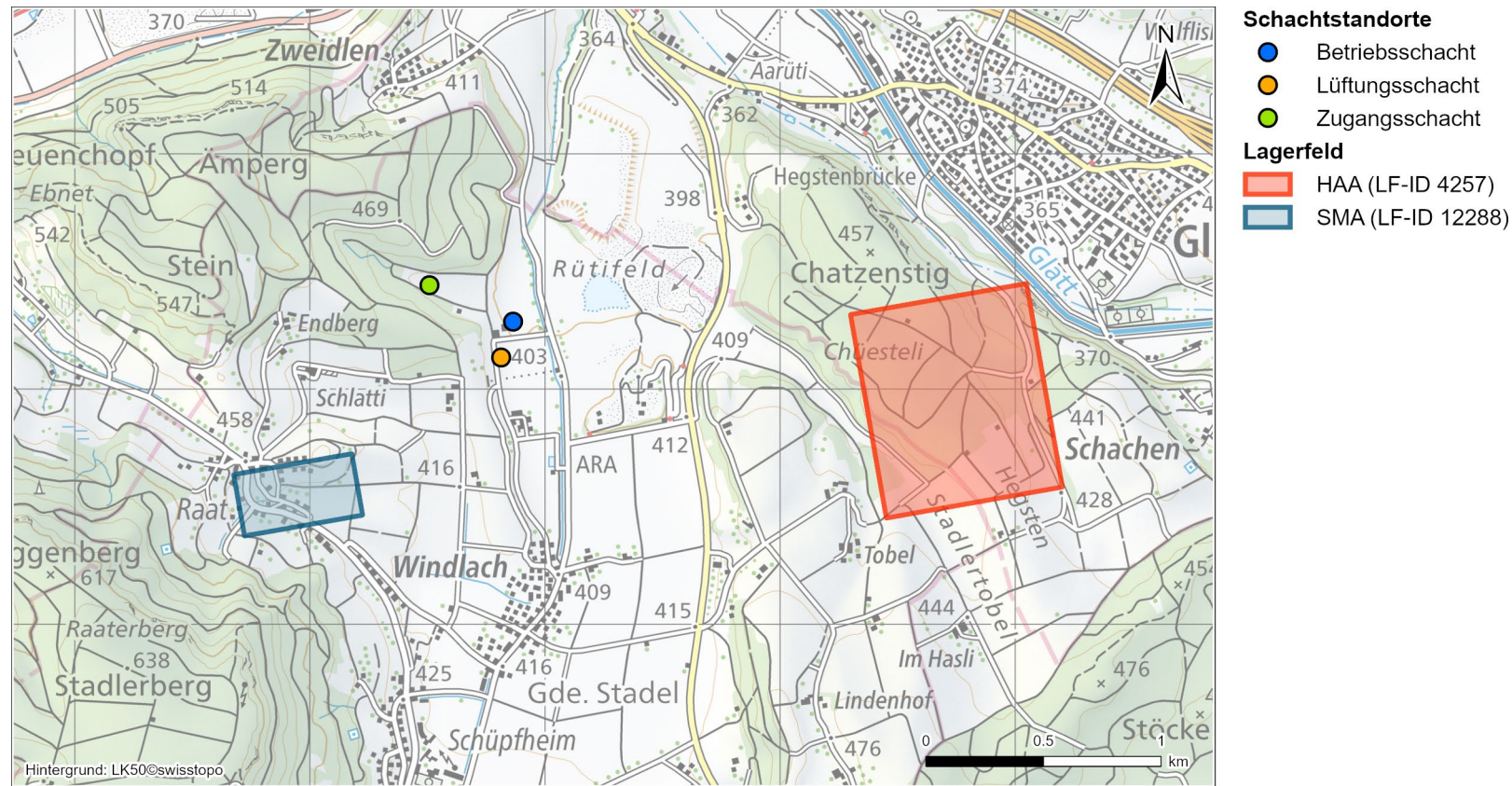
A.4 Nördlich Lägern – Kombilager mit NL-6

Fig. A-4: Nördlich Lägern - Kombilager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration

