

Arbeitsbericht NAB 21-06

**Betriebskonzept für die
geologische Tiefenlagerung**

November 2022

Arbeitsbericht NAB 21-06

**Betriebskonzept für die
geologische Tiefenlagerung**

November 2022

STICHWÖRTER

Betriebskonzept, Kombilager, Betriebsabläufe,
Materialströme

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle
Hardstrasse 73
Postfach
5430 Wettingen
Telefon 056 437 11 11
www.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.

15.11.2022: Figur 3-6 farblich angepasst; keine inhaltlichen Änderungen.

Copyright © 2022 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

Der vorliegende Bericht beschreibt die Betriebsprozesse eines Kombilagers mit Verpackungsanlagen bei der Zwiilag. Dem Bericht liegen Randbedingungen und Annahmen zugrunde, die den derzeitigen Stand der Planung wiedergeben. Dies sind keine (Vor-)Festlegungen, denn solche werden für ein geologisches Tiefenlager ausschliesslich im Rahmen der schrittweisen Bewilligungsverfahren gemäss Kernenergiegesetz (KEG 2003) getroffen. Dementsprechend wird auch das Betriebskonzept stufengerecht weiterentwickelt werden.

Der Hauptfokus des Berichts liegt auf den Materialströmen der Einlagerungsphase, weil es sich dabei aus betrieblicher Sicht um die wichtigste Phase handelt. Mit der gewählten Anlagenkonfiguration lässt sich auch in der ca. 5-jährigen Phase mit sequenziellen SMA/HAA-Einlagerungen die geforderte räumliche und zeitliche Trennung von Material- und Personenströmen gewährleisten.

Die Entkopplung einzelner Prozessschritte vermindert Abhängigkeiten und ermöglicht einen Weiterbetrieb, auch wenn Prozesse stillstehen (z.B. für Wartung und Instandhaltung). Die Bereitstellung von Endlagerbehältern in der Oberflächenanlage stellt beispielsweise ein solche Entkopplung dar. Die Verfügbarkeit der Gesamtanlage wird ausserdem durch geeignete Auslegung, Bereithaltung von Ersatzaggregaten und redundante Teilsysteme sichergestellt.

Dank weitgehender Automatisierung und/oder Fernhantierung, die in Zukunft weitere Fortschritte machen und noch mehr Prozesse umfassen wird, ist der Personalbedarf unter Wahrung der Betriebssicherheit begrenzt, und die Strahlenbelastung für das Betriebspersonal kann minimiert werden.

Das Betriebskonzept berücksichtigt, dass Zeitfenster ohne eigentliche Einlagerungstätigkeiten notwendig sind, um Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an Systemen durchführen zu können. Es zeigt sich, dass mit den Annahmen für den Durchsatz der Gesamtanlage ein zuverlässiger und sicherer Einlagerungsbetrieb für alle zu entsorgenden Abfälle innerhalb des geforderten Zeitrahmens möglich ist.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Figurenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Kontext und Ziele dieses Berichts	1
1.2 Hinweis auf ergänzende Angaben zum Bau, Betrieb und Verschluss des Tiefenlagers	2
1.3 Aufbau und Gliederung des Berichts.....	2
2 Randbedingungen, Annahmen und Anforderungen	3
2.1 Radioaktive Abfälle / Abfallmengen.....	3
2.2 Lagertyp und Anlagenkonfiguration.....	5
2.3 Realisierungsplan.....	7
2.4 Einlagerungsdurchsätze	8
2.5 Betriebszeiten	8
2.6 Betriebsunterbrüche / Anlagenverfügbarkeit.....	9
2.7 Betriebsautarkie / Bevorratung und Transportwege	9
2.8 Anlagensicherung	9
2.9 Betriebssicherheit und Strahlenschutz	9
3 Betriebsprozesse.....	11
3.1 Übersicht.....	11
3.2 Zwischenlagerung und Bereitstellung der radioaktiven Abfälle	13
3.3 Verpackung der radioaktiven Abfälle.....	14
3.3.1 SMA-Verpackung.....	15
3.3.2 HAA-Verpackung und TLB-Behandlung.....	18
3.4 Transport (ZWILAG - OFA)	20
3.5 Anlieferung in die OFA (ELB, VM, SM).....	22
3.6 Bereitstellung von Endlagerbehältern.....	22
3.7 Schachtförderung (im Hauptzugang).....	23
3.8 Lagerung von Betriebsmaterialien.....	25
3.9 Einlagerung der radioaktiven Abfälle in die Lagerkammern	26
3.9.1 Einlagerung radioaktiver Abfälle im SMA-Lagerteil.....	27
3.9.2 Einlagerung radioaktiver Abfälle im HAA-Lagerteil	28
3.10 Verfüllung der Lagerkammern	29
3.10.1 Verfüllung der Lagerkavernen.....	30
3.10.2 Verfüllung der Lagerstollen.....	31
3.11 Versiegelung der Lagerkammern.....	31
3.12 Bau neuer Lagerstollen und zugehörige Materiallogistik.....	32

