



ARBEITSBERICHT NAB 23-01 BAND 6

Bautechnisches Dossier Standortvergleich
Band 6: Technischer Beschrieb und Pläne
Lagerprojekte

Oktober 2023



ARBEITSBERICHT NAB 23-01 BAND 6

Bautechnisches Dossier Standortvergleich
Band 6: Technischer Beschrieb und Pläne
Lagerprojekte

Oktober 2023

STICHWÖRTER

Bautechnisches Dossier, Technischer Beschrieb,
Planmappe, Standortvergleich, Lagerprojekte,
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.

Copyright © 2023 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten. Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw.

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.

Der Technische Beschrieb als Band 6 des Bautechnischen Dossiers dokumentiert die sechs Lagerprojekte der Untertaganlagen für den Vergleich der drei Standorte. Die Detaillierung der beschriebenen Lagerprojekte fokussiert auf vergleichsrelevante Aspekte und orientiert sich entsprechend den Vorgaben des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats an ein Vorprojekt.

Der Bericht beschreibt die bautechnische Umsetzung der Nutzungsanforderungen (Bautechnisches Dossier Standortvergleich, Band 5) in Lagerprojekten unter Berücksichtigung der standortspezifischen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen (Bautechnisches Dossier Bände 2 bis 4). Mit einer Gefährdungsbildanalyse wurden die Gefährdungen während des Baus identifiziert und entsprechende Massnahmen definiert.

Die drei Standorte unterscheiden sich aus bautechnischer Sicht im Wesentlichen durch die Tiefenlage und Erschliessung. In den Standortregionen Nördlich Lägern und Zürich Nordost erfolgt der Bau der bis zu 850 m tiefen Schächte wegen der Gefährdung eines Wassereintruchs über Karsthohlräume im Schutz eines Gefrierkörpers. In der Standortregion Jura Ost sind beim Bau des einen Schachts keine Karsthohlräume zu erwarten und es sind nur bei Bedarf Abdichtungsinjektionen vorgesehen. Alle Schächte werden für den Betrieb von der Oberfläche bis in den Opalinuston druckwasserhaltend abgedichtet. Der ca. 6 km lange (Betriebs-)Zugangstunnel der Standortregion Jura Ost wird mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine aufgefahren.

Die Bauwerke auf Lagerebene im Opalinuston werden mit Ausnahme der Lagerstollen wegen den erwarteten hohen echten Gebirgsdrücken mit einer nachgiebigen Ausbruchsicherung gesichert und später mit einer Betoninnenschale ausgebaut. Der Vortrieb erfolgt konventionell. Die Lagerstollen werden mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine aufgefahren und mit Betonfertigelementen ausgebaut.

Die Dokumentation der Lagerprojekte erfolgt in Form von Tunnelachsen, Normalprofilen und repräsentativen Vortriebs- und Sicherungsplänen in einer Planmappe. Die Darstellungen sind vergleichend erstellt und heben Unterschiede hervor, um den Standortvergleich zu erleichtern. An allen Standorten können die Projekte mit tunnelbauüblichen Massnahmen realisiert werden.

Mit dem Bautechnischen Dossier wird gezeigt, dass an allen drei zu vergleichenden Standorten Lagerprojekte entsprechend den Anforderungen realisiert und dass die Restrisiken mit geeigneten Massnahmen auf ein akzeptiertes Mass reduziert werden können. Alle drei Standorte sind aus bautechnischer Sicht für den Bau, Betrieb und Verschluss geologischer Tiefenlager geeignet.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Figurenverzeichnis	VI
Beilagenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Zweck des vorliegenden Berichts.....	1
1.2 Geltungsbereich und Abgrenzung	1
1.3 Grundlagendokumente.....	1
1.4 Inhalt und Aufbau.....	1
2 Projektübersicht	3
2.1 Module der Lagerarchitektur	3
2.2 Übersicht Standortgebiete und Lagerprojekte	6
2.3 Realisierungsplan der Bauwerke auf Lagerebene.....	7
2.3.1 Nutzungsphase 1 – Bau und Beginn EEU.....	9
2.3.2 Nutzungsphase 2 – Weiterführung EEU	10
2.3.3 Nutzungsphase 3 – Bau Lager SMA	11
2.3.4 Nutzungsphase 4 – Einlagerungsbetrieb SMA / Bau Lager HAA.....	12
2.3.5 Nutzungsphase 5 – Einlagerungsbetrieb HAA (& Erweiterung HAA-Lager)	13
3 Ingenieurgeologie, geotechnische Aspekte, Gefährdungsbild- und Risikoanalyse.....	15
3.1 Ingenieurgeologie	15
3.1.1 Zugangsbauwerke zur Lagerebene	15
3.1.2 Bauwerke auf Lagerebene	17
3.1.3 Hydrogeologie	17
3.1.4 Störungszonen	17
3.2 Geotechnische Aspekte.....	18
3.3 Gefährdungsbildanalyse und Massnahmen	19
3.3.1 Vorgehen	19
3.3.2 Hauptgefährdungen beim Bau der Zugänge nach untertage.....	20
3.3.3 Hauptgefährdungen beim Bau der Bauwerke auf Lagerebene	20
3.4 Risikoanalyse.....	22
4 Auslegungsgrundsätze und Umsetzung der Konzepte	23
4.1 Auslegungsgrundsätze und Vorgaben an die geometrische Lagerkonfiguration	23
4.1.1 Zugangsbauwerke.....	23
4.1.2 Bauwerke auf Lagerebene	23

4.2	Abdichtungs- und Entwässerungskonzept.....	25
4.3	Lüftungs- und Kühlungskonzept	25
4.4	Flucht- und Rettungskonzept.....	28
4.5	Brandschutzkonzept.....	29
4.6	Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept.....	29
4.7	Unterhalts- und Instandhaltungskonzept	29
4.8	Baulogistikkonzept	29
5	Normalprofile, Vortriebs- und Sicherungskonzepte	32
5.1	Schächte (alle Regionen).....	32
5.1.1	Normalprofile	32
5.1.2	Vortriebsmethode	36
5.1.3	Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen	36
5.1.4	Bauablauf.....	39
5.2	Zugangstunnel JO	43
5.2.1	Normalprofile	43
5.2.2	Vortriebsmethode	46
5.2.3	Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen	46
5.2.4	Bauablauf.....	47
5.3	Stollen, Tunnel und Kavernen im Opalinuston	47
5.3.1	Normalprofile	47
5.3.2	Vortriebsmethode	50
5.3.3	Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen	51
5.3.4	Bauablauf.....	57
6	Beschrieb HAA-Einzellager an den Standorten NL, JO und ZNO.....	59
6.1	NL HAA-Einzellager – Lagerkonfiguration und Modulübersicht.....	59
6.1.1	NL-HAA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B.....	61
6.1.2	NL-HAA: EUU-Bereich, Modul C.....	62
6.1.3	NL-HAA: Lagerteil HAA, Module E, G und I.....	62
6.2	JO HAA- Einzellager - Lagerkonfiguration und Modulübersicht	63
6.2.1	JO-HAA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B	66
6.2.2	JO-HAA: EUU-Bereich, Modul C	68
6.2.3	JO-HAA: Lagerteil HAA, Module E, G und I.....	68
6.3	ZNO HAA-Einzellager - Lagerkonfiguration und Modulübersicht	69
6.3.1	ZNO-HAA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B.....	71
6.3.2	ZNO-HAA: EUU-Bereich, Modul C.....	72
6.3.3	ZNO-HAA: Lagerteil HAA, Module E, G und I.....	72
7	Beschrieb Kombilager am Standort NL.....	73
7.1	NL-Kombi: Lagerkonfiguration und Modulübersicht	73
7.1.1	NL-Kombi: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B	75
7.1.2	NL-Kombi: EUU-Bereich, Modul C	75
7.1.3	NL-Kombi: Lagerteil SMA, Module D, F und H.....	75
7.1.4	NL-Kombi: Lagerteil HAA, Module E, G und I	76

8	Beschrieb SMA-Einzellager an den Standorten JO und ZNO	77
8.1	JO SMA-Einzellager – Lagerkonfiguration und Modulübersicht	77
8.1.1	JO-SMA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B	79
8.1.2	JO-SMA: EUU-Bereich, Modul C	80
8.1.3	JO-SMA: Lagerteil SMA, Module D, F und H	81
8.2	ZNO SMA-Einzellager - Lagerkonfiguration und Modulübersicht	81
8.2.1	ZNO-SMA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B.....	84
8.2.2	ZNO-SMA: EUU-Bereich, Modul C.....	84
8.2.3	ZNO-SMA: Lagerteil SMA, Module D, F und H.....	85
9	Kennzahlen und Unterschiede der Lagerprojekte	86
9.1	Kennzahlen	86
9.2	Unterschiede der Lagerprojekte.....	87
10	Schlussbemerkungen	89
11	Literaturverzeichnis	90
Anhang A	Gefährdungsbildanalyse.....	A-1
A.1	Zugangsbauwerke	A-1
A.2	Bauwerke auf Lagerebene	A-19

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Übersicht der Standortgebiete mit Angabe der zu entwickelnden Lagerprojekte.....	7
Tab. 3-1:	Ingenieurgeologische Homogenbereiche (Hb) und bautechnische Homogenbereiche (HB) inkl. lithostratigraphische Bezeichnung	15
Tab. 6-1:	Auflistung Pläne des Lagerprojekts HAA-Einzellager am Standort NL	59
Tab. 6-2:	Auflistung Pläne des Lagerprojekts HAA-Einzellager am Standort JO	64
Tab. 6-3:	Auflistung Pläne des Lagerprojektes HAA-Einzellager am Standort ZNO	69
Tab. 7-1:	Auflistung Pläne des Lagerprojekts Kombilager am Standort NL	73
Tab. 8-1:	Auflistung Pläne des Lagerprojekts SMA-Einzellager am Standort JO	77
Tab. 8-2:	Auflistung Pläne des Lagerprojekts SMA-Einzellager am Standort ZNO	82
Tab. 9-1:	Gerundete Kennzahlen der Lagerprojekte	86
Tab. 9-2:	Phasenbezogene, gerundete Ausbruchfestvolumen in [m ³ f] der Lagerprojekte	87
Tab. 9-3:	Zusammenstellung der wichtigsten Aspekte, in denen sich die Lagerprojekte unterscheiden	88
Tab. A-1:	Gefährdungsbildanalyse der Schächte	A-2
Tab. A-2:	Gefährdungsbildanalyse des Zugangstunnels JO	A-12
Tab. A-3:	Gefährdungsbildanalyse der Bauwerke auf Lagerebene (ausgewählter Bauwerke).....	A-20

Figurenverzeichnis

Fig. 2-1:	Schematische Anordnung der verschiedenen notwendigen Anlagen und Bauten für ein Kombilager	3
Fig. 2-2:	Modulübersicht Kombilager mit Schachterschliessung, generische Darstellung, aus NAB 22-35.....	4
Fig. 2-3:	Modulübersicht HAA-Einzellager mit Schachterschliessung, generische Darstellung, aus NAB 22-35.....	5
Fig. 2-4:	Modulübersicht SMA-Einzellager mit Schachterschliessung, generische Darstellung, aus NAB 22-35.....	6
Fig. 2-5:	Realisierungsplan für das Kombilager, ergänzt nach EP21	8
Fig. 2-6:	Nutzungsphase 1 – Bau und Beginn EUU.....	10
Fig. 2-7:	Nutzungsphase 2 – Weiterführung EUU	11
Fig. 2-8:	Nutzungsphase 3 – Bau Lager SMA	12
Fig. 2-9:	Nutzungsphase 4 – Einlagerungsbetrieb SMA / Bau HAA-Lagerteil	13
Fig. 2-10:	Nutzungsphase 5 – Einlagerungsbetrieb HAA	14

Fig. 3-1:	Homogenbereiche Fels der Schächte in den Standortgebieten JO (Lüftungsschacht), NL (Zugangsschacht) und ZNO (Lüftungsschacht)	16
Fig. 3-2:	Schematisches geologisches Längenprofil des (Betriebs-)Zugangstunnels JO ab Tongrube Schmidberg (NZA-B).....	16
Fig. 3-3:	Zuordnung der Störungszonen zu den standortspezifischen Lagerprojekten und der Bautechnischen Risikoanalyse (BTRA)	18
Fig. 4-1:	Darstellung einzuhaltende geometrische Randbedingungen und Hauptabmessungen	24
Fig. 4-2:	Lüftungskonzept in der Nutzungsphase 5.....	27
Fig. 5-1:	Normalprofil Zugangsschacht S20	34
Fig. 5-2:	Normalprofil Betriebsschacht S80.....	35
Fig. 5-3:	Normalprofil Lüftungsschacht S50.....	36
Fig. 5-4:	Schachtquerschnitt mit Gefrierverfahren im HB1 bis und mit HB3 (links) und mit Cover-Drill im HB4 (rechts)	38
Fig. 5-5:	Schachtlängsschnitt mit Gefrierverfahren im HB1 bis und mit HB3 (links) / mit Cover-Drill im HB4 (rechts)	39
Fig. 5-6:	Bauablauf der Schachtbauwerke NL und ZNO	40
Fig. 5-7:	Bauablauf des Schachtbauwerks JO	42
Fig. 5-8:	TBM-Tunnelprofil A90	44
Fig. 5-9:	Stichtunnelprofil A50 des Zugangstunnels JO im Bereich Abzweiger	45
Fig. 5-10:	Stichtunnelprofil A20 des Zugangstunnel JO im Bereich der Felsstrecke	46
Fig. 5-11:	HAA-Lagerstollen Profil F10	48
Fig. 5-12:	SMA Kavernenprofil K90	49
Fig. 5-13:	HAA- und SMA-Betriebstunnel Profil D20, dargestellt in der Phase Bau.....	50
Fig. 5-14:	Ausbruchsicherungstyp ST1 Profil K90 – Querschnitt	52
Fig. 5-15:	Ausbruchsicherungstyp ST1 Profil K90 – Längsschnitt.....	53
Fig. 5-16:	Ausbruchsicherungstyp ST1 Profil D20, D22, D23 und D24	54
Fig. 5-17:	Längsschnitt des Ausbruchsicherungstyps ST1 Profil D20, D22, D23 und D24	55
Fig. 5-18:	Ausbruchsicherung und -etappierung / Ausbruchsreihenfolge einer Abzweigung HAA / SMA	56
Fig. 5-19:	Darstellung zwei paralleler Tunnelvortriebe in der Phase 3 und 5	58
Fig. 6-1:	Lagerkonfiguration des HAA-Einzellagers am Standort NL mit Modulbezeichnung	60
Fig. 6-2:	Situation HAA-Einzellager am Standort NL	60
Fig. 6-3:	Lagerkonfiguration des HAA-Einzellagers am Standort JO mit Modulbezeichnung	65
Fig. 6-4:	Situation HAA-Einzellager am Standort JO	66

Fig. 6-5:	Lagerkonfiguration des HAA-Einzellagers am Standort ZNO mit Modulbezeichnung	70
Fig. 6-6:	Situation HAA-Einzellager am Standort ZNO	71
Fig. 7-1:	Lagerkonfiguration des Kombilagers am Standort NL mit Modulbezeichnung.....	74
Fig. 7-2:	Situation Kombilager am Standort NL	74
Fig. 8-1:	Lagerkonfiguration des SMA-Einzellagers am Standort JO mit Modulbezeichnung	78
Fig. 8-2:	Situation SMA-Einzellager am Standort JO.....	79
Fig. 8-3:	Lagerkonfiguration des SMA-Einzellagers am Standort ZNO mit Modulbezeichnung	83
Fig. 8-4:	Situation SMA-Einzellager am Standort ZNO	83

Beilagenverzeichnis

Beilage 1 Planmappe

Anmerkung: In der digitalen Version dieses Berichtes (PDF) sind die Beilagen unter dem Büroklammersymbol abgelegt.

Abkürzungsverzeichnis

BAU	Lichtraumprofil des Baus / der Bauleistung
BET	Lichtraumprofil des Betriebes
BEUU	Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
BS	Betriebsschacht
BTD	Bautechnisches Dossier
BTRA	Bautechnische Risikoanalyse
CSR	Chemical Seal Ring (deutsch: Chemischer Abdichtring)
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP21	Entsorgungsprogramm 21
EUU	erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
gTL	Geologisches Tiefenlager
HAA	hochaktive Abfälle
Hb	Ingenieurgeologischer Homogenbereich
HB	Bautechnischer Homogenbereich
JO	Jura Ost
LRP	Lichtraumprofil
LS	Lüftungsschacht
NAB	Nagra Arbeitsbericht
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NL	Nördlich Lägern
NP	Normalprofil
NZA	Nebenzugangsanlage
NZA-B	Nebenzugangsanlage Betrieb
NZA-BL	Nebenzugangsanlage Betrieb und Lüftung
NZA-L	Nebenzugangsanlage Lüftung
OFA	Oberflächenanlage
OFI	Oberflächeninfrastruktur
OPA	Opalinuston
PIL	Pilotlager
PIL-H	Pilotlager HAA

PIL-S	Pilotlager SMA
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SPV	Sprengvortrieb
TBM	Tunnelbohrmaschine
UTA	Untertaganlagen
VOR	Lichttraumprofil des Vortriebes
ZB	zentraler Bereich
ZNO	Zürich Nord-Ost
ZS	Zugangsschacht
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

1 Einleitung

1.1 Zweck des vorliegenden Berichts

Der Technische Beschrieb der Lagerprojekte ist Band 6 des neunbändigen Bautechnischen Dossiers (BTD) für den Standortvergleich. Inhalt, Umfang und Zweck des Bautechnischen Dossiers sind in Band 1, "Projektdefinition und Einführung" (Nagra 2023a), detailliert beschrieben.

Der vorliegende Bericht beschreibt die bautechnische Umsetzung der Nutzungsanforderungen (Nagra 2023e) in den Lagerprojekten unter Berücksichtigung der standortspezifischen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen.

1.2 Geltungsbereich und Abgrenzung

Die Wahl der in diesem Bericht dokumentierten Bauverfahren, der Bauhilfsmassnahmen, der Sicherungsmittel und des Ausbautyps stellt keine Festlegung für die weiteren Projektphasen dar. Die gewählten Verfahren zeigen eine machbare Lösung auf. Für den Standortvergleich ist es wichtig, dass die Lagerkonfiguration und die Wahl der Bauverfahren den Standortentscheid nicht beeinflussen, indem sie keinen Standort benachteiligen.

Standortunabhängige Überlegungen, die als Grundlage für die standortspezifische Entwicklung der Lagerprojekte dienen, werden in diesem Bericht nur am Rande erläutert. Diese sind im NAB 22-35 (Nagra 2022d), der die Module der Lagerarchitektur standortunabhängig darstellt, zu finden.

1.3 Grundlagendokumente

Für die Planung der Lagerprojekte sind die in der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) aufgeführten einschlägigen Normen, Richtlinien, Empfehlungen und relevanten Vorgaben von Fachverbänden berücksichtigt worden.

Die ingenieurgeologischen Grundlagen sind in den ingenieurgeologischen Berichten für Jura-Ost (Nagra 2023b), Nördlich Lägern (Nagra 2023c) und Zürich Nord-Ost (Nagra 2023d) festgehalten.

1.4 Inhalt und Aufbau

Der Bericht ist wie folgt strukturiert:

- Das Kapitel 2 gibt eine allgemeine Projektübersicht. Die Module eines generischen Tiefenlagers nach Nagra (2022d) werden als Basis für die Ausarbeitung der standortspezifischen Projekte so rekapituliert, dass die modulare Bauweise standortspezifisch umgesetzt werden kann. Des Weiteren bezeichnet das Kap. 2 massgebende räumliche Randbedingungen für die Ausarbeitung der Lagerprojekte (Standorte der Oberflächeninfrastruktur und der Lagerfelder im Untergrund). Weiter wird das im Entsorgungsprogramm 21 (EP21, Nagra 2021a) präsentierte Realisierungsprogramm aufgezeigt, welches unter anderem Zeitfenster für die Bauarbeiten beinhaltet.
- In Kapitel 3 werden die Geologie, die Hydrogeologie sowie die Gefährdungsbilder erläutert.
- In Kapitel 4 und 5 werden die Auslegungsgrundsätze und die Umsetzung von Konzepten beschrieben (Kap. 4) sowie die massgebenden Normalprofile (NP, Kap. 5) aller standortspezifischen Lagerprojekte eingeführt. Des Weiteren wird in diesen Kapiteln auf die den Lagerprojekten zugrunde liegenden bautechnischen Aspekte und Bauverfahren so weit eingegangen, als diese für den Standortvergleich von Relevanz sind.

- Das Kapitel 6 beschreibt die Einzellagerprojekte für hochaktive Abfälle (HAA) am Standort Nördlich Lägern (NL, in Kap. 6.1), Jura-Ost (JO, in Kap. 6.2) und Zürich Nord-Ost (ZNO, in Kap. 6.3).
- Die Umsetzung eines Kombilagers am Standort NL ist in Kapitel 7 beschrieben, wobei hier nur auf die Unterschiede zum HAA-Einzellager am Standort NL (Kap. 6.1) eingegangen wird.
- Das Kap. 8 erläutert die Einzellagerprojekte für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) an den Standorten JO (Kap. 8.1) und ZNO (Kap. 8.2).
- Die zu den jeweiligen Lagerprojekten zugehörigen Pläne finden sich in der Planmappe (Beilage 1).
- Das Kapitel 9 nennt die wichtigsten Kenndaten der im Kapitel 6 bis 8 beschriebenen Lagerprojekte bezüglich Ausbruch-, Beton-, Spritzbeton- und Verfüllvolumen.

2 Projektübersicht

2.1 Module der Lagerarchitektur

Ein generisches geologisches Tiefenlager (gTL) in seiner grössten Ausdehnung (Kombilager, siehe Fig. 2-1) besteht aus den Anlagen übertag¹, dem Zugang nach untertag und den Bauwerken auf Lagerebene im Opalinuston (OPA). Die Gesamtfläche der Anlagen auf Lagerebene eines Kombilagers beträgt dabei ca. 5 bis 7 km².

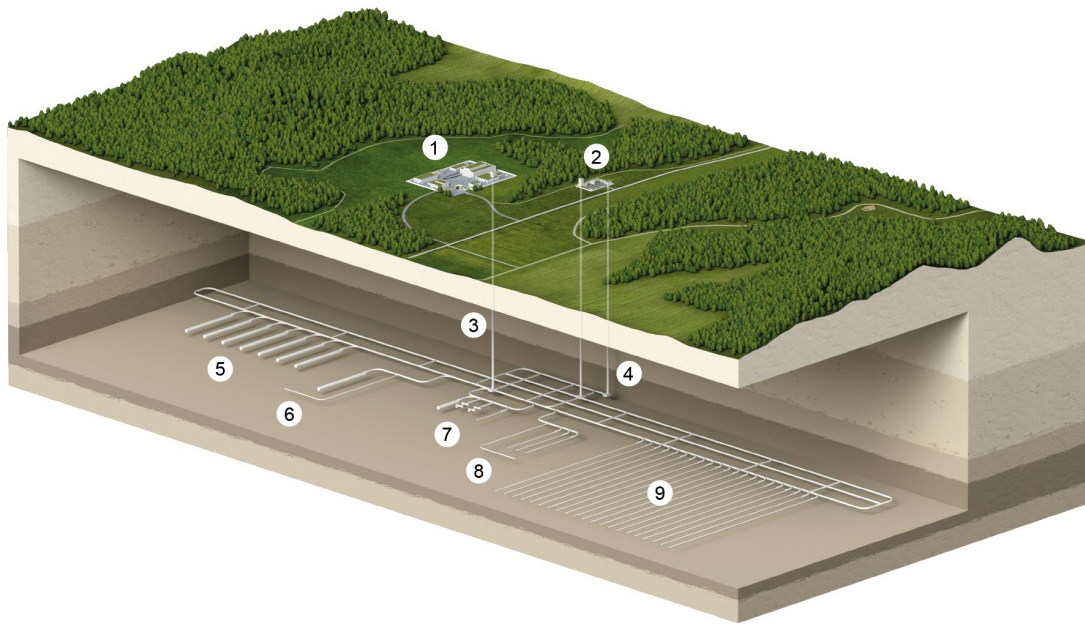


Fig. 2-1: Schematische Anordnung der verschiedenen notwendigen Anlagen und Bauten für ein Kombilager

Legende: 1) Oberflächenanlage (OFA); 2) Nebenzugangsanlage (NZA); 3) Zugangsschacht (Hauptzugang); 4) Betriebs- und Lüftungsschacht (Nebenzugänge); 5) Hauptlager SMA; 6) Pilotlager SMA; 7) Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (späterer Testbereich); 8) Pilotlager HAA; 9) Hauptlager HAA.

Jeweils mehrere Bauwerke des gTL, die gemeinsam eine Funktion erfüllen und räumlich miteinander verbunden sind, können in Module (Module A bis I) zusammengefasst werden. In generischer Form sind die Module, aus denen sich ein geologisches Tiefenlager zusammensetzt, für ein Kombilager mit reiner Schachterschliessung in Nagra (2022d)² beschrieben und zur Übersicht in Fig. 2-2 dargestellt. Ein Kombilager umfasst dabei alle definierten Module.

¹ Nicht Gegenstand des vorliegenden Berichts.

² Der Bericht NAB 22-35 «Module der Lagerarchitektur» (Nagra 2022d) zeigt beispielhafte Normalprofile, die im Rahmen der jetzt vorliegenden standortspezifischen Planung konkretisiert wurden und zusammen mit weiteren Profilen und Übersichtsplänen des jeweiligen Lagerprojekts in der Beilage 1 (Planmappe des hier vorliegenden Berichts) dokumentiert sind.

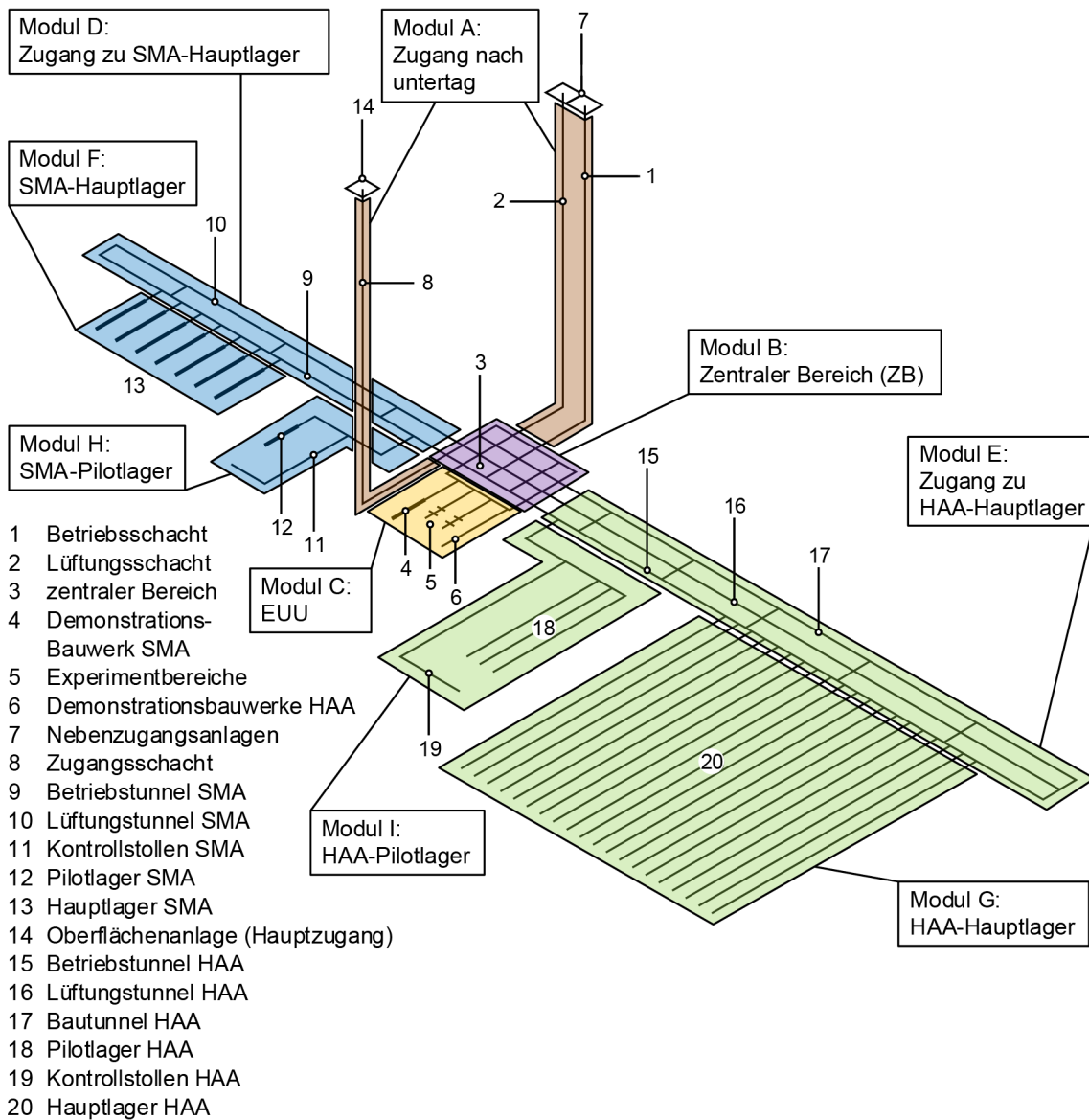


Fig. 2-2: Modulübersicht Kombilager mit Schachterschliessung, generische Darstellung, aus NAB 22-35

(Nagra 2022d)

Für die Bildung von HAA- oder SMA-Einzellagern werden nur die dafür benötigten Module verwendet. Die für ein HAA-Einzellager verwendeten Module sind in Fig. 2-3 dargestellt, die verwendeten Module für ein SMA-Einzellager in Fig. 2-4.

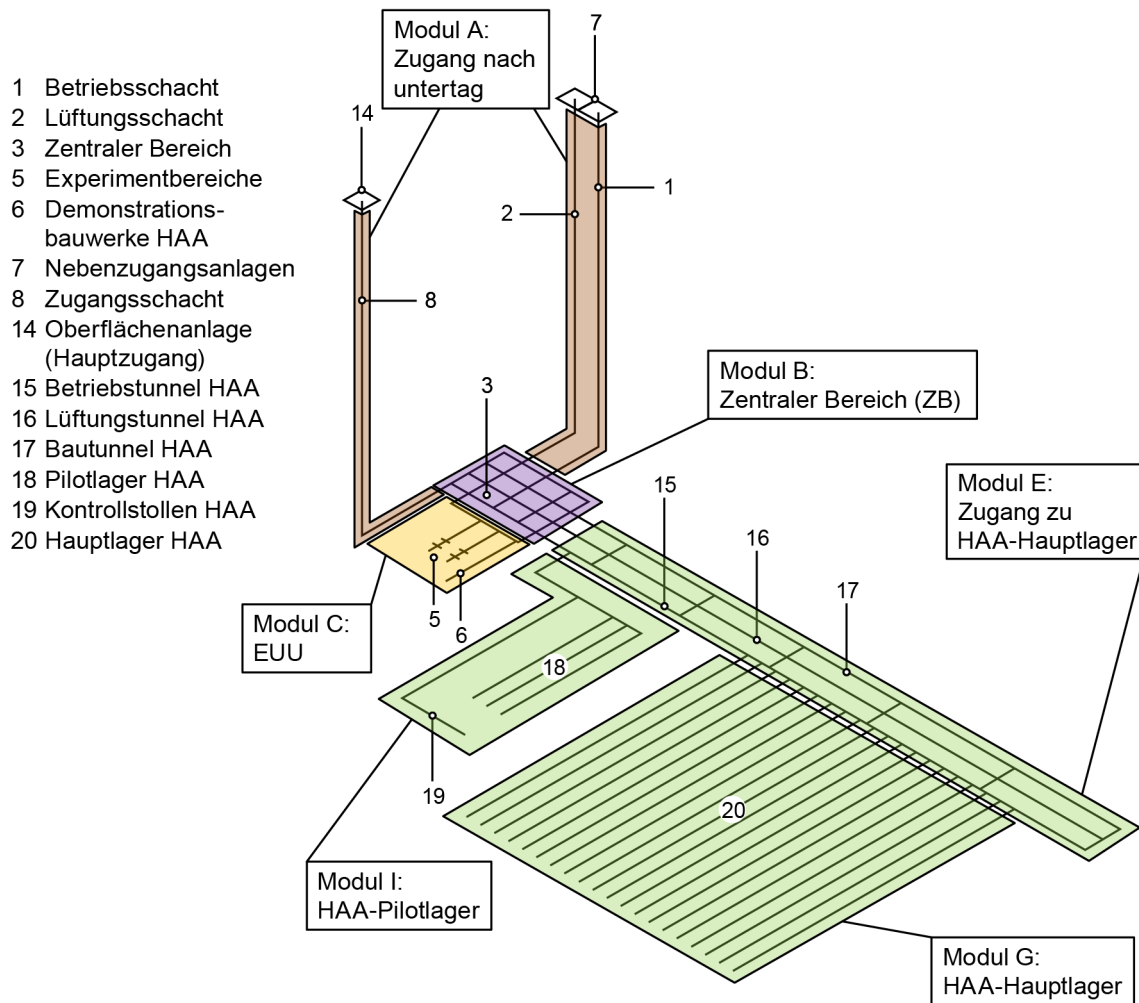


Fig. 2-3: Modulübersicht HAA-Einzellager mit Schachterschliessung, generische Darstellung, aus NAB 22-35

(Nagra 2022d)

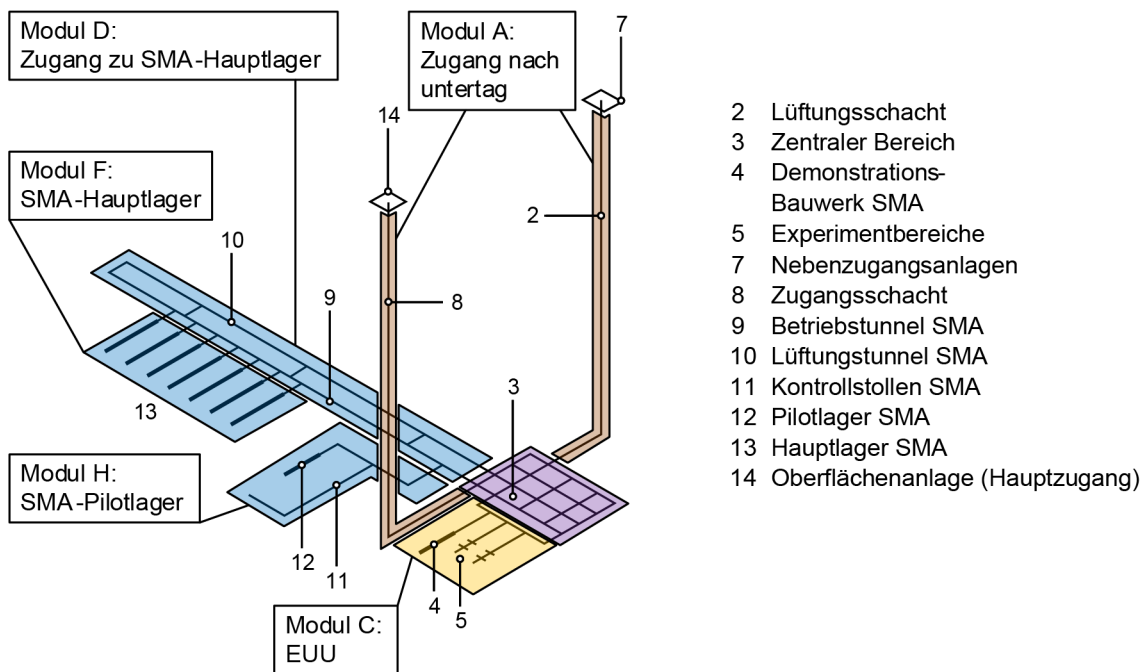


Fig. 2-4: Modulübersicht SMA-Einzellager mit Schachterschliessung, generische Darstellung, aus NAB 22-35

(Nagra 2022d)

Die Module stellen standortunabhängige Bausteine dar, die, unter Berücksichtigung der Beziehungen untereinander, den standortspezifischen Lagen der HAA- und SMA-Lagerfelder und der Lage der Oberflächeninfrastruktur zu standortspezifischen Lagerprojekten angeordnet werden können.

Sowohl beim Kombilager (Fig. 2-2) als auch bei einem HAA-Einzellager (Fig. 2-3) sind drei Zugänge nach untertag erforderlich, da der Einlagerungsbetrieb HAA und der Bau weiterer Lagerstollen gleichzeitig, aber räumlich getrennt erfolgt (siehe Realisierungsplan in Kap. 2.3). Bei einem SMA-Einzellager (Fig. 2-4) erfolgen diese Arbeiten seriell, sodass zwei Zugänge nach untertag ausreichen.

Die Etappierung / Reihenfolge des Auffahrens der Untertaganlagen (UTA) ist im Realisierungsplan (Fig. 2-5) in Kapitel 2.3 gezeigt.

Die Unterschiede hinsichtlich der Bau- und Betriebsabläufe zwischen einem Kombi- und zwei Einzellagern sind in Nagra (2020) detailliert erläutert.

2.2 Übersicht Standortgebiete und Lagerprojekte

Gemäss vorgegebenem Vorgehen des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI 2018) wurden für den Standortvergleich die in Tab. 2-1 dargestellten sechs Lagerprojekte erarbeitet.

Tab. 2-1: Übersicht der Standortgebiete mit Angabe der zu entwickelnden Lagerprojekte

Standort	HAA-Einzellager	Kombilager	SMA-Einzellager
JO	ja	nein	ja
NL	ja	ja	nein
ZNO	ja	nein	ja

Die für die Lagerprojektierung zu verwendenden Oberflächenareale sind in der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) definiert. Die Schachtköpfe bzw. Portale der Zugangsbauwerke nach untertag befinden sich immer auf dem entsprechenden Areal der Oberflächeninfrastruktur (OFI). Der Zugangsschacht liegt dabei auf dem Areal der Oberflächenanlage (OFA). Der Betriebs- und Lüftungsschacht liegen dabei vorzugsweise im Nahbereich der OFA auf einem gemeinsamen Areal der Nebenzugangsanlagen (NZA).

Im Standortgebiet JO erfolgt der Zugang zur Lagerebene (für Einlagerungs- und Baubetrieb) über einen einröhriigen geneigten Tunnel ab dem Areal JO-B1 respektive dem Areal der Zwischenlager Würenlingen AG (Zwilag). Der bergmännische Anschlag des Zugangstunnels (Stichtunnel) für den Einlagerungsbetrieb befindet sich auf dem JO-3+-Areal. Ab diesem führt der Stichtunnel zum Betriebszugangstunnel (gebaut ab Areal JO-B1; für mehr Details vgl. Kapitel 5.2 und 6.2 bzw. 8.1 für das JO HAA- und JO SMA-Lagerprojekt). Der (Betriebs-)Zugangstunnel am Standort JO verfügt daher über zwei Portale. Für das HAA-Einzellager wird eine betonierte Trennwand im Zugangstunnel erstellt, sodass wieder drei voneinander getrennte Zugänge entstehen.

Die Koordinaten der jeweiligen Schachtstandorte respektive Portale der Zugangsbauwerke und der Lagerfelder sind in Nagra (2023e) für alle sechs zu entwickelnden Lagerprojekte zu finden.

Für ein leichteres Verständnis der nachfolgenden Ausführungen wird empfohlen folgende Pläne der Planmappe (Beilage 1) zu studieren.

- JO HAA-Einzellager: A2-2.1, A2-2.2, A2-2.3
- JO SMA-Einzellager: A2-3.1, A2-3.2, A2-3.3
- NL HAA-Einzellager: A1-2.1, A1-2.2
- NL Kombilager: A1-1.1, A1-1.2
- ZNO HAA-Einzellager: A3-2.1, A3-2.2
- ZNO SMA-Einzellager: A3-3.1, A3-3.2

Diese Pläne zeigen jeweils die Situation und die Anordnung der Module der unterschiedlichen Lagertypen an den drei Standortgebieten.

2.3 Realisierungsplan der Bauwerke auf Lagerebene

Fig. 2-5 zeigt den Realisierungsplan für ein generisches Kombilager gemäss dem Entsorgungsprogramm EP21 (Nagra 2021a). Die Nutzungsphasen 1, 2, 3, 4 und 5 stellen dabei Zeitfenster mit Bauaktivitäten dar.

Die vorgesehene Nutzung und die dazu erforderlichen Funktionen während der einzelnen Nutzungsphasen sind in der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) beschrieben. Ebenso finden sich dort die Realisierungspläne für die Einzellager.

Der Realisierungsplan nach Fig. 2-5 berücksichtigt innerhalb der Nutzungsphase 1 rund 6 Jahre reine Untertagbauaktivitäten für den Bau der Anlagen für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU) bis und mit Inbetriebnahme der EUU. Vor Beginn der Nutzungsphase 1 wird für die Erschliessung und Erstellung der Baustelleninfrastruktur eine Zeitspanne von ca. 1 Jahr benötigt.

Für den späteren Bau des SMA-Lagers in der Nutzungsphase 3 veranschlagt das EP21 5 Jahre. Für den Bau der HAA-Lagerfeldzugänge und des Pilotlagers HAA sowie der ersten zwei HAA-Lagerstollen in der Nutzungsphase 4 werden weitere 5 Jahre Bauzeit vorgesehen. Basierend auf dem Betriebskonzept (Nagra 2022b), welches einen parallelen Einlagerungsbetrieb HAA, einhergehend mit dem jeweiligen Bau von zwei HAA-Lagerstollen pro Jahr für die Einlagerung im Folgejahr vorsieht, werden in der Nutzungsphase 5 über einem Zeitraum von 9 Jahren insgesamt weitere 18 HAA-Lagerstollen erstellt (Zeitreserve in Nutzungsphase 5 vorhanden).

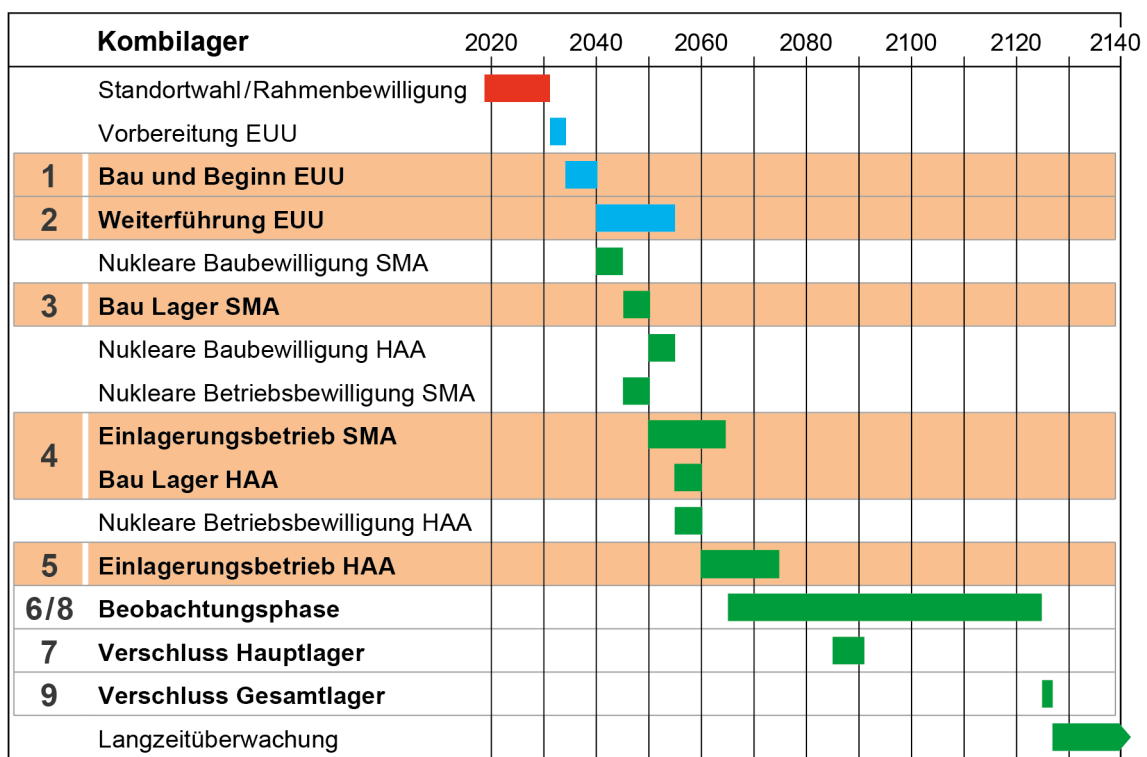


Fig. 2-5: Realisierungsplan für das Kombilager, ergänzt nach EP21 (Nagra 2021a)

Die Bezeichnungen von Nutzungsphase 1 bis 9 sind im EP21 (Nagra 2021a) nicht enthalten, werden aber im vorliegenden Bericht analog dem Nagra-Bericht zu den standortspezifischen Vorschlägen der Oberflächeninfrastruktur (Nagra 2019b und Nagra 2019c) verwendet. Bei den «orange» eingefärbten Phasen handelt es sich um jene mit Ausbruchaktivitäten, während denen gemäss Fig. 2-6 bis Fig. 2-10 bei allen Lagerprojekten ebenfalls die orange dargestellten Tunnel und Kavernen des gTL nach Nagra (2022d) realisiert werden.

Der Fokus der Beschreibung der Lagerprojekte liegt dabei ausschliesslich auf dem Bau der Zugangsbauwerke und der Bauwerke auf Lagerebene des gTL in den Nutzungsphasen 1 bis 5.

Die folgenden Ausführungen und Fig. 2-6 bis Fig. 2-10 beschreiben und zeigen illustrativ die Baureihenfolge der Bauwerke der Lagerprojekte in den Nutzungsphasen mit Bauaktivitäten für ein generisches Kombilager. Die Reihenfolge ist sinngemäss auch für Einzellager gültig. Für weitergehende Erläuterungen vgl. Nagra (2022d).

2.3.1 Nutzungsphase 1 – Bau und Beginn EUU

In dieser Phase erfolgt der Bau von zwei Zugangsbauwerken (Betriebsschacht oder Betriebszugangstunnel und Lüftungsschacht) bis auf Lagerebene über das Areal der Nebenzugangsanlagen. Ab dem Schachtfuss des Betriebsschachts (JO: Fusspunkt des (Betriebs-)Zugangstunnels) wird der zentrale Bereich³ (ZB) und anschliessend die Bauten für die EUU erstellt (BEUU, vgl. orange eingefärbte Bauwerke der Fig. 2-6). Die Erstellung der Bauwerke auf Lagerebene wird über den Betriebsschacht abgewickelt. Auf Lagerebene werden in dieser Phase fast alle im zentralen Bereich liegenden Bauwerke realisiert, welche einerseits für die Baulogistik und andererseits für den EUU-Betrieb benötigt werden.

³ Der Zentrale Bereich ist der Bereich, welcher die Zugänge von der Oberfläche mit den Zugängen zu den Lagerfeldern und den Bauten für die EUU verbindet.