A.5 Zürich Nordost – HAA-Einzellager mit ZNO-9

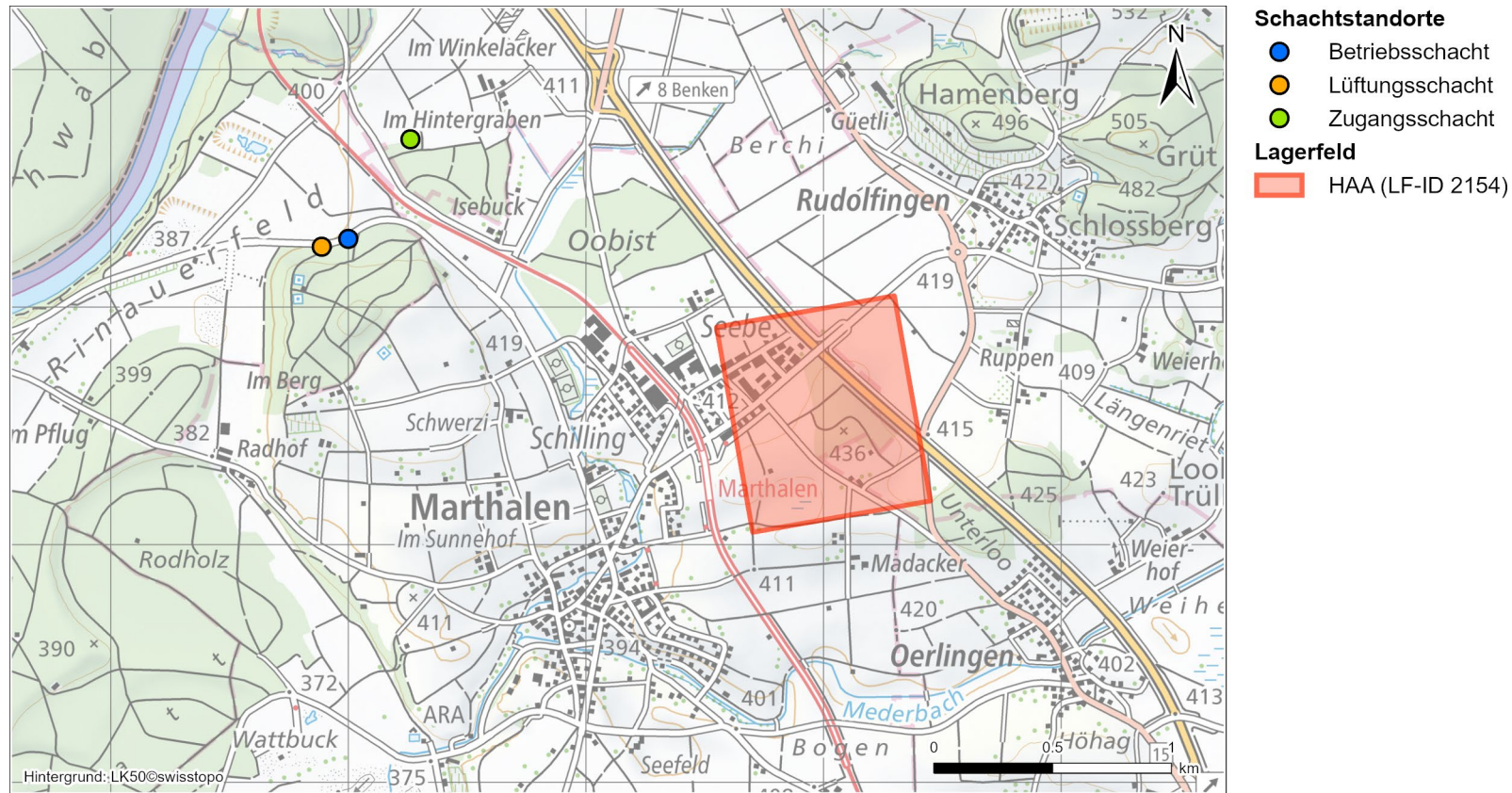


Fig. A-5: Zürich Nordost – HAA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration

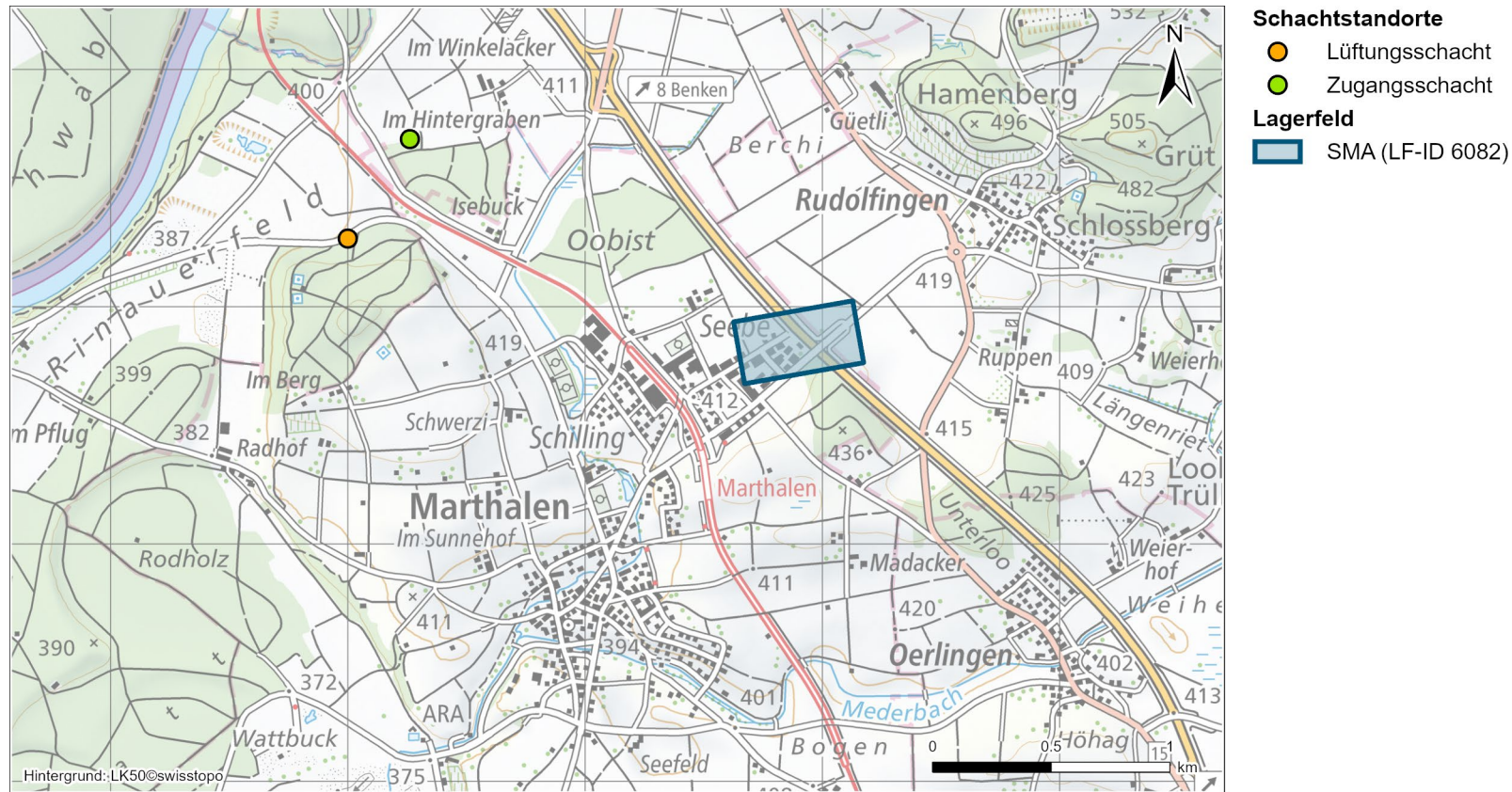
A.6 Zürich Nordost – SMA-Einzellager mit ZNO-9

Fig. A-6: Zürich Nordost – SMA-Einzellager, Darstellung der Anfangs- und Endpunkte für die Entwicklung der Lagerkonfiguration