4	Einlagerungssequenzen	34
4.1	Einlagerungssequenzen in einem Kombilager.....	34
4.2	Einlagerungssequenzen im SMA-Lagerteil.....	35
4.3	Einlagerungssequenzen im HAA-Lagerteil	38
5	Personalkonzepte	40
5.1	Betriebspersonal	40
5.1.1	Betriebspersonal für die Oberflächenanlage.....	40
5.1.2	Betriebspersonal für die Nebenzugangsanlage.....	40
5.1.3	Betriebspersonal für die Untertageanlagen.....	41
5.1.4	Betriebspersonal bei der Zwiilag	42
5.1.5	Betriebspersonal für EUU.....	42
5.2	Baupersonal (für die Erstellung neuer Lagerstollen).....	42
5.3	Sicherungspersonal.....	42
5.4	Besucherwesen	43
Anlage A	Systemskizze	A-1
Anlage B	Phasenablauf-Systemskizzen	B-1
B.1	Systemskizzen EUU-Phasen.....	B-1
B.2	Systemskizzen Bau- und Betriebsphasen	B-3
B.3	Systemskizzen Beobachtungs- und Verschlussphasen	B-6

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Anzahl Endlagerbehälter (ELB) für ein Kombilager.....	4
Tab. 2-2:	Abfallmengen (Anzahl ELB) und Einlagerungsdurchsätze.....	8
Tab. 3-1:	Materialströme für die Bereitstellung der Verpackung	14
Tab. 3-2:	Materialströme für die SMA-Verpackung (pro Tag).....	17
Tab. 3-3:	Materialströme für die HAA-Verpackung (pro Woche).....	20
Tab. 3-4:	Materialströme für den Transport zur OFA.....	21
Tab. 3-5:	Anlieferungen in die OFA (Materialströme)	22
Tab. 3-6:	Materialströme der Bereitstellung in einem Kombilager	23
Tab. 3-7:	Materialströme der Schachtförderung	25
Tab. 3-8:	Materialströme für Einlagerungen (ohne Verfüllungen)	26
Tab. 3-9:	Materialströme für Verfüllungen.....	29
Tab. 3-10:	Materialströme für Versiegelungen	32
Tab. 4-1:	Einlagerungssequenzen in den Lagerteilen des Kombilagers.....	34
Tab. 4-2:	Einlagerungssequenzen im SMA-Lagerteil.....	35
Tab. 4-3:	Einlagerungssequenzen im HAA-Lagerteil.....	38

Figurenverzeichnis

Fig. 2-1:	Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz.....	3
Fig. 2-2:	Modellhafte Darstellung eines Kombilagers	5
Fig. 2-3:	Systemskizze Kombilager	6
Fig. 2-4:	Realisierungsplan für ein Kombilager	7
Fig. 3-1:	Hauptprozesse für radioaktive Abfälle	11
Fig. 3-2:	Prozessflussschema mit Betriebsprozessmodulen.....	12
Fig. 3-3:	IPO-Modell (Input – Prozess – Output) für Prozessmodule.....	13
Fig. 3-4:	Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle für das HAA-Lager	14
Fig. 3-5:	Zwischenlagerbehältnis mit SMA	16
Fig. 3-6:	Endlagerbehälter mit SMA.....	17
Fig. 3-7:	Modellhafte Darstellung der HAA-Behälter.....	18
Fig. 3-8:	TLB-Anlieferung in der Zwiilag.....	19
Fig. 3-9:	Umladezelle in der Zwiilag.....	19
Fig. 3-10:	Modellhafte Darstellung eines Strassentransporters für HAA-ELB.....	21