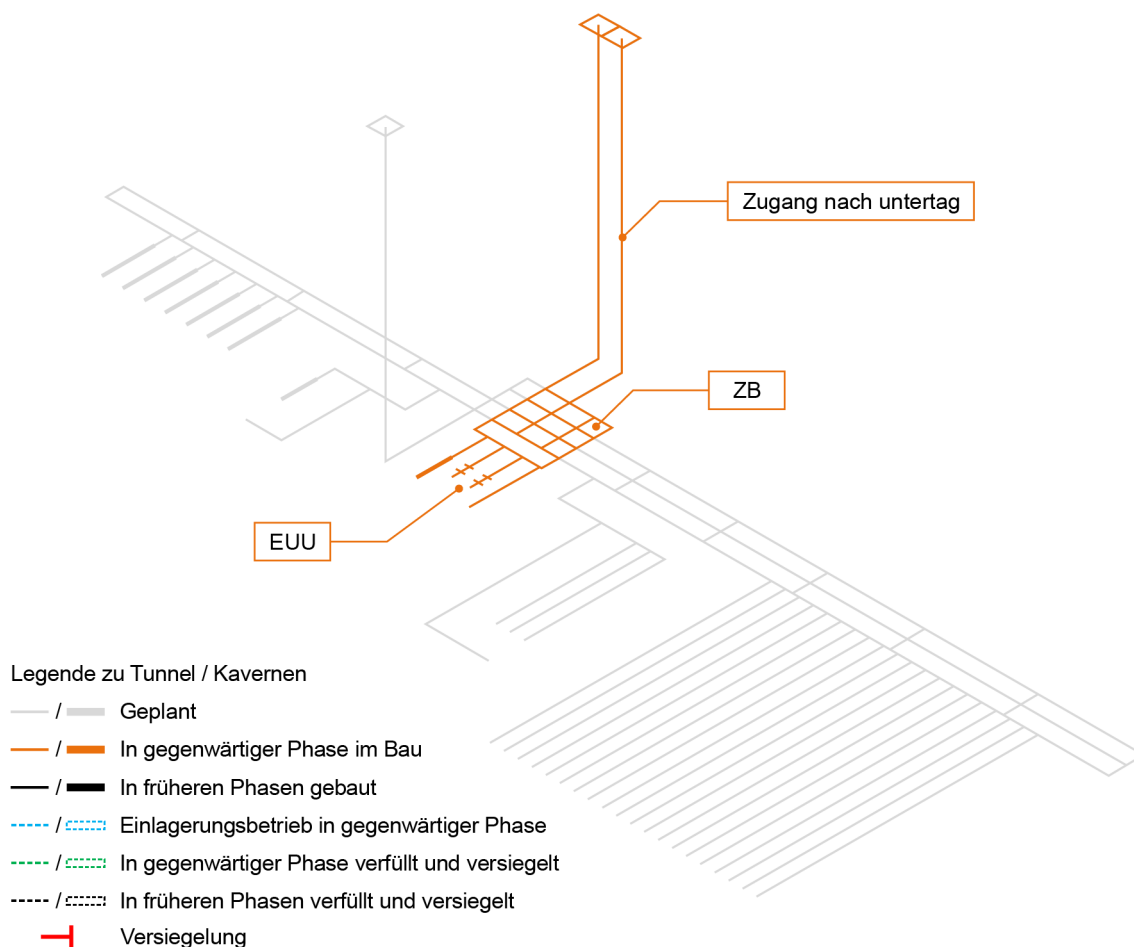


Fig. 2-6: Nutzungsphase 1 – Bau und Beginn EUU
 Zeitfenster von ca. 6 Jahren⁴ nach EP21; Grafik aus Nagra (2022d)

2.3.2 Nutzungsphase 2 – Weiterführung EUU

In der Nutzungsphase 2 werden parallel zum EUU-Betrieb letzte Teile des zentralen Bereichs ausgebrochen, um die nötige Infrastruktur für den unverzüglichen Baustart in der Nutzungsphase 3 sicherzustellen (vgl. orange Bauwerke auf Lagerebene der Fig. 2-7).

⁴ Die Grafik zeigt illustrativ die fast vollständig erstellten Bauwerke des zentralen Bereichs, welche für die Bauphase 3 benötigt werden.

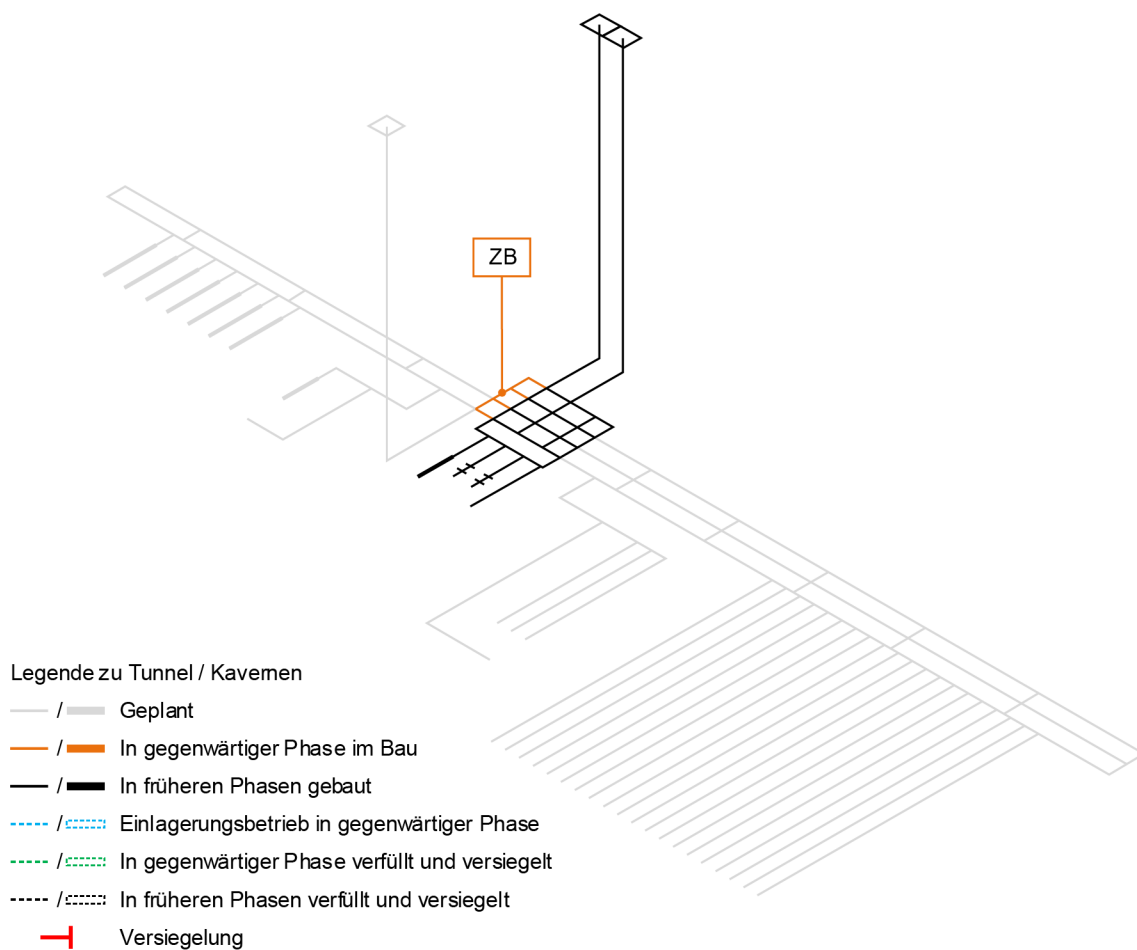


Fig. 2-7: Nutzungsphase 2 – Weiterführung EEU

Zeitfenster von ca. 15 Jahren gemäss EP21 beinhaltet auch Bauzeit für weitere Ausbrucharbeiten im ZB; Grafik aus Nagra (2022d)

2.3.3 Nutzungsphase 3 – Bau Lager SMA

In der Nutzungsphase 3 wird der SMA-Lagerteil erstellt. Der Zugangsschacht an den Standorten NL und ZNO wird ab dem OFA-Areal abgeteuft und unmittelbar an dessen Rohbauvollendung mit den Förderanlagen für den späteren Transport der Endlagerbehälter (ELB) im Einlagerungsbetrieb sowie für den Transport der Verschlussmaterialien ausgerüstet. Am Standort JO wird der Stichtunnel Richtung Zwilag-Areal als Abzweiger aus dem Betriebstunnel heraus für den Einlagerungsbetrieb erstellt und auf dem JO-3+-Areal an den Tagbautunnel angeschlossen.

Ausgehend vom zentralen Bereich werden in dieser Nutzungsphase die Lagerfeldzugänge zum SMA-Hauptlager (Betriebs- und Lüftungstunnel) inklusive der dazugehörigen Querschläge, das SMA-Haupt- und Pilotlager sowie der SMA-Kontrollstollen erstellt (vgl. orange Bauwerke der Fig. 2-8). Sämtliche Materialströme für die Ver- und Entsorgung der Bauaktivitäten auf Lagerenebene werden wiederum über den Betriebsschacht auf dem Areal der Nebenzugangsanlage abgewickelt.

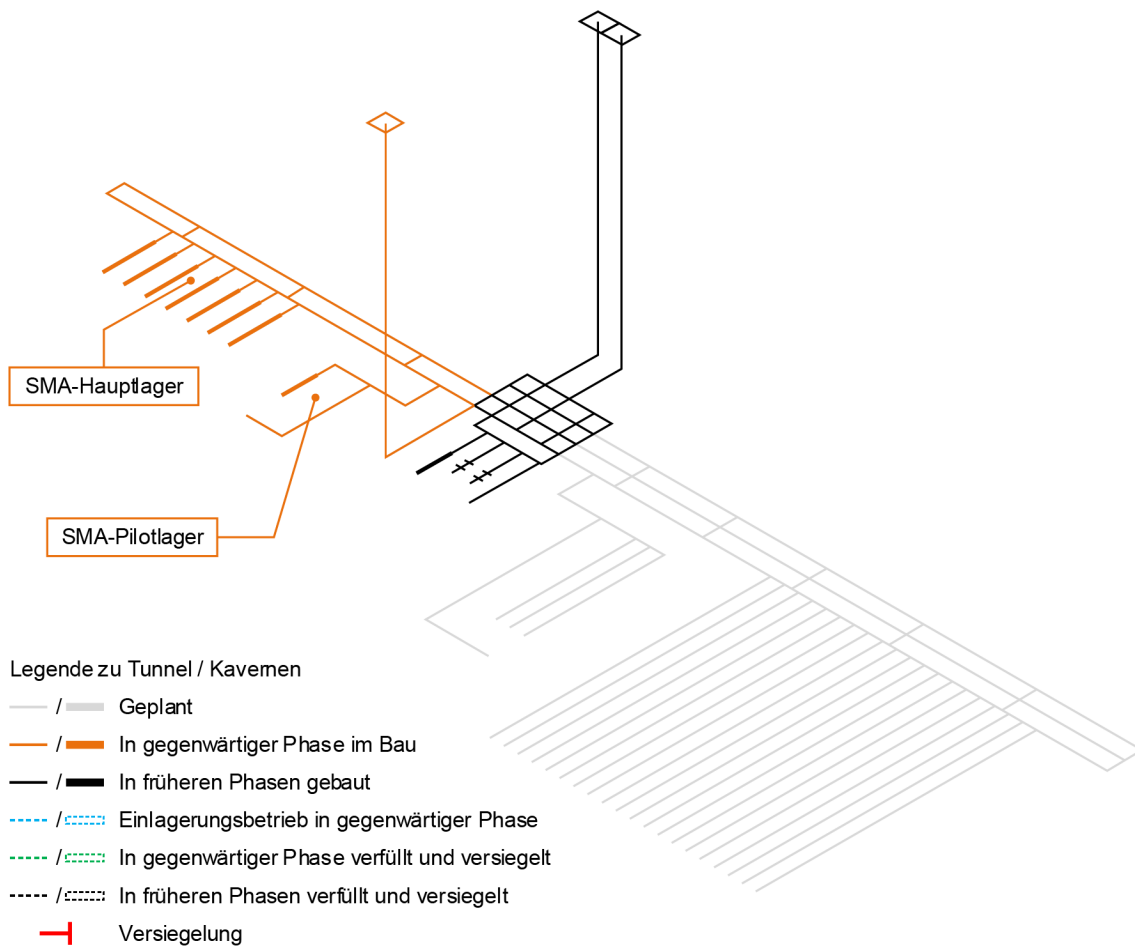


Fig. 2-8: Nutzungsphase 3 – Bau Lager SMA

Zeitfenster von ca. 5 Jahren nach EP21; Grafik aus Nagra (2022d)

2.3.4 Nutzungsphase 4 – Einlagerungsbetrieb SMA / Bau Lager HAA

Mit Bezug auf die radiologische Überwachung wird das Tiefenlager ab Beginn der Einlagerung der SMA-Abfälle in der Nutzungsphase 4 nach einem Zonenkonzept betrieben. Die Untertaganlagen werden in «nicht kontrollierte / konventionelle» und «kontrollierte» Zonen, sogenannte Überwachungsbereiche⁵, geteilt. Der Bau des HAA-Lagerteils erfolgt daher räumlich getrennt zum zeitgleich stattfindenden SMA-Einlagerungsbetrieb.

Über den zentralen Bereich werden zuerst die Zugänge zum HAA-Hauptlager (Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel) inklusive der dazugehörigen Querverbindungen aufgeföhren. Über diese drei Tunnel werden anschliessend das HAA-Pilotlager, der HAA-Kontrollstollen, die Lagerstollenabzweiger, die Umladebereiche und die ersten 1 bis 2 HAA-Lagerstollen erstellt (vgl. orange Bauwerke der Fig. 2-9). Die Andienung für den Bau erfolgt dabei wieder ausschliesslich über den Betriebsschacht, über welchen alle Materialströme analog zur Nutzungsphase 3 für den Bau abgewickelt werden.

⁵ Bereich mit Betrieb von Anlagen oder beim Umgang mit geschlossenen radioaktiven Quellen.

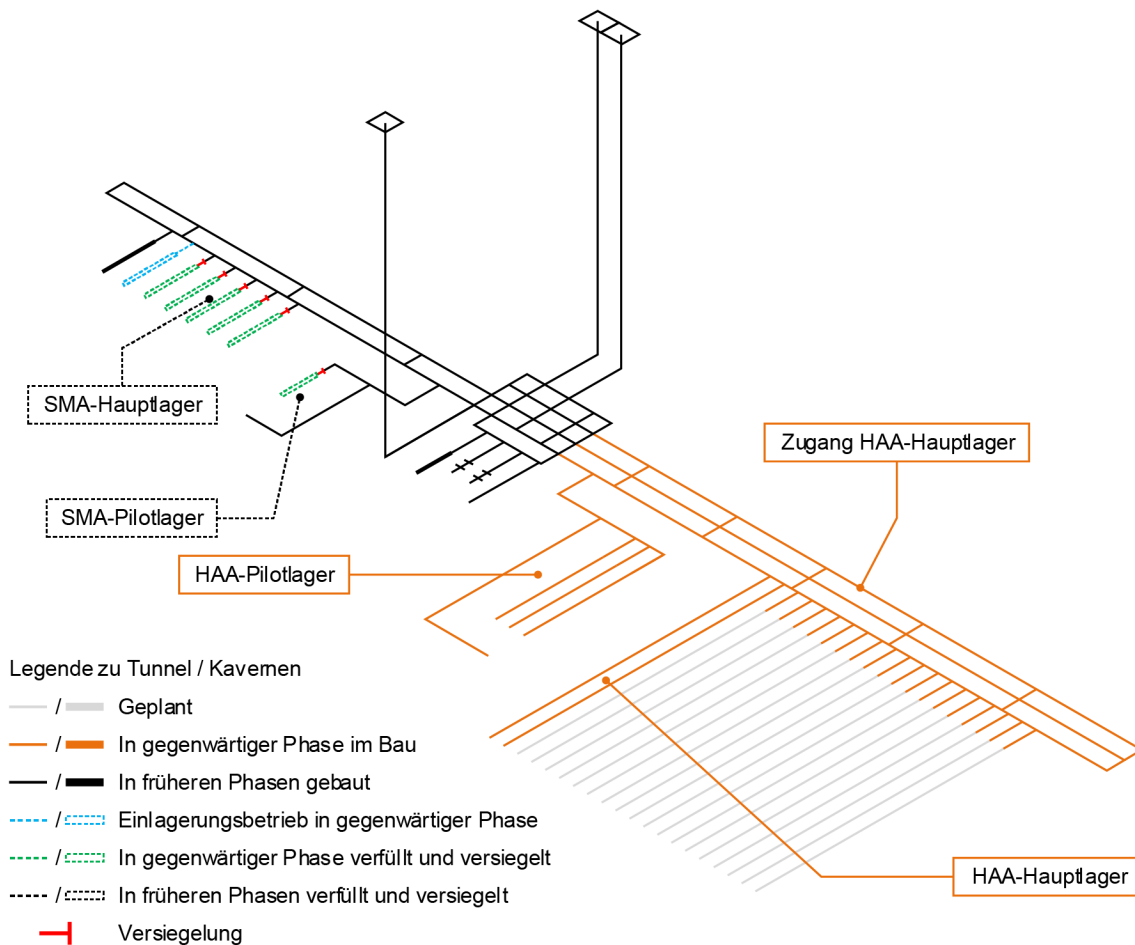


Fig. 2-9: Nutzungsphase 4 – Einlagerungsbetrieb SMA / Bau HAA-Lagerteil

Zeitfenster von ca. 5 Jahren nach EP21 für den Bau des HAA-Lagerteils; Grafik aus Nagra (2022d)

Sämtliche Personen- und Materialströme für den Einlagerungsbetrieb (blau), die Verfüllung (grün) und die Versiegelung (rot) werden über den Zugangsschacht im Überwachungsbereich, komplett getrennt von den Bauaktivitäten in den orangenen Bereichen, abgewickelt.

2.3.5 Nutzungsphase 5 – Einlagerungsbetrieb HAA (& Erweiterung HAA-Lager)

In der Nutzungsphase 5 werden parallel zum Einlagerungsbetrieb HAA (beginnend in den 3 Pilotlagerstollen), jeweils über den Bautunnel HAA weitere HAA-Lagerstollen erstellt, in denen im Folgejahr die Abfälle eingelagert werden. Es handelt sich hier im Vergleich zu allen früheren Nutzungsphasen nur noch um geringe Bauvolumen pro Zeiteinheit, welche ebenfalls über den Betriebsschacht abgewickelt werden (vgl. orange Bauwerke der Fig. 2-10).

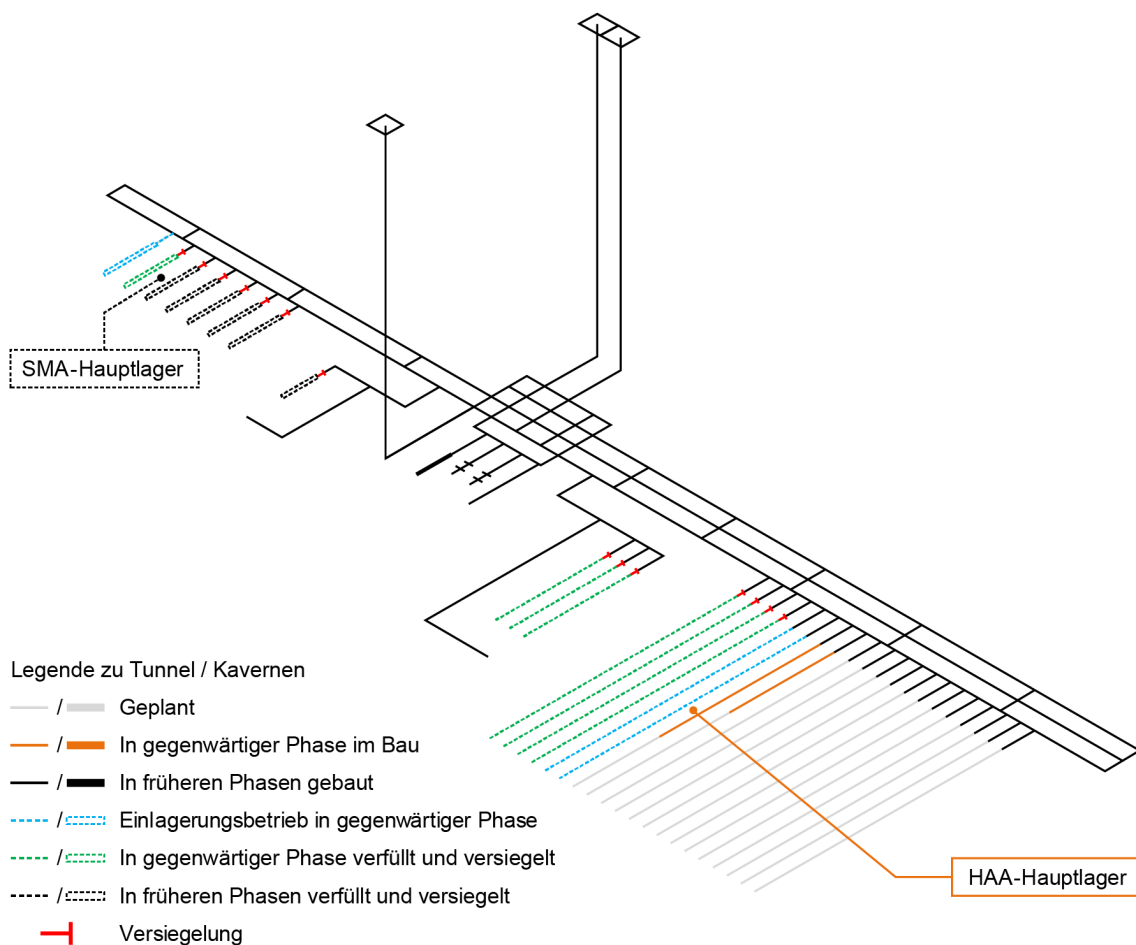


Fig. 2-10: Nutzungsphase 5 – Einlagerungsbetrieb HAA

Zeitfenster von ca. 15 Jahren nach EP21; Grafik aus Nagra (2022d)

Die Grafik zeigt illustrativ die Einlagerung in der letzten SMA-Kaverne und den parallelen HAA-Einlagerungsbetrieb sowie die Bauaktivität für 2 HAA-Lagerstollen pro Jahr.

Sämtliche Personen- und Materialströme, resultierend aus dem Einlagerungsbetrieb (blau), der Verfüllung (grün) und der Versiegelung (rot), werden über den Zugangsschacht im Überwachungsbereich komplett getrennt von den Bauaktivitäten in den orangenen Bereichen abgewickelt.

3 Ingenieurgeologie, geotechnische Aspekte, Gefährdungsbild- und Risikoanalyse

3.1 Ingenieurgeologie

Die ingenieurgeologischen Baugrundbeurteilungen sind in den standortspezifischen Berichten für JO (Nagra 2023b), NL (Nagra 2023c) und ZNO (Nagra 2023d) zu finden.

In den folgenden Kapiteln werden die für das Verständnis der Lagerprojekte wichtigsten Aspekte wiedergegeben.

3.1.1 Zugangsbauwerke zur Lagerebene

Zur Erschliessung der Lagerebene werden verschiedene Sedimentgesteine durchörtert. In den ingenieurgeologischen Berichten werden die einzelnen Gesteinseinheiten aus ingenieurgeologischer Sicht bewertet und in ingenieurgeologische Homogenbereiche (Hb) zusammengefasst. Auf eine Wiedergabe der ingenieurgeologischen Eigenschaften wird im vorliegenden Bericht verzichtet. Für eine Zusammenstellung der Eigenschaften der einzelnen Homogenbereiche wird auf das Kapitel «Baugrundmodell» in den ingenieurgeologischen Berichten verwiesen.

Über die drei Standorte hinweg werden 12 standortspezifische, ingenieurgeologische Homogenbereiche unterschieden. Für eine einfachere Vergleichbarkeit der Standorte untereinander werden aus bautechnischer Sicht ähnliche Homogenbereiche (HB) in den verschiedenen Standorten gleich bezeichnet. So hat beispielsweise der Homogenbereich im Opalinuston in allen Standortgebieten die Bezeichnung HB5. Die Tab. 3-1 zeigt die Übersetzung der ingenieurgeologischen Homogenbereiche in bautechnische Homogenbereiche. Die unterschiedlichen Tiefenlagen der Bereiche werde bei den bautechnischen Homogenbereichen ausgeklammert. Es werden unabhängig der Tiefen in den gleichen Homogenbereichen die gleichen Gefährdungsbilder erwartet. Mit zunehmender Tiefe ist jedoch deren Ausprägung stärker. Der bautechnische Homogenbereich HB4* ist nur in JO anzufinden.

Tab. 3-1: Ingenieurgeologische Homogenbereiche (Hb) und bautechnische Homogenbereiche (HB) inkl. lithostratigraphische Bezeichnung

Ingenieurgeologische Homogenbereiche (Hb)			Bautechnische Homogenbereiche (HB)			Lithostratigraphische Bezeichnung
JO	NL	ZNO	JO	NL	ZNO	
	Hb1 NL	Hb1 ZNO		HB1	HB1	Molasse
	Hb2 NL	Hb2 ZNO		HB2	HB2	«Felsenkalke» und «Massenkalk»
	Hb3 NL	Hb3 ZNO		HB3	HB3	Schwarzbach- und Villigen-Formation
Hb1 JO	Hb4 NL	Hb4 ZNO	HB4*	HB4	HB4	Wildeggen-Formation und Dogger oberhalb Opalinuston
Hb2 JO	Hb5 NL	Hb5 ZNO	HB5	HB5	HB5	Opalinuston

Die bautechnischen Homogenbereiche der Zugangsbauwerke (Schächte) zur Lagerebene sind in Fig. 3-1 für alle drei Standorte dargestellt.

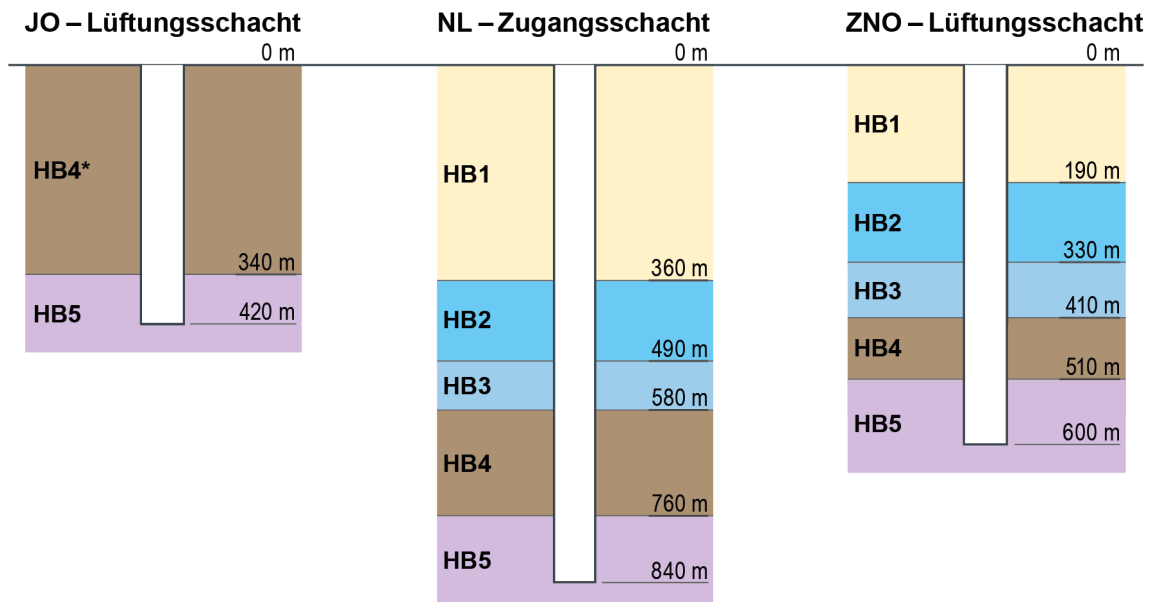


Fig. 3-1: Homogenbereiche Fels der Schächte in den Standortgebieten JO (Lüftungsschacht), NL (Zugangsschacht) und ZNO (Lüftungsschacht)

Im Gegensatz zu den Schachtzugängen verläuft der (Betriebs-)Zugangstunnel am Standort JO auf seiner gesamten Länge im HB5 (Opalinuston). Das geologische Längenprofil des Zugangstunnels JO ist in Fig. 3-2 dargestellt.

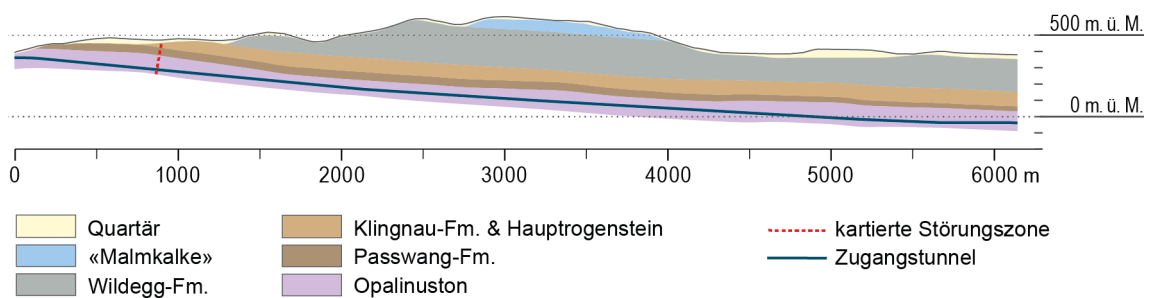


Fig. 3-2: Schematisches geologisches Längenprofil des (Betriebs-)Zugangstunnels JO ab Tongrube Schmidberg (NZA-B)

Der Stichtunnel, der in Richtung Zwilag aus dem (Betriebs-)Zugangstunnel JO abzweigt, verläuft zuerst noch im Opalinuston (Verzweigungsbereich im (Betriebs-) Zugangstunnel) und führt dann durch die Passwang-Formation in die Klingnau-Formation & Hauptrogenstein zum Portal auf dem Areal JO-3+.

3.1.2 Bauwerke auf Lagerebene

Sämtliche Bauwerke auf Lagerebene liegen im Opalinuston. Je nach Standort befindet sich das Lager dabei in unterschiedlichen Tiefenlagen.

Der Opalinuston besteht gemäss den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d) mehrheitlich aus dünn geschichteten, siltigen und sandigen Tonsteinen. Im Bereich der Schachtanlagen weist der Opalinuston standortübergreifend eine Mächtigkeit von 100 bis 110 m auf. Die Schichtung des Opalinustons verläuft gegenüber den Bauwerken horizontal bis subhorizontal. An allen drei Standorten werden nebst der Schichtung drei Trennflächensysteme mit Trennflächenabständen zwischen 3.5 und 16.5 m erwartet.

3.1.3 Hydrogeologie

Die Bauwerke auf Lagerebene liegen vollumfänglich im praktisch hydraulisch dichten Opalinuston. Demgegenüber durchdringen die Schachtbauwerke verschiedene Aquifere. Dies insbesondere in den Standorten NL und ZNO, wo die Molasse (HB1) und die «Malmkalke» (HB2 und HB3) durchfahren werden.

Die «Malmkalke» in HB2 weisen eine Paläo-Verkarstung auf (resp. das Vorkommen von Karsthohlräume, die in der erdgeschichtlichen Vergangenheit entstanden sind). Diese Hohlräume liegen heute weitgehend mit Sedimenten dicht verfüllt vor und haben für die Dynamik des Aquifers eine untergeordnete Bedeutung. Das Vorkommen von nicht sedimentverfüllten Karsthohlräumen kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Details dazu sind in den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d) zu finden. Aufgrund der niedrigen hydraulischen Gradienten werden im Bereich der geplanten Schächte aus bautechnischer Sicht nur sehr geringe in situ Strömungsgeschwindigkeiten erwartet.

3.1.4 Störungszonen

Im Untersuchungsbereich der 3D-Seismik-Kampagne wurden auf Lagerebene im Opalinuston an allen Standorten keine Störungszonen erkundet und kartiert. Lediglich im Bereich des (Betriebs-)Zugangstunnels am Standort JO wurde eine Störungzone seismisch kartiert (Fig. 3-2).

Jede Störungzone weist einen eigenen Internbau auf, der sich auch entlang der Erstreckung verändern kann. Im Rahmen des BTD werden verschiedene Störungszonen-Typen unterschieden, die sich hinsichtlich ihrer Ausprägung unterscheiden (z. B. Fig. 3-3).

Die Lagerprojekte werden auf die Typen I und II für seismisch nicht kartierte Störungszonen, resp. Typ III für die seismisch kartierten Störungszonen ausgelegt. In der Bautechnischen Risikoanalyse werden Typ III und IV für seismisch nicht kartierte Störungszonen, resp. Typ IV für die seismisch kartierten Störungszonen berücksichtigt.

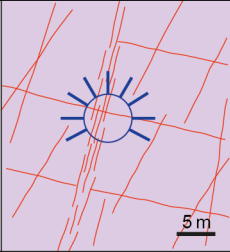
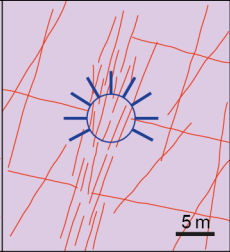
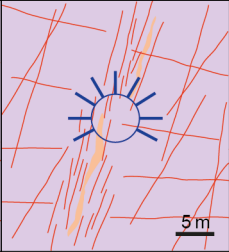
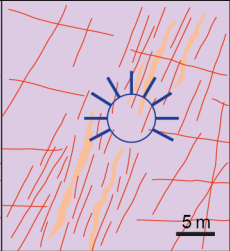
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Beschreibung der Störungszone	Bis zu wenige Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich	Mehrere Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich	Mehrere Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich mit einer bis zu metriger, stark zerrütteter und brekziöser «Kernzone»	Zehner Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich mit einer bis mehrere Meter mächtigen, stark zerrütteten und brekziösen «Kernzone»
Skizze zum Aufbau der Störungszone				
Seismisch nicht kartierte Störungszone	Lagerprojekt		BTRA	
Seismisch kartierte Störungszone	Lagerprojekt			BTRA

Fig. 3-3: Zuordnung der Störungszone zu den standortspezifischen Lagerprojekten und der Bautechnischen Risikoanalyse (BTRA)

Gemäss Nagra 2023b, 2023c und 2023d, Darstellung des Normalprofils des Betriebstunnels als Referenz, Grafik aus Nagra (2023h).

3.2 Geotechnische Aspekte

Das mechanische Verhalten des Opalinuston ist charakterisiert durch eine Steifigkeits- und Festigkeitsanisotropie mit einer geringeren Festigkeit bei einem Versagen entlang der Schichtung als in der Matrix. Aufgrund der im Vergleich zum Überlagerungsdruck geringen Festigkeit ist an allen Standorten auf Lagerebene mit druckhaftem Gebirge zu rechnen. Die Entwicklung der Verformungen bzw. des echten Gebirgsdrucks ist aufgrund der geringen Durchlässigkeit des Opalinuston ausgeprägt zeitabhängig. Lagerkavernen und Lagerstollen sollen gemäss Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) in der geomechanisch günstigen Richtung parallel zur Hauptspannungsrichtung ausgerichtet werden. Dies entspricht für alle Standorte ca. der Richtung NNW-SSO.

Der Opalinuston weist gemäss den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, 2023c und 2023d) ein hohes Quellpotenzial auf. Ebenso verfügt die in den Standortgebieten NL und ZNO anstehende Untere Meeressmolasse über ein mässiges Quellpotenzial. Kaum Quellpotenzial weisen hingegen die anderen Schichten auf. Um Quellvorgänge so gering wie möglich zu halten, ist gemäss Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) bei Vortriebs- und Sicherungsarbeiten im Opalinuston darauf zu achten, dass diese ohne Zufuhr von Prozesswasser (Brauchwasser) ausgeführt werden.

3.3 Gefährdungsbildanalyse und Massnahmen

3.3.1 Vorgehen

Für die Ermittlung der Bauverfahren und Massnahmen wurde, basierend auf den ingenieur-geologischen Grundlagen, eine Gefährdungsbildanalyse durchgeführt.

Die Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahren in den ingenieur-geologischen Berichten erfolgt in vier Kategorien (die Beschreibung der Kategorien ist in den ingenieur-geologischen Berichten zu finden):

- Extrem unwahrscheinlich
- Unwahrscheinlich
- Möglich
- Wahrscheinlich

Die vorliegende Gefährdungsbildanalyse berücksichtigt alle Gefahren von wahrscheinlich bis unwahrscheinlich. Extrem unwahrscheinliche Gefahren werden in der bautechnischen Risikoanalyse behandelt (Nagra 2023h). Bei den Störungszonen werden Typ I und II für die nicht kartierten Störungszonen und Typ I bis III für die kartierten Störungszonen in der Gefährdungsbildanalyse berücksichtigt (Fig. 3-3). In der bautechnischen Risikoanalyse werden Typ III und IV für die nicht kartierten und Typ IV für die kartierten Störungszonen berücksichtigt.

Die Störungszonen Typ I und II (Fig. 3-3), welche erwartet werden, stellen im Wesentlichen eine erhöhte Trennflächendichte über einer Länge von maximal ca. 5 bis 10 m (wenn senkrecht angefahren) dar. Solche Störungszonen werden nicht gesondert in der Gefährdungsbildanalyse betrachtet, sondern sind in der Betrachtung der Homogenbereiche inkludiert. Störungszonen des Typs III (Fig. 3-3), welche nur im Zugangstunnel JO seismisch kartiert wurde, werden in der Gefährdungsbildanalyse berücksichtigt.

Bei der Gefährdungsbildanalyse wurden in einem ersten Schritt die Hauptgefährdungen pro Homogenbereich und Bauwerk identifiziert und Massnahmen bestimmt, um die Gefährdungen je nach Sachlage zu vermeiden, unter Kontrolle zu halten oder deren Ausmass auf ein akzeptierbar kleines Mass zu beschränken. Hauptgefährdungen stellen die Gefährdungen dar, die das Bauverfahren oder die Bauhilfsmassnahme bestimmen. Ausgehend von den gewählten Massnahmen wurden in einem zweiten Schritt die verbliebenden oder aus dem Bauverfahren resultierenden Gefährdungsbilder pro Homogenbereich bzw. Bauwerk bestimmt und, falls erforderlich, weitere Massnahmen ergänzt.

Im Folgenden wird auf die Hauptgefährdungen und die erforderlichen Massnahmen eingegangen. Die vollständige Gefährdungsbildanalyse mit allen Gefährdungen ist im Anhang A zu finden. Die Beurteilung der Gefährdungen in Zusammenhang mit dem echten Gebirgsdruck sind im Bericht Tunnelstatik (Nagra 2023g) zu finden.

Der Stichtunnel wird in der Gefährdungsbildanalyse nicht behandelt. Massnahmen sind in den entsprechenden Plänen aufgrund von Erfahrungen mit ähnlichen oberflächennahen Tunnel vorgeschlagen.

Gefährdungen während des Baus der Versiegelungsbauwerke sind in Nagra (2021c) zu finden.

3.3.2 Hauptgefährdungen beim Bau der Zugänge nach untertage

Schachtbau

Beim Bau der Schächte stellen Wassereintritte die Hauptgefährdung dar. Als Wassereintritt wird ein Bergwasserzutritt verstanden, dessen Schüttung nicht durch Abpumpen abgeführt werden kann. Diese Gefährdung von Wassereintritten steht in Zusammenhang mit dem Anfahren von wasserführenden Störungszonen oder Karsthohlräumen und ist besonders in den Homogenbereichen HB2 und HB3 akzentuiert. Bedingt durch die Tiefenlage der Bauwerke, ist in diesen Abschnitten mit einem hohen Wasserdruck zu rechnen (NL bis zu 580 m, ZNO bis zu 410 m Wassersäule).

Die Gefährdung durch Karstwasserzutritte ist an verkarstungsfähige Gesteinseinheiten gebunden, in denen sich ein Karstaquifer entwickelt hat. Die Schächte in den Standortgebieten Nördlich Lägern und Zürich Nordost durchqueren im HB2 einen Paläo-Karstaquifer in den «Malmkalken». Lokal grössere (bis zu mehreren Meter Durchmesser), wassergefüllte Karsthohlräume können in HB2 nicht ausgeschlossen werden. Eine Beurteilung der Gefährdung von karstbedingten Wassereintritten ist in Nagra (2022a) zu finden.

Der Schachtbau ist konventionell im Abteufverfahren im Sprengvortrieb (SPV) vorgesehen. Für die HB2 und HB3 ist das Gefrierverfahren von der Oberfläche als Bauhilfsmassnahme vorgesehen, da heute grosse wassergefüllte Karsthohlräume in HB2 nicht ausgeschlossen werden können. Der HB1 kann dadurch ebenfalls im Schutz eines Gefrierkörpers abgeteuft werden.

Für die Neubeurteilung der Gefährdung durch karstbedingte Wassereintritte und allenfalls Nutzung einer Chance ist es vorgesehen, vor dem Bau Erkundungsmassnahmen an den Schachtstandorten durchzuführen (siehe auch Nagra 2022a). Es kann heute zudem nicht ausgeschlossen werden, dass bei einer Schachtabteufung bisher nicht erkannte Störungszonen angefahren werden, die insbesondere in den kompetenten Gesteinseinheiten wie z.B. den Felsenkalken zu erhöhten Wasserzutritten führen können. Auch diese lassen sich vor Baubeginn (Erkundungsbohrung) oder dem Vortrieb vorausseilend zuverlässig detektieren.

Bau des Zugangstunnels in JO

Der Zugangstunnel soll mittels Schild-Tunnelbohrmaschine (TBM) vorgetrieben werden. Wegen der hohen Überlagerung im Opalinuston (bis zu über 400 m) besteht für den Vortrieb die Gefahr eines Verklemmens des Schilds und die Gefahr unzulässiger Verformungen bzw. einer Überbeanspruchung des Ausbaus.

Das Verklemmen der TBM kann mit einem genügend grossen Überschneidung des Bohrkopfs gegenüber dem Schild verhindert werden. Als Ausbau soll ein nachgiebiger Tübbingausbau zum Einsatz kommen, welcher nach Fertigstellung des Vortriebs mit einer Ortbetoninnenschale ergänzt wird. Im Bereich der Störungszone Typ III (siehe Kapitel 3.1) wird der Überschneidung zusätzlich erhöht. Der Ausbau ist dort zu verstärken (z.B. durch Erhöhung der Betonqualität).

3.3.3 Hauptgefährdungen beim Bau der Bauwerke auf Lagerebene

Es ist vorgesehen, die Lagerstollen mit einer Schild-TBM aufzufahren. Die übrigen Bauwerke werden konventionell vorgetrieben. Beim Vortrieb im Opalinuston bei den gegebenen Gebirgsparametern und Tiefenlagen wird druckhaftes Gebirge erwartet.

Das gTL wird präferenziell in ungestörten Gebirgsbereichen gebaut. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass durch kleinere Störungszonen vorgetrieben werden muss. Seismisch nicht kartierte Störungszonen weisen eine Mächtigkeit von bis zu wenigen Metern auf und sind durch eine erhöhte Trennflächendichte (Störungszonen Typ I und II, siehe Kapitel 3.1.4) charakterisiert.

Wegen der Ausprägung und geringen Mächtigkeit im Vergleich zum Bauwerksdurchmesser (wenn rechtwinklig angefahren) ist deren Einfluss auf die Verformungen bzw. den echten Gebirgsdruck von untergeordneter Bedeutung (Kovári & Anagnostou 1995). Vor dem Bau nicht erkannte Störungszonen, die schleifend zu Tunnelachse verlaufen, kann bei Bedarf durch eine Anpassung der Linienführung oder einer Verschiebung von grossen Querschnitten ausgewichen werden.

Bau der HAA-Lagerstollen

Die Hauptgefährdungen beim Vortrieb des HAA-Lagerstollens stellen das Verklemmen der Schild-TBM und unzulässige Verformungen bzw. eine Überbeanspruchung des Ausbaus dar. Als Massnahmen kommen einerseits das Vorsehen eines genügend grossen Überschnitts und eines starren, ausreichend dimensionierten Ausbaus zu Anwendung.

Beim HAA-Lagerstollen sind radiale Überschnitte von rund 5 cm erforderlich (Nagra 2023g). Die Überschnitte sind robust ausgelegt und reichen auch für allfällige mehrmonatige Vortriebsstillstände aus. Die maschinentechnische Machbarkeitsgrenze für den Überschnitt beim Durchmesser des Lagerstollens liegt gemäss Hersteller bei ca. 15 cm.

Durch den frühen Ringschluss und dem starren Tübbingausbau resultiert eine hohe Beanspruchung der Tübbinge (v.a. durch Normalkräfte). Infolge des zeitabhängigen Ausgleichs der Porenwasserdrücke (Konsolidation) nimmt die Belastung des Ausbaus mit der Zeit, bis zum Erreichen eines stationären Zustands, zu. Als Massnahme ist der Einsatz von hochfestem Beton und eine hohe Tübbingstärke vorgesehen.

Beim Schild-TBM-Vortrieb werden allfällige (nicht kartierte) Störungszonen des Typs I und II ohne zusätzliche Massnahmen durchfahren. Der Schild schützt vor erhöhter Gefahr durch Niederbrüche. Verformungen und Gebirgsdruck sind durch solche Störungszonen nicht wesentlich erhöht.

Beim Bau der Lagerstollen ist keine vortriebsbegleitende Vorauserkundung vorgesehen. Durch die EUU, das Auffahren der benachbarten Tunnel (Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel) und Stollen ist die Geologie beim Auffahren bereits gut bekannt.

Bau der SMA-Lagerkaverne, der Bau-, Lüftungs- und Betriebstunnel sowie Abzweiger

Die Hauptgefährdungen beim Bau der konventionell vorgetriebenen Hohlräume stellen unzulässige Verformungen oder eine Überbeanspruchung des Ausbaus infolge echten Gebirgsdrucks dar.

Als Massnahme ist eine nachgiebige Ausbruchsicherung, bestehend aus Stahlbögen mit Gleitschlössern, Stahlfaserspritzbeton und Systemankerung, mit anschliessend erstelltem Innengewölbe aus Ortbeton vorgesehen.

Beim konventionellen Vortrieb und Sicherung in Störungszonen des Typs I und II ist ein erhöhter Sicherungsaufwand mit Anker und Spritzbeton sowie einer Ortsbrustversiegelung und -ankerung vorgesehen. Der echte Gebirgsdruck ist aufgrund der geringen Mächtigkeit der Störungszonen nur unwesentlich höher als im ungestörten Gebirge.

Bei den konventionellen Vortrieben ist eine vortriebsbegleitende Vorauserkundung vorgesehen.

3.4 Risikoanalyse

Die bautechnische Risikoanalyse (BTRA) betrachtet Gefährdungen, welche bei abweichenden geologisch-hydrogeologischen Bedingungen auftreten können. Die BTRA ist in Nagra (2023h) ausführlich dokumentiert.