A.7 Koordinaten der Zugangsbauwerke

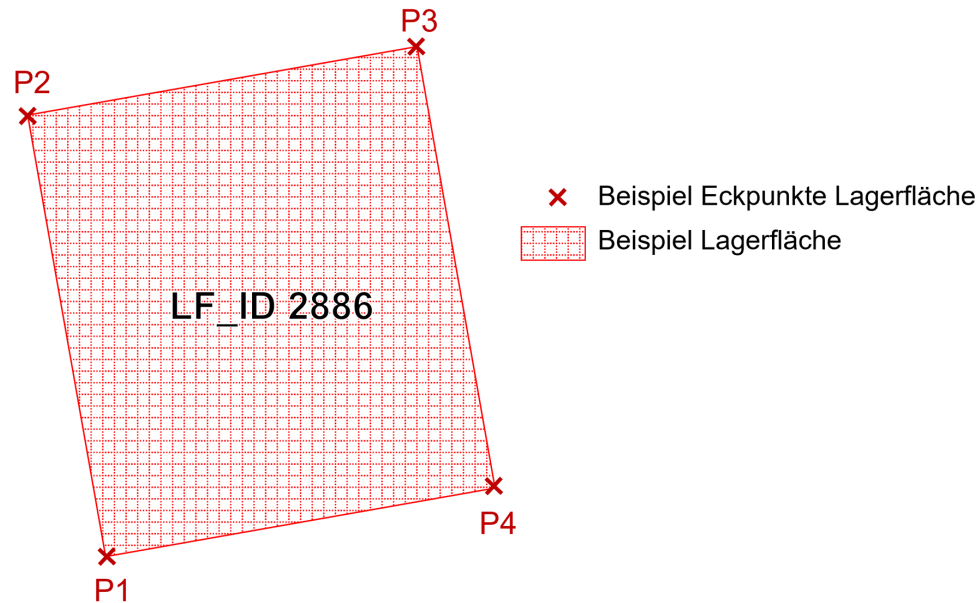
	Zugangsbauwerk	Point_X	Point_Y	Point_Z	Anmerkung
JO	Portal Betriebszugangstunnel	2658954.81	1266501.57	370.00	Achse
	Portal Zugangstunnel (bergmännischer Tunnel)	2658873.29	1265742.05	340.00	Achse
	Lüftungsschacht	2656419.97	1261450.99	380.00	OK Schacht*
NL	Zugangsschacht	2677508.20	1267441.20	405.00	OK Schacht*
	Betriebsschacht	2677864.82	1267286.01	394.00	OK Schacht*
	Lüftungsschacht	2677814.00	1267135.00	397.50	OK Schacht*
ZNO	Zugangsschacht	2690262.00	1277705.00	399.00	OK Schacht*
	Betriebsschacht**	2690001.00	1277287.00	394.00	OK Schacht*
	Lüftungsschacht	2689889.00	1277254.00	394.00	OK Schacht*

* entspricht OK Schacht = minus 6.0 m unter geplantem Terrain

** Beim SMA-Einzellager in ZNO = Standort des Lüftungsschachtes

Fig. A-7: Übersicht X-, Y-, und Z-Koordinaten der Zugangsbauwerke
Koordinatensystem CH1903+/LV95, Höhenangaben in m ü. M.

A.8 Koordinaten der Lagerflächen



	Type	LF_ID	RotatioDeg	P1X	P1Y	P1Z	P2X	P2Y	P2Z	P3X	P3Y	P3Z	P4X	P4Y	P4Z
JO	HAA	2886	170	2654502.09	1260626.18	-2.00	2654349.45	1261491.85	36.00	2655097.91	1261623.82	32.00	2655250.55	1260758.15	-6.00
	SMA	10230	170	2655425.90	1260511.21	-47.35	2655928.08	1260599.76	-55.83	2655974.10	1260338.79	-55.83	2655471.92	1260250.24	-47.35
NL	HAA	4257	170	2679452.04	1266451.50	-479.16	2679299.51	1267316.52	-416.77	2680047.96	1267448.50	-460.49	2680200.49	1266583.48	-499.67
	SMA	12288	170	2676675.88	1266636.21	-403.38	2677178.10	1266724.76	-409.37	2677224.12	1266463.79	-409.37	2676721.90	1266375.24	-403.38
ZNO	HAA	2154	170	2691701.91	1276052.23	-318.05	2691549.64	1276915.79	-248.60	2692298.09	1277047.77	-276.65	2692450.36	1276184.21	-346.10
	SMA	6082	170	2691626.01	1276936.23	-263.03	2692127.97	1277024.74	-280.46	2692173.99	1276763.77	-280.46	2691672.03	1276675.26	-263.03

LF_ID	Eindeutige Nummer der Lagerfläche
RotatioDeg	Deklinationwinkel der Lagerfläche in Grad bezüglich Nord
xx.xx	* Z-Koordinate optimiert

Fig. A-8: Übersicht Eckkoordinaten der Lagerflächen / X-, Y-, und Z-Koordinaten der vier Eckpunkte (P1 bis P4)
Koordinatensystem CH1903+/LV95, Höhenangaben in m ü. M.

Anhang B Systemdefinitionen der Untertaganlagen

Nachfolgend werden Anforderungen an die Lagerkonfiguration oder die Normalprofile aufgelistet, die nur einzelne Bauwerke betreffen. Diese Anforderungen sind teilweise strenger als die in Kapitel 3.3 aufgeführten Anforderungen.

Tab. B-1: Systemdefinitionen weiterer Bauwerke

Systemdefinitionen	Fig. 1-1, Nr.	Anhang
Betriebsschacht (NL, ZNO)	1	-
Lüftungsschacht	2	B.1
Zugangsschacht (NL, ZNO)	8	-
Zugangstunnel (JO)	-	B.2
zentraler Bereich (Betriebsbereich)	3	B.3
Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag, d.h. Experimentbereich und Demonstartionsbauwerke, spätere Testbereiche	4, 5, 6	B.4
Betriebstunnel SMA / HAA	9 / 15	-
Lüftungstunnel SMA / HAA	10 / 16	B.5
Bautunnel	17	-
Querverbindungstunnel SMA / HAA	21	B.6
Kontrollstollen SMA / HAA	11 / 19	-
(Pilot-) Lagerkavernenabzweiger- und -abzweigertunnel SMA, sowie Ablade- und Übernahmebereich	22	-
(Pilot-) Lagerstollenabzweiger HAA und Umladebereich	23	-
Pilot- und Hauptlager SMA	12 / 13	-
Pilot- und Hauptlager HAA	18 / 20	-

B.1 SD: Lüftungsschacht

Funktion:

- Der Lüftungsschacht dient ausschliesslich der Lüftung der Untertaganlagen, dem ausnahmsweisen Transport von grösseren Einzelteilen oder Baugeräten, sowie als Flucht- und Rettungsschacht.

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung auf Lagerebene: Schachtfuss nahe des Lüftungstunnels
- Länge: standortspezifisch festzulegen

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP-Innendurchmesser: minimal $R = 6.0 \text{ m}$ (inkl. bautechnischem Nutzraum, Planungsannahme, durch Projektverfasser zu bestätigen)

B.2 SD: Zugangstunnel JO (Rampe und Stichtunnel)

Ein Zugangstunnel respektive (Betriebs-)Zugangstunnel ist momentan nur in der Standortregion Jura Ost vorgesehen.

Der Zugangstunnel bzw. Betriebszugangstunnel bildet am Standort Jura-Ost den Hauptzugang zum geologischen Tiefenlager, welcher ab dem Standort der Nebenzugangsanlage erstellt wird. Er verbindet den zentralen Bereich auf Lagerebene mit der Oberflächeninfrastruktur. Vom zentralen Bereich bis zum Verzweigungsbauwerk in Portalnähe werden der Zugangs- und Betriebszugangstunnel durch einen einzigen Tunnel, d.h. ein einziges Bauwerk realisiert. Ab dem Verzweigungsbauwerk erfolgen über je einen Abzweiger die Anbindungen an den Tagbautunnel Richtung Zwilag (Zugangstunnel) und an die Nebenzugangsanlage in der Tongrube Schmidberg (Arealbezeichnung NZA-B: JO-B1) (Betriebszugangstunnel). Die Lage des Anschlusses an den Tagbautunnel Richtung Zwilag-Areal entspricht der Lage des Portals des bergmännisch erstellten Tunnels. Der Tagbautunnel ist nicht Bestandteil dieser Nutzungsvereinbarung.

Für die parallele Nutzung des Bauwerks bei einem HAA-Einzellager (paralleler Bau- und Einlagerungsbetrieb) ist das Normalprofil in der Mitte durch eine Trennwand aus Ortbeton unterteilt. Für das SMA-Einzellager am Standort JO wird die Trennwand nicht benötigt, da kein paralleler Bau- und Einlagerungsbetrieb stattfindet. Unterhalb des Fahrtraums befindet sich ein zweiteiliger Kanal, welcher primär als Luftraum (Abluft) genutzt wird.

Funktion:

- Der Zugangstunnel respektive das Zugangstunnelabteil stellt die bergmännisch erstellte Verbindung zwischen der OFA und dem zentralen Bereich dar. Er enthält eine Zahnradbahn, die sowohl sämtliche Güter als auch das Personal transportiert.
- Gewährleistung der Lüftung

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Länge / Linienführung: von Projektverfasser festzulegen
- Maximal Neigung der Zugangstunnel = 12.5 %
- Ausrundung Gefällewechsel:
 - Radius_{Kuppe} = 500 m
 - Radius_{Wanne} = 400 m
- Horizontalradius > 100 m (minimal R = 30 m bei Schrittgeschwindigkeit)
- Fluchtwege ca. alle 300 m (HAA-Einzellager: Fluchtschiebetür in Trennwand des Tunnels)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil – Zugangstunnel zum Zwilag-Areal (Stichtunnel)

- LRP Zahnradlokomotive H x B = 4.30 x 3.20 m (obere Ecken gekappt) plus Deckenstromschiene (siehe LRP Zugangstunnel in Tab. 4-2)
- LRP Fluchtweg beidseitig H x B = 2.0 x 0.80 m (die Breite des Fluchtwegs von 0.8 m setzt sich aus 0.55 m seitlich des LRP der Lokomotive plus 0.25 m des Bewegungsfreiraums der Lokomotive zusammen)

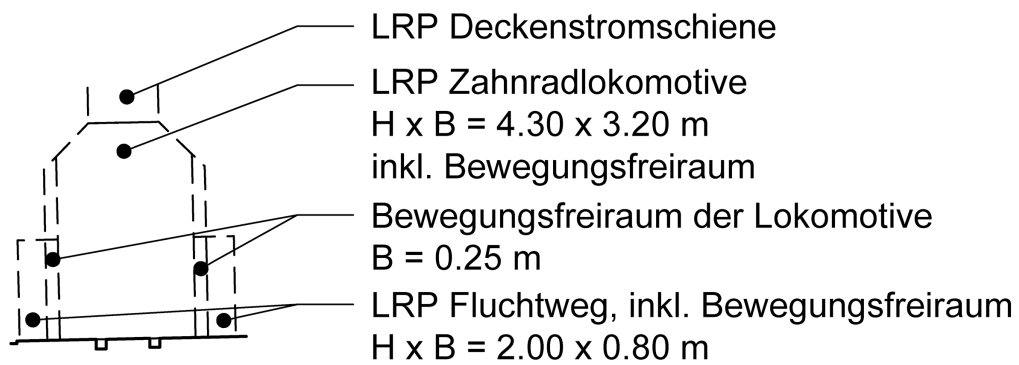


Fig. B-1: LRP des Zugangstunnels ab dem Zwilag-Areal
(Stichtunnel, nicht massstäblich)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil – Zugangstunnel mit Trennwand für ein HAA-Einzellager (ab Verzweigung)

- siehe Tab. 4-2, LRP Zugangstunnel in JO

B.3 SD: Zentraler Bereich

Im zentralen Bereich werden alle nötigen Installationen und Anlagen für den Betrieb und den Bau des geologischen Tiefenlagers angeordnet. Die Platzbedürfnisse für den Betrieb werden nachfolgend aufgeführt. Die benötigten Platzverhältnisse für den Bau sind mit dem Baulogistik-konzept zu bestimmen (siehe hierzu Nagra 2023e).

B.3.1 Betriebsraum 1

Funktion:

- Bereitstellung der Arbeitsinfrastruktur für das (EUU-) Personal und für Besucherführungen (Büro, Sanitäranlagen, Aufenthaltsraum etc.)