Mit den Erkundungsmassnahmen und EEU (Nagra 2021b) soll sichergestellt werden, dass Störungszonen und Änderungen der Gebirgseigenschaften erkannt und Massnahmen rechtzeitig ergriffen werden können. Können Massnahmen trotz Vorauserkundung oder wegen der fehlenden Möglichkeit einer zuverlässigen Vorauserkundung nicht rechtzeitig eingesetzt werden, sind diese im Regelvortrieb umzusetzen oder vorzuhalten. Aus der BTRA (Nagra 2023h) ergeben sich folgende Massnahmen:

- Vorsehen vorauseilender Abdichtungsinjektionen (Cover-Drill) nach Bedarf in HB4
- Vorsehen der Möglichkeit eines Shiftens der Kalibermeissel der Schild-TBM während des Vortriebs für den Bau der HAA-Lagerstollen
- Vorsehen der Möglichkeit eines Shiftens der Kalibermeissel der Schild-TBM während des Vortriebs des (Betriebs-)Zugangstunnels am Standort JO

4 Auslegungsgrundsätze und Umsetzung der Konzepte

4.1 Auslegungsgrundsätze und Vorgaben an die geometrische Lagerkonfiguration

Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben diejenigen Auslegungsgrundsätze, welche für die Festlegung der geometrischen Lagerkonfiguration der Projekte zu berücksichtigen sind. Es handelt sich primär um Vorgaben für die vertikale und horizontale Trassierung von Schacht-, Tunnel-, Stollen- und Kavernenachsen sowie um explizite Abstandsvorgaben zwischen den Bauwerken auf Lagerebene, die bei der Trassierung einzuhalten sind. Die detaillierten Anforderungen und deren Herleitung sind in der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) ersichtlich.

4.1.1 Zugangsbauwerke

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 2 erfolgt der Zugang nach untertag mittels zwei (SMA-Einzellager) respektive drei Zugangsbauwerken (HAA-Einzellager und Kombilager), von denen zwei (Betriebs- und Lüftungsschacht) auf einem gemeinsamen Areal zu liegen kommen.

- Hauptzugangsbauwerk: Zugangsschacht oder Zugangstunnel ab Areal Oberflächenanlage (OFA), Realisierung in Nutzungsphase 3
- Nebenzugangsbauwerk: Betriebsschacht oder Betriebszugangstunnel ab Areal der Nebenzugangsanlage Betrieb (NZA-B) oder Betrieb und Lüftung (NZA-BL), Realisierung in Nutzungsphase 1
- Nebenzugangsbauwerk: Lüftungsschacht ab Areal der Nebenzugangsanlage Lüftung (NZA-L) oder Betrieb und Lüftung (NZA-BL), Realisierung in Nutzungsphase 1

Für die Lagerprojekte JO kommt anstelle eines Zugangsschachts und eines Betriebsschachts ein (Betriebs-)Zugangstunnel zum Einsatz, welcher für das HAA-Einzellager über ein Betriebsabteil und ein Zugangsabteil verfügt (vgl. auch Kap. 2.2 und 5.2).

4.1.2 Bauwerke auf Lagerebene

Die Bauwerke auf Lagerebene liegen vollständig im Opalinuston. Die für die Entwicklung der Lagerkonfiguration auf Lagerebene relevanten geometrischen Randbedingungen basieren auf Vorgaben der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) wie in Fig. 4-1 dargestellt. Weiter sind folgende Anordnungsgrundsätze zu beachten:

Lagemässige Anordnung

- Die Bauwerke des zentralen Bereichs sollen möglichst im Haupterschliessungsbereich (HEB; Nagra 2019a) und nahe an den Schachtfüssen der Zugänge nach untertag liegen. Aus dem ZB werden sämtliche weiteren Bauwerke erstellt und erschlossen (vgl. auch Nagra 2022d).
- Die Bauten für die EUU (BEUU) sollen möglichst nahe an den Bauwerken des ZB liegen, jedoch in einem für die EUU-Arbeiten repräsentativen Gebirgskörper, um die Übertragbarkeit der dort gewonnenen Erkenntnisse zur Erlangung der jeweiligen nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungen zu gewährleisten.
- Der Achsabstand zwischen benachbarten Tunneln auf Lagerebene soll aufgrund ihres Ausbruchquerschnitts mindestens 50 m betragen, um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren (Ausnahme: HAA-Lagerstollen, aufgrund des verhältnismässig kleinen Durchmessers der Lagerstollen).

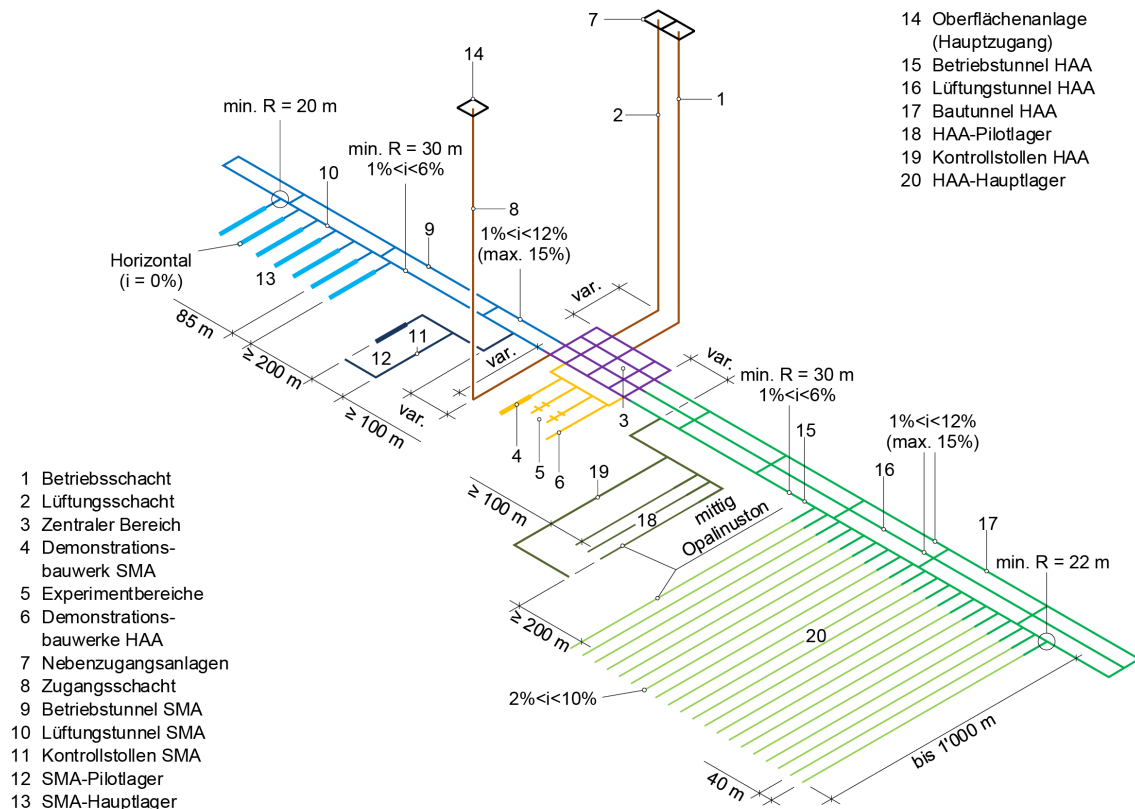


Fig. 4-1: Darstellung einzuhaltende geometrische Randbedingungen und Hauptabmessungen
Geometrische Randbedingungen für Lagerkonfiguration gemäss Nagra (2023e).

Höhenmässige Anordnung

- Die (Schacht-) Fusspunkte der Zugänge nach untertag (Zugangsschacht, Betriebsschacht und Zugangstunnel) liegen präferenziell tiefer als die Sohlenkote der übrigen Bauwerke des zentralen Bereichs.
- Falls ein Hauptlager (SMA- oder HAA-Lagerfeld inkl. Pilotlager) gegenüber den Bauwerken des zentralen Bereichs tiefer liegt, soll zwischen dem ZB und dem jeweiligen Hauptlager in den Betriebs-, Lüftungs- und Bautunneln jeweils ein Hochpunkt liegen. Im Falle eines auslegungüberschreitenden Wasserzuflusses aus den Zugangsbauwerken können somit der ZB und die daran anschliessenden Bauwerke im Sinne eines robusten Layouts zum Retentionsvolumen beitragen.
- Alle Bauwerke sollen möglichst mittig im Opalinuston platziert werden. Die mittige Lage der SMA-Lagerkavernen und HAA-Lagerstollen hat jedoch immer eine höhere Priorität als diejenige der übrigen Bauwerke. Dadurch ergeben sich in den Bereichen der Hauptlager die entsprechenden Höhenlagen für den HAA- und SMA-Betriebstunnel.
- Der HAA-Lagerstollen hat eine konstante Neigung.

4.2 Abdichtungs- und Entwässerungskonzept

Das Eindringen von Wasser in die Bauwerke auf Lagerebene ist aufgrund des Quellpotenzials des Opalinustons zu vermeiden (Nagra 2023e).

Schachtabschnitte oberhalb des dichten Opalinustons werden mit einer druckhaltenden Vollabdichtung (verschweisster Stahlblechmantel) versehen, um zu vermeiden, dass Bergwasser aus den hangenden Formationen in die Bauwerke auf Lagerebene gelangen kann. Aufgrund des dichten Opalinustons können für alle Bauwerke, welche im Opalinuston liegen, die Anforderungen an die Dichtigkeitsklassen⁶ gemäss Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) ohne Abdichtungsmassnahmen erfüllt werden. Dementsprechend werden alle Bauwerke im OPA im eigentlichen Sinne als «drainierte Bauwerke» ohne bauliche Abdichtungsmassnahmen ausgebildet. Der Zugangstunnel am Standort JO ab der Tongrube, welcher vollständig im Opalinuston liegt, wird ebenfalls drainiert ausgebaut. Der Stichtunnel zum Areal JO-3+ wird ausserhalb des Opalinustons mit einer Abdichtungsfolie vollständig abgedichtet.

Durch die Wahl einer entsprechenden Trassierung der Bauwerke im Opalinuston werden zudem günstige Voraussetzungen geschaffen, dass Wasser nicht ohne Interventionsmöglichkeiten zu unversiegeltem Opalinuston oder zu den Lagerfeldern gelangen kann (vgl. Ausführungen in Kapitel 4.1.2).

Durch die Anordnung von Rigolen und Schlitzrinnen und einer entsprechenden Gefällewahl der Bauwerke auf Lagerebene werden günstige Voraussetzungen geschaffen, um dennoch u. U. anfallendes Wasser (z.B. Leckagewasser aus Kühlsystemen, Prozesswasser aus Betonproduktion und auch Wasser aus Reinigungsarbeiten) geordnet sammeln und ableiten zu können.

Das so gesammelte Wasser kann im Tiefenlager an entsprechenden Tiefpunkten im ZB gefasst und über Pumpen zur OFA bzw. NZA gepumpt werden. Die Abfuhr von Wässern aus dem Tiefenlager erfolgt jeweils getrennt aus dem Bau- und Einlagerungsbereich über den Betriebschacht respektive den Zugangsschacht zur Oberfläche.

4.3 Lüftungs- und Kühlungskonzept

Für detaillierte Angaben zur Lüftung und Kühlung wird auf Nagra (2022c) verwiesen. Nachstehend werden, in zusammengefasster Form, die mit der Lagerkonfiguration oder den Normalprofilen abgedeckten Lüftungs- und Kühlungsprinzipien erläutert.

Die Lüftung muss den Anforderungen der Versorgung der Untertaganlage mit Frischluft, unter Einhaltung geeigneter klimatischer Arbeitsbedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) sowie der Vermeidung der Ansammlung explosionsgefährdender bzw. toxischer Konzentrationen von Gasen, in allen Bau- und Betriebsphasen genügen. Zudem muss die Lüftung so gestaltet sein, dass ein Eingreifen bei Abweichungen und Störfällen (bspw. Isolation von Bränden durch Brandabschnitte, kontrollierte Entrauchung, Unterdruckluftstaffelung für den Überwachungsbereich in den kontrollierten Zonen etc.) jederzeit möglich ist.

Die lüftungstechnisch intensivste Phase eines Tiefenlagers, auf welche die Lüftung und Kühlung ausgelegt werden muss, ist dabei jene für die Abwicklung des Baus des Tiefenlagers in der Phase Bau Lager HAA bzw. des parallelen Einlagerungs- und Baubetriebs untertag bei einem Kombilager (Nutzungsphase 4 nach Fig. 2-9). Für die Einlagerung der radioaktiven Abfälle in der Nutzungsphase 4 und 5 wird die Untertaganlage auch lüftungstechnisch in einen Überwachungsbereich (kontrollierter Bereich) mit Einlagerungsbetrieb und einen konventionellen Bereich mit Baubetrieb aufgeteilt. Die Frischluft wird in der Phase der Einlagerung der Abfälle

⁶ Die Anforderungen an die Dichtigkeitsklasse richtet sich nach SIA 197, Ziffer 8.6.2.3: Alle Untertagbauwerke ausser Elektrozentrale: Dichtigkeitsklasse 2, Elektrozentralen: Dichtigkeitsklasse 1

durch den Lüftungsschacht angesaugt und ab dessen Schachtfuss in den Überwachungsbereich (orange Farbe in Fig. 4-2) und den konventionellen Bereich (grüne Farbe in Fig. 4-2) über den Lüftungstunnel und dessen Anbindungen (Querverbindungen) an den Betriebs- und Bautunnel geführt. Die Abluft aus diesen zwei Bereichen wird getrennt über den Zugangsschacht (Abluft aus dem Überwachungsbereich) und über den Betriebsschacht (Abluft aus dem konventionellen Bereich) abgesaugt und über die Anlagen an der Oberfläche ausgestossen.

Während den Nutzungsphasen 1 bis 3 ohne Einlagerungsbetrieb erfolgt die Frischluftzufuhr über den Betriebsschacht, damit sich das Personal während der Schachtfahrten im Frischluftstrom befindet. Ab der Nutzungsphase 4 (siehe obigen Abschnitt) wird die Abluft aus dem Baubereich (Bau HAA-Lagerteil) über den Betriebsschacht abgeführt. Hierfür verfügt der Betriebsschacht über ein separates Abluftabteil, über das die Abluft aus dem Baubereich im Schacht getrennt vom Fahrraum für Personen abgeführt werden kann.

Die erforderlichen Lüftungsanlagen (Ventilatoren) befinden sich an der Oberfläche auf dem OFA- und dem NZA-BL-Areal.

Während der Vortriebe wird die Abluft im Nahbereich der Ortsbrust aktiv abgezogen (Spirallutte) und über einen Entstauber geführt, um die Staubbelastung der danach im freien Querschnitt strömenden Abluft zu verringern.

Aufgrund der hohen Ursprungstemperatur im Gebirge mit bis zu 48°C, ist in Arbeits- und Aufenthaltsbereichen des Personals oder in Bereichen mit temperaturempfindlichen Installationen eine aktive Kühlung erforderlich. Dies ist im Wesentlichen durch Vorkühlung der Zuluft bzw. untertägige Kühlung der Luft mittels Monoblöcken mit einer untertägigen Kühlwasserspeisung vorgesehen.

Die Normalprofile der Stollen, Tunnel, Kavernen und Schächte der Lagerprojekte sind für die in diesen Abschnitten zu tätigenen Bau- und Einlagerungsarbeiten so gewählt, dass die Unterbringung der für die Lüftung und Kühlung erforderlichen Installationen (wie Ventilatoren und Lutten für die Luftverteilung auf Lagerebene, Kühlaggregate etc.) in den entsprechenden Normalprofilen ausreichend Platz finden. Dies betrifft insbesondere die Bauphase, wenn Stollen und Kavernen ausgebrochen werden. Um entsprechend Ventilatoren, Monoblöcke und Kühlanlagen unterbringen zu können, finden sich auch im Betriebstunnel jeweils vor den Querverbindungen zum Lüftungstunnel entsprechende Aufweitungen. Dies ermöglicht das parallele Auffahren des Betriebs- und Lüftungstunnels in der Phase Bau SMA- und HAA-Lagerteil.

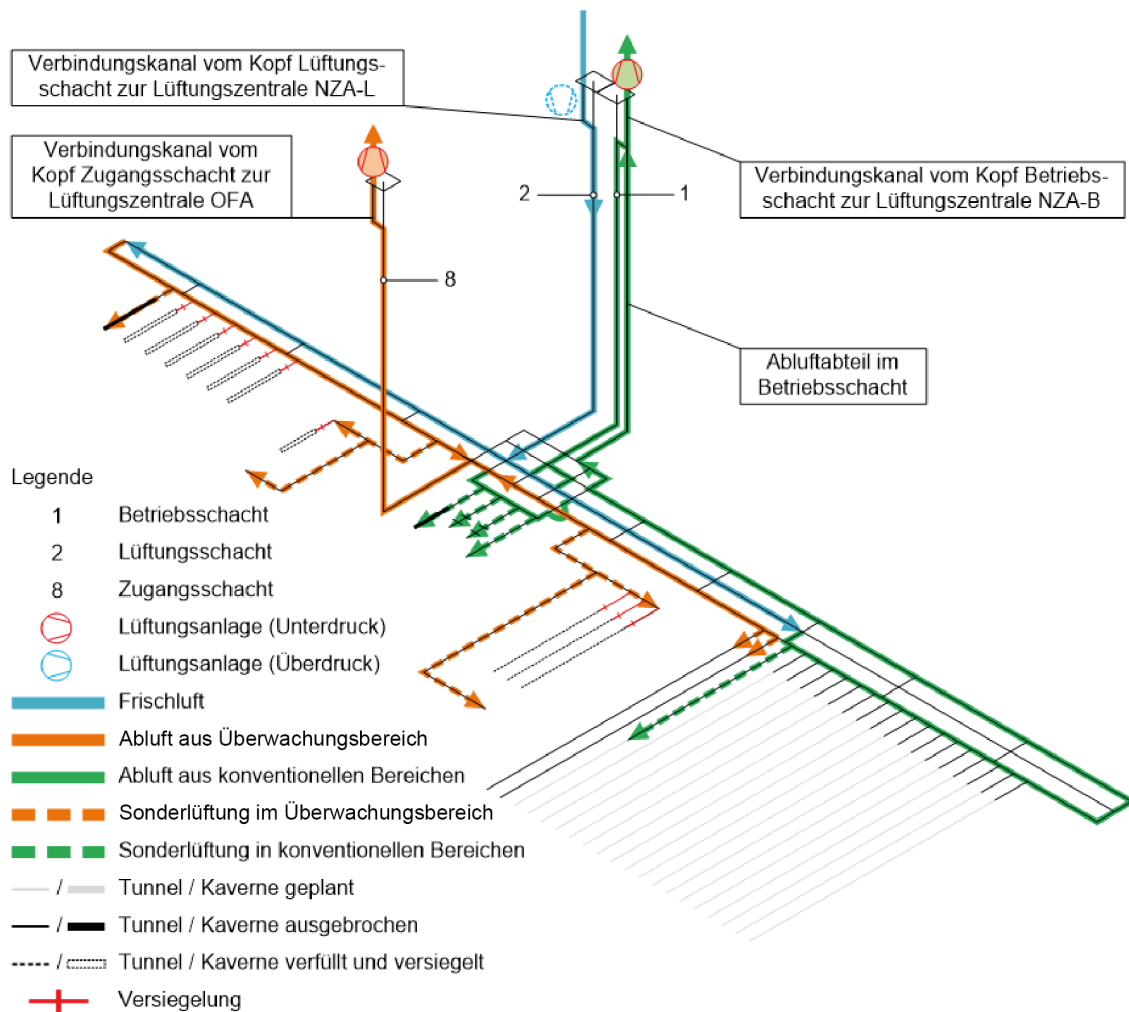


Fig. 4-2: Lüftungskonzept in der Nutzungsphase 5

Phase Einlagerungsbetrieb HAA mit parallelem Einlagerungsbetrieb (im SMA- und HAA-Lagerteil) und gleichzeitigem Bau von HAA-Lagerstollen im HAA-Lagerteil (Grafik aus NAB 22-31(Nagra 2022c)).

Wie in Fig. 4-2 gezeigt, zirkuliert die Frischluft bzw. die Abluft grundsätzlich im freien Schacht- bzw. Tunnelquerschnitt (Wetterströme dargestellt als ausgezogene Linien). Nur gefangene Vortriebe / Kavernen / Arbeitsstellen werden gezielt mittels Sonderlüftung versorgt (gestrichelte Linien). Das bedeutet, Frischluft wird für eine Sonderbelüftung über Ventilatoren und ein Lutten-system aus dem jeweiligen Lüftungstunnel angesogen und über die Lutte zu der Arbeitsstelle geblasen, ab welcher sie dann im freien Tunnelquerschnitt wieder über den Betriebstunnel oder den Bautunnel zur jeweiligen Lüftungsanlage auf der OFA oder NZA-BL strömt. In Phasen mit staubproduzierenden Bautätigkeiten wird die Abluft vorgängig gezielt über einen Entstauber geführt, bevor sie im freien Querschnitt zur Lüftungsanlage auf der NBZA-BL strömt.

4.4 Flucht- und Rettungskonzept

Das Flucht- und Rettungskonzept nach Nagra (2023e) verfolgt das Ziel der Aufrechterhaltung der Personensicherheit sowie die Sicherstellung der Flucht, Rettung und Evakuierung im Ereignisfall (Selbst- und Fremdreitung). Dies betrifft alle Phasen und die dazu gehörenden Betriebszustände.

Das Flucht- und Rettungskonzept hat somit folgende Funktionen:

- Bereitstellung von ausreichenden und sicheren Lichträumen und Fluchtwegen zur Selbst- und Fremdreitung
- Bereitstellung von sicheren Bereichen für die Selbst- und Fremdreitung
- Zuverlässige Alarmierung und Kommunikation im Ereignisfall
- Bereitstellung der Zugänglichkeit für Intervention im Ereignisfall

Aus den zu erfüllenden Funktionen lassen sich für die Lagerkonfiguration und die Normalprofile auf Konzeptebene folgende Anforderungen ableiten, welche mit der Lagerkonfiguration umgesetzt werden:

- Spätestens ab Nutzungsphase 2 (Weiterführung EEU) müssen mindestens zwei Zugangsbauwerke mit Tagesöffnung (inkl. Ver- und Entsorgung) betriebsbereit sein. Ausnahmen während des Baus und des Verschlusses des gTL sowie bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sind unter entsprechendem Sicherheitsdispositiv möglich.
- Alle Fluchtwege in den Untertaganlagen sollen in ihrer Länge zu einem sicheren Bereich begrenzt sein (d.h. ausserhalb des Gefahrenbereichs und in einem mit Frischluft versorgten Tunnel / Bereich) und permanent über das geforderte Lichtraumprofil (LRP) verfügen.
- Querverbindungen bei den Zugängen zu den Hauptlagern HAA und SMA (Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel) sollen, abhängig von der Personennutzung und der vorhandenen Gefahrenpotenziale sowie der Lüftungssituation, einen Abstand von maximal 500 m aufweisen.

Die daraus resultierenden Anforderungen mit Relevanz auf die Lagerkonfiguration und Normalprofile respektive deren Lichtraumprofile sind im Wesentlichen die folgenden Elemente, welche in die Projekte einfließen:

- Durchgehender Fluchtweg in Bauphasen mit einem Lichtraum von $B = 0.7$ m, $H = 2.0$ m (Ausnahme: HAA-Lagerstollen)
- Rettungsraum im zentralen Bereich mit Anbindung an Frischluft
- Lüftungstunnel SMA und HAA dienen als Fluchtweg; nach dessen Fertigstellung als sicherer Bereich (unter Überdruck mit Frischluft und ohne Maschinen / Geräte und brennbare Materialien)
- Lüftungstechnisch getrennte Querverbindungen aus dem Betriebstunnel zum Lüftungstunnel, maximal alle 500 m
- JO HAA-Einzellager: Zugangstunnel mit Trennwand und Fluchttüren in Trennwand, mindestens alle 300 m
- Einsatz von Rettungscontainern, welche vortriebsbegleitend mit den Vortriebsinstallationen mitgezogen werden können, sofern freie Fluchtwege in dieser Phase nicht vorhanden sind.

4.5 Brandschutzkonzept

Der Brand- und Explosionsschutz ist so zu planen und auszuführen, dass eine gestaffelte Schutzwirkung gewährleistet wird. Somit wird eine gute Voraussetzung geschaffen, dass betriebliche und organisatorische Massnahmen greifen:

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

In Anlehnung an das Lüftungs- und Kühlungskonzept (vgl. Nagra 2022c) muss das Layout des Tiefenlagers eine konstante Strömungsrichtung der Zu- und Abluft und den Betrieb von rauchfreien Fluchtwegen ermöglichen. Dabei sollen ausgewiesene Bauwerke der Untertaganlagen durch betriebliche Massnahmen, wie etwa durch das Hochfahren von Ventilatorenleistungen, gegenüber einem Brandherd in einen aktiven Überdruck versetzt werden können, was mit den vorliegenden Layouts sichergestellt wird.

4.6 Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept

Für Angaben zum Arbeitssicherheit- und Gesundheitsschutzkonzept wird für alle Nutzungsphasen auf die Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) verwiesen.

4.7 Unterhalts- und Instandhaltungskonzept

Instandsetzungen ganzer Bauwerke (Tunnelabschnitte) oder Bauteile (z.B. Innenschale) des Rohbaus der Untertaganlagen sollen während der geforderten Nutzungsdauer der Bauwerke vermieden werden. Bauwerke mit langer Offenhaltezeit werden deshalb so auf ihre geplante Nutzungsdauer ausgelegt, dass entweder keine oder nur Instandhaltungsarbeiten in längeren und planbaren Zeitabschnitten anstehen.

Bis zur Verfüllung des jeweiligen Bauwerks wird ein baulicher und betrieblicher Unterhalt gemäss einem Überwachungs- und Unterhaltsplan vorausgesetzt.

4.8 Bauleistungskonzept

Das Bauleistungskonzept bestimmt massgeblich die erzielbaren Vortriebs- und Ausbauleistungen, und somit nicht zuletzt auch die Einhaltung der Bau- und angestrebten Inbetriebnahmezeiten nach Fig. 2-5. Die Bauleistung darf zu keinem Zeitpunkt vortriebsbestimmend, d.h. vortriebsbehindernd, wirken und ist dementsprechend auszulegen. Die Bautätigkeiten auf Lagerebene werden ausschliesslich über den Betriebsschacht abgewickelt. Nachfolgend sind die Grundsätze der Bauleistung aufgeführt:

- Die Betonproduktion erfolgt vor Ort (OFI) auf einem Installationsplatz angrenzend zur NZA mit der Option, dass diese auch untertag erfolgen kann. Dazu findet sich im zentralen Bereich ein optional ausgeschiedener Bereich, in dem bei Bedarf eine Betonanlage betrieben werden und diese in ein Baustellenregime im Einbahnverkehr integriert werden kann.
- Der Transport von Beton, Betonfertigteilen, weiterer Baumaterialien und Baugeräten inkl. der Tunnelbohrmaschinen erfolgt über eine im Betriebsschacht installierte Schwerlastförderanlage, in die beladene Pneufahrzeuge am Schachtkopf bzw. Schachtfuss auf einen Förderkorb hineinfahren bzw. herausfahren können. In der Umschlagkaverne am Fuss des

Betriebsschachts findet der Empfang von Fahrzeugen von bzw. die Abfertigung zur Schachtförderanlage sowie der Materialumschlag statt.

- Die Installation einer weiteren Schachtförderanlage im Betriebsschacht mit einem Gefäss (Materialkübel, nachfolgend Skip genannt) zur Gewährleistung des Transports von Ausbruchmaterial im Schacht, getrennt von den anderen Materialströmen in diesem Schacht. Im Nahbereich des Schachtfusses befinden sich die für die Beladung des Skips erforderlichen Zwischenlagerflächen für das Ausbruchmaterial und eine Wendenische für den Pneulader zur Beschickung des Skips mit diesem Ausbruchmaterial.
- Die Installation einer fix installierten Personenförderanlage im Betriebsschacht für die untertag im Einsatz stehende Belegschaft, sodass parallel zum Baubetrieb auch reine Personenfahrten im Schacht möglich sind.
- Auslegung der Tunnel / Stollen und des Layouts des gTL im zentralen Bereich so,
 - dass Pneufahrzeuge für den Transport von Beton und Ausbruchmaterial möglichst kreuzungsfrei im Einbahnverkehr ab dem Schachtfuss zu den Verbrauchern und zurück zum Schachtfuss fahren können bzw. parallel dazu der Schutterumschlag in den Skip durchgeführt werden kann.
 - dass eine für den Bau und Betrieb strikte Trennung des nuklearen Überwachungsbereichs vom Vortriebsbereich (konventioneller Bereich, vgl. hierzu Fig. 4-2) gewährleistet werden kann.
- Auslegung aller bauleistungslogischen Einrichtungen auf mindestens zwei laufende Vortriebe bzw. Betonierstellen inkl. Abdeckung des jeweiligen Spitzenbedarfs an Zufuhr von Baumaterialien bzw. Abfuhr von Ausbruchmaterial.

In den Nutzungsphasen 4 und 5, in denen parallel der Einlagerungsbetrieb und der Bau von Tunneln und Lagerstollen getätigt wird, berücksichtigen die Bauleistungslogik und die dafür vorgehaltenen Verkehrswege eine strikte Trennung der Baubetriebs- von Einlagerungsbetriebsaktivitäten. Damit stehen ab der Nutzungsphase 4 die Betriebs- und Lüftungstunnels SMA und ab der Nutzungsphase 5 beide Betriebs- und Lüftungstunnels für die Abwicklung von Bauleistungsaktivitäten nicht zur Verfügung.

Daraus ergeben sich am Beispiel eines Kombilagers folgende Anforderungen an die Bauleistungslogik:

- Der Betriebsschacht steht für die Ver- und Entsorgung der Vortriebe sowie für die Lüftung der Bereiche mit Bauaktivitäten (Baulüftung) zur Verfügung; Frischluft in den Nutzungsphasen 1 bis 3, Abluft, teilweise separat abgetrennt, in den Nutzungsphasen 4 und 5.
- Der Lüftungsschacht steht für den Transport von grossen Baugeräten (einzelne Sondertransporte) und für die Baulüftung (Abluft in den Nutzungsphasen 1 bis 3, Frischluftzufuhr ab der Nutzungsphase 4) zur Verfügung.
- Der Zugangsschacht steht lediglich für die Ver- und Entsorgung der Betriebseinlagerung sowie für die Abluftführung aus dem Überwachungsbereich ab der Nutzungsphase 4 bis zum Verschluss des Zugangs zur Verfügung. Für die Vortriebsarbeiten auf Lagerebene wird der Zugangsschacht zu keinem Zeitpunkt verwendet.
- Die Förderkapazität des Skips für Ausbruchmaterial muss auf Spitzenwerte von mindestens zwei parallelen Vortrieben ausgelegt werden. Ebenso sind der Platzbedarf für den Materialumschlag beim Schachtfuss vom Dumper auf den Skip sowie beim Schachtkopf vom Skip auf ein Förderband entsprechend auszulegen, um die Spitzenwerte aus zwei Vortrieben abdecken zu können.

- Die Versorgung mit Beton über die Schachtförderanlage, mit der dafür erforderlichen Anzahl von Seilfahrten des Schwerlastförderkorbs, muss für Spitzenwerte des Spritzbetonbedarfs während des Vortriebs oder für den Ortbetonbedarf während des Einbaus der Ortbetoninnenschale sichergestellt werden.
- Für die Andienung der TBM-Vortriebe mit Tübbingem beim Bau der HAA-Lagerstollen ist vorgesehen, dass diese direkt via Pneufahrzeuge über den Betriebsschacht bis und mit Einbaustelle angeliefert werden. Die einzelnen Fahrzeuge werden nach deren Transport über den Betriebsschacht jeweils zu einem Förderzug zusammengeschlossen und fahren dann als solcher bis in den Umladebereich vor dem HAA-Lagerstollen. Dort werden die Tübbinge für den Transport auf ein Förderfahrzeug umgeschlagen, welches diese bis zu deren Einbauort bzw. unter den Nachläufer der TBM transportiert.
- Die Schutterung des Ausbruchmaterials in der Phase Bau Lager SMA und Bau Lager HAA erfolgt primär mit Radladern und anschliessendem Transport mit Pneufahrzeugen zur Übergabestelle auf den Skip im zentralen Bereich. Eine Ausnahme stellt die Schutterung aus dem TBM-Vortrieb für den Bau der Pilotlager- und HAA-Lagerstollen dar. Hier ist vorgesehen, dass das Ausbruchmaterial direkt im Nachläufer der TBM auf Transportbehälter umgeschlagen wird. Diese Transportbehälter werden anschliessend im Umladebereich vor dem Lagerstollen auf Pneufahrzeuge umgeladen und dann direkt zur Umschlagstelle bei der Schachtförderanlage transportiert, wo das Ausbruchmaterial dem Skip zugeführt wird. In der Einlagerungsphase HAA werden die beladenen Pneufahrzeuge direkt über den Betriebsschacht nach übertag befördert. Der Skip wird in dieser Phase nicht mehr benötigt.
- Am Schachtfuss, wie auch untergeordnet am Schachtkopf, bedingt die Leistung der Förderkorbfahrten die erforderliche Grösse der Kreuzungsstelle unmittelbar vor der Schachtförderanlage. Der vorgesehene freie Manövrierebereich muss eine ausreichende Länge aufweisen, so dass ein aus der Schachtförderanlage ausfahrendes Fahrzeug die wartenden Fahrzeuge am Schachtfuss kreuzen kann.
- Auf Lagerebene basiert die Ver- und Entsorgung der einzelnen Baustellen weitgehend auf einem Einbahnverkehr der dafür zum Einsatz kommenden Pneufahrzeuge, wozu auch die Querverbindungen und die Endkurve im jeweiligen Modul E und D (Zugänge zum SMA-resp. HAA-Hauptlager) Verwendung finden, um Kreuzungsstellen weitgehend zu vermeiden.

Zugangstunnel JO

Die Baulegistik für das HAA-Einzellager am Standort JO deckt dieselben Bedürfnisse ab mit dem Unterschied, dass sämtliche Material- und Personentransporte über den (Betriebs-)Zugangstunnel JO abgewickelt werden, über den alle Bauwerke auf Lagerebene erstellt werden. Dazu wird in diesem Tunnel bereits in der Phase Bau EUU ab der Tunnelverzweigung bis in den zentralen Bereich eine Trennwand zur Errichtung eines Betriebs- und Zugangsabteils eingebaut. Durch diese zwei Fahrräume können Materialtransporte auch im Einbahnverkehr bis zum Ende der Phase Bau Lager HAA abgewickelt werden. Über ein im Betriebsabteil des Tunnels aufgehängtes Förderband kann das Ausbruchmaterial aus dem Bau des HAA-Lagerteils zudem unabhängig vom Fahrverkehr im Tunnel gefördert werden, analog zu einem Skipbetrieb in einem Betriebsschacht.

Bei einem SMA-Einzellager werden Bau- und Betriebsaktivitäten nicht parallel, sondern seriell ausgeführt (Ausnahme: EUU-Betrieb). Auf eine Trennwand im (Betriebs-)Zugangstunnel JO kann daher bei einem SMA-Einzellager verzichtet werden.

5 Normalprofile, Vortriebs- und Sicherungskonzepte

Die Querschnittsgrössen der Normalprofile (NP) decken sowohl die in der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e) definierten erforderlichen Lichtraumprofile für den Betrieb des gTL wie auch die in der Planung für den Bau ermittelten Lichtraumprofile ab. Die Grösse der Normalprofile ermöglicht die Platzierung der Ver- und Entsorgungseinrichtungen für die Bau- und Betriebsaktivitäten sowie die Unterbringung der für die Lüftung erforderlichen Installationen. Weiter wird mit den Lichtraumprofilen sichergestellt, dass mobile Betriebsmittel – wie Fahrzeuge oder Schachtaufzüge – in den Schächten und Bauwerken auf Lagerebene eingebaut und betrieben werden bzw. fahren können.

Für den Standortvergleich wird davon ausgegangen, dass die sich aus all diesen Anforderungen ergebenden Normalprofile für die spätere Verfüllung und den Verschluss des Lagers in den späteren Verschlussphasen ausreichend gross sind. Diese Annahme basiert auf dem Umstand, dass die entsprechenden Arbeiten immer mit weniger Energieaufwand (für Bewetterung / Kühlung) und vor allem mit kleineren / geringeren Massenbewegungen als in den vorangehenden Ausbruchphasen erfolgen werden.

Die Normalprofile inkl. der erforderlichen Lichtraumprofile der in diesem Kapitel beschriebenen Bauteile / Bauwerke werden in der Planmappe (Beilage 1) vollständig dargestellt. Im vorliegenden Bericht werden repräsentative Normalprofile gezeigt.

5.1 Schächte (alle Regionen)

5.1.1 Normalprofile

Die Normalprofile der Zugangs-, Betriebs- und Lüftungsschächte werden unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Aspekte (vgl. Kap. 3) in unterschiedliche Bereiche unterteilt:

- Lockergesteinsbereich (je nach Schacht, NP S10, S40 oder S70)
- Felsbereich oberhalb Opalinuston (OPA), HB1 bis und mit HB4 bzw. HB4* (je nach Schacht, NP S20, S50 oder S80)
- Felsbereich OPA, HB5 (je nach Schacht, NP S30, S60 oder S90)

Basierend auf dem Abdichtungskonzept (Kap 4.2) besteht die Abdichtung aller Schächte ab der Oberfläche bis Einbindung in den Opalinuston aus einem verschweissten Stahlblechmantel, der die Funktion der druckwasserhaltenden Abdichtung übernimmt. Der Bergwasserdruck wird durch eine innenliegende Ortbetonschale entsprechender Dicke aufgenommen. Die druckwasserhaltende Abdichtung wird über das Rahmengestein hinaus bis in den dichten Opalinuston ausgeführt und in diesem wasserdicht eingebunden. Um eine hydraulische Verbindung entlang der Schächte während des Betriebs zu verhindern, werden sog. Chemical Seal Rings (CSR; siehe z.B. Eyer mann et al. 1995) an den erforderlichen Stellen zwischen Abdichtung und Gebirge eingebaut. Der CSR bildet ein konstruktives Dichtelement, welches eine Volumenvergrösserung bei Kontakt mit Wasser und eine ausreichende Haftung zwischen Gebirge und Abdichtung aufweisen muss. Mit einer auf den Chemismus des Wassers abgestimmten Rezeptur des Dichtelements wird die Langzeitstabilität gewährleistet.

Der Schachtabschnitt der Schächte im dichten Opalinuston wird ohne Abdichtung drainiert ausgeführt. Somit entfällt das in den Fig. 5-1 bis Fig. 5-3 dargestellte Abdichtungselement sowie dessen Hinterfüllung im jeweiligen Schacht im Opalinuston.

Die Bemessung der Innenschale auf Wasserdruck erfolgt dabei in den Abschnitten mit anstehendem Wasserdruck mit der Kesselformel. Zur Berücksichtigung des Gebirgsdrucks wurde die Innenschalenstärke der Schächte im HB4 und HB4* vereinfacht um 20 % erhöht. Die Stärke der Innenschalen nimmt in Stufen mit der Tiefe zu. Für die Schachtbauwerke des Kombilagers NL ergeben sich beispielhaft folgende tiefenabhängigen Stärken:

- Zugangsschacht (Innendurchmesser 8.5 m)⁷: 0.30 bis 2.30 m (NP: S20)
- Betriebsschacht (Innendurchmesser 9.5 m)⁸: 0.30 bis 2.70 m (NP: S80)
- Lüftungsschacht (Innendurchmesser 6.0 m)⁹: 0.30 bis 1.70 m (NP: S50)

Die vollständigen Angaben für alle Standorte sind in der Planmappe (Beilage 1) zu finden.

Zur Vermeidung eines Eintrags von Wasser aus den den Opalinuston und die Rahmengesteine überlagernden Gesteinsformationen in das dichte Rahmengestein und den OPA werden an entsprechenden Lokationen nachinjizierbare Schachtringe und Chemical Seal Rings ausgestaltet (vgl. Fig. 5-6), deren Umläufigkeit für Wasser durch Injektionen und quellfähiges Material verhindert wird. Damit wird sichergestellt, dass kein Wasser aus dem HB3 ins Rahmengestein, bzw. beim Vorhandensein von einzelnen kleinen Wasserzutritten aus dem Rahmengestein (HB4), bis in den OPA (HB5) vordringen kann.

Zugangsschacht

Der Zugangsschacht (ZS) beinhaltet als massgebende Installation die Schachtförderanlage und eine zweite Fahranlage für reine Personentransporte. Die Grösse des Normalprofils des Zugangsschachts ist primär auf den Platzbedarf der darin unterzubringenden zwei Fahranlagen ausgerichtet und erlaubt im freien Querschnitt die Abluftführung aus dem Überwachungsbereich der Anlage zur OFA. Der Transport der pneubetriebenen Fahrzeuge, auf welchen die HAA und SMA sowie Verfüllmaterial transportiert werden, erfolgt im Schwerlastkorb der Schachtförderanlage.

Das Normalprofil S20 (Fig. 5-1) wird im Felsbereich oberhalb des Opalinustons eingesetzt und illustriert die oben genannten Lichtraumprofile und Platzverhältnisse. Für mehr Details vgl. Planmappe (Beilage 1), Plan A4-1.13, auf dem sich auch die Profile für den Lockergesteinsbereich (NP S10) sowie für den Homogenbereich HB5 (NP S30), welcher nicht mehr mit einem Stahlblech abgedichtet wird, finden.

Ab der Oberfläche bis und mit Homogenbereich HB4 kommt für die Hinterfüllung der Stahlbleche selbstverdichtender Beton (eng. SCC) zur Anwendung.

⁷ Siehe Planmappe (Beilage 1), Plan A4-1.13 und A1-1.2

⁸ Siehe Planmappe (Beilage 1), Plan A4-1.11 und A1-1.2

⁹ Siehe Planmappe (Beilage 1), Plan A4-1.14 und A1-1.2

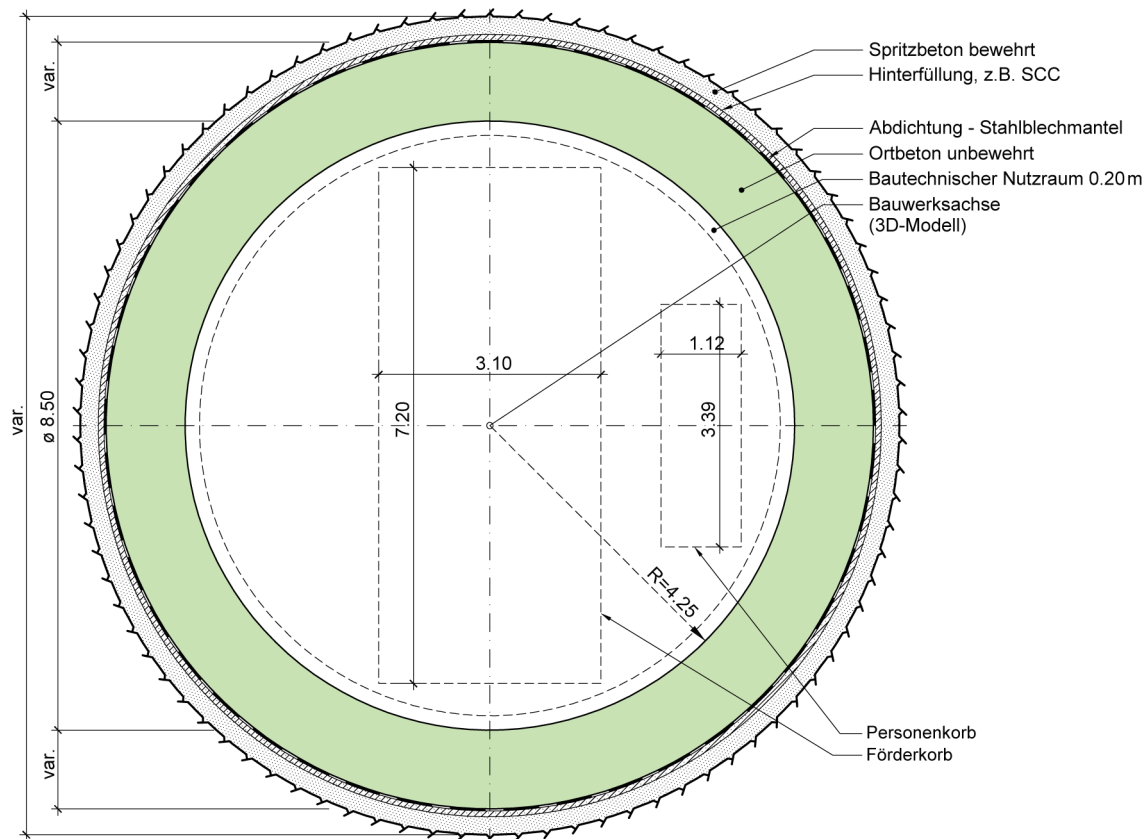
S20-BET-LRP1A

Fig. 5-1: Normalprofil Zugangsschacht S20
(HB1 bis/mit HB4, nicht massstäblich)¹⁰

Betriebsschacht

Der Betriebsschacht (BS) beinhaltet eine Schachtförderanlage für den Tunnel- und Kavernenbau sowie für den Betrieb und Unterhalt des konventionellen Teils auf Lagerebene, eine Fahranlage für Personentransporte und eine Schachtförderanlage mit Skip für den kontinuierlichen Abtransport von Ausbruchmaterial während der Bauphasen. Zusätzlich verfügt der Betriebsschacht über einen separaten Abluftkanal, über den die Abluft aus dem Baubereich, und im Ereignisfall auch Rauch, unabhängig von der Luftführung im Fahrraum, zur Oberfläche abgeführt werden kann (Nagra 2022c). Die Grösse des Schachts ist auf den Platzbedarf der darin unterzubringenden Lichtraumprofile der Fahranlagen, der Materialförderung mit Skip und der Grösse des Abluftabteils ausgerichtet.

Das Normalprofil S80 (Fig. 5-2) wird im Felsbereich oberhalb des Opalinustons eingesetzt und illustriert die oben genannten Lichtraumprofile und Platzverhältnisse im Betriebsschacht (vgl. Planmappe, Plan A4-1.11, auf dem sich auch das Profil für den Lockergesteinsbereich und den Homogenbereich HB5 findet).

¹⁰ Die Bezeichnung der Normalprofile (in diesem Fall S20-BET-LRP1A) setzt sich zusammen aus der Bezeichnung des Profils ohne Lichtraumprofil (hier S20), der dargestellten Nutzung (hier BET für Betrieb), VOR für Vortriebsphase, BAU für Bauphase und BET für Betrieb sowie der Bezeichnung des Lichtraumprofils (hier LRP1A), wobei der Indizes A bzw. B für eine jeweils spiegelverkehrte Anordnung des Lichtraumprofils steht.