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe der Experiment- und Demonstrationsbereiche
- Länge: 40.5 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 4.8 m + 2 x 0.9 m
- LRP Höhe: 2.5 m

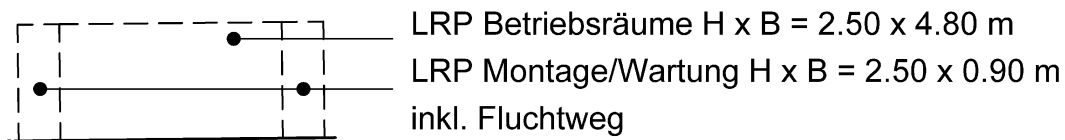


Fig. B-2: LRP des Betriebsraums 1 im ZB
 (nicht massstäblich)

B.3.2 Betriebsraum 2

Funktion:

- Arbeitsinfrastruktur für das Unterhaltspersonal für Betrieb und Einlagerung (Büro, Sanitär, Haustechnik, etc.)

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe der Rettungskaverne
- Länge: etwa 42 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 4.8 m
- LRP Höhe: 2.5 m

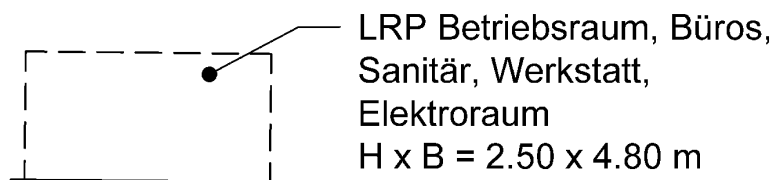


Fig. B-3: LRP des Betriebsraums 2 im ZB
(nicht massstäblich)

B.3.3 Einstellräume Betriebsfahrzeuge ohne Vorbeifahrt → NL und ZNO

Funktion:

- Einstellraum für Fahrzeuge und Maschinen

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe des Betriebstunnels
- Länge:
 - Kombilager: 4 Stück a 20 m (plus Vorplatz von 15 m, der aber in den Betriebstunnel ragen darf)
 - HAA-Einzellager: 3 Stück a 20 m (plus Vorplatz von 15 m, der aber in den Betriebstunnel ragen darf)
 - SMA-Einzellager: 3 Stück a 20 m (plus Vorplatz von 15 m, der aber in den Betriebstunnel ragen darf)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 3.7 m (inkl. Fluchtweg von 0.8 m)
- LRP Höhe: 2.3 m (Bereich Fluchtweg 2.0 m)

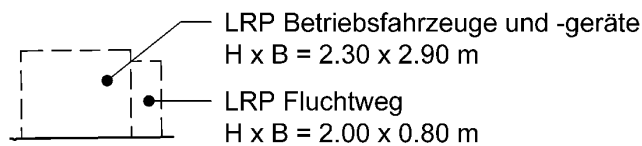


Fig. B-4: LRP der Einstellräume der Betriebsfahrzeuge ohne Vorbeifahrt im ZB
(nicht massstäblich)

B.3.4 Einstellraum Betriebsfahrzeuge mit Vorbeifahrt → JO

Funktion:

- Einstellraum für Fahrzeuge und Maschinen

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe des Betriebstunnels
- Länge: ca. 130 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 6.6 m (inkl. Fluchtweg von 0.8 m)
- LRP Höhe: 3.5 m



Fig. B-5: LRP des Einstellraums Betriebsfahrzeuge mit Vorbeifahrt im ZB
(nicht massstäblich)

B.3.5 Verbindungstunnel im zentralen Bereich

Funktion:

- Verbindungs-, Erschliessungs- und Fluchttunnel zwischen den verschiedenen Bauwerken und zu Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel im zentralen Bereich

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: nach Bedarf
- Länge: nach Bedarf
- Befahrbarkeit mit kleinen Fahrzeugen (bis 10 t) für den Unterhalt

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- Siehe Tab. 4-3, LRP Kontrollstollen HAA und SMA und Verbindungstunnel im ZB

B.3.6 Einstellraum Rettungsfahrzeuge

Funktion:

- Einstellraum Rettungsfahrzeuge und Lagerraum

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe des Betriebstunnels
- Länge: ca. 95 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: min. 4.2 m
- LRP Höhe: min. 2.8 m
- 2 Gehwege $H = 2.0$ m, $B = 0.5$ m



Fig. B-6: LRP des Einstellraums für Rettungsfahrzeuge im ZB
(nicht massstäblich)

B.3.7 Wassertank-Kaverne

Funktion:

- Wasserreserve für Löschwasser und Brauchwasser

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: im zentralen Bereich
- Länge: ca. 30 m
- Minimale Steigung (nach hinten) der Wassertanks = 10 % (für Entleerung, mit Aufständigung der Tanks oder mit Steigung der Sohle der Kaverne zu lösen, Planungsannahme: Kaverne steigt 10 %)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- Durchmesser Wassertank: 3.20 m
- Fluchtweg: H = 2.0 m, B = 0.8 m

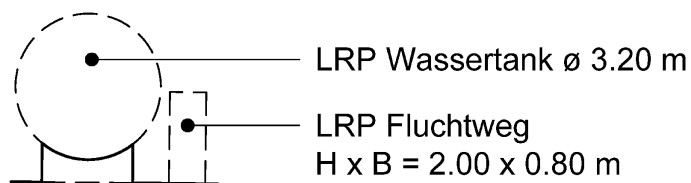


Fig. B-7: LRP der Wassertank-Kaverne im ZB
(nicht massstäblich)

B.3.8 ZB Rangierbereich (als Teil des Betriebstunnels) → NL und ZNO**Funktion:**

- Sicherstellen Platz für das Rangieren und Umschlagen der entsprechenden Materialien vor dem Zugangsschacht

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe des Schachtfusses des Zugangsschachts
- Länge: ca. 50 m
- Maximale Neigung des Rangierbereichs = 1 %

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 6.6 m (=5.8 m+0.8 m)
- LRP Höhe: 3.5 m (Bereich Fluchtweg 2.0 m)

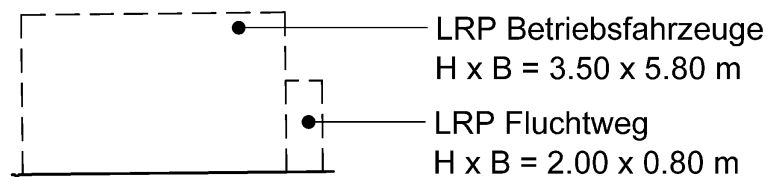


Fig. B-8: LRP des ZB-Rangierbereichs
(nicht massstäblich)

B.3.9 ZB Bahnhof (als Teil des Betriebstunnels oder ZB) → JO

Funktion:

- Rangieren und Umschlagen der entsprechenden Materialien am Ende des Zugangstunnels respektive im zentralen Bereich

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: am Ende des Zugangstunnels, in der Nähe des zentralen Bereichs
- Maximale Neigung des Rangierbereichs = 1 %
- Länge: ca. 250 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 8.5 m (inkl. Fluchtwege, die den Bewegungsfreiraum der Lokomotiven beinhaltet)
- LRP Höhe: max. 4.7 m mit abgeschrägten Ecken, siehe Fig. B-9

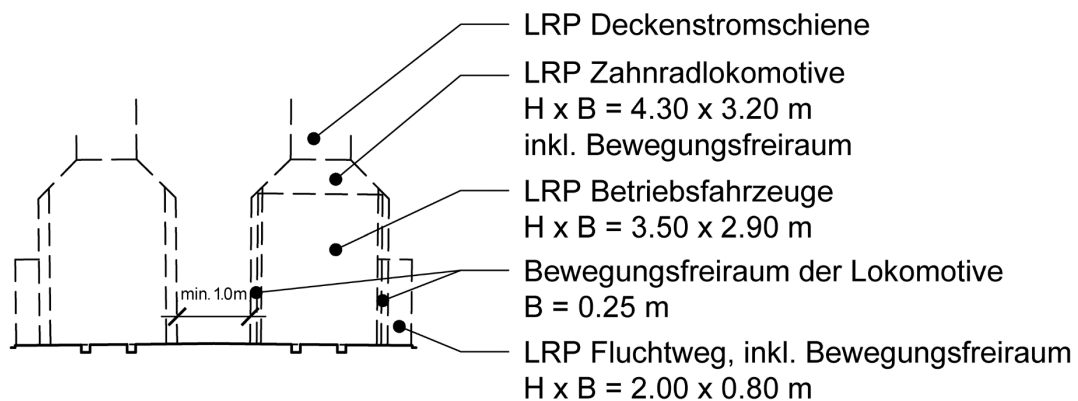


Fig. B-9: LRP des ZB-Bahnhofes
(nicht massstäblich)

B.3.10 Werkstatt Betrieb

Funktion:

- Werkstatt für Unterhalt und Wartung der Betriebseinrichtungen

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: im zentralen Bereich
- Länge: ca. 56 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 4.8 m
- LRP Höhe: 2.5 m

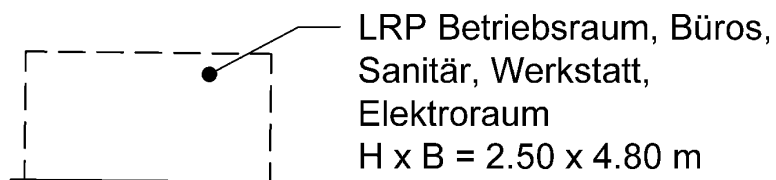


Fig. B-10: LRP der Werkstatt für den Betrieb
(nicht massstäblich)

B.3.11 Elektrostation Betrieb

Funktion:

- Unterbringung der Komponenten der Stromversorgung

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: im zentralen Bereich
- Länge: ca. 25 m

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 4.8 m
- LRP Höhe: 2.5 m

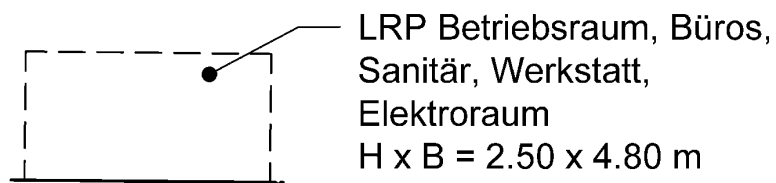


Fig. B-11: LRP der Elektrostation Betrieb
(nicht massstäblich)

B.3.12 Rettungsraum / -kaverne

Funktion:

- Fluchtendpunkt auf Lagerebene, wenn die Flucht bis an die Oberfläche nicht möglich ist.

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: möglichst zentral im ZB, Anbindung an Tunnel / Stollen mit Frischluft, nahe Betriebsraum 2 und den Büros der Baulogistik
- Länge: vom Projektverfasser zu bestimmen unter Berücksichtigung der maximalen Personenanzahl auf Lagerebenen (vgl. Kapitel 6.6.3)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: vom Projektverfasser zu bestimmen
- LRP Höhe: vom Projektverfasser zu bestimmen

B.3.13 Zentrale Kühlanlage

Funktion:

- Aufnahme der Hochdruck / Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation für den Sekundärkreis am Fuss des Betriebsschachts

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: möglichst nahe am Betriebsschacht (kurze Leitungslänge)
- Länge: vom Projektverfasser zu bestimmen

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: vom Projektverfasser zu bestimmen
- LRP Höhe: vom Projektverfasser zu bestimmen

B.4 SD: BEUU / Testbereich

In den BEUU werden erdwissenschaftliche Untersuchungen auf Lagerebene für spezifische Bauwerke durchgeführt. Die EUU beinhalten zudem Experimente und Demonstrationen, welche im Kontext der Erlangung der nuklearen Bau- und Betriebsbewilligung erforderlich sein werden.

Die Bauten der EUU besteht nach aktuellem Planungsstand aus folgenden Elementen:

- Erschliessungstunnel EUU ab ZB
- Betriebsraum 1 (siehe Anhang B.3.1) sowie Betriebsraum EUU (Testbereich, siehe unten)
- Experimentbereiche inkl. Zugang
- Demonstrationsbauwerke SMA mit Lagerkavernenabzweiger, Ablade- und Übernahmebereich, Demonstrations-Lagerkaverne
- Demonstrationsbauwerke HAA mit Lagerstollenabzweiger, Umladebereich, Demonstrations-Lagerstollen

Um Zonenübergänge zu vermeiden, ist der gesamte EUU-Bereich nahe des zentralen Bereichs anzuordnen und mit einem Erschliessungstunnel anzuschliessen.