S80-BAU/BET-LRP1A

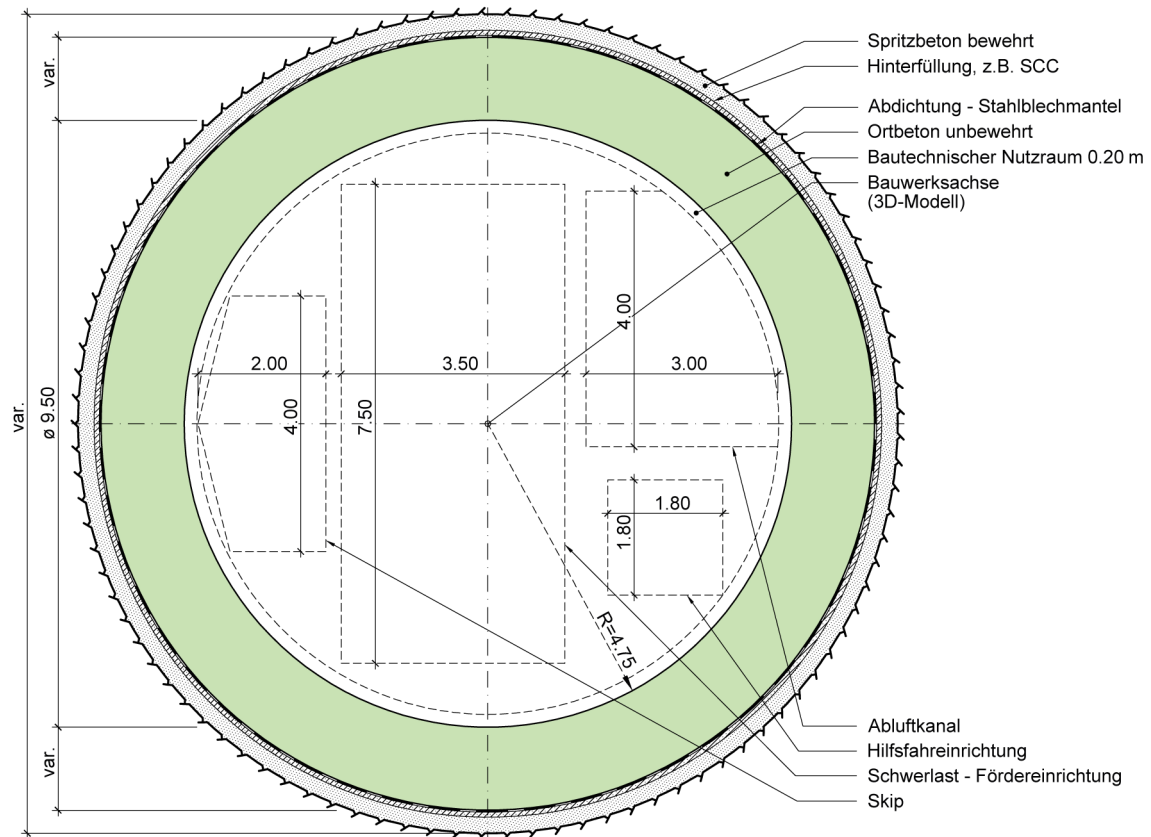


Fig. 5-2: Normalprofil Betriebsschacht S80
(HB1 bis/mit HB4, nicht massstäblich)

Lüftungsschacht

Der Lüftungsschacht (LS) bietet neben seiner Primärfunktion der Bewetterung des gTL (Zufuhr von Frischluft auf Lagerebene) zusätzlich Raum für die optionale Durchführung von Sondertransporten Bau. Die Grösse des NP ist auf die Durchleitung des Luftbedarfs in den massgebenden Bau- und Betriebsphasen des gTL ausgerichtet. Der Schacht bietet dabei aufgrund seines Normalprofils auch ausreichend Platz, um entsprechend dem Betriebskonzept eine mobile Hilfsfahranlage in Betrieb zu nehmen oder auch, um optional eine fest installierte Hilfsfahranlage für den reinen Personentransport im Frischluftzustrom zum Tiefenlager betreiben zu können. Dem Lüftungsschacht kann ab Beginn des Einlagerungsbetriebs immer die Funktion eines rauchfreien Zugangs zum Tiefenlager zugeschrieben werden, in dem Personen immer im Zuluftstrom (Frischluft) befördert werden können. In der Frühphase des gTL bis zum Einlagerungsbeginn wird der Lüftungsschacht zuerst als Abluftschacht verwendet (vgl. Nagra (2022c) für mehr Details).

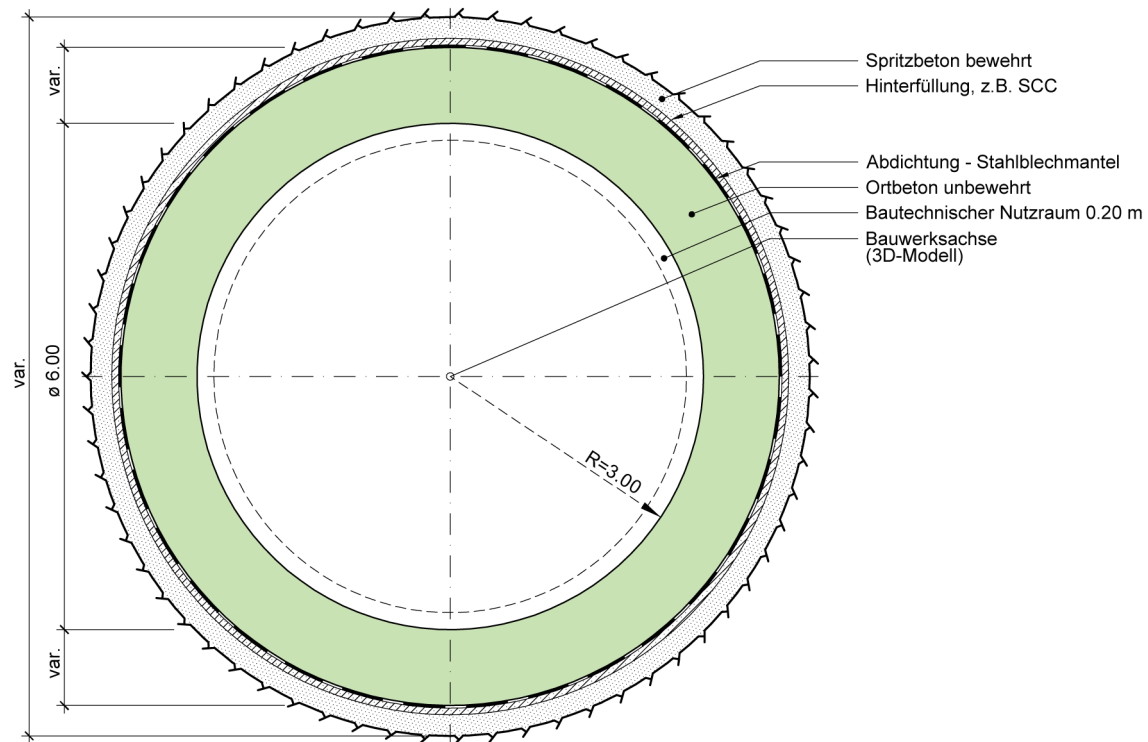
S50-BET-LRP1A

Fig. 5-3: Normalprofil Lüftungsschacht S50
(HB1 bis/mit HB4, nicht massstäblich)

Das Profil S50 (Fig. 5-3) wird im Felsbereich oberhalb des Opalinustons eingesetzt. Für eine massstäbliche Darstellung wird auf die Planmappe in Beilage 1, Plan A4-1.14, verwiesen, auf dem auch das Profil für den Lockergesteinsbereich (NP S40) und für den Homogenbereich HB5 (NP S60) dargestellt ist.

5.1.2 Vortriebsmethode

Die Schächte werden nach aktuellem Planungsstand konventionell abgeteuft. Das Lösen des Gebirges erfolgt dabei im Felsbereich mittels Sprengvortrieb (SPV) und im darüber liegenden Lockergestein mittels Bagger und Abbauhammer. Die Sicherungsmittel werden dem Vortrieb folgend ab einer Schachtbühne eingebaut.

5.1.3 Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen

Im oberflächennahen Lockergestein (Lockergesteinsbereich, sofern vorhanden) erfolgt das Abteufen der Schächte bei allen Lagerprojekten im Schutz einer überschnittenen Bohrpfehlwand (vgl. Planmappe, z.B. Plan A4-1.11 stellvertretend für alle Schächte).

Schachtbau in der Region NL und ZNO mit der Bauhilfsmassnahme Gefrierverfahren

Zur Vermeidung von unzulässigen Wasserzutritten in den Felsabschnitten des Malmkalks wird das Gefrierverfahren eingesetzt. Systembedingt wird mit dem Gefrierverfahren dabei das Gebirge ab der Oberfläche durch den Homogenbereich HB1 bis und mit HB3 gefroren (vgl. dazu auch Fig. 5-4, Fig. 5-5 und Fig. 5-6 für mehr Details).

Vor dem Gefrieren wird die Durchlässigkeit des Gebirges mittels Zementinjektionen ab der Oberfläche in den wasserführenden Formationen verringert. Mit dieser sogenannten Präzementation des Gebirges wird die Wirksamkeit des Gefrierverfahrens erhöht. In das präzementierte Gebirge werden anschliessend die Gefrierbohrungen bis in den wasserdichten Bereich des Rahmengesteins (HB4) abgeteuft und die Gefrierlanzen eingebaut (vgl. Fig. 5-4 und Fig. 5-5, jeweils linke Seite mit Sicherungstyp ST1).

Das Gefrierverfahren in Kombination mit Präzementation wurde bereits beim Bau von sehr tiefen Schächten von über 800 m Tiefe angewendet (vgl. z.B. Dorn & Kaledin 2013, van Heyden & Wegner 2015).

Die Qualität des Gefrierkörpers wird mit Temperaturmessungen im Gefrierkörper laufend geprüft. Der Gefrierkörper wird bis zur Fertigstellung der druckwasserhaltenden Innenschale (Stahlblechmantel) aufrechterhalten.

Für den weiteren Vortrieb in den dichten Rahmengesteinen (Homogenbereich HB4) wird das Gefrierverfahren gemäss Gefährdungsbildanalyse (vgl. Kap. 3.3) nicht mehr benötigt und daher ausser Betrieb genommen. Mögliche Wasserzutritte werden durch die Wasserhaltung (Bereitstellung von Pumpenkapazität) abgeführt. Sollten im Homogenbereich HB4 wider Erwarten dennoch einzelne lokale Wasserzutritte mit einer dem Vortrieb vorausgehenden Erkundung festgestellt werden, werden diese durch sporadische vorausgehende Injektionsschirme (System Cover-Drill ab der Vortriebs-Schachtsohle) so weit abgedichtet, dass der Schacht mit der installierten Wasserhaltung bis in den trockenen Opalinuston abgeteuft werden kann.

Dem Vortrieb vorausgehend wird mittels Erkundungsbohrungen laufend die Wirksamkeit des Gefrierkörpers bzw. des Injektionsschirms überprüft.

Fig. 5-4 und Fig. 5-5 zeigen links den typischen Gefrierkörper um einen Schacht (in den Homogenbereichen HB1 bis und mit HB3), bzw. rechts den Injektionsschirm (im Homogenbereich HB4), um nach Bedarf den Schacht gegen den Zufluss von Wasser abzudichten (für mehr Details vgl. Planmappe in der Beilage 1, Plan A4-2.5).

In den Homogenbereichen HB1 bis und mit HB3 besteht die Ausbruchsicherung aus Stahlfaserspritzbeton und einer kurzen Systemankerung. In den Homogenbereichen HB4 und HB5 wird eine nachgiebige Ausbruchsicherung mit Stahlbögen, Spritzbeton und einer Systemankerung eingesetzt (vgl. Planmappe in Beilage 1, Plan A4-2.6).

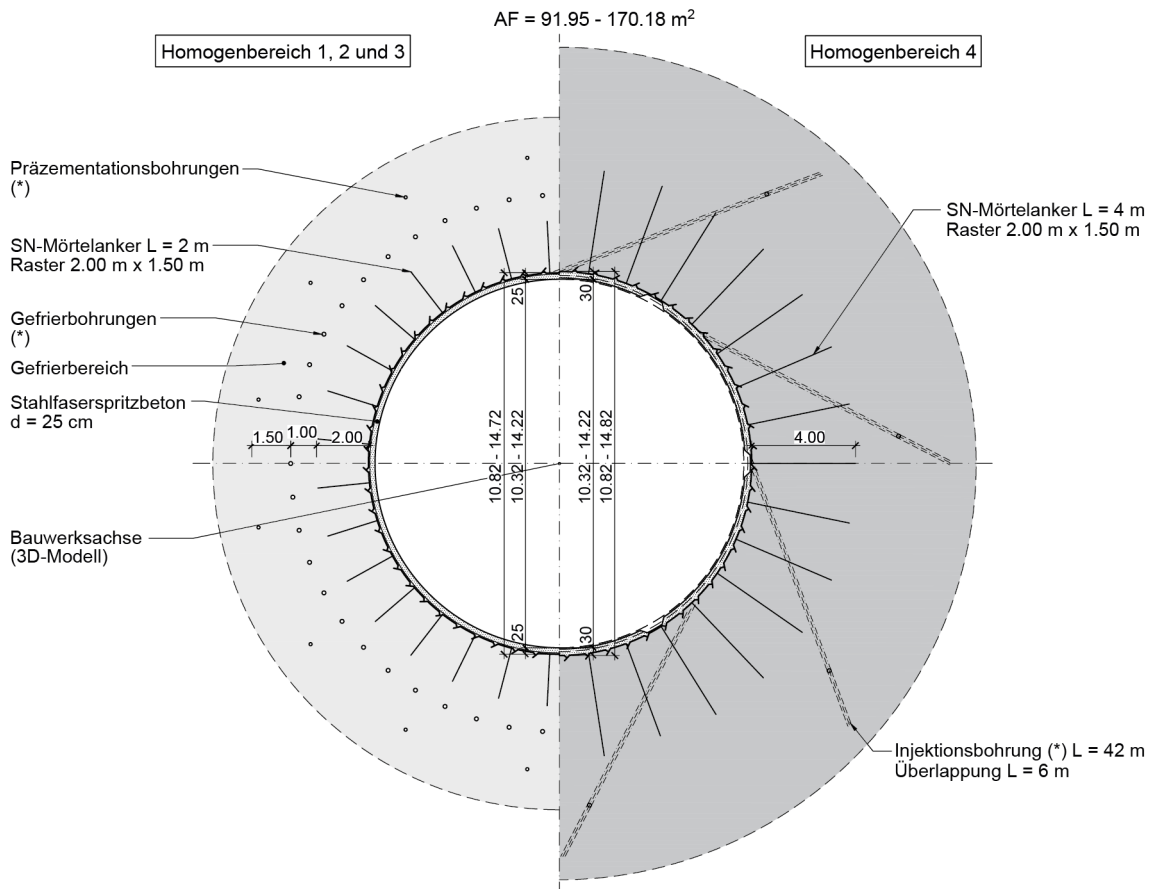


Fig. 5-4: Schachtquerschnitt mit Gefrierverfahren im HB1 bis und mit HB3 (links) und mit Cover-Drill im HB4 (rechts)

(Nicht massstäblich. Die Präzementations- und Gefrierbohrungen sowie auch der Injektionschirm (HB4) sind indikativ dargestellt.)

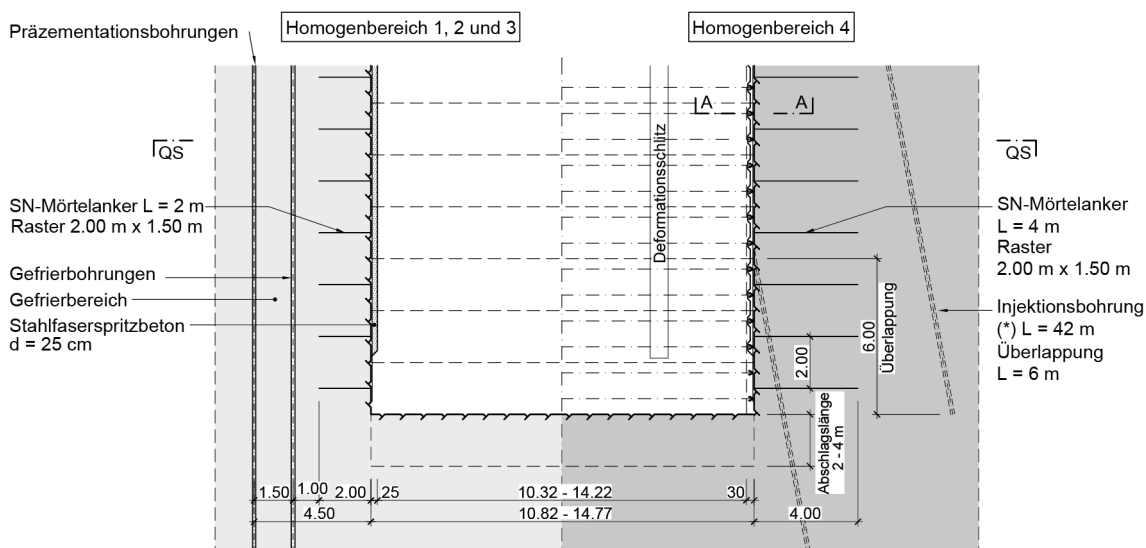


Fig. 5-5: Schachtlängsschnitt mit Gefrierverfahren im HB1 bis und mit HB3 (links) / mit Cover-Drill im HB4 (rechts)

(Nicht massstäblich. Die Präzementations- und Gefrierbohrungen sowie auch der Injektionsschirm (HB4) sind indikativ dargestellt.)

Schachtbau in der Region JO mit der Bauhilfsmassnahme Cover-Drill

Im Gegensatz zum Schachtbau in den Regionen NL und ZNO werden in JO nur geringe Wasserzutritte erwartet. Gemäss Gefährdungsbildanalyse (Kapitel 3.3) und Risikoanalyse (Kapitel 3.4) erfolgt die Durchörterung in JO ab der Oberfläche bis in den Opalinuston mit einer entsprechend ausgelegten Wasserhaltung und, bei Bedarf, mit lokalen Injektionsschirmen (Cover-Drill).

5.1.4 Bauablauf

Nachfolgend wird der Bauablauf der Schächte für die Standorte NL und ZNO sowie für den Standort JO erläutert. Auf eine Beschreibung des Bauablaufes zur Herstellung der überschnittenen Bohrfahlfwand im Lockergesteinsbereich der Schächte wird nicht näher eingegangen.

Schachtbauten in der Region NL und ZNO

Der Bauablauf für die Schachtbauwerke an den Standorten NL und ZNO ist in Fig. 5-6 schematisch dargestellt.

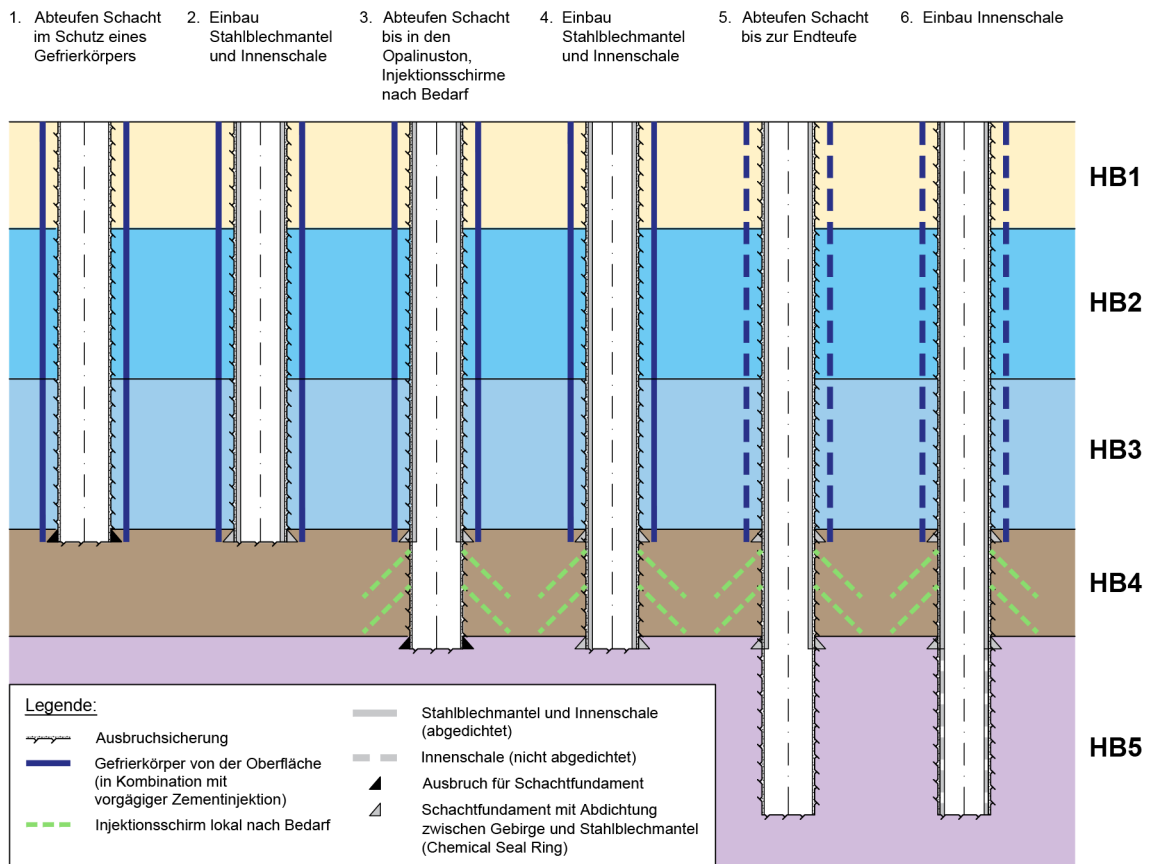


Fig. 5-6: Bauablauf der Schachtbauwerke NL und ZNO

Der Bauablauf erfolgt in folgenden Schritten:

1. Abteufen des Schachts im Schutz eines Gefrierkörpers bis in den Homogenbereich HB4 beinhaltet die folgenden Arbeiten:
 - Herstellung einer überschnittenen Bohrpfahlwand für den anschliessenden Schachtbau im oberflächennahen Bereich (Lockergesteinsabschnitt über der Molasse), vgl. dazu Planmappe in Beilage 1, exemplarische Plan A4-1.11, Normalprofil S70.
 - Erstellen von Bohrungen für Zementinjektionen von der Oberfläche bis in den Homogenbereich HB4 zur Präzementierung des Gebirges über alle Homogenbereiche hinweg als Gebirgsvergütung zum besseren Kälteeintrag in das Gebirge, vgl. dazu Planmappe in Beilage 1, exemplarische Plan A4-2.5.
 - Herstellung eines Gefrierkörpers von der Oberfläche bis in den Homogenbereich HB4 durch Einbau von Gefrierlanzen in bis in das Rahmengestein vorgetriebenen Bohrungen. Inbetriebnahme der für die Kälteerzeugung erforderlichen Anlagen zur Vereisung des Baugrunds, vgl. dazu Planmappe in Beilage 1, exemplarische Plan A4-2.5.
 - Schachtabteufung bis in den Homogenbereich HB4 im Schutz der überschnittenen Bohrpfahlwand im Lockergesteinsabschnitt und im Schutz des Gefrierkörpers, vgl. dazu Planmappe in Beilage 1, exemplarische Plan A4-2.5 für Homogenbereich HB1 bis HB3.

2. Einbau Stahlblechmantel und Innenschale für das Schachtfundament im HB4
 - Einbau eines sog. Chemical Seal Rings (CSR) im Auflagerbereich des ersten grossen Schachtfundaments, über welchen der Lastabtrag der Innenschale ins Gebirge erfolgt.
 - Einbau / Hochziehen eines verschweissten Stahlblechmantels in Etappen ab dem ersten Schachtfundament bis zur Oberfläche, jeweils gefolgt vom Betonieren bzw. Hochziehen der Innenschale mit einer Gleitschaltung.
3. Weiteres Abteufen des Schachtes bis in den Opalinuston (im Homogenbereich HB4)
 - Wiederaufnahme der Schachtabteufung im Sprengvortrieb mit nachgiebiger Felsicherung und weiterem Vortrieb bis in den Opalinuston (Homogenbereich HB5).
 - Allfällige kleinere lokale Wasserzutritte werden lokal gefasst und für die Dauer der Rohbauarbeiten abgeschlaucht.
 - Als Bauhilfsmassnahme ist der Einsatz des Cover-Drill-Verfahrens zur Vorabdichtung des Gebirges vorgesehen, welches, je nach Resultat der Vorauserkundung, im anstehenden Gebirge nach Bedarf für die Erstellung von Injektionsschirmen zur Anwendung kommen kann.
4. Einbau Stahlblechmantel und Innenschale ab zweitem Schachtfundament im HB5
 - Einbau eines zweiten Chemical Seal Rings (CSR) im Auflagerbereich des zweiten grossen Schachtfundaments im OPA, über welchen der Lastabtrag der Innenschale ins Gebirge erfolgt.
 - Einbau / Hochziehen eines verschweissten Stahlblechmantels und Durchführung allfälliger in der Bauphase noch erforderlichen Abschlauchungen mit Stahlrohrdurchführungen durch den Stahlblechmantel.
 - Betonieren der Innenschale auch wieder in Etappen, dem vorgängig montierten Stahlblechmantel folgend.
 - Verpressen bzw. Verschliessen allfälliger Abschlauchungen (inkl. Verschweissen der Stahlrohrdurchführungen durch den Blechmantel).
 - Spätestens jetzt erfolgt die Deaktivierung des Gefrierkörpers durch Ausserbetriebnahme der Gefrieranlage an der Oberfläche, wenn nicht schon früher erfolgt.
5. Weiteres Abteufen des komplett druckwasserhaltend abgedichteten Schachtes bis zur Endteufe im OPA
 - Abteufen Schacht im Sprengvortrieb mit nachgiebiger Ausbruchssicherung bis zur Endteufe.
6. Einbau Innenschale
 - Einbau Innenschale im Opalinuston.

Schachtbauten in der Region JO

Der Bauablauf für das Schachtbauwerk am Standort JO ist in Fig. 5-7 schematisch dargestellt.

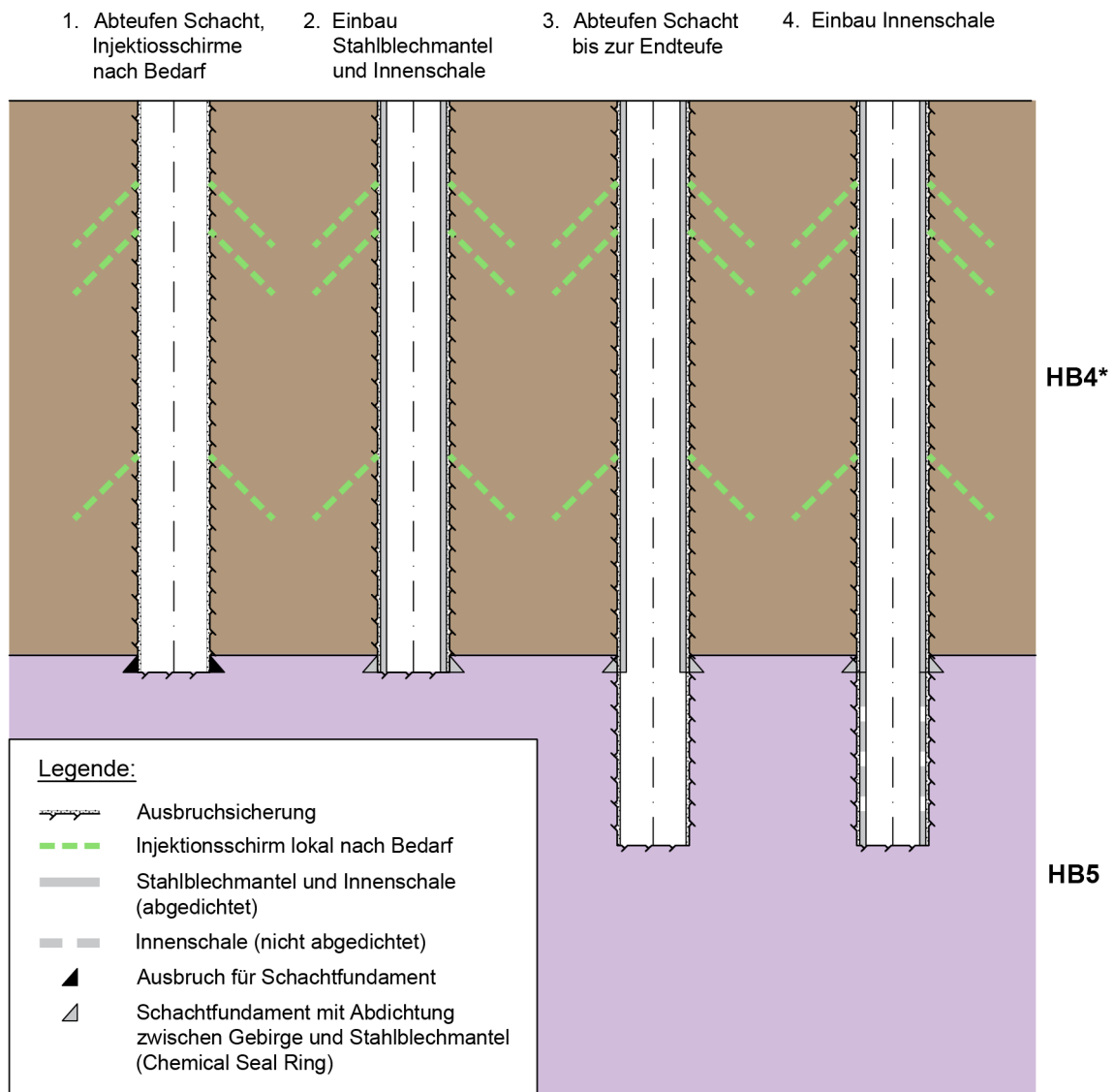


Fig. 5-7: Bauablauf des Schachtbauwerks JO

Darstellung zeigt illustrativ zwei Injektionsetappen, bzw. drei Injektionsschirme nach Bedarf.

Der Bauablauf erfolgt in folgenden Schritten:

1. Abteufen Schacht im Schutz von Injektionsschirmen (Cover-Drill-Verfahren) nach Bedarf bis in den Opalinuston im Homogenbereich HB5 beinhaltet folgende Arbeiten:
 - Herstellung einer überschnittenen Bohrfahlwand für den Schacht im Lockergestein, analog zum Schachtbau NL und ZNO.
 - Schachtabteufung bis in den OPA (Homogenbereich HB5) im Schutz der überschnittenen Bohrfahlwand und nach Bedarf im Schutz von Injektionsschirmen, erstellt im Cover-

Drill im Homogenbereich HB4*. Je nach Teufe und Vorauserkundung werden die Bohrungen für Injektionsarbeiten unter Zuhilfenahme von Preventer¹¹ ausgeführt.

- Allfällige Wasserzutritte werden dabei lokal gefasst und abgeschlaucht.
2. Einbau Stahlblechmantel und Innenschale
 - Einbau eines Chemical Seal Rings (CSR) im Auflagerbereich des grossen Schachtfundaments im OPA, über welchen der Lastabtrag der Innenschale ins Gebirge erfolgt.
 - Einbau / Hochziehen eines verschweissten Stahlblechmantels in Etappen ab dem Schachtfundament bis zur Oberfläche und Durchführung allfälliger in der Bauphase noch erforderlicher Abschlauungen mit Stahlrohrdurchführungen durch den Stahlblechmantel.
 - Betonieren der Innenschale, auch wieder in Etappen, dem vorgängig montierten Stahlblechmantel folgend.
 - Verpressen bzw. verschliessen allfälliger Abschlauungen (inkl. Verschweissen der Stahlrohrdurchführungen).
 3. Weiteres Abteufen des komplett druckwasserhaltend abgedichteten Schachts bis zur Endteufe im OPA
 - Abteufen Schacht mit nachgiebiger Felssicherung bis zur Endteufe
 4. Einbau Innenschale
 - Einbau Innenschale im Opalinuston

5.2 Zugangstunnel JO

Der (Betriebs-)Zugangstunnel ab der Tongrube liegt auf gesamter Länge im Opalinuston. Der Tunnel wird dabei mit einer Schild-TBM ab dem NZA-B Areal fallend in der Phase 1 - Bau EEU aufgefahren. Der Hohlraum wird mit Tübbingen gesichert und dem Vortrieb folgend über dem Werkleitungskanal (bzw. den Abluftkanälen) eine Fahrbahn eingebaut.

Der (Betriebs-)Zugangstunnel verzweigt sich in Vortriebsrichtung gesehen rund 700 m nach dem Portal auf der NZA-B in Richtung der Zwilag. Ein Stichtunnel mit der Funktion eines Zugangstunnels (vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A2-2.3, Tunnelabschnitt Nr. 8.1) verbindet ab dieser Abzweigung den (Betriebs-)Zugangstunnel mit dem Areal JO-3+. Dieser bergmännische Tunnelabschnitt wird erst für die Einlagerung der SMA oder der HAA erstellt und nach der Einlagerung zusammen mit dessen Verlängerung¹² zur Brücke bei der Zwilag zurückgebaut.

5.2.1 Normalprofile

Für das HAA-Einzellager erfolgt die räumliche Trennung für den späteren, gleichzeitig durchzuführenden Baubetrieb (Bauaktivitäten im Betriebsabteil zwischen NZA-B und ZB) und den Einlagerungsbetrieb (Einlagerungsverkehr über den Stichtunnel und das Zugangsabteil im JO-Profil) durch eine betonierte Trennwand im Tunnelprofil, welche im Verlauf der Bauphase Bau EEU eingebaut wird. Der Tunnel JO verfügt damit für die Phase des parallel stattfindenden Bau- und Einlagerungsbetriebs über zwei funktional getrennte Zugangs- und Betriebsabteile, welche unabhängig voneinander mit Fahrzeugen befahrbar sind. Der Bedarf an Ausweichnischen für das Kreuzen von Baufahrzeugen wird in einer späteren Planungsphase ermittelt. Fig. 5-8 zeigt das Tunnelprofil des Zugangstunnels JO im Bereich zwischen der Abzweigung zum Areal JO-3+ und

¹¹ Sicherheitsvorrichtung zur Absperrung des Bohrlochs, um unkontrolliertes Austreten von Wasser zu verhindern.

¹² Verlängerung des Zugangstunnels im Tagbau ist nicht Bestandteil des Lagerprojekts für den Standortvergleich.

dem zentralen Bereich (siehe Planmappe in Beilage 1; Plan A4-1.22 für Details NP und Plan A2-2.3 für Streckenabschnitt 8.2 Zugangstunnel mit Betriebszugangsabteil).

Für das SMA-Einzellager am Standort JO wird auf die Trennwand verzichtet, da der Bau des Lagers und die Einlagerung der SMA seriell erfolgt.

Aufgrund des dichten Opalinuston verfügen sämtliche in Opalinuston liegenden Tunnelabschnitte über keine Abdichtungsfolie und werden drainiert ausgeführt.

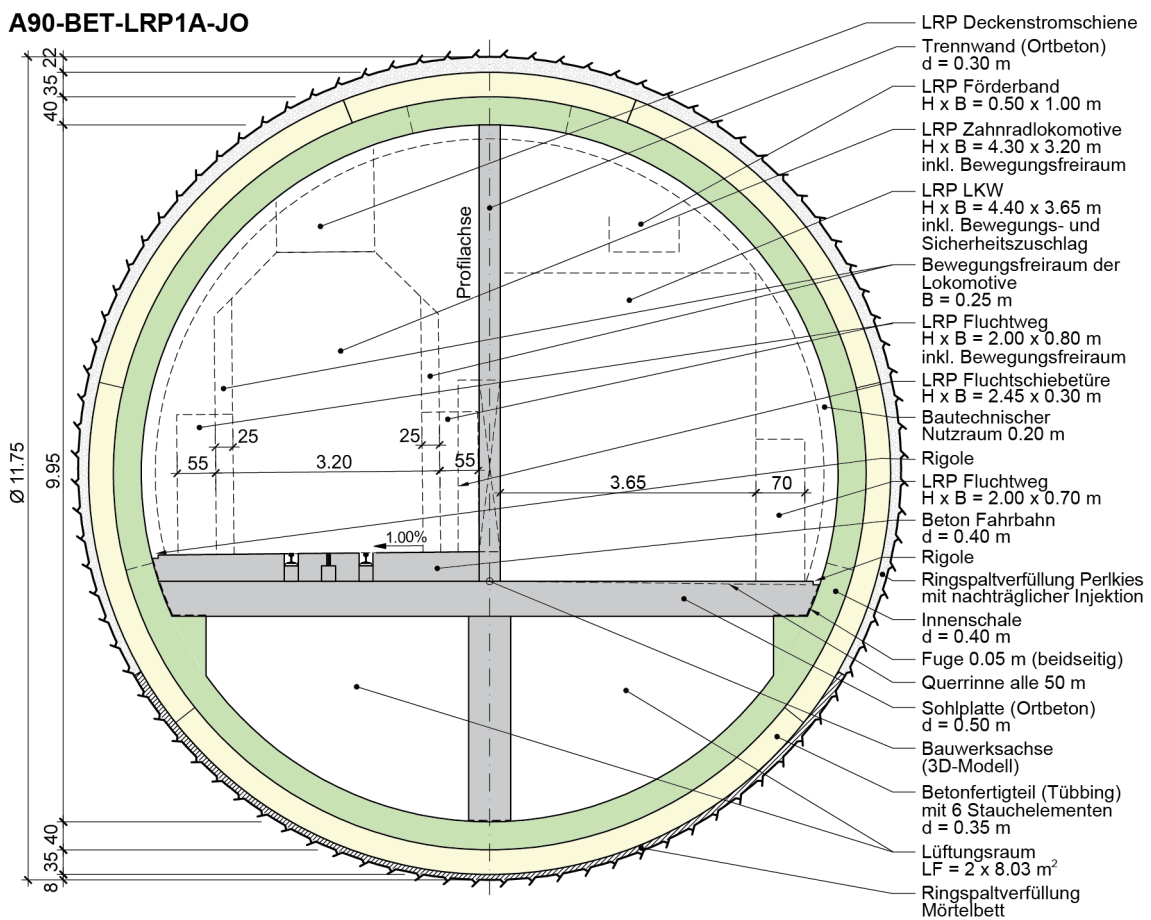


Fig. 5-8: TBM-Tunnelprofil A90
(dargestellt mit Trennwand für das HAA-Einzellager, nicht massstäblich)

Das Profil in Fig. 5-8 zeigt die Phase Einlagerung HAA in Blickrichtung Lagerebene, wenn über das Zugangsabteil (links) die Einlagerung und über das Betriebsabteil (rechts) der Bauverkehr abgewickelt werden. Der Abtransport von Ausbruchmaterial erfolgt mittels Förderbands im Betriebsabteil, die Abluft aus dem Überwachungsbereich wird über das Zugangsabteil abgesogen. Abluft aus dem Baubereich wird über den Lüftungsraum abgeführt und die Abluft aus dem zentralen Bereich über das Betriebsabteil. Das Zugangs- und das Betriebsabteil sind in regelmäßigen Abständen durch Fluchtwegschiebetüren verbunden, so dass beide Abteile redundant ins Flucht- und Rettungskonzept integrierbar sind. Das TBM-Kreisprofil gewährleistet unter der

Fahrbahn die erforderlichen zwei voneinander unabhängigen Lichträume für die Abluftführung aus dem ZB gemäss Nagra (2022c).

Vom TBM-Profil zweigt der Stichtunnel des Zugangstunnels Richtung Zwillag ab. Fig. 5-9 zeigt das Profil A50, welches den Streckenabschnitt im OPA (Verzweigungsbereich) mit Spritzbetonschale und Sohlübbing darstellt (vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-1.20). Die Felsstrecke hin zum bergmännischen Portal weist ein Maulprofil auf (Fig. 5-10, NP A20). In diesem Abschnitt kommt eine Regenschirmabdichtung mit Drainagefolie im Sohlbereich zur Anwendung. Anfallendes Bergwasser wird mittels Längsdrainagen in Schächten gefasst und durch eine geschlossene Leitung (Aufputz) im freien Gefälle durch den Lockergesteinsabschnitt des Stichtunnels hindurch zur Versickerung im Nahbereich des bergmännischen Portals¹³ geführt.

Der Lockergesteinsabschnitt des Stichtunnels (Seite Areal JO-3+) weist eine druckhaltende Vollabdichtung auf (NP A10, vgl. Plan A4 – 1.18 der Planmappe in Beilage 1).

A50-BET-LRP1A-JO

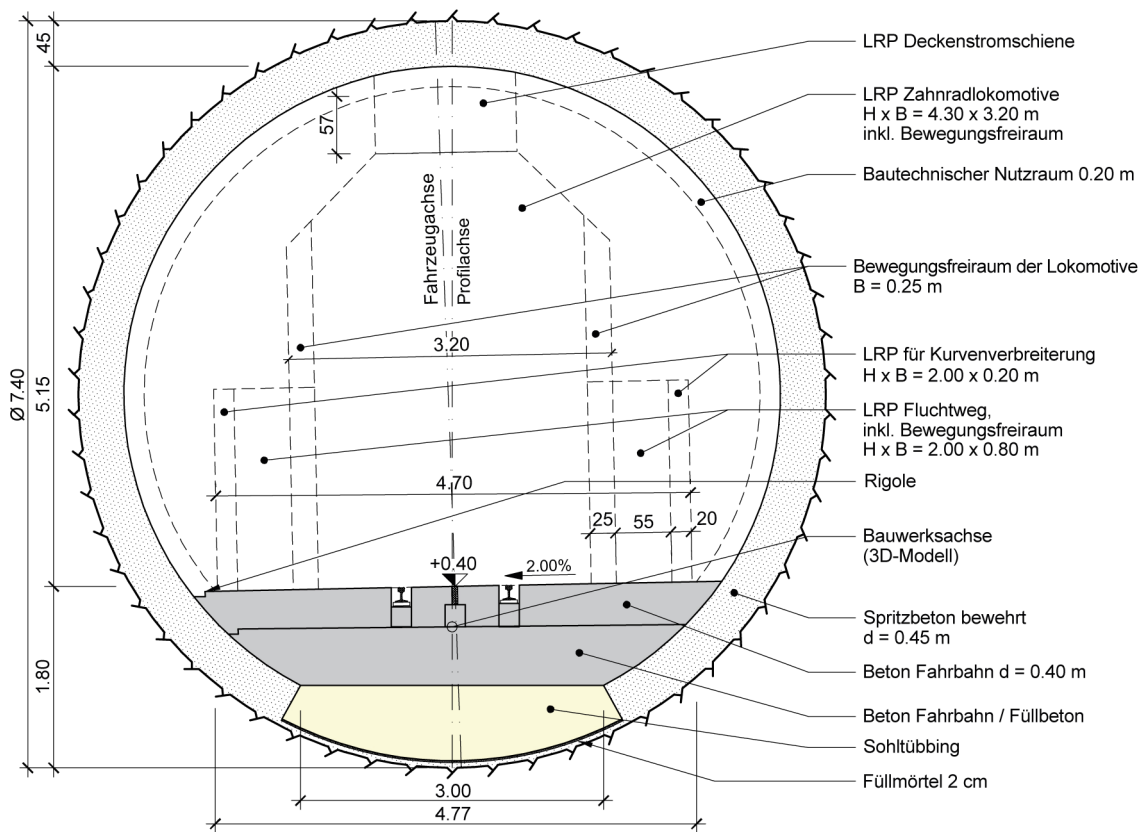


Fig. 5-9: Stichtunnelprofil A50 des Zugangstunnels JO im Bereich Abzweiger (Nicht massstäblich.)

¹³ Verlängerung des Zugangstunnels im Tagbau ist nicht Bestandteil des Lagerprojekts für den Standortvergleich

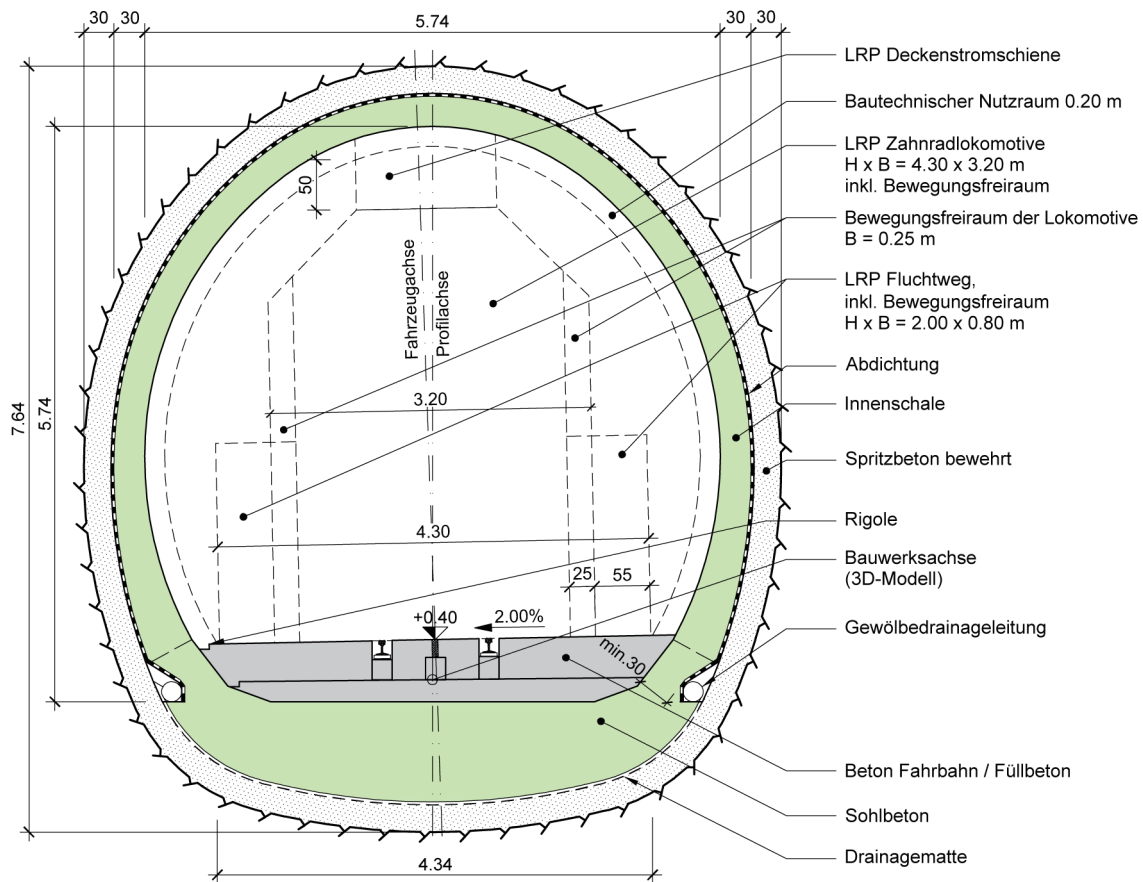
A20-BET-LRP1A-JO

Fig. 5-10: Stichtunnelprofil A20 des Zugangstunnel JO im Bereich der Felsstrecke
(Nicht massstäblich.)

5.2.2 Vortriebsmethode

Der (Betriebs-)Zugangstunnel wird ab der Tongrube des Areals NZA-B bis auf Lagerebene mit einer Schild-TBM (TBM-S) aufgeföhren (vgl. Kapitel 5.2.1). Der TBM-Vortrieb liegt auf der ganzen Länge im Opalinuston (vgl. Fig. 3-2).