Die Lage der Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag muss so gewählt werden, dass die Übertragbarkeit der gewonnen Erkenntnisse auf die Lagerfelder gegeben ist.

B.4.1 Betriebsraum EUU (Testbereich)

Funktion:

- Arbeitsinfrastruktur für die EUU. Diese Infrastruktur wird in Form von 20-Fuss Containern geliefert, welche die Infrastruktur enthalten.

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: in der Nähe der Experimentbereiche und Demonstrationsbauwerke sowie von Betriebsraum 1.
- Länge: ca. 2 x 42 m (oder ausreichende Breite für 2 Reihen Container)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Breite: 4.8 m (+2 * 0.90 m)
- LRP Höhe: 2.5 m

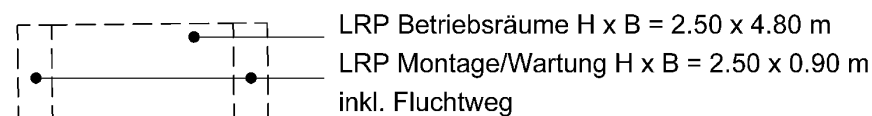


Fig. B-12: LRP des Betriebsraums EUU (Testbereich)
(nicht massstäblich)

B.4.2 Experimentbereiche

Funktion:

- Infrastruktur zur Durchführung der Experimente auf Lagerebene

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: räumliche Nähe zum Betriebsschacht sowie neben den jeweiligen Demonstrationsbauwerken und in der Nähe von Betriebsraum 1 und dem Betriebsraum EUU (Testbereich).
- Länge: je 1x für SMA und 1x für HAA
 - Zugang (zu Nischen), Länge ca. 110 m
 - 5 Nischen mit je ca. 15 m Länge

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- Vorerst gleiche Auslegung wie bei den Kontrollstollen
- Siehe Tab. 4-3, LRP Kontrollstollen HAA und SMA und Verbindungstunnel im ZB

B.4.3 Demonstrationsbereiche

Funktion:

- Bereich für Demonstrationen der sicherheitsrelevanten Technologien für die SMA und HAA Einlagerung (Nagra 2021b)

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: Neben Experimentbereichen sowie in der Nähe von Betriebsraum 1 und Betriebsraum EUU
- Länge HAA: insgesamt ca. 158 m (Abzweiger = ca.35 m, Umladebereich = 46 m, Lagerstollen = 77 m)
- Länge SMA: insgesamt ca. 133 m (Lagerkavernenabzweiger = 47 m, Lagerkavernenabzweigertunnel = 40 m, Abladebereich = 9 m, Übernahmebereich = 11 m, Lagerkaverne = 26 m)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- LRP Demonstrationsbauwerk HAA: es gelten die gleichen Anforderungen an die LRP wie bei den Bauwerken des Pilot- und Hauptlagers, siehe diverse LRP in Tab. 4-3
- LRP Demonstrationsbauwerk SMA: es gelten die gleichen Anforderungen an die LRP wie bei den Bauwerken des Pilot- und Hauptlagers, siehe diverse LRP in Tab. 4-4

B.5 SD: Lüftungstunnel HAA und SMA

Funktion:

- Die Lüftungstunnel HAA und SMA dienen der Lüftung, respektive der Frischluftversorgung auf Lagerebene, und verfügen daher über eine direkte Anbindung an den Lüftungsschacht. Zusätzlich dienen die Lüftungstunnel als Flucht- und Rettungswege.

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: parallel zum Betriebstunnel geführt (Abstand ca. 60 m)
- Maximale Neigung 12 % (in Ausnahmefällen 15 %, bei z.B. Über- oder Unterführungen von Tunneln)
- Minimale Neigung 1 % (Ableitung Wasser)

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- Der freie Querschnitt muss den Anforderungen der Lüftung genügen

B.6 SD: Querverbindungen HAA und SMA

Funktion:

- Die Querverbindungstunnel dienen der Lüftung (Verteilung der Frischluft). Zudem dienen die Querverbindungen als Flucht- und Rettungsweg sowie gegebenenfalls als Interventionsweg zwischen Betriebstunnel und Lüftungstunnel resp. Bautunnel und Lüftungstunnel.

Weitere Anforderungen an die Lagerkonfiguration:

- Anordnung: alle maximal 500 m als Verbindung des Betriebs- mit dem Lüftungstunnel (HAA-Lager: und Bautunnel)
- Neigung im Normalfall 1 % (maximale Neigung 5 %) in Richtung Lüftungs- und Bautunnel

Einzuhaltendes Lichtraumprofil (für Ausgestaltung Normalprofil):

- Der freie Querschnitt muss den Anforderungen der Lüftung genügen
- Der Querschnitt muss die Anforderungen an die Fluchtwege erfüllen