Der aus dem TBM-Profil des (Betriebs-)Zugangstunnels abzweigende Stichtunnel (Zugangstunnel) hin zum Areal JO-3+ wird konventionell im Sprengvortrieb (im Gegenvortrieb Richtung Portal) aufgeföhren. Logistisch wird er über das Areal der NZA-B abgewickelt. Im oberflächennahen Lockergesteinsabschnitt kommt ein maschinenunterstützter Vortrieb (Baggervortrieb) ab dem Areal JO-3+ zur Anwendung. Beide Vortriebe (ab bergmännischem Portal und Gegenvortrieb) sind steigend.

5.2.3 Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen

Beim Schild-TBM-Vortrieb werden systembedingt im Schutz des Schilds Tübbinge eingebaut und unmittelbar anschliessend der Ringspalt verfüllt. Im Sohlbereich erfolgt dies mit Mörtel über Injektionsstutzen im Schildschwanz. Im Parament- und Firstbereich wird Perlkie über Einblasstutzen hinter den Tübbing eingepulst und anschliessend im Nachläuferbereich oder nach Vor-

triebsende mit Zementmörtel ausinjiziert. Die Tübbinge werden nachgiebig mit tangentialen Stauchelementen ausgebildet, um den Gebirgsdruck im tiefliegenden Opalinuston zu reduzieren.

Der Stichtunnel hin zum Areal JO-3+, dessen Abschnitt im Sprengvortrieb aufgefahren wird, verfügt über eine Ausbruchsicherung aus Ankern und Stahlfaserspritzbeton resp. Spritzbeton mit Netzen. Im portalnahen aufgelockerten Felsabschnitt erfolgt der Vortrieb im Schutz eines Rohrschirms. Die Ausbruchsicherung besteht aus Stahl- oder Gitterträgern und Spritzbeton mit Netzen.

5.2.4 Bauablauf

Der Tunnelausbau, bzw. der Einbau der Tunnelinnenschale und der Trennwand zwischen dem Zugangsabteil und Betriebsabteil (nur für HAA-Einzellager), erfolgt in einem separaten Arbeitsgang noch während der Phase Bau EUU.

5.3 Stollen, Tunnel und Kavernen im Opalinuston

5.3.1 Normalprofile

Im Opalinuston ist für alle Bauwerke keine Abdichtung erforderlich. In allen Bereichen, in denen ein konventioneller Vortrieb (SPV) zum Einsatz kommt, erfolgt der Einbau der Innenschale präferenziell in Ortbeton. Bei komplexen Geometrien von Verschneidungsbauwerken und Abzweigungen ist auch ein Spritzbetoninnenausbau möglich. Der Lagerstollen weist einen Tübbingausbau auf.

Drei für ein geologisches Tiefenlager typische Normalprofile sind:

- Normalprofil F10 der HAA-Lager- und HAA-Pilotlagerstollen (vgl. Fig. 5-11) mit total ca. 19 km Tunnellänge
- Normalprofil K90 der SMA-Lager- und SMA-Pilotlagerkavernen (vgl. Fig. 5-12) mit total ca. 1.7 km Kavernenlänge
- Normalprofil D20 der Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel sowie weiteren Teile des zentralen Bereichs auf Lagerebene (vgl. Fig. 5-13)

Diese drei Normalprofile decken rund 90 % der auf Lagerebene aufzufahrenden Streckenlänge ab. Die Planmappe (Beilage 1) bzw. die Pläne A4-1.1 bis A4-1.22 dokumentieren die Normalprofile aller Lagerprojekte. Zu jedem Lagerprojekt findet sich in der Planmappe ein Übersichtsplan, aus welchem die Profilverteilung und Zuordnung zu den Innenschalenstärken hervorgeht (siehe z.B. Plan A1-1.3 für ein NL-Kombilager).

HAA-Lagerstollen

Das Profil F10 (Fig. 5-11) zeigt den Ausbau des HAA-Lagerstollens mittels Tübbing für die spätere Einlagerung der HAA. Je nach Region und Tiefenlage variiert die Tübbingstärke zwischen 25 cm (JO) bis 40 cm (NL). Details sind in der Planmappe (Beilage 1; Plan A4-1.17) zu finden.

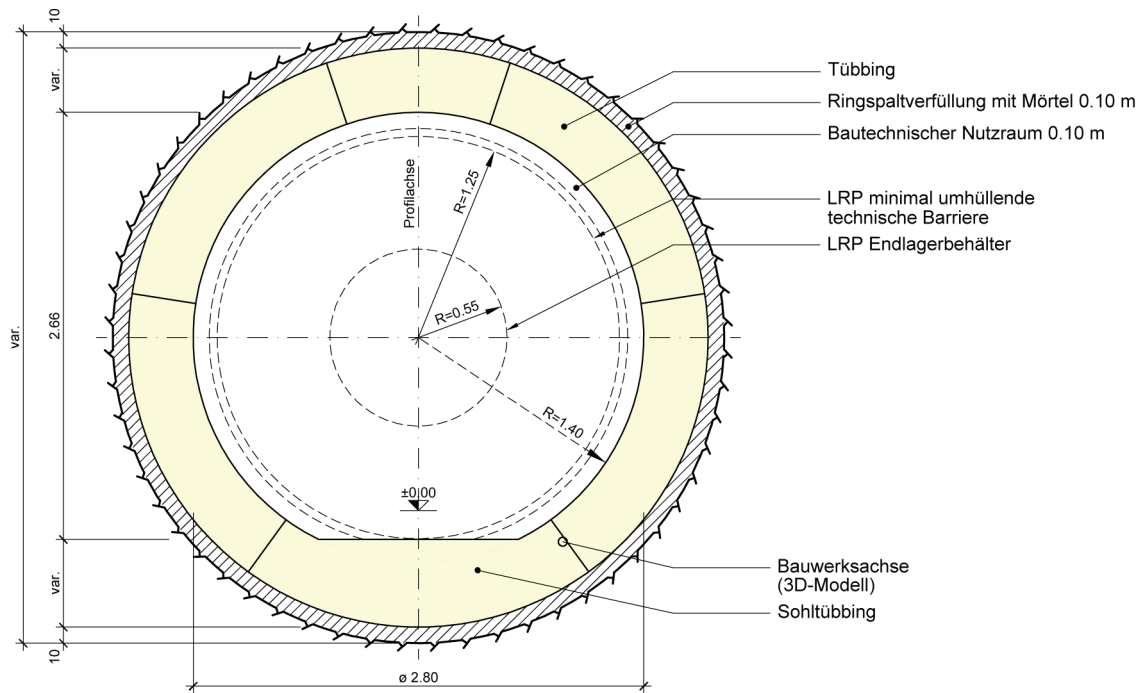
F10-BET-LRP1A

Fig. 5-11: HAA-Lagerstollen Profil F10
(Nicht massstäblich.)

SMA-Lagerkaverne

Das Profil K90 (Fig. 5-12) zeigt den Endausbau der Lagerkaverne und den zur Verfügung stehenden Platzbedarf für die Einlagerung von 9 ELB mittels Kranbahn und weiteren 3 ELB nach Ausbau der Kranbahn in der Kalotte. Die für die Einlagerung erforderlichen Kranbahnstützen (in regelmässigen Abständen) und die Kranbahnkonsole verbleiben im Bauwerk. Details sind in der Planmappe (Beilage 1; Plan A4-1.7) zu finden

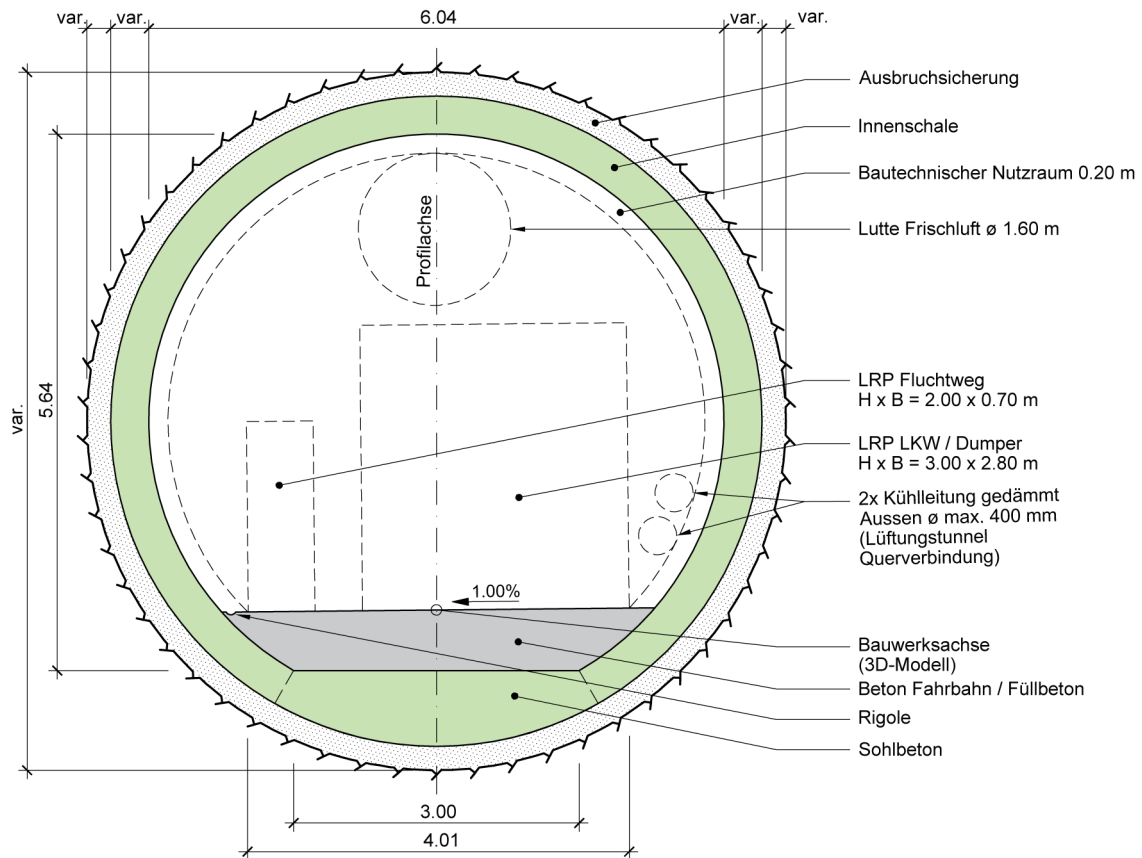
D20-BAU-LRP1A

Fig. 5-13: HAA- und SMA-Betriebstunnel Profil D20, dargestellt in der Phase Bau
(Nicht massstäblich.)

5.3.2 Vortriebsmethode

Für alle Bauwerke auf Lagerebene, ausser für den HAA-Lagerstollen, wird ein Sprengvortrieb zugrunde gelegt. Der Vortrieb wird über eine provisorisch geschüttete Sohle angedient. Erst mit einem grösseren Abstand zum Vortrieb und wenn ein Teil der Deformationen abgeklungen sind, wird bei diesen Profilen auf Lagerebene die definitive Innenverkleidung und Sohle eingebaut. Der Vortrieb erfolgt dabei bei den Tunnelprofilen jeweils im Vollaussbruch (vgl. Fig. 5-16 und Fig. 5-17). Bei den Lagerkavernen wird mit einer abgetreppten Ortsbrust ebenfalls im Vollaussbruch vorgetrieben (vgl. Fig. 5-14 und Fig. 5-15). Der Opalinuston ist in der Schweiz aus verschiedenen Juradurchstichen (u.a. auch im Sprengvortrieb) und dem Felslabor Mont Terri bekannt.

Für den Bau der HAA-Lagerstollen inkl. der HAA-Pilotlagerstollen ist ein maschineller Vortrieb mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine (TBM-S) und einem starren Tübbingeinbau direkt hinter dem Bohrkopf im Schutz des Schilds vorgesehen, wo anschliessend der Ringspalt mit Mörtel verfüllt wird.

5.3.3 Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen

Mit Ausnahme der HAA-Lagerstollen, die unmittelbar im Vortrieb mit Tübbingen gesichert werden, kommt aufgrund der hohen Gebirgsdrücke für alle Profile auf Lagerebene eine nachgiebige Ausbruchsicherung zur Anwendung.

HAA-Lagerstollen

Die Ausbruchsicherung erfolgt mit dem Einbau des Tübbings (Fig. 5-11).

SMA-Lagerkaverne

Die Ausbruchsicherung besteht aus einer in Tunnellängsrichtung geschlitzten Spritzbetonschale, nachgiebigen TH-Stahlbogenprofilen und einer Systemankerung (vgl. Fig. 5-14 und Fig. 5-15, für mehr Details vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-2.3). Durch eine dichte Systemankerung wird der überbeanspruchte, hohlraumnahe Gebirgsbereich vergütet und die Verformungen werden homogenisiert. Damit wird eine ausreichende Duktilität des Gesamtsystems sichergestellt. Mit diesem Konzept können Gebirgsdeformationen kontrolliert zugelassen und dadurch die auf die Innenschale wirkenden Gebirgslasten reduziert werden. Aufgrund des grossen Querschnitts wird zusätzlich bei Bedarf eine Ortsbrustsicherung (Ortsbrustankerung und Stahlfaserspritzbeton) eingesetzt. Nachträglich wird dann auf die Felssicherung die Innenschale in Form einer Ortbetonschale eingebaut. Da die Spritzbetonschale der Felssicherung durch die Gebirgsdeformationen bereits hoch beansprucht wird, wird diese bei der Bemessung des Endzustands bzw. der Dimensionierung der Innenschale nicht berücksichtigt.

Der Vortrieb läuft über eine mit Ausbruchmaterial geschüttete Baupiste, welche erst im rückwärtigen Bereich vor dem Einbau der Innenschale in Etappen durch den Sohlenbeton der Innenschale und den Beton der Fahrbahn ersetzt wird.

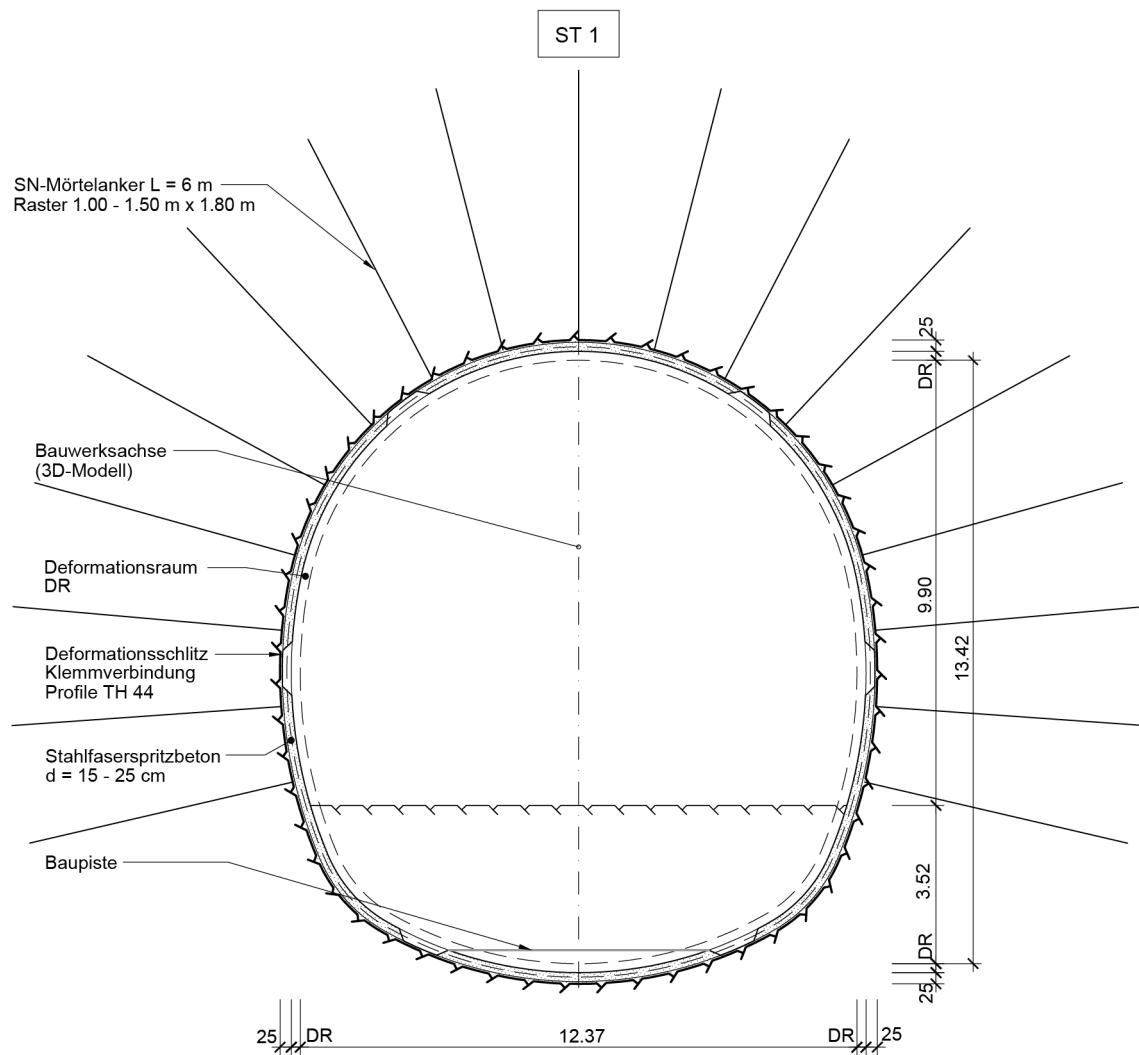


Fig. 5-14: Ausbruchsicherungstyp ST1 Profil K90 – Querschnitt
(Nicht massstäblich.)

Vortrieb erfolgt im Vollausbuch mit abgetrepter Ortsbrust. Für mehr Details vgl. Plan-
mappe in Beilage 1; Plan A4-2.3

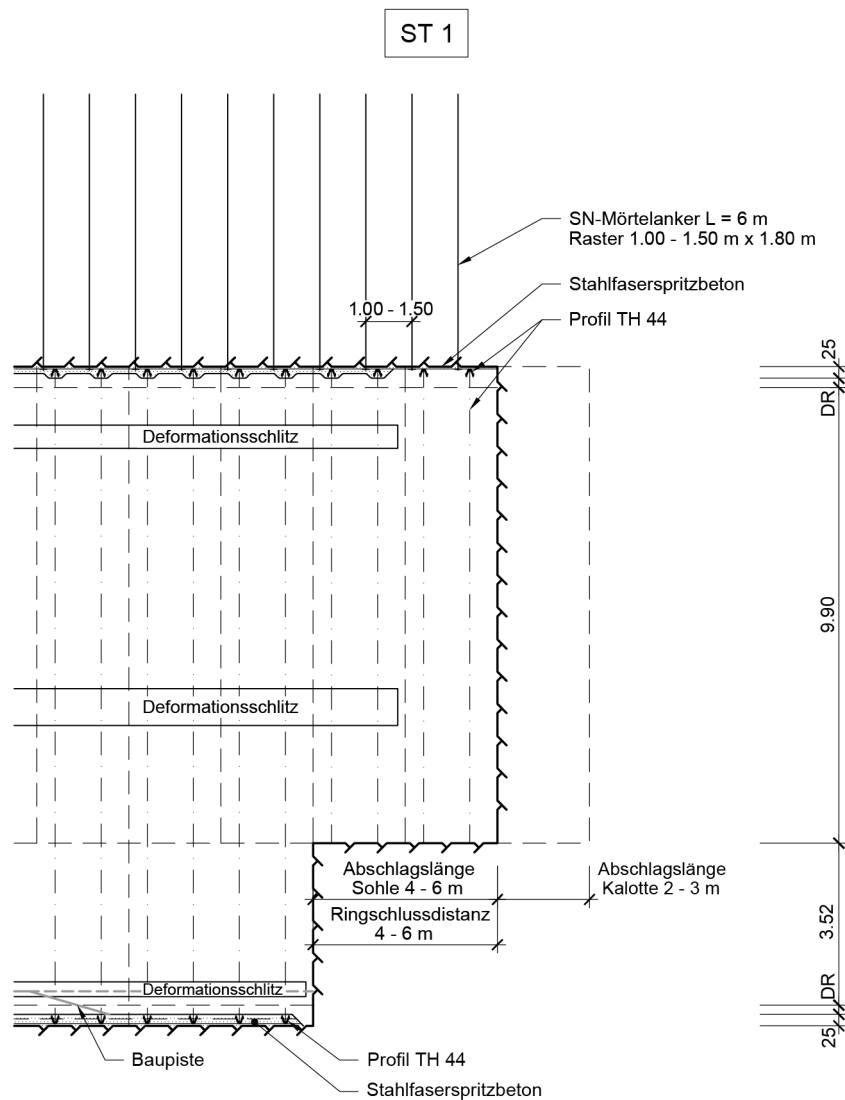


Fig. 5-15: Ausbruchsicherungstyp ST1 Profil K90 – Längsschnitt
(Nicht massstäblich.)

Vollausbruch mit abgetreppter Ortsbrust mit Abschlagslängen von 2 bis 3 Meter und Ringschlussdistanz von 4 bis 6 Meter hinter der Ortsbrust. Für mehr Details vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-2.3

Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel

Die nachgiebige Ausbruchsicherung der Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel (vgl. Fig. 5-16 und Fig. 5-17, für mehr Details vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-2.1) entspricht vom Prinzip her derjenigen der SMA-Lagerkaverne (siehe oben).

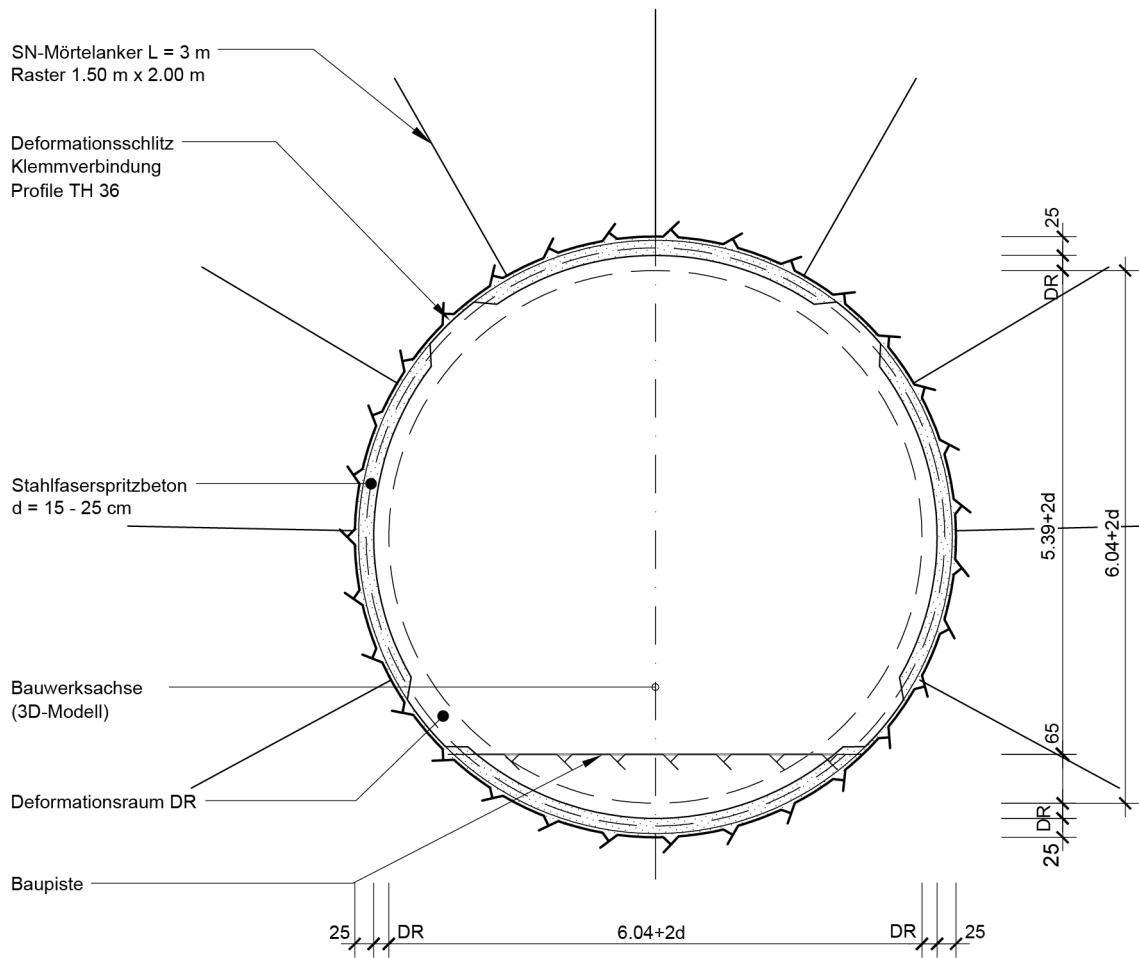


Fig. 5-16: Ausbruchsicherungstyp ST1 Profil D20, D22, D23 und D24
(Nicht massstäblich.)

Der Vortrieb erfolgt über prov. geschüttete Sohle. Für mehr Details vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-2.1

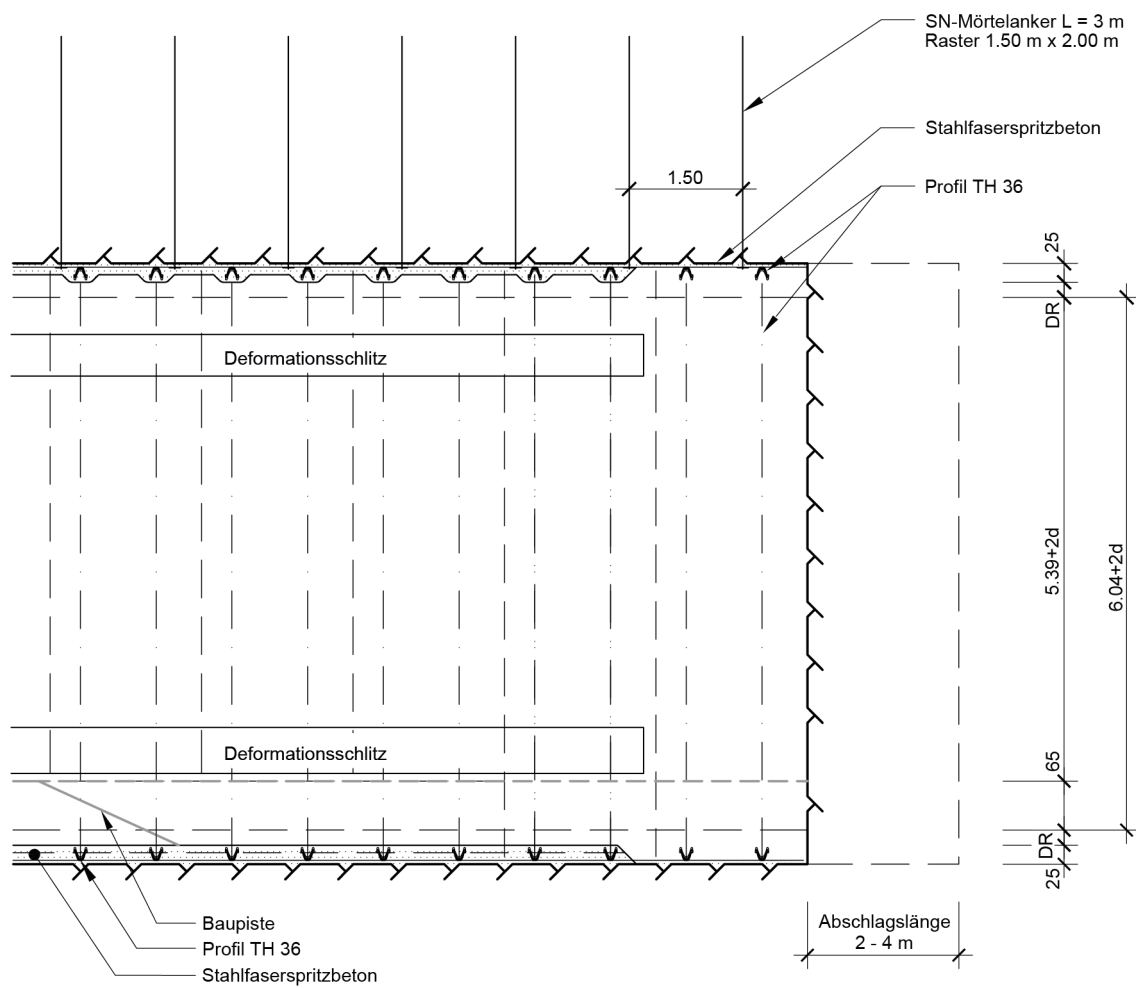


Fig. 5-17: Längsschnitt des Ausbruchstypstyps ST1 Profil D20, D22, D23 und D24
(Nicht massstäblich.)

Abschlagslängen von 2 bis 4 m und einem schnellen Sohlschluss. Für mehr Details vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-2.1

Bau der Abzweiger HAA und SMA

Gleich wie die angrenzenden Tunnel werden auch die Abzweiger mit einer nachgiebigen Ausbruchssicherung gesichert. Der Ausbruch und die Sicherung der Abzweiger erfolgen in Richtung des jeweiligen Kurvenabgangs zu den Lagerkammern aus dem Betriebstunnel heraus. Die Ausbruchsetappierung ist in Fig. 5-18 dargestellt und erfolgt in der Reihenfolge (0) bis (4).

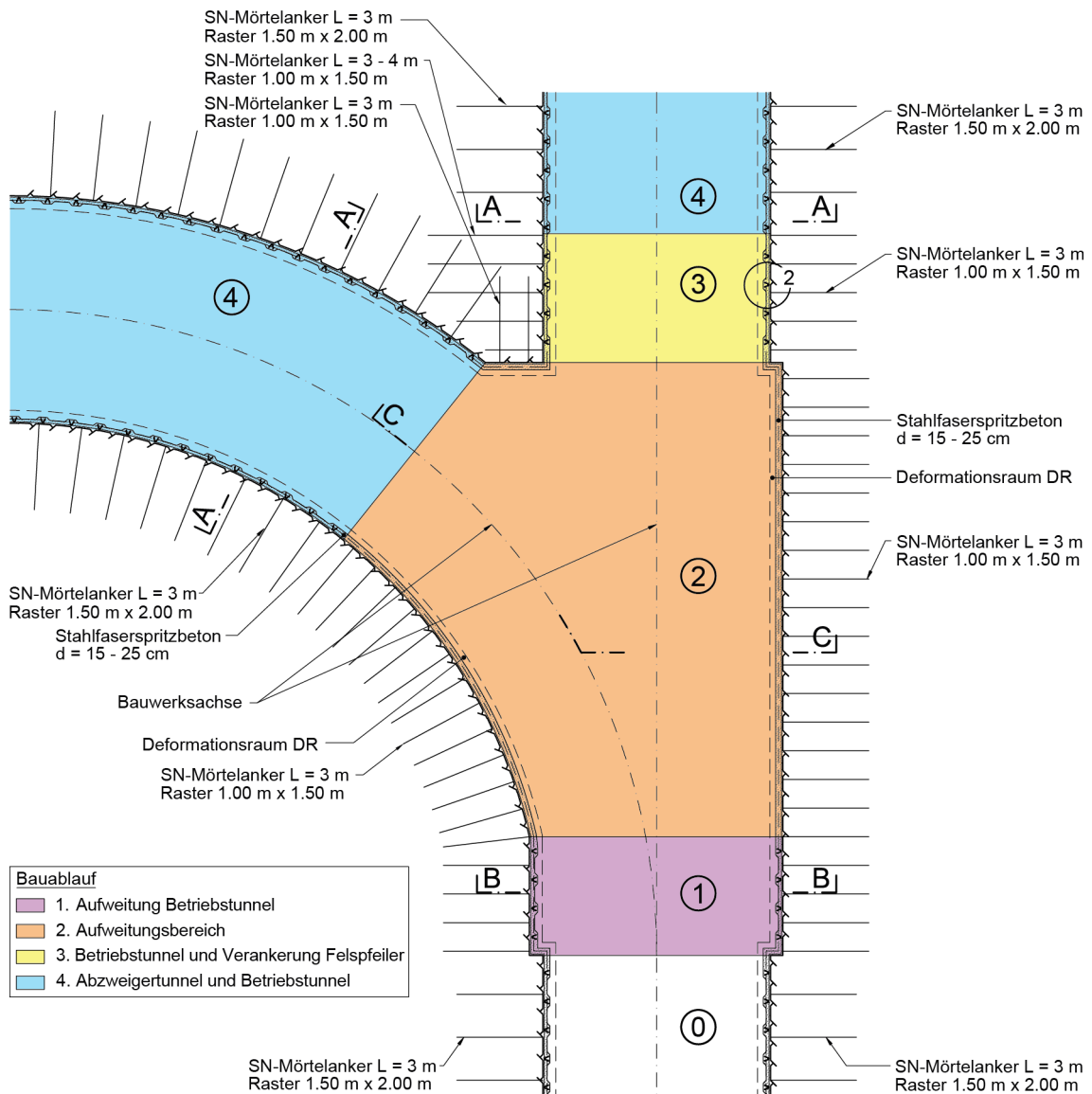


Fig. 5-18: Ausbruchsicherung und -etappierung / Ausbruchsreihenfolge einer Abzweigung HAA / SMA

(Nicht massstäblich.)

Für mehr Details vgl. Planmappe in Beilage 1; Plan A4-2.2

Erst wenn die Ausbruchsetappen 1 bis 3 abschliessend ausgebrochen und gesichert sind, erfolgt der weitere Vortrieb im Betriebstunnel bis zum nächsten Abzweiger. Der Ausbruch des an einen Abzweiger anschliessenden Tunnelabschnittes hin zum Umladebereich HAA bzw. zum Übernahmebereich SMA wird erst im Anschluss daran ausgebrochen, gefolgt vom späteren Einbau der Innenschale (präferenziell mittels Spritzbeton bei den komplexen Übergängen im ganzen Abzweigerbereich).

5.3.4 Bauablauf

HAA-Lagerstollen

Der Bau der HAA-Lagerstollen erfolgt dem Einlagerungsbetrieb vorseilend. Dem Projekt wird damit zugrunde gelegt, dass in der Nutzungsphase 4 die drei Pilotlagerstollen, alle Abzweiger- und Umladebereiche des Hauptlagerfelds als späterer Startbereich für die TBM-Vortriebe und die ersten ein bis zwei HAA-Lagerstollen bereits gebaut werden. Das Baulogistikkonzept basiert in der Phase Einlagerung HAA auf ein bis maximal zwei parallellaufenden TBM-Vortrieben in Spitzenzeiten.

Die Andienung für den Bau der Lagerstollen erfolgt in der Phase Bau HAA jeweils immer über zwei Tunnel im Einbahnverkehr ab dem zentralen Bereich, über welchen auch die anderen Vortriebe im SPV angedient werden. Ab Einlagerungsbeginn HAA erfolgt der Bau der HAA-Lagerstollen jeweils nur noch über den Bautunnel, in welchem Spezialfahrzeuge für den reinen Tübbingtransport zirkulieren und auf der Rückfahrt Ausbruchmaterial in geschlossenen Transportgefässen zurück zum Schachtfuss des Betriebsschachts mitnehmen.

Die Anlieferung der Tunnelbohrmaschine erfolgt in Teilen über den Betriebsschacht. Die Kernvortriebsmaschine, welche das grösste Gesamtgewicht von ca. 50 Tonnen aufweist, wird für den Transport in zwei Teile zerlegt. Die Montage der TBM erfolgt jeweils im Umladebereich vor dem HAA-Lagerstollen. Das Normalprofil des Umladebereichs bietet genügend Platz für einen Portalkran, für die Montage der TBM, den Anfahrvorgang, den Vortrieb und den Rückbau der Maschine. Die Länge des Umladebereichs erlaubt es, einen Grossteil der Nachläufer bereits für das Anfahren zu installieren, so dass nach ca. 50 m Vortrieb alle Nachläufer installiert werden können. Nach dem Erreichen der Ziellänge des Lagerstollens wird die TBM in mehreren Schritten demontiert und durch den Tunnel zurückgezogen. Dabei wird der ca. 5 bis 7 m lange Schild der TBM im HAA-Lagerstollen zurückgelassen und mit einer Ortbetoninnenschale verstärkt.

SMA-Lagerkaverne

Nach der Realisierung der SMA-Lagerfeldzugänge (Betriebs- und Lüftungstunnel), bei der jeweils auch die Abzweigungen zu den Lagerkavernen SMA und der Zugang zum Pilotlager SMA mit ausgebrochen werden, erfolgt im Anschluss daran der Ausbruch von immer zwei Lagerkavernen (im Modul F) parallel.

Sämtliche SMA-Lagerkavernen inkl. der Pilotlagerkaverne werden in der Nutzungsphase 3 – Bau SMA-Lager erstellt. Die Andienung für den Bau der Kavernen erfolgt über den Betriebs- und Lüftungstunnel, welche in dieser Phase im Einbahnverkehr für die Ver- und Entsorgung der Ausbrucharbeiten verwendet werden. Das Baulogistikkonzept basiert dabei auf dem parallelen Bau von maximal zwei Kavernen zur gleichen Zeit.

Bau-, Betriebs-, Lüftungstunnel

Auf Lagerebene basiert das Vortriebskonzept darauf, dass die langen Tunnel der Lagerfeldzugänge, d.h. des Moduls D (Zugang zum SMA-Hauptlager) und diejenigen des Moduls E (Zugang zum HAA-Hauptlager), mindestens immer mit zwei parallellaufenden Vortrieben aus dem ZB heraus aufgeföhren werden (vgl. auch Erläuterungen zu den Nutzungsphasen 3 und 4 im Kapitel 2.3), welche im rückwärtigen Bereich stetig über Querverbindungen – dem Vortrieb folgend – miteinander verbunden werden. Dies ermöglicht, wie in Fig. 5-19 dargestellt, die Baulüftung in einem Umluftsystem zu betreiben. Weiterhin wird dadurch gewährleistet, dass die Baulogistik aus dem ZB hinaus bis zur jeweils letzten ausgebrochenen Querverbindung im Einbahnverkehr abgewickelt werden kann.

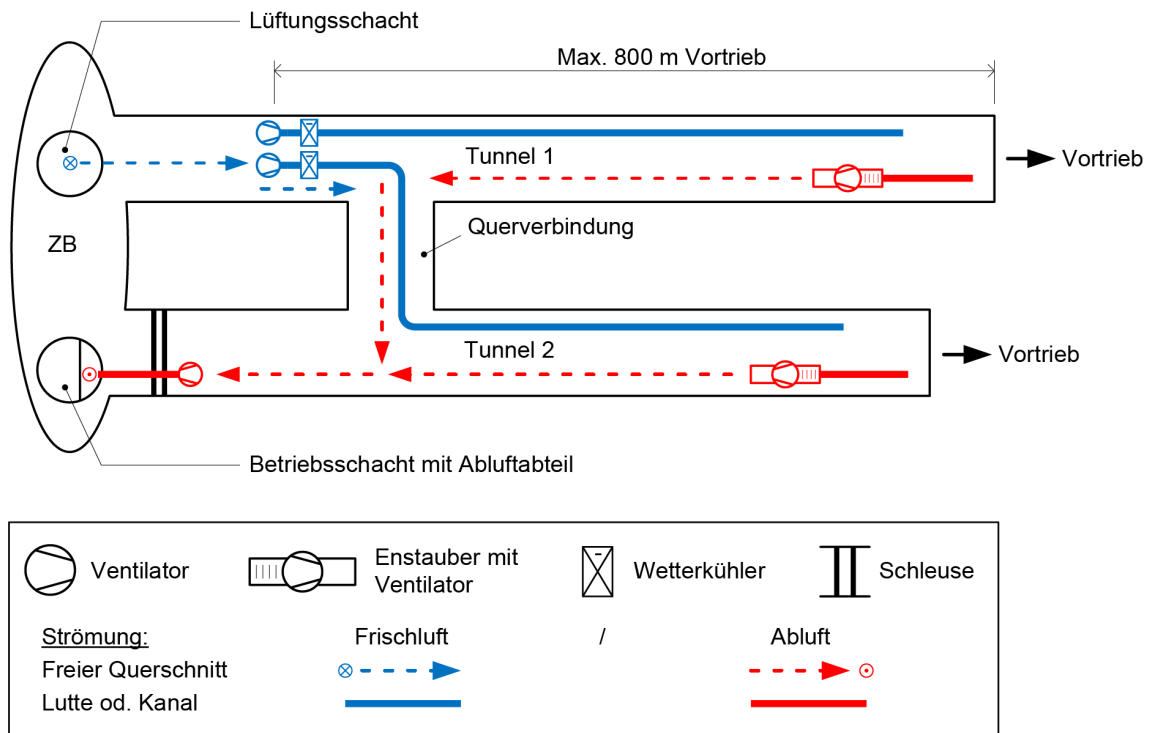


Fig. 5-19: Darstellung zwei paralleler Tunnelvortriebe in der Phase 3 und 5

Phase Bau Lagerteil SMA oder Phase Bau von zwei der drei Lagerfeldzugänge HAA mit (Sonder-) Lüftung, angepasste Grafik aus Nagra (2022c)

Über die Bauwerke im ZB, welche ebenfalls auf Einbahnverkehr ausgelegt sind, findet in der Umschlagkaverne am Fuss des Betriebsschachts der Empfang von Fahrzeugen vom bzw. die Abfertigung zur Schachtförderanlage sowie der Materialumschlag statt.

Nach der Realisierung von zwei der drei HAA-Lagerfeldzugängen erfolgt der Ausbruch des Pilotlagers (inkl. der drei Pilotlagerstollen HAA), gefolgt vom Bau des ersten HAA-Lagerstollens im eigentlichen HAA-Hauptlager. Um diese Arbeiten baulogistisch einfach abwickeln zu können, wird in einer Frühphase, nach Vollendung der ersten zwei Lagerfeldzugänge, auch der dritte Lagerfeldzugang, in Etappen nachgezogen. Dadurch wird gewährleistet, dass die Arbeiten für die Realisierung des Pilotlagers und die Arbeiten im Bereich des Hauptlagers parallel ausgeführt werden können. Damit kann z.B. die Anlieferung der TBM für den Bau des Pilotlagers über den Betriebstunnel erfolgen und parallel dazu die Andienung der übrigen Vortriebsarbeiten für den Bau der Abzweigungen und der Umladebereiche im entfernteren HAA-Lagerfeld über den Bautunnel abgewickelt werden.

6 Beschrieb HAA-Einzellager an den Standorten NL, JO und ZNO

Nachfolgend werden die HAA-Einzellager an den drei Standorten dargestellt. Einige Module dieser Lagerprojekte (vgl. Kap. 2.1) werden beim ersten Lagerbeschrieb des HAA-Einzellagers am Standort NL (Kap. 6.1) oder des Kombilagers (Kap. 7) ausführlich beschrieben. Auf eine wiederholte Funktionsbeschreibung dieser Module wird in allen weiteren Beschreibungen der Lagerprojekte (HAA in Kap. 6.2 und Kap. 6.3, SMA in Kap. 8) verzichtet und nur die standort-spezifischen Besonderheiten / Abweichungen aufgeführt.

Die Lagerprojekte basieren auf der Umsetzung der Nutzungsvereinbarung (Nagra 2023e), der Projektbasis (Nagra 2023f), den definierten OFI-Arealen und den Perimetern für die Anordnung der Lagerfelder.

Das Kapitel 9 enthält für das Projektverständnis indikative Angaben der Kennzahlen aller sechs Lagerprojekte, wie z.B. Ausbruchvolumen, Betonmengen und Verfüllvolumen.

6.1 NL HAA-Einzellager – Lagerkonfiguration und Modulübersicht

Das Lagerprojekt HAA-Einzellager am Standort NL ist in den Plänen gemäss Tab. 6-1 dokumentiert.

Tab. 6-1: Auflistung Pläne des Lagerprojekts HAA-Einzellager am Standort NL

Die Pläne sind in Beilage 1 – Planmappe dieses Berichtes enthalten. Die Plan-Nr. entspricht derjenigen gemäss Planmappe. Bei der Plan-Nr. A4 wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet, sie kann jedoch der Planliste der Planmappe entnommen werden.

Plan-Nr.	Bezeichnung	Masstab
A1-2.1	HAA-Lager: Situation Gesamtanlage	1:5000
A1-2.2	HAA-Lager: 3D-Ansicht Module untertag	---
A1-2.3	HAA-Lager: Situation Anlagen untertag – Bauwerke / Normalprofile	1:5000
A1-2.4	HAA-Lager: Situation Anlagen untertag – zentraler Bereich – Bauwerke / Normalprofile	1:2000
A1-2.5	HAA-Lager: 3D-Ansicht Zuordnung Normalprofile	---
A1-4.1	Lagerkammern HAA und SMA, Längenprofile	1:2000
A4-x.x	Normalprofile, Ausbruch und Sicherung	1:100 / 50 / 25

Fig. 6-1 zeigt das Lagerprojekt mit standortspezifischen Grobmessungen, wie etwa die Tiefe des ZB, die Bauwerke auf Lagerebene und die laterale Ausdehnung des Lagerfelds. Für mehr Details, Masse und Modulbezeichnungen wird auf Plan A1-2.2 gemäss Tab. 6-1 der Planmappe in Beilage 1 verwiesen. Fig. 6-2 zeigt die Situation des HAA-Einzellagers am Standort NL (entspricht dem Plan A1-2.1 gemäss Tab. 6-1).

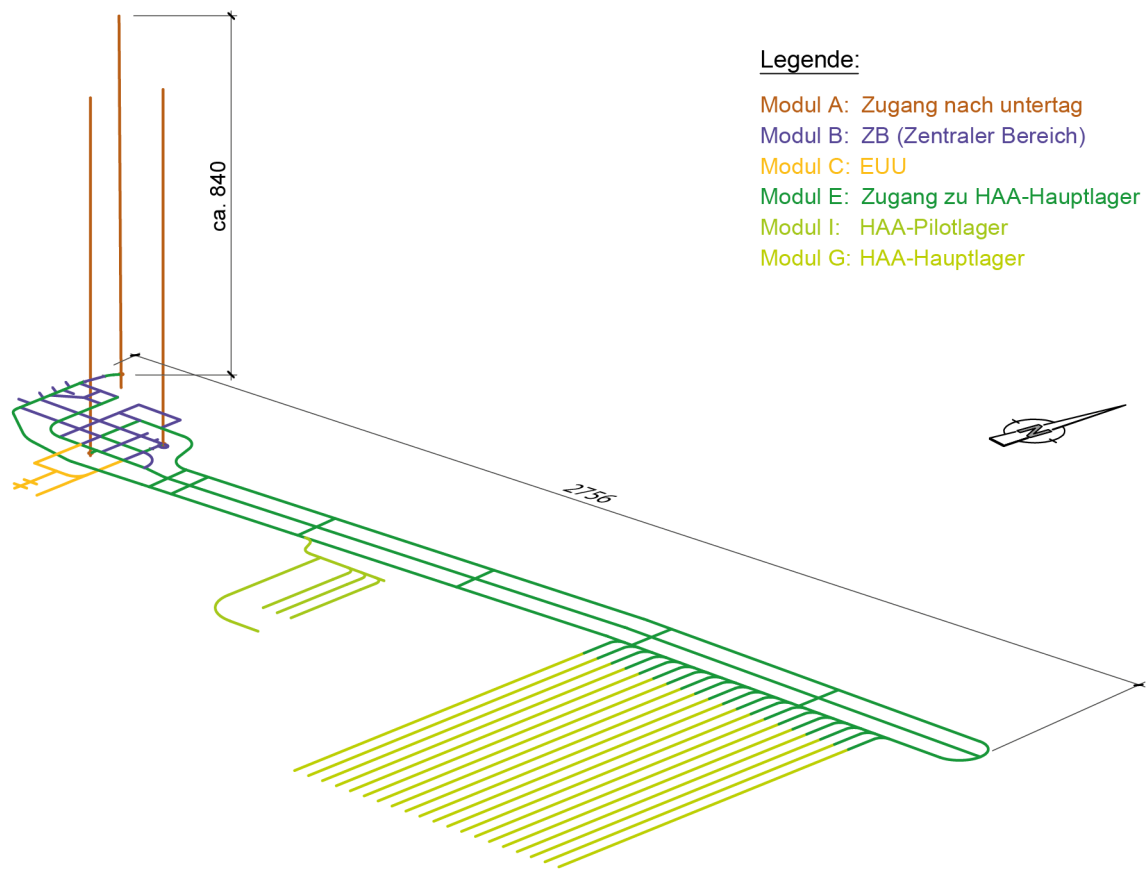


Fig. 6-1: Lagerkonfiguration des HAA-Einzellagers am Standort NL mit Modulbezeichnung

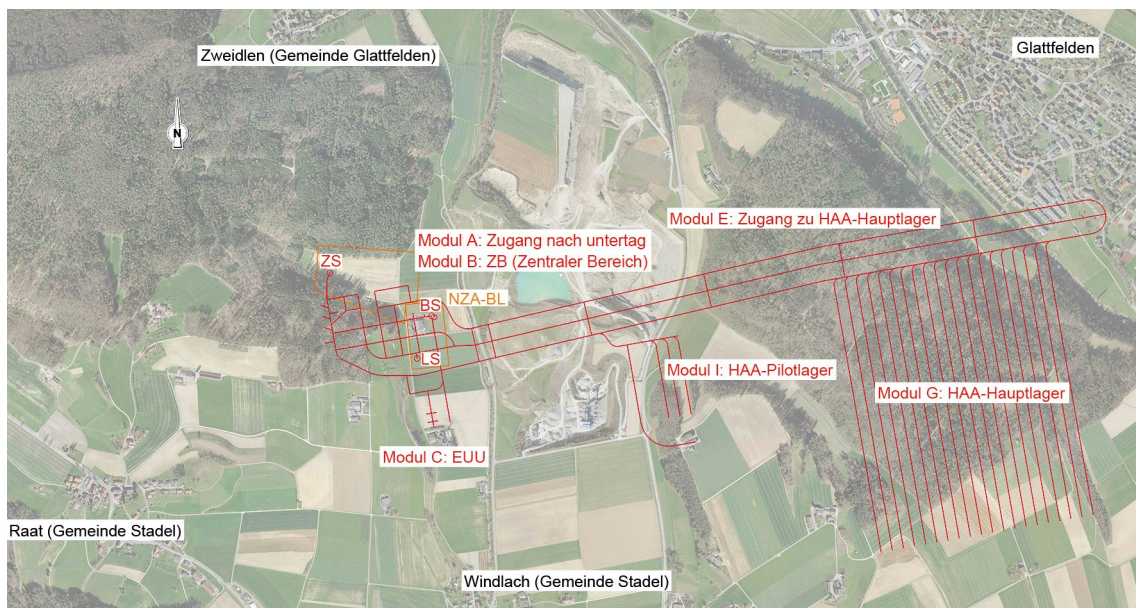


Fig. 6-2: Situation HAA-Einzellager am Standort NL

Für ein leichteres Verständnis der nachfolgenden Ausführungen, vor allem bei der Beschreibung des Moduls B – zentraler Bereich, wird empfohlen den Plan A1-2.4 vorgängig zu studieren.

6.1.1 NL-HAA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B

Die Lagerebene wird mit drei Schächten, dem Betriebs-, Lüftungs- und Zugangsschacht, erschlossen. Die Lage dieser Schächte einerseits sowie die Lage des HAA-Hauptlagers mit dessen Lagerfeldzugängen andererseits bestimmen das Layout des zentralen Bereichs. Er dient als Logistikdrehscheibe für alle Bau- und Betriebsaktivitäten und ist geometrisch so konzipiert, dass die für den Einlagerungsbetrieb erforderliche Zonierung (Überwachungsbereich und konventioneller Bereich) ohne Tunnelkreuzungen möglich ist.

Der Zugangsschacht (ZS), der auf dem OFA-Areal liegt und der Einlagerung der HAA dient, weist eine Tiefe von rund 840 m auf. Er umfasst die Normalprofile S10, S20 und S30. Die Abgangsrichtung des Betriebstunnels am Schachtfuss ist auf die Auf- bzw. Abschubrichtung in die Schachtförderanlage des ZS ausgerichtet. Im Nahbereich des Schachtfusses des ZS liegt ein ca. 50 m langer ZB-Rangierbereich (Normalprofil R10), welcher für das Kreuzen und als Warteraum für Fahrzeuge vor dem Schachtfuss benötigt wird und in den Betriebstunnel übergeht.

Der rund 810 m tiefe Betriebsschacht (BS) dient als Zugang für alle Bauaktivitäten und umfasst die Normalprofile S70, S80 und S90. In den Nutzungsphasen, in denen der Zugangsschacht noch nicht realisiert oder bereits wieder verfüllt wurde, dient der BS zusätzlich als Zugang für den Betrieb. Analog zum ZB-Rangierbereich vor dem Zugangsschacht liegt vor dem Schachtfuss des Betriebsschachts eine Kreuzungsstelle für den Auf- und Abschub von Baufahrzeugen (NP R10).

Der ebenfalls rund 810 m tiefe Lüftungsschacht (LS) umfasst die Normalprofile S40, S50 und S60 und bindet an den HAA-Lüftungstunnel an, der zum HAA-Lagerfeld führt.

Im ZB schliessen an den HAA-Betriebstunnel verschiedene, dem Überwachungsbereich zugeordnete Tunnel bzw. Infrastrukturen an (Betriebsraum 2, Werkstatt Betrieb, Elektrostation, Einstellräume Betriebsfahrzeuge, Tunnel für Wassertank – Details s. Plan A1-2.4 gemäss Tab. 6-1). Es handelt sich hier um Infrastrukturen im ZB, welche primär für die Einlagerung der HAA, jedoch z.T. bereits in den Nutzungsphasen 1 und 2 für die Weiterführung EUU benötigt werden.

Ein Einstellraum für Rettungsfahrzeuge (NP D23) und eine Schutz- und Rettungskaverne (NP D22, Rettungsraum für Personen) liegen zwischen den Tunneln bzw. Infrastrukturen, welche für den Betrieb des gTL benötigt werden, und denjenigen, welche für den Bau beansprucht werden. Beide Räume sind ab Einlagerungsbeginn mittels Schleusen an die im Überwachungsbereich liegenden Tunnel / Bauwerke angebunden. Der konventionelle Bereich im ZB liegt südöstlich vom Schachtfuss des Zugangsschachts. In schachbrettartiger Anordnung liegen in diesem Bereich verschiedene Tunnelabschnitte, die mit dem HAA-Lüftungstunnel und mit dem Bautunnel verbunden sind. Zudem sind Erschliessungstunnel im ZB zur Sicherstellung des Einbahnverkehrs für den Bau des HAA-Lagerteils vorgesehen. Weiter beherbergt dieser Teil des ZB verschiedene Tunnelabschnitte, welche Platz sowohl für Infrastrukturen für den EUU-Betrieb als auch für die Abwicklung der Baulogistik über alle Ausbruchphasen bieten (Details s. Plan A1-2.4 gemäss Tab. 6-1). Es handelt sich hier unter anderem um Büros und Sanitäreinrichtungen, um die Werkstatt Bau, den Elektroraum Bau, die Abstellflächen Baufahrzeuge, die Lagerflächen Bau und um die zentrale Kühlanlage.

Im Nahbereich zum Schachtfuss des Betriebsschachts liegt ein zentraler Umladebereich für Ausbruchmaterial (NP U10), welches von dort via einem Skip über den Betriebsschacht nach übertag abgeführt wird. Für das Verlademanöver ist eine Wendenische für Pneulader vorgesehen. Die Ausrichtung der Anbindungen dieser Tunnel an den Betriebsschacht ist auf die Logistik untertag und übertag abgestimmt. Für untertag sind die Einfahr- / Ausfahrrichtungen mit Pneufahrzeugen

auf die Schachtförderanlage und der Ladevorgang zur Beschickung des Skips massgebend. Für übertag wird die Zugänglichkeit bzw. Andienung des Schachtkopfgebäudes für den Materialumschlag via NZA-Areal berücksichtigt.

Die im Plan A1-2.4 gemäss Tab. 6-1 als Option im ZB dargestellte Betonanlage befindet sich an dessen nördlichem Rand. Auf diese Option kann ohne Auswirkungen auf das eigentliche Layout des ZB zurückgegriffen werden.

Ab dem Schachtfussbereich des ZS steigt der Betriebstunnel zunächst mit 1 % an. Der Schachtfussbereich des ZS bildet damit einen Tiefpunkt im Überwachungsbereich der Anlage. Der Betriebsschacht ist im konventionellen Bereich des ZB ein Tiefpunkt. Die verschiedenen Tunnel in diesem Bereich fallen hier mit 1 % Neigung in Richtung Schachtfuss des Betriebsschachts.

6.1.2 NL-HAA: EUU-Bereich, Modul C

Die Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) befinden sich angrenzend an den ZB südlich des HAA-Betriebstunnels (Details s. Plan A1-2.4 gemäss Tab. 6-1). In diesem Bereich werden die geologischen Erkundungen vor Ort auf Lagerniveau weitergeführt (Experimentbereiche) und sicherheitsrelevante Technologien für die Einlagerung und Rückholung von Abfällen demonstriert (Demonstrationsbereiche).

Neben dem EUU-Erschliessungstunnel schliesst auch der Betriebsraum 1 (NP R10), welcher auch als zusätzlicher Fluchtweg dient, an den HAA-Betriebstunnel an, so dass der EUU-Bereich mit zwei Zugängen erschlossen wird.

Die Demonstrationsbauwerke HAA verfügen über die gleichen Querschnittsabmessungen und ähnlichen Längsneigungen wie das Hauptlager HAA, jedoch mit verkürzten Längen. Sie verlaufen analog den Lagerstollen des Hauptlagers ebenfalls in Hauptspannungsrichtung, d.h. parallel zu den HAA-Lagerstollen des Haupt- und Pilotlagers. Daneben befinden sich die Experimentbereiche (NP D10).

6.1.3 NL-HAA: Lagerteil HAA, Module E, G und I

Modul G – Hauptlager HAA

Das HAA-Lagerfeld liegt östlich der Zugänge nach untertag und des zentralen Bereichs und dient der Einlagerung der HAA. Es besteht aus 20 HAA-Lagerstollen mit dem Normalprofil F10, die parallel mit einem Achsabstand von 40 m angeordnet sind. Der Lagerstollen, der das Lagerfeld im Westen begrenzt, weist ein Gefälle von 7 % auf. Das Gefälle der Lagerstollen nimmt Richtung Osten ab und beträgt im Lagerstollen, der das Lagerfeld im Osten begrenzt, 4,5 %. Die Länge der Lagerstollen (NP F10) beträgt je ca. 910 m, von denen 880 m für die Einlagerung (inklusive der V1-Siegel) der HAA verwendet werden können. Die Umladebereiche (Normalprofil E10), die sich mit einer Länge von 46 m vor den Lagerstollen befinden, werden aus betrieblichen Gründen horizontal ausgebildet.

Modul I – Pilotlager HAA

Das Pilotlager, als eigenständiger, vom Hauptlager abgetrennter Teil des gTL, dient der Überwachung des Verhaltens der Abfälle bis zum Ablauf der Beobachtungsphase. Es liegt ebenfalls östlich der Zugänge nach untertag und des zentralen Bereichs (Modul B), jedoch westlich des HAA-Hauptlagers (Modul G). Es besteht aus 3 HAA-Pilotlagerstollen (NP F10), die je eine Länge von ca. 210 m aufweisen. Für die Einlagerung und Versiegelung stehen pro Lagerstollen 180 m zur Verfügung. Die Umladebereiche (NP E10) weisen die gleiche Länge wie beim Hauptlager auf und befinden sich ebenfalls vor den Lagerstollen. Den Zugang zum Pilotlager bildet ein Pilot-

lagerzugangstunnel (NP D20), der vom Betriebstunnel abzweigt. Kurz nach der Abzweigung wird ein Hochpunkt in der vertikalen Linienführung vorgesehen, um Wasserzuflüsse in das Pilotlager zu verhindern.

Modul E - Lagerfeldzugänge

Die Lagerfeldzugänge verbinden die Schachtfüsse und den zentralen Bereich mit den jeweiligen Lagerfeldern und bestehen im Falle des HAA-Einzellagers aus drei mehrheitlich parallellaufenden Tunneln, dem Betriebs-, dem Lüftungs- und dem Bautunnel (alle NP D20). Die Lagerfeldzugänge erschliessen das Lagerfeld von Norden.

Ab dem Schachtfuss des Zugangsschachts verläuft der insgesamt ca. 3'050 m lange HAA-Betriebstunnel in östliche Richtung zum EUU-Bereich, danach weiter Richtung HAA-Pilotlager bis zum HAA-Hauptlager (Details s. Plan A1-2.3 gemäss Tab. 6-1). Zwischen dem Pilot- und dem Hauptlager wird der Tiefpunkt der Linienführung angeordnet. Die vertikale Linienführung des Betriebstunnels ist so gewählt, dass die mit dem HAA-Betriebstunnel verbundenen Haupt- und Pilotlagerstollen mittig im Opalinuston platziert werden können und dass Wasserzuflüsse in den Lagerfeldbereich verhindert werden. Vor den Querverbindungen wird der Betriebstunnel jeweils auf einer Länge von 20 m aufgeweitet (NP W10), um benötigte Installationen aufzunehmen, ohne die Lichtraumprofile des Betriebstunnels zu beeinträchtigen. Im Bereich des HAA-Hauptlagers werden die Lagerstollen, respektive die Umladebereiche, mit steigenden Lagerstollenabzweigern (NP D20) an den Betriebstunnel angeschlossen.

Der HAA-Lüftungstunnel liegt mit einem Achsabstand von 60 m nördlich des HAA-Betriebstunnels. Am östlichen Ende des Hauptlagerfelds wird er über eine Kurve des Bautunnels an den Betriebstunnel angeschlossen. Die vertikale Linienführung entspricht in etwa der des Betriebstunnels. Der HAA-Lüftungstunnel hat eine Länge von ca. 2'900 m (mit dem Teil des Lüftungstunnels im ZB).

Der Bautunnel führt mit einer Gesamtlänge von ca. 3'030 m ab dem Betriebsschacht im ZB zum ersten Querverbindungstunnel HAA und liegt anschliessend mit einem Achsabstand von 60 m nördlich zum HAA-Lüftungstunnel. Am östlichen Ende des HAA-Hauptlagers wird er über eine Kurve an den HAA-Betriebstunnel angeschlossen. Nach einer anfänglichen Steigung ab dem BS im zentralen Bereich fällt der Bautunnel anschliessend bis zum ersten Querverbindungstunnel HAA. Danach entspricht die vertikale Linienführung der des HAA-Betriebstunnels.

Insgesamt sechs Querverbindungstunnel HAA (NP D20) sowie die Kurve am Ende der Lagerfeldzugänge verbinden die Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel HAA miteinander. Die Querverbindungen weisen jeweils ein Gefälle von 1 % in Richtung des Bautunnels auf. Ab dem Einlagerungsbetrieb trennt eine Schleuse zwischen dem Betriebs- und Lüftungstunnel HAA sowie eine Schleuse im HAA-Betriebstunnel den Überwachungsbereich (Betriebstunnel mit Einlagerungsbetrieb) vom konventionellen Bereich (tlw. Lüftungstunnel, Bautunnel und Betriebstunnel mit Bautätigkeit).

6.2 JO HAA- Einzellager - Lagerkonfiguration und Modulübersicht

Das Lagerprojekt HAA-Einzellager am Standort JO ist in den Plänen gemäss Tab. 6-2 dokumentiert.

Tab. 6-2: Auflistung Pläne des Lagerprojekts HAA-Einzellager am Standort JO

Die Pläne sind in Beilage 1 – Planmappe dieses Berichts enthalten. Die Plan-Nr. entspricht derjenigen gemäss Planmappe. Bei der Plan-Nr. A4 wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet, sie kann jedoch der Planliste der Planmappe entnommen werden.

Plan-Nr.	Bezeichnung	Massstab
A2-2.1	HAA-Lager: Situation Gesamtanlage mit Zugangstunnel	1:10'000
A2-2.2	HAA-Lager: Situation Gesamtanlage ohne Zugangstunnel	1:5'000
A2-2.3	HAA-Lager: 3D-Ansicht Module untertag	---
A2-2.4	HAA-Lager: Situation Anlagen untertag – Bauwerke / Normalprofile	1:5000
A2-2.5	HAA-Lager: Situation Anlagen untertag – ZB und Portalbereich – Bauwerke / Normalprofile	1: 2000 / 1:5000
A2-2.6	HAA-Lager: 3D-Ansicht Zuordnung Normalprofile	
A2-4.1	Lagerkammern HAA und SMA, Längenprofile	1:2000
A4-x.x	Normalprofile, Ausbruch und Sicherung	1:100 / 50 / 25

Fig. 6-3 zeigt das Lagerprojekt mit standortspezifischen Grobmessungen, wie etwa die Tiefe des Lüftungsschachts, die Bauwerke auf Lagerebene und die laterale Ausdehnung des Lagerfelds. Für mehr Details, Masse und Modulbezeichnungen wird auf Plan A2-2.3 gemäss Tab. 6-2 der Planmappe in Beilage 1 verwiesen. Fig. 6-4 zeigt die Situation des HAA-Einzellagers am Standort JO (entspricht dem Plan A2-2.1 gemäss Tab. 6-2).

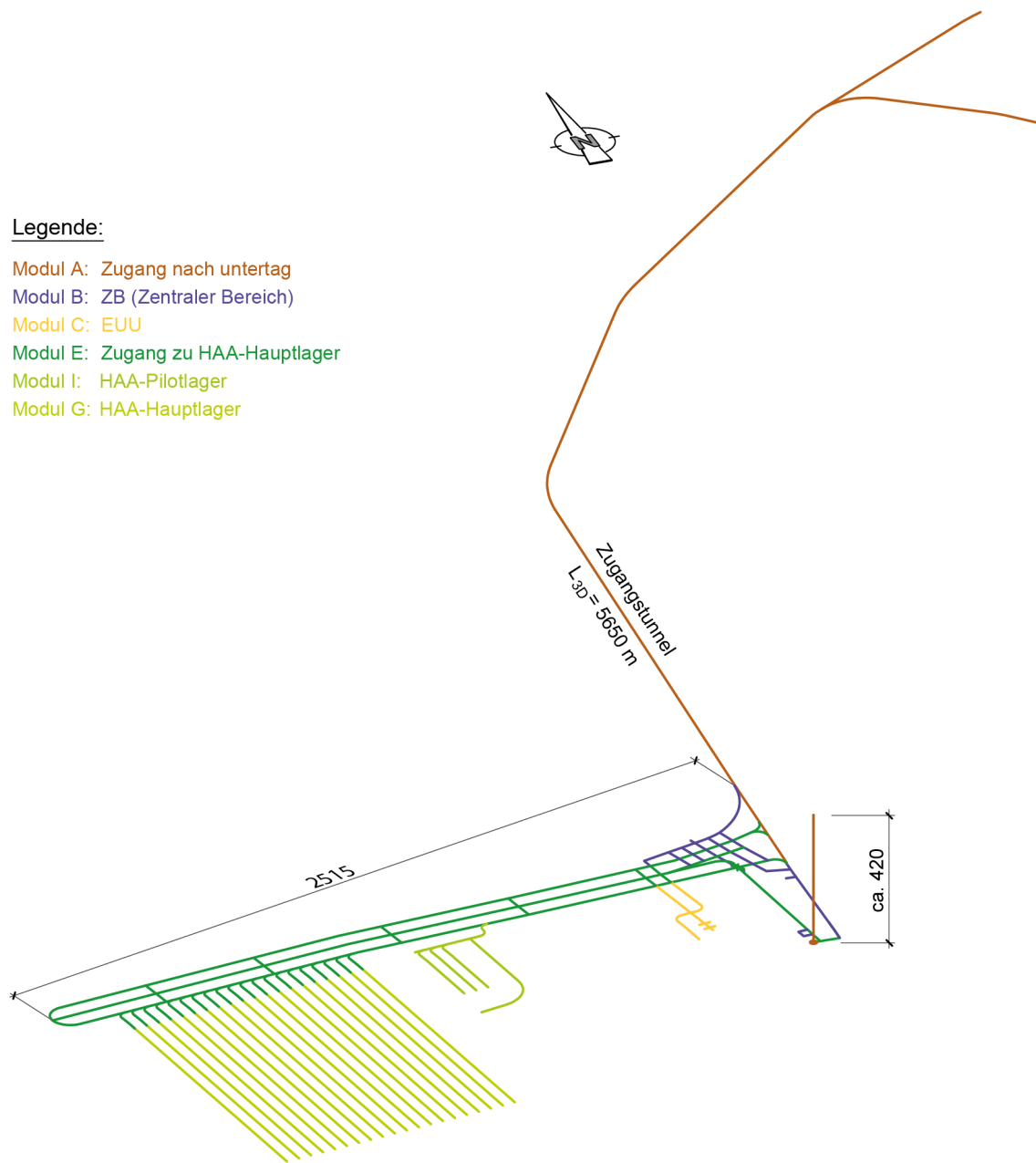


Fig. 6-3: Lagerkonfiguration des HAA-Einzellagers am Standort JO mit Modulbezeichnung

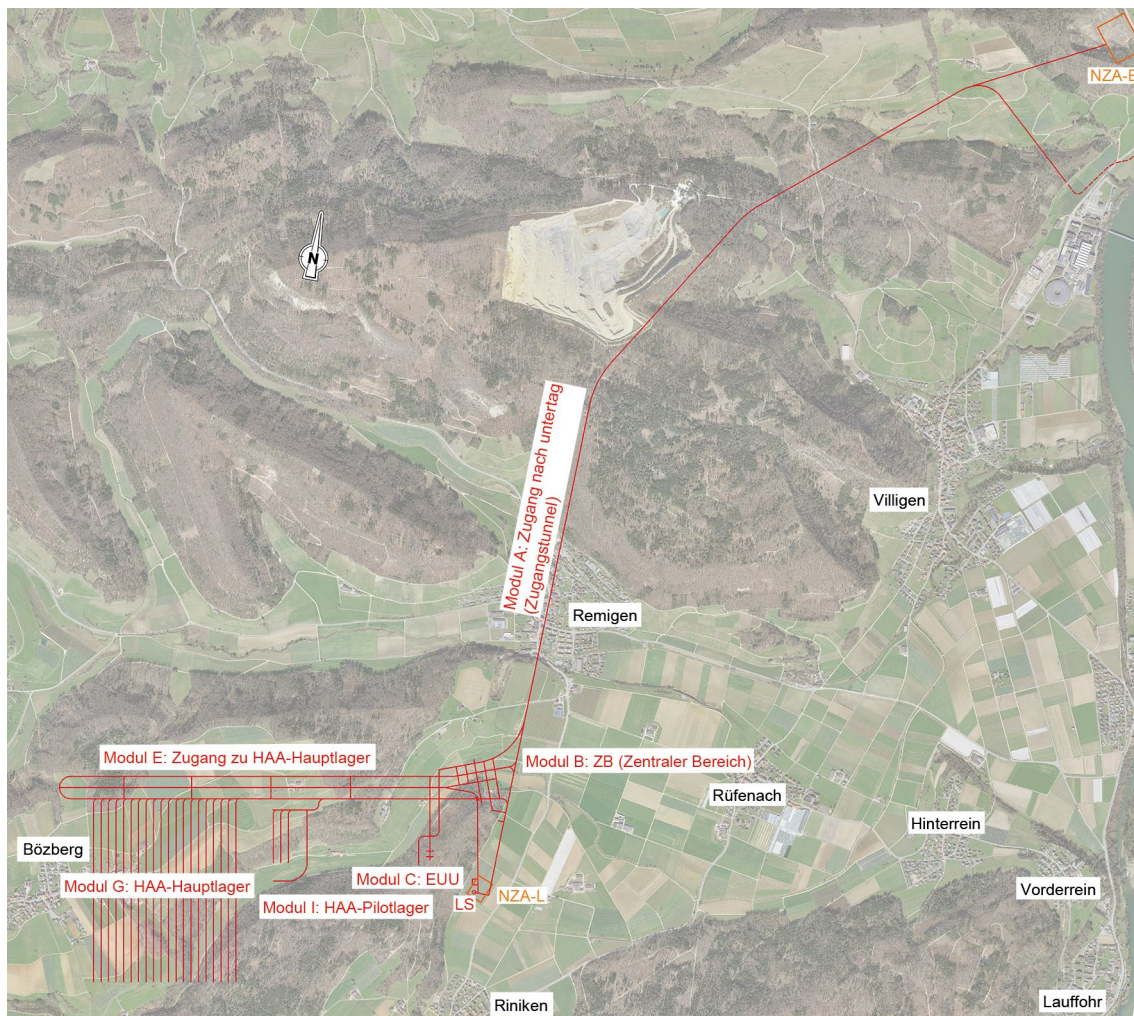


Fig. 6-4: Situation HAA-Einzellager am Standort JO

Für ein leichteres Verständnis der nachfolgenden Ausführungen, vor allem bei der Beschreibung des Moduls B – zentraler Bereich, wird empfohlen, den Plan A2-2.5 vorgängig zu studieren.

6.2.1 JO-HAA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B

Anders als bei dem Standort NL (und ZNO, siehe Kap. 6.3) erfolgt die Erschließung der untertägigen Bauwerke des HAA-Einzellagers am Standort JO nicht mit drei Schächten, sondern mit einem einröhrigen (Betriebs-)Zugangstunnel und einem Lüftungsschacht.

Die Linienführung des Zugangstunnels und die Lage des Lüftungsschachts einerseits sowie die Lage des HAA-Hauptlagers mit dessen Lagerfeldzugängen andererseits bestimmen wiederum das Layout des zentralen Bereichs.

Der rund 420 m tiefe Lüftungsschacht (NP S40, S50 und S60) liegt am südlichen Ende des zentralen Bereichs.

Der einröhrige Betriebszugangstunnel (NP A90) wird ab der NZA-B «Tongrube Schmidberg» erstellt. Er dient in den ersten Nutzungsphasen als alleiniger Zugang für Betriebs- und Bauaktivitäten auf Lagerebene. Der rund 5.7 km langen (Betriebs-)Zugangstunnel liegt ab der NZA-B

in der Tongrube bis zu dessen Ende auf ganzer Länge im Opalinuston. Er verläuft ab der Tongrube zunächst mit einer Steigung von 2 %, um Wassereinschleppungen zu vermeiden, und fällt im weiteren Verlauf mit Neigung zwischen 10 % und 6 % bis zur Lagerebene.

Im oberen Abschnitt weist der (Betriebs-)Zugangstunnel einen Abzweiger auf, von dem ein Stichtunnel (NP A50, A20 und A10) zum Areal JO-3+ führt. Dieser Zugangstunnel wird ab diesem Areal, das für den bergmännischen Anschlag des Stichtunnels verwendet wird, als Tagbautunnel bis zur Aare-Brücke und weiter bis zum Zwilag-Areal geführt. Er wird ausschliesslich für die Einlagerung der HAA benötigt, die am Standort JO mit einer Zahnradbahn auf Lagerebene transportiert und dort umgeschlagen werden. Entgegen dem Betriebszugangstunnel ab der Tongrube wird der Stichtunnel als Zugang für die Betriebseinlagerung erst in Nutzungsphase 4 – Bau Lager HAA erstellt. Ab dem bergmännischen Anschlag auf dem Areal JO-3+ steigt der Zugangstunnel auf einer Länge von 200 m zunächst mit 2 % und fällt anschliessend mit 6 % bis 10 % bis zur Verzweigung mit dem (Betriebs-)Zugangstunnel.

Der (Betriebs-)Zugangstunnel weist für das HAA-Einzellager ab der Verzweigung mit dem Stichtunnel eine Trennwand auf, die den konventionellen Bereich (Betriebsabteil im Zugangstunnel) vom Überwachungsbereich (Einlagerungsabteil des Zugangstunnels) räumlich trennt. Dies ermöglicht, dass auf Lagerebene sowohl Bauwerke für die Bau- als auch für die Betriebsaktivitäten im zentralen Bereich an den (Betriebs-)Zugangstunnel angeschlossen werden können und dennoch entkoppelt voneinander sind.

Auf Lagerebene geht der (Betriebs-)Zugangstunnel in den ZB-Bahnhof für die Zahnradbahnen (NP A91) über, in dem während des Einlagerungsbetriebs die Endlagerbehälter (ELB) von der im Zugangstunnel verkehrenden Zahnradbahn auf die Betriebsfahrzeuge umgeladen werden. Am Anfang dieses Abschnitts (Bahnhof) wird das Betriebsabteil des (Betriebs-)Zugangstunnels mit einer Stirnwand abgeschlossen und im weiteren Verlauf des Tunnels auf die Trennwand verzichtet. Der ZB-Bahnhof wird auf einer Länge von 420 m horizontal ausgeführt.

Zudem werden weitere dem Überwachungsbereich zugeordnete Tunnel (Werkstatt Betrieb, Elektrostation, Einstellräume Betriebsfahrzeuge) an den Zugangstunnel angehängt. An den HAA-Betriebstunnel im Bereich des ZB schliessen weitere Tunnel bzw. Infrastrukturen des Überwachungsbereichs an (Betriebsraum 2, Tunnel für Wassertank, etc. – Details s. Plan A2-2.5 gemäss Tab. 6-2). Es handelt sich hier um Infrastrukturen im ZB, welche primär für die Einlagerung der HAA-Abfälle, jedoch z.T. bereits in den Nutzungsphasen 1 und 2 für die Weiterführung EEU benötigt werden. Südlich des Bahnhofs werden die Einstellräume der Betriebsfahrzeuge angeordnet (NP A91).

Ein Einstellraum für Rettungsfahrzeuge, eine Schutz- und Rettungskaverne (Rettungsraum für Personen) und eine Werkstatt Bau liegen zwischen den Tunneln bzw. Infrastrukturen des zentralen Bereichs, welche für die Einlagerung benötigt werden, und denjenigen, welche für den Bau beansprucht werden. Die drei Räume sind ab Einlagerungsbeginn mittels Schleusen an die im Überwachungsbereich liegenden Tunnel / Bauten angebunden.

Der konventionelle Bereich im ZB liegt dabei nördlich des HAA-Betriebstunnels. In schachbrettartiger Anordnung liegen in diesem Bereich verschiedene Tunnelabschnitte, die mit dem HAA-Lüftungstunnel und mit dem Bautunnel verbunden sind. Zudem sind Erschliessungstunnel zur Sicherstellung des Einbahnverkehrs für den Bau des HAA-Lagerteils vorgesehen. Weiter beherbergt dieser Teil des ZB verschiedene Tunnelabschnitte, welche Platz für Infrastrukturen für die Abwicklung der Baulogistik (Büros und Sanitäreinrichtungen, Werkstatt Bau, Elektroraum Bau, Abstellflächen Baufahrzeuge, Lagerflächen Bau, Zentrale Kühlanlage, etc.) über alle Ausbruchphasen bieten (Details s. Plan A2-2.5 gemäss Tab. 6-2). Der konventionelle Bereich des ZB ist über zwei Abzweiger (NP R11) an das Betriebsabteil des (Betriebs-)Zugangstunnels angeschlossen. Je ein Abzweiger ist für die Ein- und Ausfahrt des Baustellenverkehrs (LKWs) im Einbahnverkehr vorgesehen. Weiter bietet der konventionelle Bereich des ZB Platz für die

Materialbewirtschaftung. Das Ausbruchmaterial aus den Vortrieben wird via Dumper bis zum Zwischenlager des Ausbruchmaterials transportiert. Von dort wird es via Brecher und Förderband über die Ausfahrt Baustellenverkehr (NP R11) und das Betriebsabteil des (Betriebs-)Zugangstunnels bis zur NZA-B gefördert.

Die im Plan A2-2.5 gemäss Tab. 6-2 als Option im ZB dargestellte Betonanlage befindet sich an dessen nördlichem Rand. Auf diese Option kann ohne Auswirkungen auf das eigentliche Layout des ZB verzichtet werden.

Der ZB-Bahnhof stellt den Tiefpunkt des Überwachungsbereichs dar.

6.2.2 JO-HAA: EEU-Bereich, Modul C

Die Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EEU) befinden sich im Nahbereich des ZB südlich des HAA-Betriebstunnels (s. Plan A2-2.5 gemäss Tab. 6-2). Neben dem EEU-Erschliessungstunnel (NP D20) besteht über eine weitere Erschliessung, die in den Betriebsraum Testbereich (NP R10) und den Betriebsraum 1 (NP R10) übergeht, ein zweiter Zugang zum EEU-Bereich.

6.2.3 JO-HAA: Lagerteil HAA, Module E, G und I

Modul G – Hauptlager HAA

Das HAA-Hauptlager liegt westlich des (Betriebs-)Zugangstunnels und des zentralen Bereichs. Die HAA-Lagerstollen weisen alle ein Gefälle von ca. 4 % auf.

Modul I – Pilotlager HAA

Das Pilotlager liegt ebenfalls westlich des (Betriebs-)Zugangstunnels und des zentralen Bereichs (Modul B), jedoch östlich des HAA-Hauptlagers (Modul G). Den Zugang zum Pilotlager bildet ein ab dem HAA-Betriebstunnel steigender Pilotlagerzugangstunnel.

Modul E - Lagerfeldzugänge

Die drei Lagerfeldzugänge (Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel, NP D20) verlaufen mehrheitlich parallel zueinander und erschliessen das HAA-Lagerfeld von Norden her.

Im Bereich des Bahnhofs beginnt der HAA-Betriebstunnel (NP D20), um die HAA bis zum HAA-Hauptlager transportieren zu können. Ab dem ZB verläuft der HAA-Betriebstunnel zunächst steigend in Richtung HAA-Hauptlager am EEU-Bereich und dem Pilotlager vorbei und wechselt kurz vor dem HAA-Lagerfeld bis zum letzten, d.h. westlichsten Lagerstollenabzweiger in einen fallenden Tunnel. Dadurch entsteht vor dem HAA-Lagerfeld wiederum ein Hochpunkt. Vor den Querverbindungen wird der Betriebstunnel jeweils auf einer Länge von 20 m aufgeweitet (NP W10). Im Bereich des HAA-Hauptlagers werden die Lagerstollen, respektive die Umladebereiche, mit gegen Ende ansteigenden (Hochpunkt) Lagerstollenabzweigern (NP D20) an den Betriebstunnel angeschlossen. Der Betriebstunnel hat eine Länge von ca. 2'750 m.

Der HAA-Lüftungstunnel verläuft mit einer Gesamtlänge von ca. 3'000 m ab dem Lüftungsschacht zunächst steigend Richtung Nord, überquert den HAA-Betriebstunnel südlich des zentralen Bereichs und fällt anschliessend zur ersten Querverbindung Richtung Westen wieder ab. Ab dort folgt der HAA-Lüftungstunnel mit einem nördlichen Abstand von 60 m dem HAA-Betriebstunnel. Am westlichen Ende des Hauptlagerfelds wird er über eine Kurve des Bautunnels an den Betriebstunnel angeschlossen. Im ZB verzweigt sich der HAA-Lüftungstunnel und belüftet

somit sowohl das Lagerfeld als auch den zentralen Bereich. Im konventionellen Bereich befindet sich je ein Tiefpunkt beim Lüftungsschacht und im ZB.

Der Bautunnel führt ab der Einfahrt Baustellenverkehr (NP R11) im ZB, die an das Betriebsabteil des (Betriebs-)Zugangstunnels anschliesst, zum ersten Querverbindungstunnel HAA und liegt anschliessend mit einem Achsabstand von 60 m parallel zum HAA-Lüftungstunnel. Am westlichen Ende des HAA-Hauptlagers wird er über eine Kurve an den HAA-Betriebstunnel angeschlossen. Die Längsneigung des Bautunnels entspricht ab dem ZB derjenigen des HAA-Lüftungstunnels. Der Bautunnel besitzt eine Länge von ca. 2'430 m.

Insgesamt sieben Querverbindungstunnel HAA (NP D20) sowie die Kurve am westlichen Ende der Lagerfeldzugänge verbinden den Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel HAA miteinander. Die Querverbindungen weisen jeweils ein Gefälle von 1 % in Richtung Bautunnel auf. Ausgenommen sind die beiden Querverbindungen nahe dem ZB, die mit einem Gefälle zwischen 1.1 % und 2.2 % zur Mitte Richtung HAA-Lüftungstunnel fallen.

6.3 ZNO HAA-Einzellager - Lagerkonfiguration und Modulübersicht

Das Lagerprojekt HAA-Einzellager am Standort ZNO ist in den Plänen gemäss Tab. 6-3 dokumentiert.

Tab. 6-3: Auflistung Pläne des Lagerprojektes HAA-Einzellager am Standort ZNO

Die Pläne sind in Beilage 1 – Planmappe dieses Berichts enthalten. Die Plan-Nr. entspricht derjenigen gemäss Planmappe. Bei der Plan-Nr. A4 wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet, sie kann jedoch der Planliste der Planmappe entnommen werden.

Plan-Nr.	Bezeichnung	Masstab
A3-2.1	HAA-Lager: Situation Gesamtanlage	1:5000
A3-2.2	HAA-Lager: 3D-Ansicht Module untertag	---
A3-2.3	HAA-Lager: Situation Anlagen untertag – Bauwerke / Normalprofile	1:5000
A3-2.4	HAA-Lager: Situation Anlagen untertag – zentraler Bereich – Bauwerke / Normalprofile	1:2000
A3-2.5	HAA-Lager: 3D-Ansicht Zuordnung Normalprofile	---
A3-4.1	Lagerkammern HAA und SMA, Längenprofile	1:2000
A4-x.x	Normalprofile, Ausbruch und Sicherung	1:100 / 50 / 25

Fig. 6-5 zeigt das Lagerprojekt mit standortspezifischen Grobmessungen, wie etwa die Tiefe des ZB, die Bauwerke auf Lagerebene und die laterale Ausdehnung des Lagerfelds. Für mehr Details, Masse und Modulbezeichnungen wird auf Plan A3-2.2 gemäss Tab. 6-3 der Planmappe in Beilage 1 verwiesen. Fig. 6-6 zeigt die Situation des HAA-Einzellagers am Standort ZNO (entspricht dem Plan A3-2.1 gemäss Tab. 6-3).

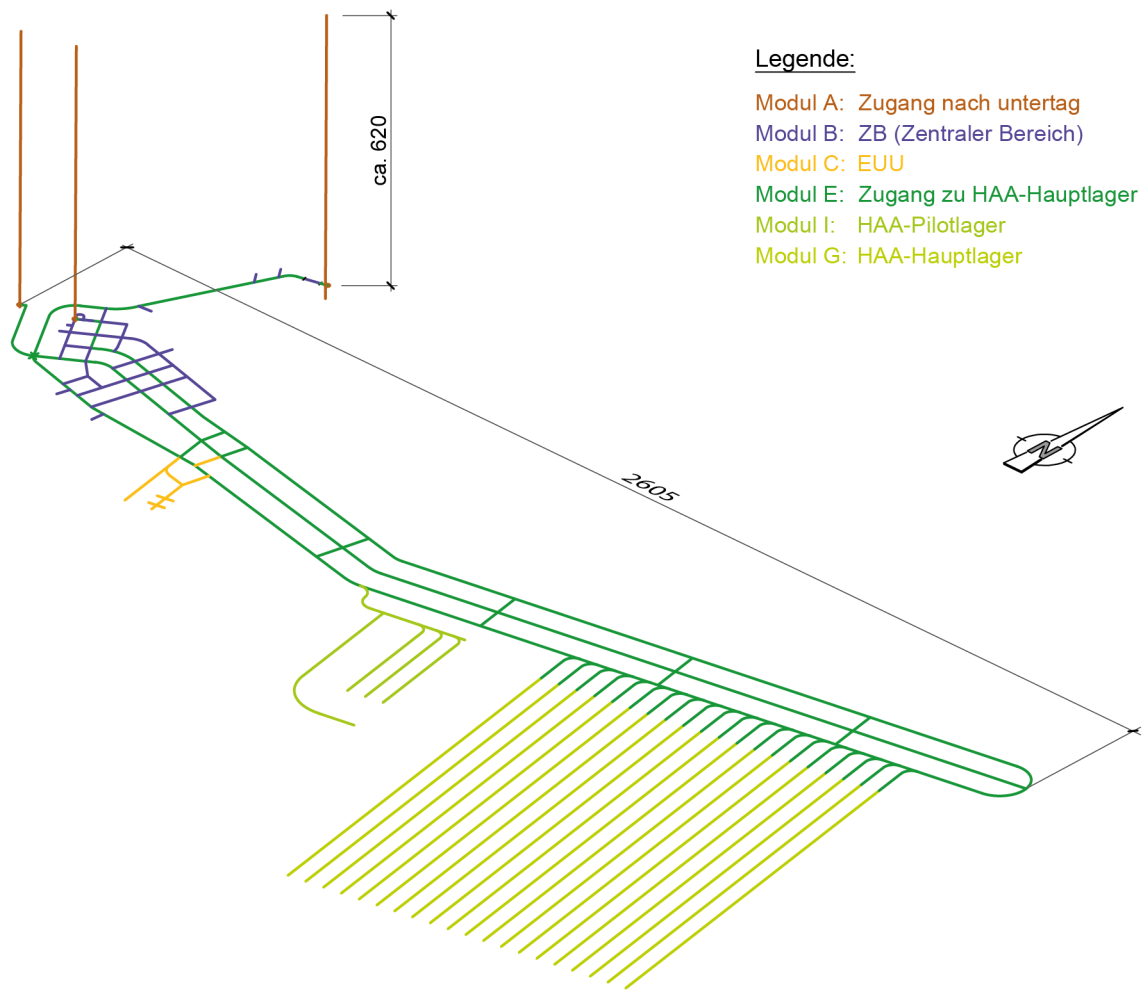


Fig. 6-5: Lagerkonfiguration des HAA-Einzellagers am Standort ZNO mit Modulbezeichnung

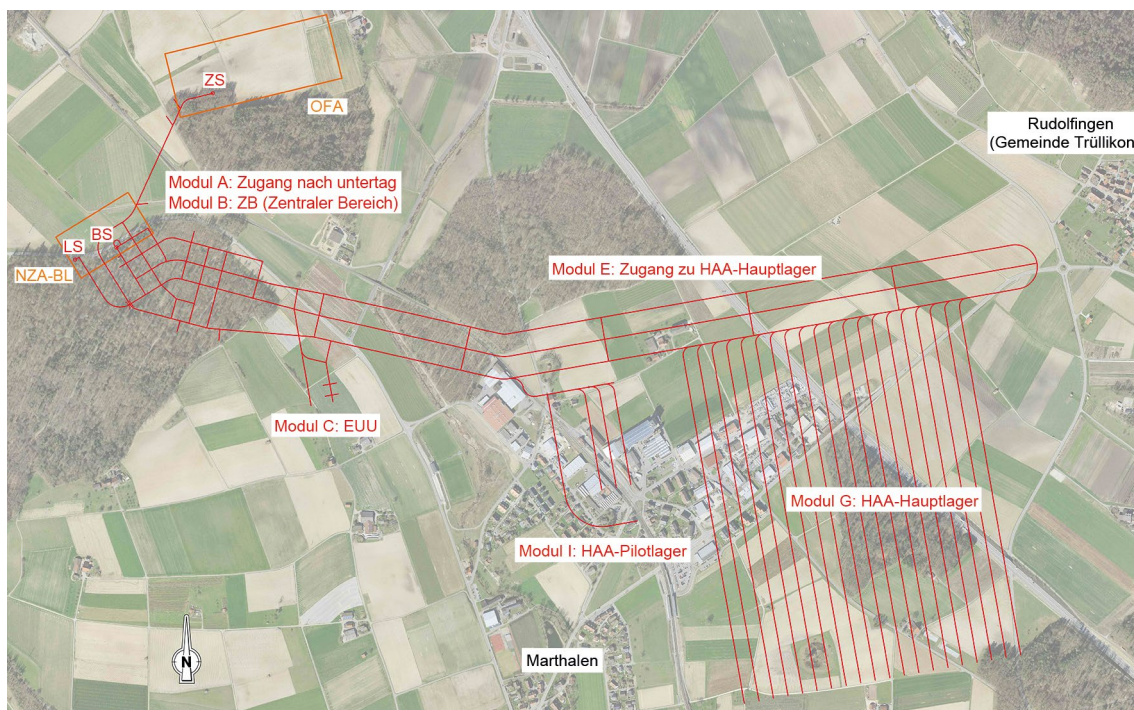


Fig. 6-6: Situation HAA-Einzellager am Standort ZNO

Für ein leichteres Verständnis der nachfolgenden Ausführungen, vor allem bei der Beschreibung des Moduls B – zentraler Bereich, wird empfohlen, den Plan A3-2.4 vorgängig zu studieren.

6.3.1 ZNO-HAA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B

Die Lagerebene wird, analog dem HAA-Einzellager am Standort NL, mit drei Schächten, dem Betriebs-, Lüftungs- und Zugangsschacht, erschlossen. Die Lage dieser Schächte einerseits sowie die Lage des HAA-Hauptlagers mit dessen Lagerfeldzugängen andererseits bestimmen das Layout des zentralen Bereichs.

Der Zugangsschacht (ZS), der auf dem OFA-Areal liegt, weist eine Tiefe von rund 620 m auf. Der Betriebsschacht (BS) als auch der Lüftungsschacht (LS), die beide auf dem NZA-Areal liegen, weisen eine Tiefe von rund 600 m auf.

Der zentrale Bereich liegt südlich des ZS und östlich des Betriebs- respektive Lüftungsschachts. Ab dem Schachtfuss des ZS verläuft der HAA-Betriebstunnel zunächst südlich und dann westlich und umfährt so den zentralen Bereich auf dessen West- und Südseite. Der konventionelle Bereich der Bauwerke des ZB liegt dabei, mit Ausnahme der Werkstatt Bau, im nördlichen Teil des ZB. Die für den Betrieb benötigten Bauwerke und Infrastrukturen schliessen an den HAA-Betriebstunnel im zentralen Bereich an und liegen somit südlich innerhalb des ZB.

Analog zum ZB-Rangierbereich vor dem Zugangsschacht liegt vor dem Schachtfuss des Betriebsschachts (BS) eine Kreuzungsstelle für den Auf- und Abschub von Baufahrzeugen.