Anhang C Realisierungsplan der Einzellager

C.1 Realisierungsplan HAA-Einzellager

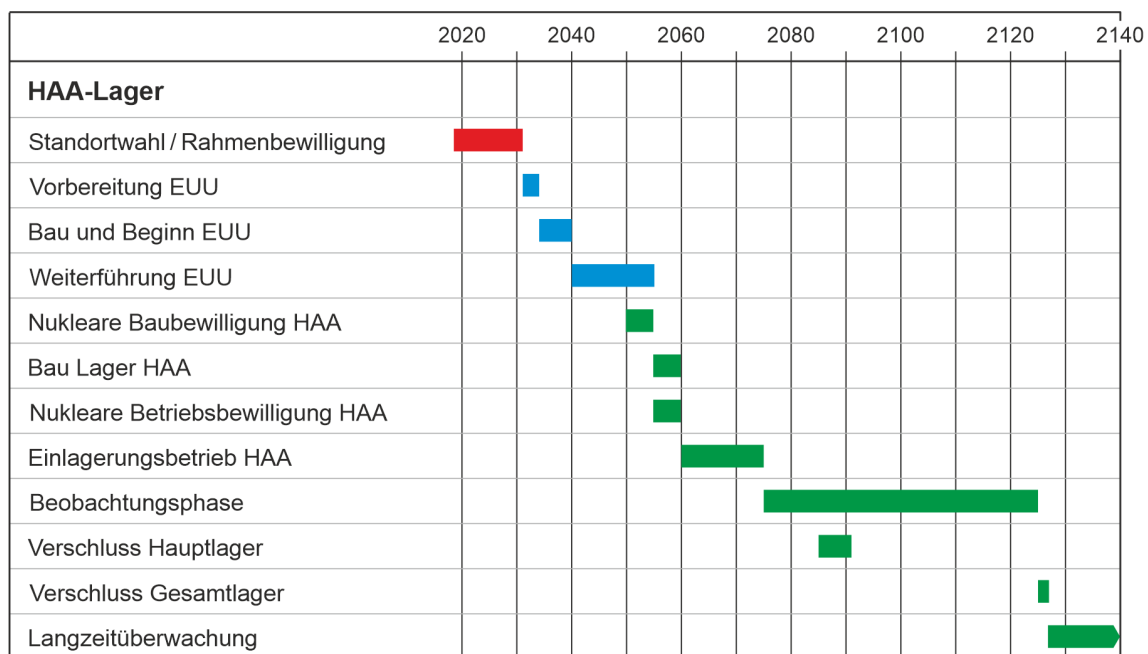


Fig. C-1: Realisierungsplan eines HAA-Einzellagers gemäss EP21
(Nagra 2021a)

C.2 Realisierungsplan SMA-Einzellager

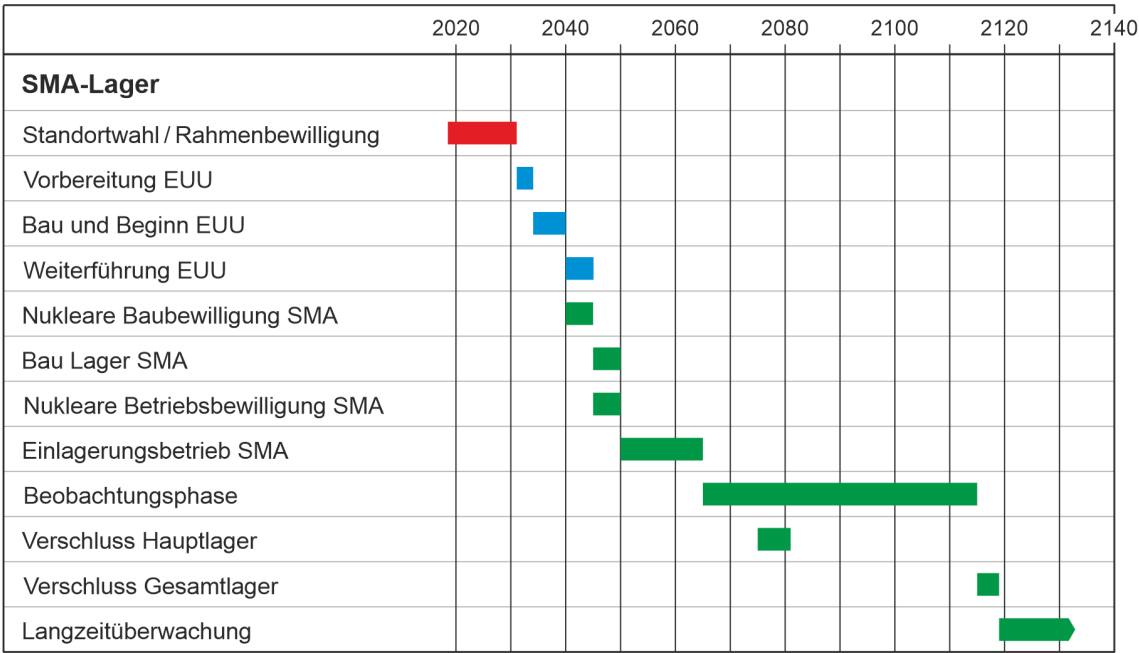


Fig. C-2: Realisierungsplan eines SMA-Einzellagers gemäss EP21
(Nagra 2021a)

Anhang D Bautechnischer Nutzraum

Bautechnischer Nutzraum «t»

Der **bautechnische Nutzraum t** setzt sich gemäss SIA 197 (SIA 2004) aus dem Raum für Abweichungen (a) und dem Raum für spätere bauliche Massnahmen (b) zusammen. Für die Untertaganlagen des geologischen Tiefenlagers werden die Werte analog zu einem Strassentunnel addiert ($t = a + b$).

Der **Raum für Abweichungen (a)** berücksichtigt die Verformungen des Tragwerks (Gebirge), die Herstellungsungenauigkeiten und die Achsabweichungen (Vermessungsfehler).

Die aus dem Gebirgsdruck resultierenden Verformungen des Gebirges werden bereits beim Ausbruchsquerschnitt berücksichtigt, indem Deformationsschlitz im nachgiebigen Ausbau vorgesehen werden. Achsabweichungen in der Grössenordnung von Vermessungsfehlern können im gTL toleriert werden, da keine spätere Achsanpassung erfolgen wird, jedoch ist ein regelmässiger Abgleich mit der bauherrnseitigen Absteckung vorzusehen. Aus den genannten Gründen wird beim Raum für Abweichungen (a) nur die Herstellungsungenauigkeit berücksichtigt. Da zum jetzigen Zeitpunkt keine genaueren Erkenntnisse vorliegen, wird Tabelle 2 der SIA 197 (SIA 2004) angewendet. Für die Schächte, Tunnel und Kavernen, die im Sprengvortrieb ausgebrochen werden, beträgt der Wert $a = 10$ cm. Für die Lagerstollen HAA wird der Raum für Abweichungen ebenfalls auf 10 cm festgelegt, in Abweichung zum tieferen Wert der Tabelle 2 der SIA 197.

Für den **Raum für spätere bauliche Massnahmen (b)** wird pauschal ein Wert von $b = 10$ cm definiert, da auch hier noch keine genauen Erkenntnisse vorliegen. Dieser Raum ist bei allen Bauwerken zu berücksichtigen, mit Ausnahme der Lagerkavernen und Lagerstollen, bei denen bewusst auf einen Raum für spätere bauliche Massnahmen verzichtet wird.

Die Werte gelten bis zur definitiven Festlegung des Bauverfahrens, respektive bis neuere Erkenntnisse vorliegen.