Die im Plan A3-2.4 gemäss Tab. 6-3 als Option im ZB dargestellte Betonanlage befindet sich an dessen nordöstlichem Rand.

Der Betriebsschacht (BS) sowie der HAA-Lüftungstunnel im Unterquerungsbereich (siehe Kap. 6.3.3) vom HAA-Betriebstunnel stellen im konventionellen Bereich des ZB die Tiefpunkte dar.

Die verschiedenen Tunnel des schachbrettartigen zentralen Bereichs fallen mit rund 1 % Gefälle in Richtung Schachtfuss des BS. Der Zugangsschacht bildet im zentralen Bereich den Tiefpunkt des Überwachungsbereichs.

6.3.2 ZNO-HAA: EUU-Bereich, Modul C

Die Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) befinden sich ungefähr auf halber Strecke zwischen dem ZB und dem HAA-Pilotlager (s. Pläne A3-2.3 und A3-2.4 gemäss Tab. 6-3). Neben dem EUU-Erschliessungstunnel besteht über den Betriebsraum 1 ein zweiter Zugang zum EUU-Bereich. Der Betriebsraum Testbereich wird in einer Querverbindung angeordnet.

6.3.3 ZNO-HAA: Lagerteil HAA, Module E, G und I

Modul G – Hauptlager HAA

Das HAA-Hauptlager liegt östlich des zentralen Bereichs (Modul B). Die HAA-Lagerstollen weisen alle ein Gefälle von ca. 8 % auf.

Modul I – Pilotlager HAA

Das Pilotlager liegt östlich des zentralen Bereichs (Modul B), jedoch westlich des HAA-Hauptlagers (Modul G). Den Zugang zum Pilotlager bildet ein ab dem HAA-Betriebstunnel zunächst steigender (Hochpunkt), dann fallender Pilotlagerzugangstunnel.

Modul E - Lagerfeldzugänge

Nach der Umfahrung des ZB setzt sich der HAA-Betriebstunnel in östlicher Richtung zum EUU-Bereich und weiter zum HAA-Pilot- und Hauptlager fort und weist eine Länge von ca. 3'200 m auf. Der HAA-Betriebstunnel hat im zentralen Bereich zwei Hochpunkte und überfährt den HAA-Lüftungstunnel südlich des zentralen Bereichs. Nach dem ZB fällt er mit unterschiedlichen Längsneigungen bis zum Anschluss an den Bautunnel. Der Tiefpunkt des Moduls E ist daher der östliche Endpunkt des Betriebstunnels. Da das HAA-Haupt- und -Pilotlager tiefer liegen als der zentrale Bereich und der HAA-Betriebstunnel ebenfalls fällt, werden die HAA-Lagerstollen mit einem steigenden Lagerstollenabzweiger an den Betriebstunnel angeschlossen.

Ab dem Schachtfuss des Lüftungsschachts (LS) steigt der ca. 2'700 m lange HAA-Lüftungstunnel anfänglich um 1 % (der Schachtfuss ist der Tiefpunkt) und fällt anschliessend mit 12 % Neigung, damit er den HAA-Betriebstunnel südlich des zentralen Bereichs unterqueren kann, bevor er um 12 % steigt, um das Niveau des zentralen Bereichs zu erlangen. Am östlichen Ende des ZB, im Bereich der optionalen Betonanlage, erreicht er den Hochpunkt und weist danach ähnliche Längsneigungen auf wie diejenigen des HAA-Betriebstunnels. Am östlichen Ende des Hauptlagerfelds wird er über eine Kurve des Bautunnels an den Betriebstunnel angeschlossen.

Der ca. 2'900 m lange Bautunnel führt ab dem Betriebsschacht (BS) durch den ZB und verläuft anschliessend parallel, mit einem Achsabstand von 60 m, nördlich des HAA-Lüftungstunnels mit vergleichbaren Längsneigungen. Am östlichen Ende des HAA-Hauptlagers wird er über eine Kurve an den HAA-Betriebstunnel angeschlossen.

Insgesamt sechs Querverbindungstunnel HAA (NP D20) sowie die Kurve am östlichen Ende der Lagerfeldzugänge verbinden den Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel HAA miteinander. Die Querverbindungen weisen jeweils mehrheitlich ein Gefälle von 1 % in Richtung Bautunnel auf.

7 Beschrieb Kombilager am Standort NL

Das Lagerprojekt Kombilager am Standort NL ist in den Plänen gemäss Tab. 7-1 dokumentiert.

Tab. 7-1: Auflistung Pläne des Lagerprojekts Kombilager am Standort NL

Die Pläne sind in Beilage 1 – Planmappe dieses Berichts enthalten. Die Plan-Nr. entspricht derjenigen gemäss Planmappe. Bei der Plan-Nr. A4 wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet, sie kann jedoch der Planliste der Planmappe entnommen werden.

Plan-Nr.	Bezeichnung	Massstab
A1-1.1	Kombilager: Situation Gesamtanlage	1 : 5'000
A1-1.2	Kombilager: 3D-Ansicht Module untertag	---
A1-1.3	Kombilager: Situation Anlagen untertag – Bauwerke / Normalprofile	1 : 5'000
A1-1.4	Kombilager: Situation Anlagen untertag – zentraler Bereich – Bauwerke / Normalprofile	1 : 2'000
A1-1.5	Kombilager: 3D-Ansicht Zuordnung Normalprofile	---
A1-4.1	Lagerkammern HAA und SMA, Längenprofile	1 : 2'000
A4-x.x	Normalprofile, Ausbruch und Sicherung	1 : 100 / 50 / 25

7.1 NL-Kombi: Lagerkonfiguration und Modulübersicht

Fig. 7-1 zeigt das Lagerprojekt mit standortspezifischen Grobabmessungen, wie etwa die Tiefe des ZB, die Bauwerke auf Lagerebene und die laterale Ausdehnung des Lagerfelds. Für mehr Details, Masse und Modulbezeichnungen wird auf Plan A1-1.2 gemäss Tab. 7-1 der Planmappe in Beilage 1 verwiesen. Fig. 7-2 zeigt die Situation des Kombilagere am Standort NL (entspricht dem Plan A1-1.1 gemäss Tab. 7-1).

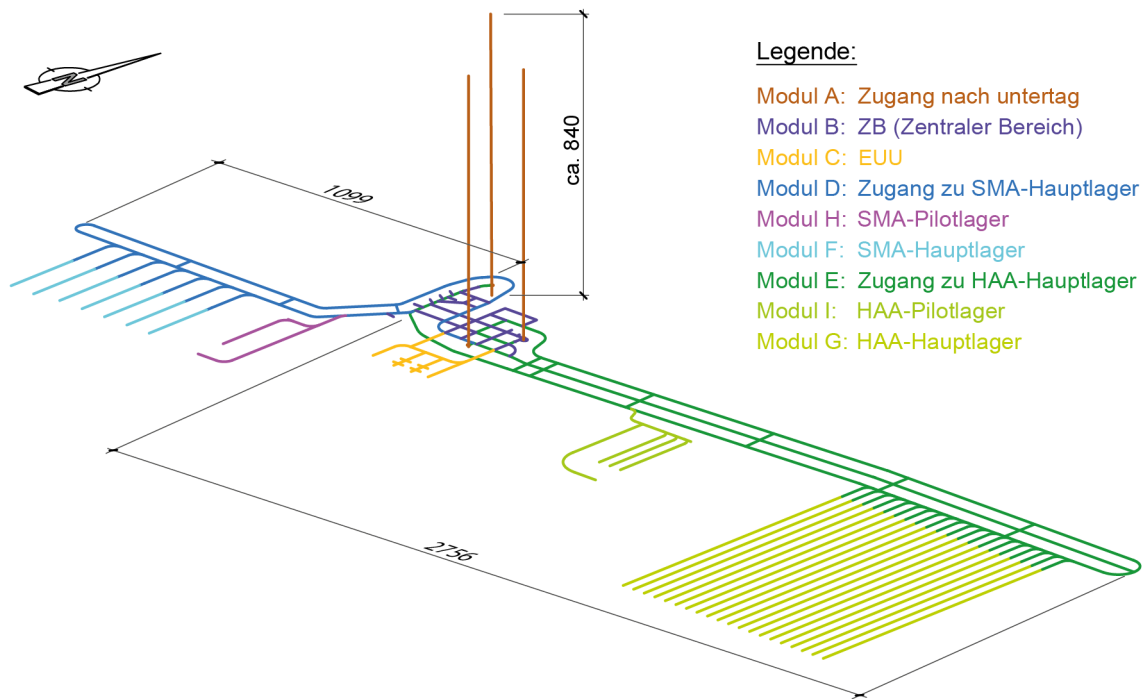


Fig. 7-1: Lagerkonfiguration des Kombilagers am Standort NL mit Modulbezeichnung

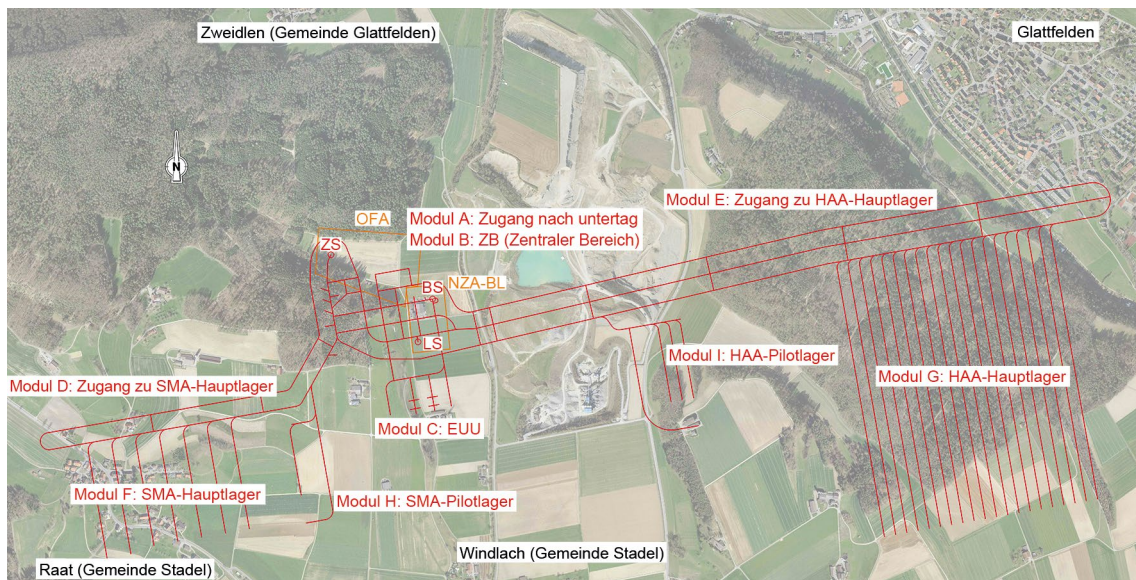


Fig. 7-2: Situation Kombilager am Standort NL

Das Kombilager am Standort NL unterscheidet sich vom HAA-Einzellager (vgl. Beschreibung im Kap. 6.1) im Wesentlichen durch Hinzufügen des SMA-Teils, d.h. der Module D (Zugang zum SMA-Hauptlager), F (SMA-Hauptlager) und H (SMA-Pilotlager). Das Layout der Zugänge nach untertag (Modul A), des zentralen Bereichs (Modul B), des Zugangs zum HAA-Hauptlager (Modul E) inkl. HAA-Hauptlager (Modul G) und HAA-Pilotlager (Modul I) entsprechen über-

wiegend dem Layout aus dem HAA-Einzellager am Standort NL. Nachfolgend werden daher nur die Unterschiede in den einzelnen Modulen erläutert, sofern diese vorhanden sind.

7.1.1 NL-Kombi: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B

Die Lagerebene wird, wie beim HAA-Einzellager, mit drei Schächten gleicher Lage und Länge erschlossen. Das Layout des zentralen Bereichs entspricht dem des HAA-Einzellagers am Standort NL.

Ab dem Schachtfuss des Zugangsschachts führt der Betriebstunnel hier jedoch zu einem Y-Abzweiger, bei dem er sich in den SMA-Betriebstunnel und HAA-Betriebstunnel aufteilt und jeweils in Richtung SMA- resp. in Richtung HAA-Lagerfeld führt. Ab dem Schachtfussbereich des ZS steigt der Betriebstunnel zunächst mit 1 % Gefälle in Richtung Y-Abzweiger. Der Schachtfussbereich des ZS bildet damit innerhalb der Bauten einen Tiefpunkt im Überwachungsbereich der Anlage.

7.1.2 NL-Kombi: EUU-Bereich, Modul C

Die Lage und Erschliessung der Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (BEUU) entsprechen denen des HAA-Einzellagers am Standort NL (Details s. Plan A1-1.4 gemäss Tab. 7-1). Die SMA-Bereiche der BEUU werden westlich der HAA-Bereiche angeordnet.

Die Demonstrationsbauwerke SMA und HAA verfügen über die gleichen Querschnittsabmessungen und ähnliche Längsneigungen wie die Hauptlager HAA und SMA, jedoch mit verkürzten Längen. Sie verlaufen analog den Lagerkammern der Hauptlager ebenfalls in Hauptspannungsrichtung, d.h. parallel zu den SMA-Lagerkavernen und HAA-Lagerstollen der jeweiligen Haupt- und Pilotlager. Zwischen den Demonstrationsbauwerken befinden sich die Experimentbereiche für SMA und HAA.

7.1.3 NL-Kombi: Lagerteil SMA, Module D, F und H

Modul F – Hauptlager SMA

Das SMA-Hauptlager liegt südwestlich der Zugänge nach untertag und des zentralen Bereichs und dient der Einlagerung der SMA. Es besteht aus insgesamt 7 SMA-Lagerkavernen mit dem Normalprofil K90, die parallel mit einem Achsabstand von 85 m angeordnet sind. Die Längen der Lagerkavernen betragen zwischen 230 m (5 Stück) und 245 m (2 Stück). Vor den Lagerkavernen befindet sich der insgesamt 20 m lange Umladebereich, bestehend aus dem Abladebereich (NP M10) und dem Übernahmebereich (NP I10) der SMA. Der Umladebereich und die SMA-Lagerkavernen werden aus betrieblichen Gründen horizontal ausgebildet.

Modul H – Pilotlager SMA

Das SMA-Pilotlager, als eigenständiger, vom Hauptlager abgetrennter Teil des gTL, dient der Überwachung des Verhaltens der Abfälle bis zum Ablauf der Beobachtungsphase. Es liegt südlich der Zugänge nach untertag und des zentralen Bereichs (Modul B), jedoch östlich des SMA-Hauptlagers (Modul F). Es besteht aus einer SMA-Lagerkaverne (NP K90) mit einer Länge von 85 m. Der Umladebereich (NP M10 und I10) weist die gleiche Länge wie beim Hauptlager auf.

Den Zugang zum Pilotlager bildet ein SMA-Pilotlagerzugangstunnel, der vom SMA-Betriebstunnel abzweigt. Dieser verläuft gegen Ende steigend zur SMA-Pilotlagerkaverne, so dass sich vor der Pilot-Lagerkaverne ein Hochpunkt befindet.

Modul D – Lagerfeldzugänge SMA

Ab der Y-Verzweigung des Betriebstunnels führt der ca. 1'160 m lange SMA-Betriebstunnel aus dem ZB zum SMA-Pilotlager und von dort westlich zum SMA-Hauptlager. Der SMA-Betriebstunnel verläuft ab dem SMA-Pilotlager steigend bis ans Ende des SMA-Hauptlagers. Die vertikale Linienführung des Betriebstunnels ist so gewählt, dass die mit dem Betriebstunnel SMA verbundenen Haupt- und Pilotlagerkavernen optimal, sprich so mittig wie möglich, im Opalinuston platziert werden können. Vom SMA-Betriebstunnel zweigen jeweils die Lagerkavernenabzweiger (NP D20) steigend Richtung Lagerkaverne ab und gehen in den Lagerkavernenabzweigertunnel (NP D20) über. Diese verlaufen horizontal Richtung Lagerkaverne und gewährleisten den Sicherheitsabstand der V1-Versiegelung (Versiegelung der Lagerkavernen) zur Achse des SMA-Betriebstunnels.

Ab dem Schachtfuss des Lüftungsschachts (LS) führt der SMA-Lüftungstunnel mit einer Gesamtlänge von ca. 2'120 m kreuzungsfrei um den Zugangsschacht herum und verläuft anschliessend mit einem Achsabstand von 60 m parallel zum SMA-Betriebstunnel. Am westlichen Ende des SMA-Lagerfelds ist der SMA-Lüftungstunnel mit dem SMA-Betriebstunnel über eine Kurve verbunden. Ab dem Schachtfuss des LS steigt der Lüftungstunnel SMA bis zu einem Hochpunkt westlich des Zugangsschachts. Anschliessend fällt er bis zum ersten Querverbindungstunnel SMA, der den SMA-Lüftungs- und den SMA-Betriebstunnel miteinander verbindet. Ab dieser ersten Querverbindung entspricht die Längsneigung derjenigen des SMA-Betriebstunnels.

Insgesamt drei Querverbindungstunnel SMA (NP D20) sowie die Kurve am Ende der Lagerfeldzugänge verbinden den SMA-Lüftungs- und den SMA-Betriebstunnel miteinander. Die Querverbindungen weisen jeweils Gefälle in Richtung SMA-Lüftungstunnel auf. Ab der Betriebs-einlagerung trennt jeweils eine Schleuse den Überwachungsbereich (SMA-Betriebstunnel und daran angeschlossene Lagerkavernen) vom konventionellen Bereich (SMA-Lüftungstunnel). Der Tiefpunkt der Lagerfeldzugänge SMA liegt zwischen dem Pilot- und Hauptlager.

7.1.4 NL-Kombi: Lagerteil HAA, Module E, G und I

Modul G – Hauptlager HAA

Das HAA-Hauptlager entspricht dem HAA-Hauptlager des Einzellagers am Standort NL (vgl. Modul G in Kap. 6.1.3).

Modul I – Pilotlager HAA

Das HAA-Pilotlager des Kombilagers entspricht dem HAA-Pilotlager des Einzellagers am Standort NL (vgl. Modul I in Kap. 6.1.3).

Modul E – Lagerfeldzugänge HAA

Die Lage, die Längsneigung und die Länge der HAA-Lagerfeldzugänge (HAA-Betriebs-, HAA-Lüftungs- und Bautunnel) entsprechen denen des Lagerprojekts HAA-Einzellager am Standort NL (vgl. Kap. 6.1).

Der HAA-Betriebstunnel entspricht ab dem Zugangsschacht bis zum HAA-Lagerfeld dem Betriebstunnel des HAA-Einzellagers (vgl. Modul E in Kap. 6.1.3). Abweichend ist lediglich die Y-Verzweigung, ab der der SMA-Betriebstunnel Richtung SMA-Lagerfeld abzweigt.

8 Beschrieb SMA-Einzellager an den Standorten JO und ZNO

8.1 JO SMA-Einzellager – Lagerkonfiguration und Modulübersicht

Das Lagerprojekt SMA-Einzellager am Standort JO ist in den Plänen gemäss Tab. 8-1 dokumentiert.

Tab. 8-1: Auflistung Pläne des Lagerprojekts SMA-Einzellager am Standort JO

Die Pläne sind in Beilage 1 – Planmappe dieses Berichts enthalten. Die Plan-Nr. entspricht derjenigen gemäss Planmappe. Bei der Plan-Nr. A4 wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet, sie kann jedoch der Planliste der Planmappe entnommen werden.

Plan-Nr.	Bezeichnung	Masstab
A2-3.1	SMA-Lager: Situation Gesamtanlage mit Zugangstunnel	1:10000
A2-3.2	SMA-Lager: Situation Gesamtanlage ohne Zugangstunnel	1:5000
A2-3.3	SMA-Lager: 3D-Ansicht Module untertag	---
A2-3.4	SMA-Lager: Situation Anlagen untertag - Bauwerke / Normalprofile	1:5000
A2-3.5	SMA-Lager: Situation Anlagen untertag – ZB und Portalbereich – Bauwerke / Normalprofile	1:2000 / 1:5000
A2-3.6	SMA-Lager: 3D-Ansicht Zuordnung Normalprofile	---
A2-4.1	Lagerkammern HAA und SMA, Längenprofile	1:2000
A4-x.x	Normalprofile, Ausbruch und Sicherung	1:100 / 50 / 25

Fig. 8-1 zeigt das Lagerprojekt mit standortspezifischen Grobmessungen, wie etwa die Tiefe des Lüftungsschachts, die Bauwerke auf Lagerebene und die laterale Ausdehnung des Lagerfelds. Für mehr Details, Masse und Modulbezeichnungen wird auf Plan A2-3.3 gemäss Tab. 8-1 der Planmappe in Beilage 1 verwiesen. Fig. 8-2 zeigt die Situation des SMA-Einzellagers am Standort JO (entspricht dem Plan A2-3.1 gemäss Tab. 8-1).

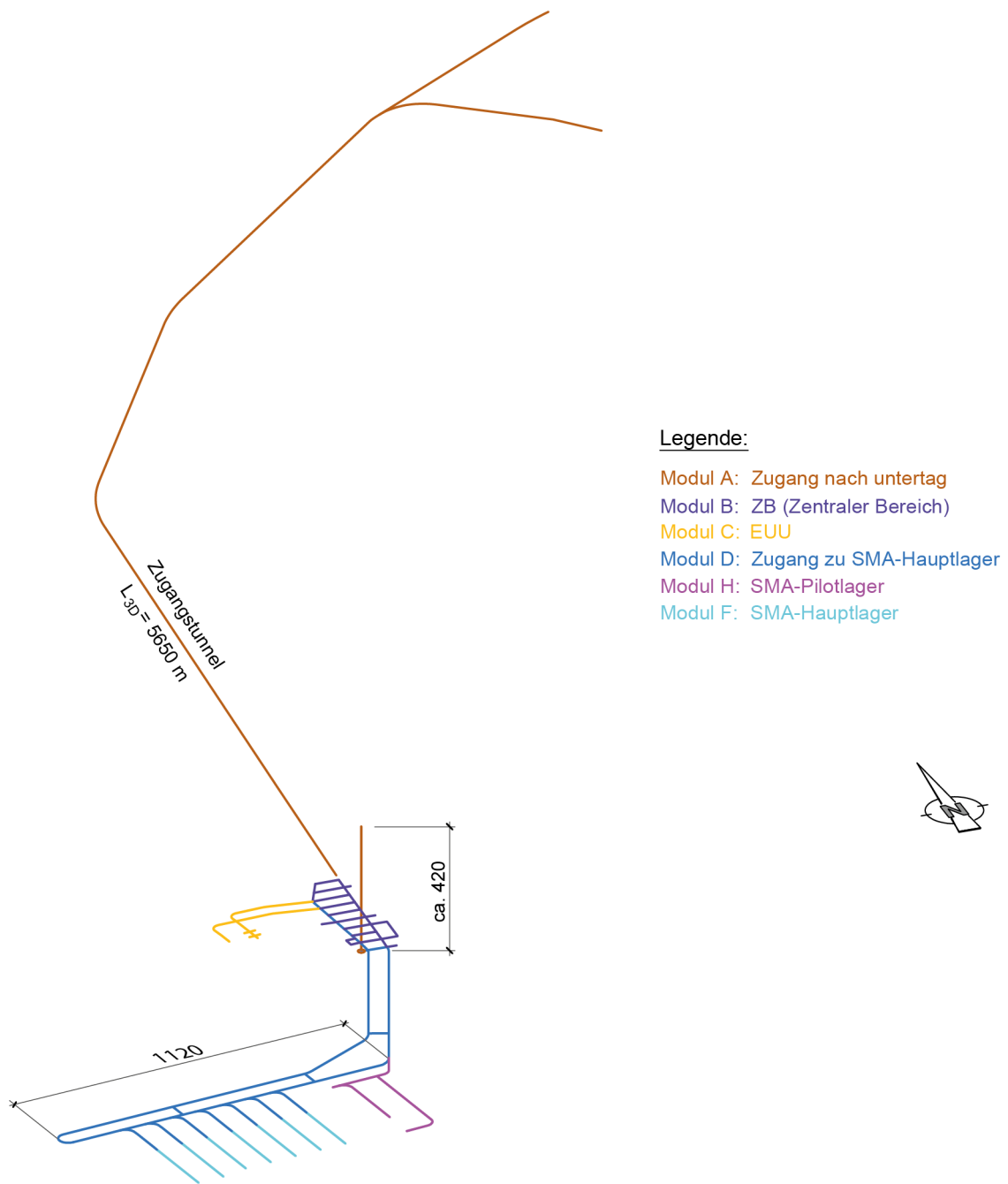


Fig. 8-1: Lagerkonfiguration des SMA-Einzellagers am Standort JO mit Modulbezeichnung



Fig. 8-2: Situation SMA-Einzellager am Standort JO

Für ein leichteres Verständnis der nachfolgenden Ausführungen, vor allem bei der Beschreibung des Moduls B – zentraler Bereich, wird empfohlen, den Plan A2-3.5 vorgängig zu studieren.

8.1.1 JO-SMA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B

Die Lage des Zugangstunnels und des Lüftungsschachts entspricht denjenigen des HAA-Einzellagers JO (s. Kapitel 6.2) und bestimmt zusammen mit der Lage des SMA-Hauptlagers mit dessen Lagerfeldzugängen das Layout des zentralen Bereichs.

Der rund 420 m tiefe Lüftungsschacht liegt am südlichen Ende des ZB.

Im oberen Abschnitt weist der (Betriebs-)Zugangstunnel ebenfalls einen Abzweiger auf, von dem ein Stichtunnel (NP A50, A20 und A10) zum Areal JO-3+ führt. Dieser Zugangstunnel wird ab dem Areal JO-3+ als Tagbautunnel bis kurz vor die neu zu erstellende Aare-Brücke geführt (Portal Tagbautunnel). Über die Brücke wird das Zwiilag-Areal (als OFA) angeschlossen. Der Stichtunnel wird ausschliesslich für die Einlagerung der SMA benötigt, die am Standort JO mit einer Zahnradbahn auf Lagerebene transportiert und dort umgeschlagen werden. Entgegen dem

Betriebszugangstunnel ab der Tongrube wird der Stichtunnel als Zugang für die Betriebseinlagerung erst in Nutzungsphase 3 – Bau Lager SMA erstellt. Die vertikale und horizontale Linienführung entspricht der des HAA-Einzellagerprojekts am Standort JO.

Analog dem HAA-Einzellager JO geht der Zugangstunnel (NP A90) auf Lagerebene in den ZB-Bahnhof (NP A91) über, in dem während des Einlagerungsbetriebs die ELB von der im Zugangstunnel verkehrenden Zahnradbahn auf Betriebsfahrzeuge umgeladen werden. Im Anschluss an den Bahnhof befinden sich die Einstellräume der Betriebsfahrzeuge (NP A91), die jedoch eine Vorbeifahrt ermöglichen. Bei einem SMA-Einzellager finden keine parallelen Bau- und Einlagerungsaktivitäten statt, so dass im (Betriebs-)Zugangstunnel (NP A90) keine Trennwand erforderlich ist.

Neben dem Anschluss des SMA-Betriebstunnels werden weitere dem Überwachungsbereich zugeordneten Tunnel (Betriebsraum 2, Elektrostation, Werkstatt Betrieb, Einstellräume Betriebsfahrzeuge, Kaverne Wassertank) an die Westseite des ZB-Bahnhofs angehängt (Details s. Plan A2-3.5 gemäss Tab. 8-1). Der ZB-Bahnhof, inkl. der Einstellräume für Betriebsfahrzeuge, ist horizontal ausgebildet. Es handelt sich hier um Infrastrukturen im ZB, welche primär für die Einlagerung der SMA-Abfälle, jedoch z.T. bereits in den Nutzungsphasen 1 und 2 für die Weiterführung des EUU-Betriebs benötigt werden.

Beim SMA-Einzellager erfolgen die Bau- und Betriebsphase zeitlich seriell. Dies erlaubt eine Doppelnutzung gewisser Bauwerke im zentralen Bereich während der jeweiligen Phasen. So dienen die Bauwerke des Betriebsraums 2 und der Werkstatt Betrieb in der Phase Bau als Schutz- und Rettungskaverne resp. Werkstatt Bau. Weitere dem konventionellen Bereich zugeordnete Bauwerke liegen in den übrigen Querverbindungen zwischen ZB-Bahnhof und dem SMA-Lüftungstunnel (je eine Ein- und Ausfahrt des Baustellenverkehrs, Einstellraum Rettungsfahrzeuge, Büros und Sanitär Bau, Abstellflächen Baufahrzeuge, Lagerflächen Bau – Details siehe Plan A2-3.5 gemäss Tab. 8-1) oder westlich des SMA-Lüftungstunnels (Elektroraum Bau, zentrale Kühlanlage). In den Betriebsphasen, mit Ausnahme der Phasen 1 und 2, sind die verbleibenden konventionellen Bereiche mittels Schleusen vom Überwachungsbereich abgetrennt.

Weiter bietet der konventionelle Bereich des ZB Platz für die Materialbewirtschaftung. Das Ausbruchmaterial aus dem Bau wird via Dumper bis zum Zwischenlager Ausbruchmaterial transportiert. Von dort wird es via Brecher und Förderband im Zugangstunnel zur NZA-B gefördert.

Die im Plan A2-3.5 gemäss Tab. 8-1 als Option im ZB dargestellte Betonanlage befindet sich westlich des Zugangstunnels. Auf diese Option kann ohne Auswirkungen auf das eigentliche Layout des ZB verzichtet werden.

Im ZB befindet sich je ein Tiefpunkt beim Lüftungsschacht und im nördlichen Bereich des ZB.

8.1.2 JO-SMA: EUU-Bereich, Modul C

Die Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) befinden sich westlich des zentralen Bereichs (s. Plan A2-3.5 gemäss Tab. 8-1). Neben dem EUU-Erschliessungstunnel (NP D20) besteht über eine weitere Erschliessung, die in den Betriebsraum Testbereich (NP R10) und den Betriebsraum 1 (NP R10) übergeht, ein zweiter Zugang zum EUU-Bereich.

Die Demonstrationsbauwerke SMA verfügen über die gleichen Querschnittsabmessungen und ähnliche Längsneigungen wie das Hauptlager SMA, jedoch mit verkürzten Längen. Sie verlaufen analog der Lagerkaverne des Hauptlagers ebenfalls in Hauptspannungsrichtung, d.h. parallel zu den SMA-Lagerkavernen des Haupt- und Pilotlagers. Daneben befinden sich die Experimentbereiche (NP D10).

8.1.3 JO-SMA: Lagerteil SMA, Module D, F und H

Modul F – Hauptlager SMA

Das SMA-Hauptlager liegt mit einigem Abstand südwestlich des Zugangstunnels respektive des zentralen Bereichs. Das SMA-Hauptlager entspricht ansonsten dem Modul F des Kombilagers am Standort NL (vgl. Kap. 7.1.3).

Modul H – Pilotlager SMA

Das Pilotlager liegt mit einigem Abstand südlich des Zugangstunnels respektive des zentralen Bereichs und östlich des SMA-Hauptlagers (Modul F). Den Zugang zum Pilotlager bildet ein SMA-Pilotlagerzugangstunnel, der vom SMA-Betriebstunnel steigend abzweigt.

Das SMA-Pilotlager entspricht ansonsten dem Modul H des Kombilagers am Standort NL (vgl. Kap. 7.1.3).

Modul D – Lagerfeldzugänge SMA

Ab dem SMA-Pilotlagertunnel steigt der SMA-Betriebstunnel bis zum Übergang zum SMA-Lüftungstunnel im Westen (Details zum Layout s. Plan A2-3.4 und A2-3.5 gemäss Tab. 8-1). Da das SMA-Haupt- und -Pilotlager tiefer liegen als der zentrale Bereich, ist beim Abzweiger des SMA-Pilotlagers ein Tiefpunkt angeordnet. Der SMA-Betriebstunnel hat eine Länge von ca. 1'750 m.

Der SMA-Lüftungstunnel mit einer Gesamtlänge von ca. 2'100 m ist an den Schachtfuss des Lüftungsschachts angeschlossen. Ab dem Schachtfuss verzweigt sich der SMA-Lüftungstunnel einerseits in Richtung des SMA-Lagerfelds als auch in entgegengesetzter Richtung zu den Bauwerken des ZB und des EUU-Bereichs. Mit einem Achsabstand von 60 m verläuft er parallel zum SMA-Betriebstunnel. Lediglich zwischen dem zweiten und dritten Querverbindungstunnel vergrössert sich der Abstand, um die Tunnellänge des SMA-Lüftungstunnels verkürzen zu können. Die Längsneigung entspricht ungefähr derjenigen des Betriebstunnels SMA. Lediglich im Abschnitt zwischen den beiden oben genannten Querverbindungstunnel ist aufgrund der kürzeren Strecke die Längsneigung des SMA-Lüftungstunnels höher.

Insgesamt vier Querverbindungstunnel SMA (NP D20) sowie die Kurve am Ende der Lagerfeldzugänge verbinden den SMA-Lüftungs- und den SMA-Betriebstunnel miteinander. Die Querverbindungen weisen jeweils ein Gefälle in Richtung SMA-Lüftungstunnel auf.

8.2 ZNO SMA-Einzellager - Lagerkonfiguration und Modulübersicht

Das Lagerprojekt SMA-Einzellager am Standort ZNO ist in den Plänen gemäss Tab. 8-2 dokumentiert.

Tab. 8-2: Auflistung Pläne des Lagerprojekts SMA-Einzellager am Standort ZNO

Die Pläne sind in Beilage 1 – Planmappe dieses Berichts enthalten. Die Plan-Nr. entspricht derjenigen gemäss Planmappe. Bei der Plan-Nr. A4 wird auf eine detaillierte Auflistung verzichtet, sie kann jedoch der Planliste der Planmappe entnommen werden.

Plan-Nr.	Bezeichnung	Massstab
A3-3.1	SMA-Lager: Situation Gesamtanlage	1:5000
A3-3.2	SMA-Lager: 3D-Ansicht Module untertag	---
A3-3.3	SMA-Lager: Situation Anlagen untertag – Bauwerke / Normalprofile	1: 5000
A3-3.4	SMA-Lager: Situation Anlagen untertag – zentraler Bereich – Bauwerke / Normalprofile	1:2000
A3-3.5	SMA-Lager: 3D-Ansicht Zuordnung Normalprofile	---
A3-4.1	Lagerkammern HAA und SMA, Längenprofile	1:2000
A4-x.x	Normalprofile, Ausbruch und Sicherung	1:100 / 50 / 25

Fig. 8-3 zeigt das Lagerprojekt mit standortspezifischen Grobabmessungen, wie etwa die Tiefe des ZB, die Bauwerke auf Lagerebene und die laterale Ausdehnung des Lagerfelds. Für mehr Details, Masse und Modulbezeichnungen wird auf Plan A3-3.2 gemäss Tab. 8-2 der Planmappe in Beilage 1 verwiesen. Fig. 8-4 zeigt die Situation des SMA-Einzellagers am Standort ZNO (entspricht dem Plan A3-3.1 gemäss Tab. 8-2).

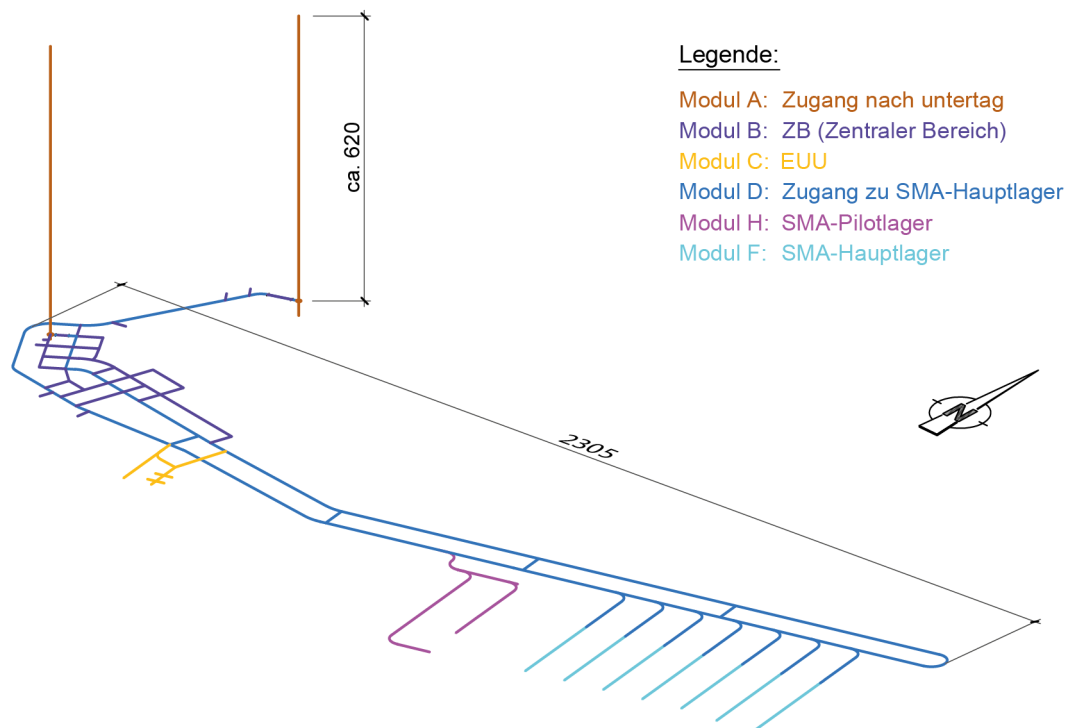


Fig. 8-3: Lagerkonfiguration des SMA-Einzellagers am Standort ZNO mit Modulbezeichnung

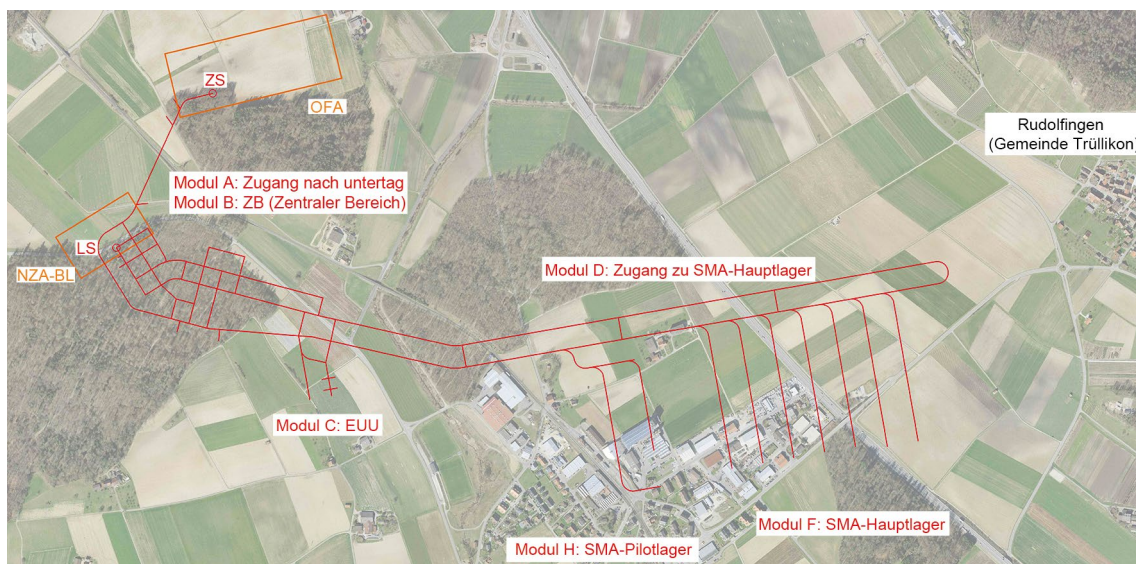


Fig. 8-4: Situation SMA-Einzellager am Standort ZNO

Für ein leichteres Verständnis der nachfolgenden Ausführungen, vor allem bei der Beschreibung des Moduls B – zentraler Bereich, wird empfohlen, den Plan A3-3.4 vorgängig zu studieren.

8.2.1 ZNO-SMA: Zugang nach untertag sowie zentraler Bereich, Module A und B

Die Lagerebene wird mit zwei Schächten, dem Lüftungsschacht (LS) und dem Zugangsschacht (ZS), erschlossen. Die Lage dieser Schächte einerseits sowie die Lage des SMA-Hauptlagers mit dessen Zugängen andererseits bestimmen das Layout des zentralen Bereichs.

Analog dem SMA-Einzellager am Standort JO sind auch für das SMA-Einzellager am Standort ZNO nur zwei Zugangsbauwerke, hier in Form von Schächten, vorgesehen. Der Zugangsschacht, der auf dem OFA-Areal liegt, weist eine Tiefe von rund 620 m auf und der Lüftungsschacht, der auf dem NZA-Areal liegt, eine Tiefe von ca. 600 m.

Damit die Materiallogistik für den Bau des SMA-Einzellagers über den Lüftungsschacht abgewickelt werden kann, wird der Querschnitt des Lüftungsschachts vergrößert. Sein lichter Innendurchmesser entspricht deshalb demjenigen eines Betriebsschachts.

Ab dem Schachtfuss des Zugangsschachts verläuft der HAA-Betriebstunnel zunächst südlich und dann westlich und umfährt so den zentralen Bereich, der südlich des ZS angeordnet ist. Im Nahbereich des Schachtfusses des ZS liegt ein ca. 50 m langer ZB-Rangierbereich (NP R10), welcher für das Kreuzen und als Warteraum für Fahrzeuge vor dem Schachtfuss benötigt wird und in den Betriebstunnel übergeht.

Der konventionelle Bereich liegt dabei, mit Ausnahme der Werkstatt Bau, im nördlichen Teil des zentralen Bereichs. Die für den Betrieb benötigten Bauwerke und Infrastrukturen schliessen an den SMA-Betriebstunnel im zentralen Bereich an und liegen somit südlich innerhalb des ZB.

Analog zum ZB-Rangierbereich vor dem Zugangsschacht liegt zwischen dem Schachtfuss des Lüftungsschachts, der für die Baulogistik verwendet wird, und dem Lüftungstunnel eine Kreuzungsstelle für den Auf- und Abschub von Baufahrzeugen.

Die im Plan A3-3.4 gemäss Tab. 8-2 als Option im ZB dargestellte Betonanlage befindet sich an dessen nordöstlichem Rand. Auf diese Option kann ohne Auswirkungen auf das eigentliche Layout des ZB verzichtet werden.

Der Lüftungsschacht ist im konventionellen Bereich des ZB ein Tiefpunkt. Die verschiedenen Tunnel des schachtbrettartigen ZB fallen mit rund 1 % Gefälle in Richtung Schachtfuss des LS. Der Zugangsschacht bildet einen von zwei Tiefpunkten im Überwachungsbereich. Der zweite liegt bei der Werkstatt Betrieb.

8.2.2 ZNO-SMA: EUU-Bereich, Modul C

Die Bauten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) befinden sich östlich des ZB, ungefähr auf halber Strecke zwischen dem ZB und dem SMA-Pilotlager (s. Pläne A3-3.3 und A3-3.4 gemäss Tab. 8-2). Neben dem EUU-Erschliessungstunnel besteht über den Betriebsraum 1 ein zweiter Zugang zum EUU-Bereich. Der Betriebsraum Testbereich befindet sich zwischen dem Betriebstunnel und dem Lüftungstunnel.

Die Demonstrationsbauwerke SMA verfügen über die gleichen Querschnittsabmessungen und ähnliche Längsneigungen wie das Hauptlager SMA, jedoch mit verkürzten Längen. Sie verlaufen analog der Lagerkaverne des Hauptlagers ebenfalls in Hauptspannungsrichtung, d.h. parallel zu den SMA-Lagerkavernen des Haupt- und Pilotlagers. Daneben befinden sich die Experimentbereiche (NP D10).

8.2.3 ZNO-SMA: Lagerteil SMA, Module D, F und H

Modul F – Hauptlager SMA

Das SMA-Hauptlager liegt östlich des zentralen Bereichs. Das SMA-Hauptlager entspricht ansonsten dem Modul F des Kombilagers am Standort NL (vgl. Kap. 7.1.3).

Modul H – Pilotlager SMA

Das Pilotlager liegt östlich des zentralen Bereichs (Modul B), jedoch westlich des SMA-Hauptlagers (Modul F). Den Zugang zum Pilotlager bildet ein zwischenzeitlich steigender (Hochpunkt) Pilotlagerzugangstunnel, der vom SMA-Betriebstunnel abzweigt.

Modul D – Lagerfeldzugänge SMA

Nach der Umfahrung des ZB setzt sich der insgesamt ca. 2'920 m lange SMA-Betriebstunnel in östlicher Richtung zum EEU-Bereich und weiter zum SMA-Pilot- und Hauptlager fort. Nach dem ZB fällt er mit unterschiedlichen Längsneigungen bis zum Anschluss an den Lüftungstunnel im Osten (Details zum Layout s. Plan A3-3.3 gemäss Tab. 8-2). Der Tiefpunkt des Moduls E ist daher der östliche Endpunkt des Betriebstunnels. Da das SMA-Haupt- und -Pilotlager tiefer liegen als der zentrale Bereich und der SMA-Betriebstunnel ebenfalls fällt, werden die SMA-Lagerkavernen mit einem steigenden Lagerkavernenabzweiger an den Betriebstunnel angeschlossen.

Der SMA-Lüftungstunnel verläuft ab etwa dem EEU-Bereich mit einem Achsabstand von 60 m parallel zum SMA-Betriebstunnel und weist eine Gesamtlänge von ca. 2'410 m auf. Am östlichen Ende des Hauptlagerfelds wird er über eine Kurve an den Betriebstunnel angeschlossen. Ab dem Schachtfuss des Lüftungsschachts (LS) steigt der SMA-Lüftungstunnel im Bereich des ZB leicht und fällt anschliessend mit unterschiedlichen Neigungen bis zum Anschluss an den SMA-Betriebstunnel.

Insgesamt vier Querverbindungstunnel SMA sowie die Kurve am östlichen Ende der Lagerfeldzugänge verbinden den Betriebs- und Lüftungstunnel SMA. Die Querverbindungen weisen, mit Ausnahme der ersten (westlichsten) Querverbindung, jeweils ein Gefälle von 1 % in Richtung Lüftungstunnel auf. Der Betriebsraum Testbereich im Nahbereich der Bauten für EEU stellt eine weitere Querverbindung der beiden Lagerfeldzugänge dar.

9 Kennzahlen und Unterschiede der Lagerprojekte

9.1 Kennzahlen

Für jedes standortspezifische Lagerprojekt wurden die wesentlichen Kennzahlen separat ermittelt. Die nachfolgenden Tabellen (Tab. 9-1 und Tab. 9-2) fassen die Kennzahlen je Standort und Lagertyp gerundet zusammen.

Tab. 9-1: Gerundete Kennzahlen der Lagerprojekte

Projekt	Ausbruch [m ³ f]	Spritzbeton [m ³]	Ortbeton [m ³]	Verfüllung / Versiegelung [m ³ f]
NL-HAA	1'120'000	140'000	400'000	560'000
JO-HAA	1'460'000	170'000	440'000	890'000
ZNO-HAA	1'000'000	130'000	320'000	520'000
NL-Kombi	1'680'000	210'000	520'000	730'000
JO-SMA	1'260'000	160'000	340'000	680'000
ZNO-SMA	870'000	110'000	202'000	350'000

Das Ausbruchvolumen setzt sich aus der Kubatur des Ausbruchmaterials sowohl im Opalinuston als auch oberhalb des Opalinustons zusammen.

Die Betonmenge enthält neben dem Gewölbe- und Sohlbeton beim Kombi- und HAA-Einzellager auch die Tübbing- und Ringspaltverfüllung der Lagerstollen. Ebenfalls enthalten in dieser Menge sind die Tübbing- des Zugangstunnels am Standort JO.

Das ausgewiesene Verfüllvolumen berücksichtigt nicht die Nahfeldverfüllungen der Lagerkammern, d.h. des Hauptlagers HAA und SMA, des Pilotlagers HAA und SMA und der Demonstrationsbauwerke HAA und SMA.

Eine Kombination (Summation der Kennzahlen) zweier Einzellager führt immer zu höheren Kennzahlen als beim Kombilager, da die Zugangsbauwerke und die Bauwerke des zentralen Bereichs doppelt berücksichtigt werden.

Die im Vergleich hohen Kennwerte der Einzellager am Standort Jura-Ost sind auf den langen (Betriebs-)Zugangstunnel zurückzuführen (siehe auch Tab. 9-2, Ausbruchsvolumen, Phase 1). Die phasenbezogenen Ausbruchsvolumen sind für alle sechs Lagerprojekte in Tab. 9-2 dargestellt.

Tab. 9-2: Phasenbezogene, gerundete Ausbruchfestvolumen in [m³f] der Lagerprojekte

Projekt	Phase 1 Bau und Beginn EUU	Phase 2 Weiter- führung EUU	Phase 3 Bau Lager SMA	Phase 4 Bau Lager HAA	Phase 5 Einlagerungs- betrieb	Total
NL- HAA	320'000	40'000	0	645'000	115'000	1'120'000
JO- HAA	845'000	25'000	0	475'000	115'000	1'460'000
ZNO- HAA	275'000	35'000	0	575'000	115'000	1'000'000
NL- Kombi	340'000	45'000	635'000	545'000	115'000	1'680'000
JO- SMA	695'000	5'000	560'000	0	0	1'260'000
ZNO- SMA	265'000	50'000	555'000	0	0	870'000

9.2 Unterschiede der Lagerprojekte

Nachstehend sind die wichtigsten Aspekte aufgeführt, in denen sich die in Kapitel 6 bis 8 beschriebenen Lagerprojekte voneinander unterscheiden. Es wird an dieser Stelle sowohl auf detaillierte Erläuterungen als auch auf eine komplette Aufzählung verzichtet. Die Tab. 9-3 ist als zusammenfassende Übersicht zu verstehen.

Tab. 9-3: Zusammenstellung der wichtigsten Aspekte, in denen sich die Lagerprojekte unterscheiden

Aspekt	Unterschiede
Geologie / Hydrogeologie	<p>Die Zugangsbauwerke am Standort JO durchfahren dichtere Felsformationen als an den Standorten NL und ZNO. Bei JO werden keine Molasse und keine verkarsteten Malmkalke durchfahren, dafür eine Kalkstein-einheit im Dogger.</p> <p>Die geotechnischen Eigenschaften des OPA sind aus bautechnischer Sicht für alle Lagerprojekte ähnlich.</p>
Tiefenlage Lagerebene	<p>Je nach Standort variieren die Tiefenlagen der Lagerfelder zwischen 400 m und 900 m unter Terrain. Die Zugangsbauwerke sind entsprechend unterschiedlich lang.</p> <p>Innerhalb des Standorts weisen die Lagerprojekte ähnliche Tiefenlagen auf.</p>
Anzahl und Art Zugangsbauwerke	<p>Die Anzahl der Zugangsbauwerke hängt davon ab, ob zeitgleich zur Einlagerung auch Bauaktivitäten stattfinden. Beim HAA- und Kombilager ist dies der Fall. Bei diesen Lagertypen sind drei Zugangsbauwerke vorgesehen. Beim SMA-Lager sind hingegen nur zwei Zugangsbauwerke notwendig.</p> <p>Die Zugangsbauwerke sind i.d.R. Schächte. Als Ausnahme gilt JO, wo nebst einem Lüftungsschacht noch ein (Betriebs-)Zugangstunnel erstellt wird.</p>
Länge Lagerfeldzugänge der Haupt- und Pilotlager	<p>Bei jedem Lagerprojekt sind die Lagen der Zugangsbauwerke und der Hauptlager als Randbedingungen für das Layout gegeben. Im Gegensatz zu den standortunabhängigen fixen Längen der Lagerstollen und Lagerkavernen der Haupt- und Pilotlager, sind die Längen der Lagerfeldzugänge zu den Hauptlagern standort- und projektabhängig.</p>
Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen	<p>Aufgrund der unterschiedlichen Geologie / Hydrogeologie der das Wirtgestein überlagernden Schichten bei JO ist dort für den Schachtbau als Bauhilfsmassnahme ein Injektionsschirm (Cover-Drill) bei Bedarf vorgesehen. Bei NL und ZNO hingegen kommt für den Schachtbau als Bauhilfsmassnahme das Gefrierverfahren, kombiniert mit Präzementation zum Einsatz. Das Cover-Drill-Verfahren, als Bauhilfsmassnahme je nach Bedarf, ist dort nur für den weiteren Vortrieb in den Rahmengesteinen vorgesehen.</p> <p>Die geplanten Vortriebsmethoden für die Zugangsbauwerke und die Bauwerke auf Lagerebene sind, mit Ausnahme des TBM-Vortriebs für den (Betriebs-)Zugangstunnel in JO, überall gleich.</p>
Schalenstärken (Verkleidung) der Profile	<p>Aufgrund der unterschiedlichen Tiefenlagen ergeben sich je nach Lagerprojekt unterschiedliche Schalenstärken der Verkleidung bei sonst gleichen Normalprofilen (Aufweitung erfolgt nach aussen).</p>
Hauptausmasse	<p>Aus den vorangegangenen Aspekten ergeben sich für die Lagerprojekte unterschiedliche Hauptausmasse, die sich jedoch annähernd in der gleichen Grössenordnung befinden. Die im Vergleich etwas höheren Ausmasse der Einzellager am Standort JO werden vom langen (Betriebs-)Zugangstunnel verursacht.</p>

10 Schlussbemerkungen

Mit den beschriebenen Lagerprojekten der Untertaganlagen wurde gezeigt, dass an allen Standorten unter den standortspezifischen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen geologische Tiefenlager mit tunnelbauüblichen Massnahmen realisiert werden können.

Die Lagerprojekte erfüllen die Anforderungen gemäss Nutzungsvereinbarung und können im Rahmen des Realisierungsprogramms nach EP21 erstellt und betrieben werden.

Die drei Standorte unterscheiden sich aus bautechnischer Sicht im Wesentlichen durch die Tiefenlage und Erschliessung. Die grösste Tiefenlage am Standort NL stellt die grössten bautechnischen Herausforderungen, verglichen mit den Standorten JO und ZNO, dar. Mit den vorgeschlagenen Massnahmen können sichere geologische Tiefenlager gebaut, betrieben und verschlossen sowie die Restrisiken auf ein akzeptiertes Mass reduziert werden.

Die Lager weisen für vergleichbare Lagerteile bzw. Module Kennzahlen in der gleichen Grössenordnung auf. Unterschiede bestehen in der Länge bzw. Tiefe der Zugänge zur Lagerebene, der Länge der Lagerfeldzugänge und der Stärke des Ausbaus.

Die beschriebenen Projekte stellen keine optimierte Umsetzung dar, sondern eine für alle Standorte vergleichbare, mögliche Umsetzung, die keinen Standort benachteiligt.

Die Lagerprojekte der Untertaganlagen dienen ausschliesslich dem Standortvergleich und haben exemplarischen Charakter, d.h. sie stellen keine Festlegung, insbesondere nicht für das im Rahmenbewilligungsgesuch beantragte geologische Tiefenlager, dar.

11 Literaturverzeichnis

- Dorn, E. & Kaledin, O. (2013): Modern and innovative shaft sinking and construction technology with examples from current projects = Moderne und innovative Schachtbautechnik am Beispiel aktueller Abteufprojekte. Geomechanik und Tunnelbau = Geomechanics and Tunnelling 6/5, 574-581.
- 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.
- Eyermann, T.J., van Sambeek, L.L. & Hansen, F.D. (1995): Case studies of sealing methods and materials used in the salt and potash mining industries. Sandia Report. SAND95-1120. Sandia National Laboratories, Albuquerque.
- Kovári, K. & Anagnostou, G. (Hrsg.) (1995): The Ground Response Curve In Tunnelling Through Short Fault Zones. 8th Congress of the Int. Soc. for Rock Mech., Tokyo, Japan.
- Nagra (2019a): Platzierung der Haupterschliessungsbereiche (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 (2020): Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich Bau- und Betriebsabläufe sowie Umwelt. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-15.
- 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): Beherrschung möglicher karstbedingter Wasserzutritte während des Baus und Betriebs eines geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-41.
- Nagra (2022b): Betriebskonzept für die geologische Tiefenlagerung. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-06.
- Nagra (2022c): Lüftungs- und Kühlkonzept geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-31.
- Nagra (2022d): Module der Lagerarchitektur. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35.

- 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 5: Nutzungsvereinbarung. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 5.
- 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.
- SIA (2015): Erfassen des Gebirges im Untertagebau. Schweizer Norm SIA 199:2015, SN 531:199. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- van Heyden, T. & Wegner, B. (2015): Modern freeze technology in action as five shafts are sunk at two project sites = Moderne Gefriertechnik am Beispiel zweier aktueller Schacht-abteufprojekte mit insgesamt fünf Schächten. mining report / Glückauf 151/1, 32-37.

Anhang A Gefährdungsbildanalyse

Da an allen Standorten in den jeweiligen Homogenbereichen die gleichen Gefährdungen erwartet werden, erfolgt die Gefährdungsbildanalyse unabhängig vom Standort. Die standortspezifischen Unterschiede (i. W. Tiefenlage) wurden bei der Beurteilung und Planung der standortspezifischen Massnahmen berücksichtigt.

In den folgenden Tabellen sind Gefährdungen und Massnahmen für alle Homogenbereiche zusammengefasst. Die Strukturierung der Gefährdungen orientiert sich an der SIA-Norm 199 (SIA 2015). Gefährdungen beim Anfahren von seismisch nicht kartierten Störungszonen werden nicht explizit ausgewiesen.

A.1 Zugangsbauwerke

Die Zugangsbauwerke durchörtern an den Standorten NL und ZNO fünf Homogenbereiche (HB1 bis HB5) während am Standort JO die zwei Homogenbereiche HB4* und HB5 durchfahren werden. Die Gefährdungsbildanalyse erfolgt für NL und ZNO am Beispiel des Betriebsschachts, für JO am Beispiel des Lüftungsschachts und des Zugangstunnels.

An den Standorten NL und ZNO sind keine Störungszonen im Bereich der Zugangsbauwerke seismisch kartiert worden. Im Bereich des (Betriebs-)Zugangstunnels am Standort JO ist eine Störungszone kartiert worden, sodass dort die Störungszone des Typs III berücksichtigt werden muss.

Tab. A-1: Gefährdungsbildanalyse der Schächte

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1100	Gebirge								
1100.01	Gelockertes Gesteinsmaterial am Ausbruchrand	Steinfall, Gesteinsablösungen	Ablösung einzelner Steine am Ausbruchrand und Bewegung gegen den Hohlraum. Gefährdung des Personals.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Felsreinigung; Kopfschutznetze; Stahlfaserspritzbeton; Arbeiten aus gesichertem Bereich					
1100.02	Geklüftetes/aufgelockertes Gebirge	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, graviationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebseinrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Systemankerung; Arbeiten aus gesichertem Bereich					
1100.03	Geklüftetes/aufgelockertes Gebirge	Überbeanspruchung des Ausbaus infolge Auflockerung	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, graviationsbedingte Auflockerungen, welche bei Behinderung durch eine Ausbruchssicherung oder einen Ausbau zu einer Überbeanspruchung des Ausbaus führen. Die Belastung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Systemankerung; (Spritz-)Betonschale					
1100.04	Sprödes, massiges Gebirge unter hohen primären Gebirgsspannungen	Bergschlag	Explosionsartige Ablösung von Gesteinsschalen infolge Spannungumlagerungen dadurch Gefährdung des Personals.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1100.05	Gelockertes Gesteinsmaterial an der Ortsbrust	Steinfall, Gesteinsablösungen	Einzelne Steine lösen sich aus der Ortsbrust dadurch Gefährdung des Personals.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-
1100.06	Geklüftetes/aufgelockertes Gebirge	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebseinrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden. Bei einem TBM-Vortrieb kann es zu einem Verklemmen des Bohrkopfs kommen, wenn die Blöcke nicht zerkleinert werden können.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-
1100.07	Karsthohlraum in Schachtnähe	Unzureichende Bettung	Ungenügende Bettung des Ausbaus wegen benachbarten, nicht direkt angetroffene Karsthohlräumen und dadurch Versagen des Ausbaus.	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	Pre-grouting von Hohlräumen	-	-	-	-
1100.08	Druckhaftes Gebirge	Unzulässige Verformungen oder Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren, dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
				Innenschale im Widerstandsprinzip	-	-	Nachgiebige Ausbruchsicherung; starre Innenschale		

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1100.09	Schild-TBM in druckhaftem Gebirge	Verklebungen des Schilds	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schilds kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-
1100.10	Schachtabteufung in weichem oder wasserführendem Gebirge	Unzulässige Oberflächensetzungen	Durch das Abteufen des Schachts in weichem oder wasserführendem Gebirge kommt es zu Spannungsänderungen, die zu unzulässigen Setzungen an der Oberfläche führen können.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Keine gefährdete Infrastruktur an der Oberfläche. Oberflächensetzungen werden mit Monitoringprogramm überwacht.					
1100.11	Spannungsumlagerung auf Felspfeiler und/oder ungünstige Verschneidung der Trennflächen im Felspfeilerbereich	Versagen des Felspfeilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfeilers, z.B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfeilers.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-
1200	Wasser								
1200.01	Wasserführendes Gebirge	Kurzfristiger Wassereintrich	Ausfließen des Poren- oder Kluftwassers in den Vortriebsbereich bis zur Entleerung oder Entspannung des Systems, dadurch kann das Personal und die Vortriebsrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			Wasserhaltung	Abdichtungsinjektionen bei Bedarf	-

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1200.02	Wasserführendes Gebirge	Langfristiger / dauernder Wassereintrich	Das Gebirge ist ausreichend durchlässig und es stellt sich eine Balance zwischen Zufluss und Abfluss ein, sodass permanent Wasser zutritt. Dadurch kann das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			Wasser-haltung	Abdich-tungsinjek-tionen bei Bedarf	-
1200.03	Wassergefüllter Karsthohlraum	Kurzfristiger Wassereintrich	Antreffen von mit Wasser gefüllten Karsthohlräumen, die nicht mit dem freien Karst- oder Grundwasser-spiegel verbunden sind. Der Vortrieb wird behindert und das Personal und die Vortriebs-einrichtung sind gefährdet.	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			-	-	-
1200.04	Wassergefüllter Karsthohlraum	Permanenter Wassereintrich	Antreffen von mit Wasser gefüllten Karsthohlräumen, die mit dem freien Karst- oder Grundwasserspiegel verbunden sind. Der Vortrieb wird behindert und das Personal und die Vortriebs-einrichtung sind gefährdet	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			-	-	-

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1200.05	Gefrierverfahren	Unzulässige Verformungen aufgrund eines grossen Gefrierkörpers im Nahbereich des Schachts	Kriechverformungen eines grossen Gefrierkörpers in einem Karsthohlraum im Nahbereich des Schachts führen zu unzulässigen Verformungen.	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	Präzementation durch Bohrungen von der Oberfläche	-	-	-	-
1200.06	Aggressives Wasser	Tragwerksversagen infolge Korrosion	Sulfat- oder chloridhaltiges Wasser greift den Beton und die Bewehrung an, sodass Korrosion auftritt und es zu einem Versagen des Tragwerks kommen kann.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Vollabdichtung; Expositions-klasse bzw. Stahlgüte anpassen / definieren					
1200.07	Bauwerke unterhalb Grundwasserspiegel	Beeinträchtigung von Oberflächengewässern, Grundwasservorkommen	Durch die Drainage des Gebirges ändern sich die hydrogeologischen Verhältnisse, was sich negativ auf die Umwelt und natürlichen hydrologischen Verhältnisse auswirken kann (z.B. eine Absenkung des GWSP infolge Drainagewirkung des Tunnels, Veränderung der Grundwasserströme, Versiegen von Quellfassungen).	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				Abdichtung während des Baus; Vollabdichtung im Betrieb; Monitoring					

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1200.08	Verbindung von Grundwasserleitern durch den Schacht	Längszirkulation und Verbindung der Grundwasserleiter	Der Schacht wirkt als Längsdrainage. Damit werden Grundwasserleiter verbunden oder es gelangt Wasser in das Wirtgestein.	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
				Während Bau: Vereisung; Während Betrieb: Chemical Seal Ring, Injektionsschirme; Nach dem Verschluss: Einbau von Grundwassersiegel			-	-	-
1300	Gebirge und Wasser								
1300.01	Quellfähiges Gebirge (tonhaltiges Gestein)	Unzulässige Sohlhebungen oder Überbeanspruchung des Ausbaus	Durch die quellbedingte Volumenzunahme kommt es zu Sohlhebungen (ohne Sohlgewölbe). Bei einer Verhinderung der Volumenzunahme bildet sich ein Quelldruck, der zu einer Überbeanspruchung des Ausbaus führen kann.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-
1300.02	Anfahren einer wassergesättigten, lockergesteinsähnlichen Schicht	Lockergesteinseinbruch	Wassergesättigte Lockergesteinsschicht kann wegen des hohen Wasserdrucks beim Anschneiden ausfließen, sodass es zu einem Lockergesteinseinbruch im ungenügend gesicherten Schachtbereich kommt. Dadurch wird das Personal und die Vortriebseinrichtung gefährdet.	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			-	-	-

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1300.03	Mit Wasser und Lockergestein gefüllter Karstholraum	Schlammeinbruch	Ein mit Wasser und Lockergestein gefüllter Karstholraum kann sich beim Anschneiden entleeren und dadurch das Personal und die Vortriebseinrichtung gefährden.	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			-	-	-
1300.04	Kriechen des Gefrierkörpers (gefrorenes Wasser oder Lockergestein)	Überbeanspruchung der Ausbruchsicherung	Gefrorenes Wasser (wassergefüllter Karsthohlraum) und gefrorener Boden kriecht unter der Belastung des anstehenden Wasserdrucks. Dadurch entsteht eine Belastung auf die Ausbruchsicherung, die zu einem Versagen der Ausbruchsicherung führen kann und dadurch zu einer Gefährdung von Personal und Vortriebseinrichtung wird.	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				Dimensionierung Ausbruchsicherung auf den Kriechdruck	Pre-grouting von Hohlräumen	-	-	-	-
1300.05	Zugabe oder Zutritt von Wasser in tonigem/ mergligem Gebirge	Verschlammung der Sohle	Durch Zugabe und Zutritt von Wasser verschlammt die Sohle, sodass das Wasser nicht mehr abgepumpt werden kann und die Säuberung erschwert wird.	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
				Vereisung von Oberfläche bis in dichte Formationen			Wasserhaltung	Abdichtungsinjektionen bei Bedarf	Vermeidung Wassereintrag

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1400	Gas								
1400.01	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Explosion	Vortrieb durch gasführendes Gestein (leicht entzündlich und explosiv, z.B. Methan) kann bei entsprechender Konzentration zu Explosionen führen und dadurch das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring					
1400.02	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Vergiftung / Verätzung	Im Vortrieb in gasführendem Gestein können giftige Gase freigesetzt werden, welche in hoher Konzentration zur Vergiftung und damit zu einer Gefährdung des Personals führen können.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring					
1400.03	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Erstickung (O2-Mangel)	Sauerstoffverarmung durch nachfolgende Ursachen: <ul style="list-style-type: none"> • Gebirgswasser löst mehr Sauerstoff als CO2 • Gasaustritte aus Vortrieb durch gasführendes Gebirge, dadurch kann das Personal gefährdet werden. 	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring					
1400.04	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Brand	Infolge Vortrieb durch gasführendes Gestein (leicht entzündlich und explosiv, z.B. Methan) und einer Zündquelle kann ein Brand ausbrechen und das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring					

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1500	Weitere Gefährdungen								
1500.01	Geogene Belastung Baugrund	Antreffen von geogen belastetem Gebirge	Verschmutzung des Ausbruchsmaterials und dadurch Schwierigkeiten bei der Deponie.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Beprobung und Triage					
1500.02	Spannungsänderungen infolge Stollen-/Tunnel-/Kavernenvortrieb	Grossräumige Oberflächensetzungen	Durch den Vortrieb kann sich infolge von Spannungsumlagerungen und Veränderung der Porenwasserdrücke eine messbare grossräumige Oberflächensetzungen ausbreiten. Dadurch kann es zu einer Beschädigung der Infrastruktur kommen.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-	-
1500.03	Erdbeben	Beschädigung des Tragwerks	Beschädigung des Tragwerks als Folge von Erdbebenerschütterungen.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				durch Auslegung auf den Gebirgsdruck abgedeckt					
1500.04	Gebirgstemperatur (Wasser und Fels)	Wärme / Hitze	Mit zunehmender Überlagerungshöhe nimmt die natürliche Gebirgs-/Wassertemperatur zu. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Arbeitssicherheit/Gesundheitsschutz und den Einsatz der Vortriebs-einrichtung.	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
				-	-	-	Kühlsystem		

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Schächte					
				HB1	HB2	HB3	HB4	HB4*	HB5
1500.05	Quarzgehalt	Lungenkrankheit (Silikose)	Beim Abbau von Gestein mit hohem Quarzgehalt besteht die Gefahr, dass lungengängiger Quarzfeinstaub freigesetzt wird und es dadurch zu einer Gesundheitsschädigung des Personals kommt.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Bedüsung, lokale Absaugung und Filterung, Lüftung, geschlossene Fahrzeuge, PSA					
1500.06	Erschütterungen durch den Vortrieb	Unzulässige Erschütterung von empfindlichen Geräten	Vortriebsbedingte Erschütterungen und Vibrationen werden über den Boden und ggf. das Grundwasser auf benachbarte Bauwerke übertragen und können dort zu unzulässigen Erschütterungen von empfindlichen Messgeräten (z.B. auch eUU) führen.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				Probesprengungen, Monitoring und schonendes Sprengen (Reduktion Sprengenergie und Abstimmung Zündstufen)					
1500.07	Vortriebsarbeiten	Unzulässige Staubentwicklung	Durch den Vortrieb bildet sich Staub im Vortriebsbereich. Die Konzentrationen überschreiten die Grenzwerte und gefährden die Gesundheit des Personals oder behindern den Vortrieb.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung					

Tab. A-2: Gefährdungsbildanalyse des Zugangstunnels JO

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1100	Gebirge				
1100.01	Gelockertes Gesteinsmaterial am Ausbruchrand	Steinfall, Gesteinsablösungen	Ablösung einzelner Steine am Ausbruchrand und Bewegung gegen den Hohlraum. Gefährdung des Personals.	Ja	Ja
				Tübbingausbau	
1100.02	Geklüftetes/ aufgelockertes Gebirge	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, graviationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebseinrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	Ja	Ja
				Tübbingausbau	
1100.03	Geklüftetes/ aufgelockertes Gebirge	Überbeanspruchung des Ausbaus infolge Auflockerung	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, graviationsbedingte Auflockerungen, welche bei Behinderung durch eine Ausbruchssicherung oder einen Ausbau zu einer Überbeanspruchung des Ausbaus führen. Die Belastung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	Ja	Ja
				Tübbingausbau	
1100.04	Sprödes, massiges Gebirge unter hohen primären Gebirgsspannungen	Bergschlag	Explosionsartige Ablösung von Gesteinsschalen infolge Spannungsumlagerungen dadurch Gefährdung des Personals.	Nein	Nein
				-	-
1100.05	Gelockertes Gesteinsmaterial an der Ortsbrust	Steinfall, Gesteinsablösungen	Einzelne Steine lösen sich aus der Ortsbrust dadurch Gefährdung des Personals.	Ja	Ja
				Schutz durch TBM Bohrkopf	

Tab. A-2: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1100.06	Geklüftetes/aufgelockertes Gebirge	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebseinrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden. Bei einem TBM-Vortrieb kann es zu einem Verklemmen des Bohrkopfs kommen, wenn die Blöcke nicht zerkleinert werden können.	Ja	Ja
				Stützung durch TBM Bohrkopf	GFK-Ortsbrustanker
1100.07	Karsthohlraum in Schachtnähe	Unzureichende Bettung	Ungenügende Bettung des Ausbaus wegen benachbarten, nicht direkt angetroffenen Karsthohlräumen und dadurch Versagen des Ausbaus.	Nein	Nein
				-	-
1100.08	Druckhaftes Gebirge	Unzulässige Verformungen oder Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren, dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	Ja	Ja
				Nachgiebiger Tübbingausbau; starre Innenschale; Verstärkung/Auslegung für HB5S	
1100.09	Schild-TBM in druckhaftem Gebirge	Verklemmen des Schilds	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schilds kann zu einem Verklemmen der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen.	Ja	Ja
				Überschnitt	Shiften der Kalibermeisel
1100.10	Schachtabteufung in weichem oder wasserführendem Gebirge	Unzulässige Oberflächensetzungen	Durch das Abteufen des Schachtes in weichem oder wasserführendem Gebirge kommt es zu Spannungsänderungen, die zu unzulässigen Setzungen an der Oberfläche führen können.	Nein	Nein
				-	-

Tab. A-2: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1100.11	Spannungsumlagerung auf Felspfeiler und/oder ungünstige Verschneidung der Trennflächen im Felspfeilerbereich	Versagen des Felspfeilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfeilers, z.B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfeilers.	Nein	Nein
				-	-
1200	Wasser				
1200.01	Wasserführendes Gebirge	Kurzfristiger Wassereintritt	Ausfließen des Poren- oder Klufthwassers in den Vortriebsbereich bis zur Entleerung oder Entspannung des Systems, dadurch kann das Personal und die Vortriebsvorrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	Nein	Nein
				-	-
1200.02	Wasserführendes Gebirge	Langfristiger / dauernder Wassereintritt	Das Gebirge ist ausreichend durchlässig und es stellt sich eine Balance zwischen Zufluss und Abfluss ein, sodass permanent Wasser zutritt. Dadurch kann das Personal und die Vortriebsvorrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	Nein	Nein
				-	-
1200.03	Wassergefüllter Karsthohlraum	Kurzfristiger Wassereintritt	Antreffen von mit Wasser gefüllten Karsthohlräumen, die nicht mit dem freien Karst- oder Grundwasserspiegel verbunden sind. Der Vortrieb wird behindert und das Personal und die Vortriebsvorrichtung sind gefährdet.	Nein	Nein
				-	-
1200.04	Wassergefüllter Karsthohlraum	Permanenter Wassereintritt	Antreffen von mit Wasser gefüllten Karsthohlräumen, die mit dem freien Karst- oder Grundwasserspiegel verbunden sind. Der Vortrieb wird behindert und das Personal und die Vortriebsvorrichtung sind gefährdet.	Nein	Nein
				-	-

Tab. A-2: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1200.05	Gefrierverfahren	Unzulässige Verformungen aufgrund eines grossen Gefrierkörpers im Nahbereich des Schachts	Kriechverformungen eines grossen Gefrierkörpers in einem Karsthohraum im Nahbereich des Schachts führen zu unzulässigen Verformungen.	Nein	Nein
				-	-
1200.06	Aggressives Wasser	Tragwerksversagen infolge Korrosion	Sulfat- oder chloridhaltiges Wasser greift den Beton und die Bewehrung an, sodass Korrosion auftritt und es zu einem Versagen des Tragwerks kommen kann.	Ja	Ja
				Expositionsklasse anpassen	
1200.07	Bauwerke unterhalb Grundwasserspiegel	Beeinträchtigung von Oberflächengewässern, Grundwasservorkommen	Durch die Drainage des Gebirges ändern sich die hydrogeologischen Verhältnisse, was sich negativ auf die Umwelt und natürlichen hydrologischen Verhältnisse auswirken kann (z.B. eine Absenkung des GWSP infolge Drainagewirkung des Tunnels, Veränderung der Grundwasserströme, Versiegen von Quelfassungen).	Nein	Nein
				-	-
1200.08	Verbindung von Grundwasserleitern durch den Schacht	Längszirkulation und Verbindung der Grundwasserleiter	Der Schacht wirkt als Längsdrainage. Damit werden Grundwasserleiter verbunden oder es gelangt Wasser in das Wirtgestein.	Nein	Nein
				-	-
1300	Gebirge und Wasser				
1300.01	Quellfähiges Gebirge (tonhaltiges Gestein)	Unzulässige Sohlhebungen oder Überbeanspruchung des Ausbaus	Durch die quellbedingte Volumenzunahme kommt es zu Sohlhebungen (ohne Sohlgewölbe). Bei einer Verhinderung der Volumenzunahme bildet sich ein Quelldruck, der zu einer Überbeanspruchung des Ausbaus führen kann.	Ja	Ja
				Vermeidung Wassereintrag; Sohlgewölbe	

Tab. A-2: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1300.02	Anfahren einer wasser-gesättigten, locker-gesteinsähnlichen Schicht	Lockergesteinseinbruch	Wassergesättigte Lockergesteinsschicht kann wegen des hohen Wasserdrucks beim Anschneiden ausfließen, sodass es zu einem Lockergesteinseinbruch im ungenügend gesicherten Schachtbereich kommt. Dadurch wird das Personal und die Vortriebseinrichtung gefährdet.	Nein	Nein
				-	-
1300.03	Mit Wasser und Lockergestein gefüllter Karstholraum	Schlammeinbruch	Ein mit Wasser und Lockergestein gefüllter Karstholraum kann sich beim Anschneiden entleeren und dadurch das Personal und die Vortriebseinrichtung gefährden.	Nein	Nein
				-	-
1300.04	Kriechens des Gefrierkörpers (gefrorenes Wasser oder Lockergestein)	Überbeanspruchung der Ausbruchsicherung	Gefrorenes Wasser (wassergefüllter Karsthohlraum) und gefrorener Boden kriecht unter der Belastung des anstehenden Wasserdrucks. Dadurch entsteht eine Belastung auf die Ausbruchsicherung, die zu einem Versagen der Ausbruchsicherung führen kann und dadurch zu einer Gefährdung von Personal und Vortriebseinrichtung wird.	Nein	Nein
				-	-
1300.05	Zugabe oder Zutritt von Wasser in tonigem/mergligem Gebirge	Verschlammung der Sohle	Durch Zugabe und Zutritt von Wasser verschlammte die Sohle, sodass das Wasser nicht mehr abgepumpt werden kann und die Säuberung erschwert wird.	Ja	
				Vermeidung Wassereintrag	
1400	Gas				
1400.01	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Explosion	Vortrieb durch gasführendes Gestein (leicht entzündlich und explosiv, z.B. Methan) kann bei entsprechender Konzentration zu Explosionen führen und dadurch das Personal und Vortriebseinrichtung gefährden.	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring	

Tab. A-2: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1400.02	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Vergiftung / Verätzung	Im Vortrieb in gasführendem Gestein können giftige Gase freigesetzt werden, welche in hoher Konzentration zur Vergiftung und damit zu einer Gefährdung des Personals führen können.	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring	
1400.03	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Erstickung (O2 Mangel)	Sauerstoffverarmung durch nachfolgende Ursachen: <ul style="list-style-type: none"> Gebirgswasser löst mehr Sauerstoff als CO2 Gasaustritte aus Vortrieb durch gasführendes Gebirge, dadurch kann das Personal gefährdet werden 	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring	
1400.04	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Brand	Infolge Vortrieb durch gasführendes Gestein (leicht entzündlich und explosiv, z.B. Methan) und einer Zündquelle kann ein Brand ausbrechen und das Personal und die Vortriebseinrichtung gefährdet werden.	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring	
1500	Weitere Gefährdungen				
1500.01	Geogene Belastung Baugrund	Antreffen von geogen belastetem Gebirge	Verschmutzung des Ausbruchsmaterials und dadurch Schwierigkeiten bei der Deponie.	Ja	Ja
				Beprobung und Triage	
1500.02	Spannungsänderungen infolge Stollen-/Tunnel-/Kavernenvortrieb	Grossräumige Oberflächensetzungen	Durch den Vortrieb kann sich infolge von Spannungsumlagerungen und Veränderung der Porenwasserdrücke eine messbare grossräumige Oberflächensetzungen ausbreiten. Dadurch kann es zu einer Beschädigung der Infrastruktur kommen.	Ja	Ja
				Rascher Ringschluss, Verfüllung nach Nutzung und Monitoring	

Tab. A-2: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Zugangstunnel JO	
				HB5	Störungszone HB5
1500.03	Erdbeben	Beschädigung des Tragwerks	Beschädigung des Tragwerks als Folge von Erdbebenerstürterungen.	Ja	Ja
				durch Auslegung auf den Gebirgsdruck abgedeckt	
1500.04	Gebirgstemperatur (Wasser und Fels)	Wärme / Hitze	Mit zunehmender Überlagerungshöhe nimmt die natürliche Gebirgs-/Wassertemperatur zu. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Arbeitssicherheit/Gesundheitsschutz und den Einsatz der Vortriebsanrichtung.	Ja	Ja
				Kühlsystem	
1500.05	Quarzgehalt	Lungenkrankheit (Silikose)	Beim Abbau von Gestein mit hohem Quarzgehalt besteht die Gefahr, dass lungengängiger Quarzfeinstaub freigesetzt wird und es dadurch zu einer Gesundheitsschädigung des Personals kommt.	Ja	Ja
				Lokale Absaugung und Filterung, Lüftung, geschlossene Fahrzeuge, PSA	
1500.06	Erschütterungen durch den Vortrieb	Unzulässige Erschütterung von empfindlichen Geräten	Vortriebsbedingte Erschütterungen und Vibrationen werden über den Boden und ggf. das Grundwasser auf benachbarte Bauwerke übertragen und können dort zu unzulässigen Erschütterungen von empfindlichen Messgeräten (z.B. auch eUU) führen.	Nein	Nein
				-	-
1500.07	Vortriebsarbeiten	Unzulässige Staubeentwicklung	Durch den Vortrieb bildet sich Staub im Vortriebsbereich. Die Konzentrationen überschreiten die Grenzwerte und gefährden die Gesundheit des Personals oder behindern den Vortrieb.	Ja	Ja
				Lüftung	

A.2 Bauwerke auf Lagerebene

Bauwerke auf Lagerebene durchfahren den Homogenbereich HB5. Auf Lagerebene sind keine Störungzonen seismisch kartiert worden. Die Gefährdungsbildanalyse erfolgt am Beispiel folgender Bauwerke:

- HAA-Lagerstollen (des Haupt- und Pilotlagers)
- SMA-Lagerkaverne (des Haupt- und Pilotlagers)
- Abzweiger (HAA-Lagerstollen- und SMA-Lagerkavernenabzweiger sowie weitere Verzweigungsbauwerke z.B. im zentralen Bereich)
- Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel (des HAA- und SMA-Lagers)
- Versiegelungsbauwerke

Tab. A-3: Gefährdungsbildanalyse der Bauwerke auf Lagerebene (ausgewählter Bauwerke)

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1100	Gebirge							
1100.01	Gelockertes Gesteinsmaterial am Ausbruchrand	Steinfall, Gesteinsab-lösungen	Ablösung einzelner Steine am Ausbruchrand und Bewegung gegen den Hohlraum. Gefährdung des Personals.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Tübbingaus-bau	Felsreinigung; Kopfschutznetze; Stahlfaser-spritzbeton; Arbeiten aus gesichertem Bereich			
1100.02	Geklüftetes/ aufgelockertes Gebirge	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebseinrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Tübbingaus-bau	Systemankerung; Arbeiten aus gesichertem Bereich			

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1100.03	Geklüftetes/ aufgelockertes Gebirge	Überbeanspruchung des Ausbaus infolge Auflockerung	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Auflockerungen, welche bei Behinderung durch eine Ausbruchsicherung oder einen Ausbau zu einer Überbeanspruchung des Ausbaus führen. Die Belastung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Tübbingausbau	Systemankerung; (Spritz-)Betonschale			
1100.04	Sprödes, massiges Gebirge unter hohen primären Gebirgsspannungen	Bergschlag	Explosionsartige Ablösung von Gesteinsschalen infolge Spannungsumlagerungen, dadurch Gefährdung des Personals.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1100.05	Gelockertes Gesteinsmaterial an der Ortsbrust	Steinfall, Gesteinsablösungen	Einzelne Steine lösen sich aus der Ortsbrust, dadurch Gefährdung des Personals.	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				TBM Bohrkopf	Keine Personen im Gefahrenbereich; Felsreinigung, Stahlfaserspritzbeton bei Bedarf			

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				V1-Siegel HAA
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	
1100.06	Geklüftetes/ aufgelockertes Gebirge	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebeinrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden. Bei einem TBM-Vortrieb kann es zu einem Verklemmen des Bohrkopfs kommen, wenn die Blöcke nicht zerkleinert werden können.	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				TBM- Bohrkopf	Keine Personen im Gefahrenbereich; Ortsbrustanker und Stahlfaserspritzbeton bei Bedarf		-	
1100.07	Karsthohlraum in Schachtnähe	Unzureichende Bettung	Ungenügende Bettung des Ausbaus wegen benachbarten, nicht direkt angetroffenen Karsthohlräumen und dadurch Versagen des Ausbaus.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1100.08	Druckhaftes Gebirge	Unzulässige Verformungen oder Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren, dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Tübbingausbau; sofortiger Ringschluss	Nachgiebige Ausbruchsicherung; starre Innenschale			kurze Offenhaltzeit
1100.09	Schild-TBM in druckhaftem Gebirge	Verklemmen des Schilds	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schilds kann zu einem Verklemmen der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen.	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
				Überschnitt	-	-	-	-
1100.10	Schachtabteufung in weichem oder wasserführendem Gebirge	Unzulässige Oberflächensetzungen	Durch das Abteufen des Schachts in weichem oder wasserführendem Gebirge kommt es zu Spannungsänderungen, die zu unzulässigen Setzungen an der Oberfläche führen können.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1100.11	Spannungsumlagerung auf Felspfeiler und/ oder ungünstige Verschneidung der Trennflächen im Felspfeilerbereich	Versagen des Felspfeilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfeilers, z.B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfeilers.	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
				-	-	-	Dichte Systemankerung	-
1200	Wasser							
1200.01	Wasserführendes Gebirge	Kurzfristiger Wassereintrich	Ausfließen des Poren- oder Kluftwassers in den Vortriebsbereich bis zur Entleerung oder Entspannung des Systems, dadurch kann das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1200.02	Wasserführendes Gebirge	Langfristiger / dauernder Wassereintrich	Das Gebirge ist ausreichend durchlässig und es stellt sich eine Balance zwischen Zufluss und Abfluss ein, sodass permanent Wasser Zutritt. Dadurch kann das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1200.03	Wassergefüllter Karsthohlraum	Kurzfristiger Wassereintritt	Antreffen von mit Wasser gefüllten Karsthohlräumen, die nicht mit dem freien Karst- oder Grundwasserspiegel verbunden sind. Der Vortrieb wird behindert und das Personal und die Vortriebsanlage sind gefährdet.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1200.04	Wassergefüllter Karsthohlraum	Permanenter Wassereintritt	Antreffen von mit Wasser gefüllten Karsthohlräumen, die mit dem freien Karst- oder Grundwasserspiegel verbunden sind. Der Vortrieb wird behindert und das Personal und die Vortriebsanlage sind gefährdet.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1200.05	Gefrierverfahren	Unzulässige Verformungen aufgrund eines grossen Gefrierkörpers im Nahbereich des Schachts	Kriechverformungen eines grossen Gefrierkörpers in einem Karsthohlraum im Nahbereich des Schachts führen zu unzulässigen Verformungen.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1200.06	Aggressives Wasser	Tragwerksversagen infolge Korrosion	Sulfat- oder chloridhaltiges Wasser greift den Beton und die Bewehrung an, sodass Korrosion auftritt und es zu einem Versagen des Tragwerks kommen kann.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Expositionsklasse anpassen				

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1200.07	Bauwerke unterhalb Grundwasserspiegel	Beeinträchtigung von Oberflächengewässern, Grundwasservorkommen	Durch die Drainage des Gebirges ändern sich die hydrogeologischen Verhältnisse, was sich negativ auf die Umwelt und natürlichen hydrologischen Verhältnisse auswirken kann (z.B. eine Absenkung des GWSP infolge Drainagewirkung des Tunnels, Veränderung der Grundwasserströme, Versiegen von Quelfassungen).	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1200.08	Verbindung von Grundwasserleitern durch den Schacht	Längszirkulation und Verbindung der Grundwasserleiter	Der Schacht wirkt als Längsdrainage. Damit werden Grundwasserleiter verbunden oder es gelangt Wasser in das Wirtgestein.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1300	Gebirge und Wasser							
1300.01	Quellfähiges Gebirge (tonhaltiges Gestein)	Unzulässige Sohlhebungen oder Überbeanspruchung des Ausbaus	Durch die quellbedingte Volumenzunahme kommt es zu Sohlhebungen (ohne Sohlgewölbe). Bei einer Verhinderung der Volumenzunahme bildet sich ein Quelldruck, der zu einer Überbeanspruchung des Ausbaus führen kann.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Vermeidung Wassereintrag; Sohlgewölbe				

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1300.02	Anfahren einer wassergesättigten, lockergesteinsähnlichen Schicht	Lockergesteins-einbruch	Wassergesättigte Lockergesteinsschicht kann wegen des hohen Wasserdrucks beim Anschneiden ausfliessen, sodass es zu einem Lockergesteins-einbruch im ungenügend gesicherten Schachtbereich kommt. Dadurch wird das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1300.03	Mit Wasser und Lockergestein gefüllter Karstholraum	Schlammeinbruch	Ein mit Wasser und Lockergestein gefüllter Karstholraum kann sich beim Anschneiden entleeren und dadurch das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährden.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-
1300.04	Kriechens des Gefrierkörpers (gefrorenes Wasser oder Lockergestein)	Überbeanspruchung der Ausbruchsicherung	Gefrorenes Wasser (wassergefüllter Karsthohlraum) und gefrorener Boden kriecht unter der Belastung des anstehenden Wasserdrucks. Dadurch entsteht eine Belastung auf die Ausbruchsicherung, die zu einem Versagen der Ausbruchsicherung führen kann und dadurch zu einer Gefährdung von Personal und Vortriebs-einrichtung wird.	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
				-	-	-	-	-

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1300.05	Zugabe oder Zutritt von Wasser in tonigem/mergligem Gebirge	Verschlammung der Sohle	Durch Zugabe und Zutritt von Wasser verschlammte die Sohle, sodass das Wasser nicht mehr abgepumpt werden kann und die Säuberung erschwert wird.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Vermeidung Wassereintrag				
1400	Gas							
1400.01	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Explosion	Vortrieb durch gasführendes Gestein (leicht entzündlich und explosiv, z.B. Methan) kann bei entsprechender Konzentration zu Explosionen führen und dadurch das Personal und die Vortriebseinrichtung gefährden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring				
1400.02	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Vergiftung / Verätzung	Im Vortrieb in gasführendem Gestein können giftige Gase freigesetzt werden, welche in hoher Konzentration zur Vergiftung und damit zu einer Gefährdung des Personals führen können.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring				
1400.03	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Erstickung (O2 Mangel)	Sauerstoffverarmung durch nachfolgende Ursachen: <ul style="list-style-type: none"> • Gebirgswasser löst mehr Sauerstoff als CO2 • Gasaustritte aus Vortrieb durch gasführendes Gebirge, dadurch kann das Personal gefährdet werden. 	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring				

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1400.04	Gasführendes Gebirge (Erdgas)	Brand	Infolge Vortrieb durch gasführendes Gestein (leicht entzündlich und explosiv, z.B. Methan) und einer Zündquelle kann ein Brand ausbrechen und das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet werden.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung und Monitoring				
1500	Weitere Gefährdungen							
1500.01	Geogene Belastung Baugrund	Antreffen von geogen belastetem Gebirge	Verschmutzung des Ausbruchsmaterials und dadurch Schwierigkeiten bei der Deponie.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Beprobung und Triage				
1500.02	Spannungsänderungen infolge Stollen-/ Tunnel-/ Kavernenvortrieb	Grossräumige Oberflächensetzungen	Durch den Vortrieb kann sich infolge von Spannungsumlagerungen und Veränderung der Porenwasserdrücke eine messbare grossräumige Oberflächensetzungen ausbreiten. Dadurch kann es zu einer Beschädigung der Infrastruktur kommen.	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				Rascher Ringschluss, Verfüllung nach Nutzung und Monitoring				
1500.03	Erdbeben	Beschädigung des Tragwerks	Beschädigung des Tragwerks als Folge von Erdbebenerschütterungen.	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
				durch Auslegung auf den Gebirgsdruck abgedeckt				
				-				

Tab. A-3: Fortsetzung

Nr.	Ursache	Unerwünschtes Ereignis	Gefährdungsbild	Bauwerke auf Lagerebene HB5				
				HAA-Lagerstollen	SMA-Lagerkaverne	HAA-Betriebstunnel	HAA-Abzweiger	V1-Siegel HAA
1500.04	Gebirgstemperatur (Wasser und Fels)	Wärme / Hitze	Mit zunehmender Überlagerungshöhe nimmt die natürliche Gebirgs-/ Wassertemperatur zu. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Arbeitssicherheit/ Gesundheitsschutz und den Einsatz der Vortriebseinrichtung.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Kühlsystem				
1500.05	Quarzgehalt	Lungenkrankheit (Silikose)	Beim Abbau von Gestein mit hohem Quarzgehalt besteht die Gefahr, dass lungengängiger Quarzfeinstaub freigesetzt wird und es dadurch zu einer Gesundheitsschädigung des Personals kommt.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lokale Absaugung und Filterung, Lüftung, geschlossene Fahrzeuge, PSA				
1500.06	Erschütterungen durch den Vortrieb	Unzulässige Erschütterung von empfindlichen Geräten	Vortriebsbedingte Erschütterungen und Vibrationen werden über den Boden und ggf. das Grundwasser auf benachbarte Bauwerke übertragen und können dort zu unzulässigen Erschütterungen von empfindlichen Messgeräten (z.B. auch eUU) führen.	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
				-	Probesprengungen, Monitoring und schonendes Sprengen (Reduktion Sprengenergie und Abstimmung Zündstufen)			
1500.07	Vortriebsarbeiten	Unzulässige Staubeentwicklung	Durch den Vortrieb bildet sich Staub im Vortriebsbereich. Die Konzentrationen überschreiten die Grenzwerte und gefährden die Gesundheit des Personals oder behindern den Vortrieb.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
				Lüftung				