Fig. 3-11: Modellhafte Darstellung einer Schachtförderanlage	24
Fig. 3-12: Lagerung von Betriebsmaterialien.....	26
Fig. 3-13: SMA-Einlagerung (Wanne).....	27
Fig. 3-14: SMA-Einlagerung (Kalotte)	28
Fig. 3-15: HAA-Einlagerung.....	29
Fig. 3-16: Kavernenverfüllung (Kavernenwanne).....	30
Fig. 3-17: Verfüllgerät des FE-Experiments	31
Fig. 4-1: Einlagerungssequenzen in den Lagerteilen des Kombilagers.....	35
Fig. 4-2: Einlagerungssequenzen im SMA-Pilotlager.....	36
Fig. 4-3: Einlagerungssequenzen im SMA-Hauptlager.....	37
Fig. 4-4: Einlagerungssequenzen im HAA-Pilotlager.....	39
Fig. 4-5: Einlagerungssequenzen im HAA-Hauptlager.....	39
Fig. A-1: Systemskizze mit Hauptströmen.....	A-1
Fig. B-1: Systemskizze während der Phase «Bau und Beginn EEU»	B-1
Fig. B-2: Systemskizze während der Phase «Weiterführung EEU».....	B-2
Fig. B-3: Systemskizze während der Phase «Bau Lager SMA»	B-3
Fig. B-4: Systemskizze während der Phase «Bau Lager HAA»	B-4
Fig. B-5: Systemskizze während der Phase «Einlagerungsbetrieb HAA».....	B-5
Fig. B-6: Systemskizze am Ende der Phase «Einlagerungsbetrieb HAA» und während der ersten Teilphase «Beobachtung»	B-6
Fig. B-7: Systemskizze während der Phase «Verschluss Hauptlager»	B-7
Fig. B-8: Systemskizze während der Phase «Weiterführung Beobachtung».....	B-8
Fig. B-9: Systemskizze während der Phase «Verschluss Gesamtlager».....	B-9

Abkürzungsverzeichnis

ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route) (WEKA 2021)
BE	Abgebrannte Brennelemente
BEVA	Brennelementverpackungsanlage
BFE	Bundesamt für Energie
BZL	Bundeszwischenlager
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
HAA	Hochaktive Abfälle (BE und HAA(WA))
HAA(WA)	Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (Kokillen)
KEG	Kernenergiegesetz (KEG 2003)
KEV	Kernenergieverordnung (KEV 2004)
LKW	Lastkraftwagen
NAB	Nagra Arbeitsbericht
NTB	Nagra Technischer Bericht
NZA	Nebenzugangsanlage
OFA	Oberflächenanlage
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (Schweizer Pendant zum ADR) (SDR 2002)
SM	Versiegelungsmaterialien
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
TB	Transportbehälter
TLB	Transport- und Lagerbehälter
UTA	Untertageanlagen
VA	Verpackungsanlage
VM	Verfüllmaterialien
ZLB	Zwischenlagerbehältnis
Zwibez	Zwischenlager beim Kernkraftwerk Beznau
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

1 Einleitung

1.1 Kontext und Ziele dieses Berichts

Das Kernenergiegesetz schreibt die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz in geologischen Tiefenlagern vor (KEG 2003). Die Realisierung erfolgt in einem mehrstufigen Bewilligungsverfahren, beginnend mit der Rahmenbewilligung (Art. 12 KEG 2003). Mit ihr werden Standort, Zweck der Anlage und Grundzüge des Projekts festgelegt. Weitergehende Festlegungen erfolgen stufengerecht in späteren Bewilligungsschritten. Das Auswahlverfahren für die Bezeichnung von Lagerstandorten erfolgt vorgängig zum Rahmenbewilligungsverfahren gemäss dem vom Bundesrat verabschiedeten Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2008). In der laufenden Etappe 3 hat die Nagra die drei Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost vertieft untersucht und bereitet ein Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für ein Kombilager in Nördlich Lägern mit den Oberflächenanlagen am Standort Haberstal vor. Die Verpackung der Abfälle in Endlagerbehälter soll am Standort Zwilag erfolgen.

Die vorgeschriebenen Unterlagen für ein RBG umfassen Berichte zu Sicherheit und Sicherung, zur Umweltverträglichkeit, zur Abstimmung mit der Raumplanung, zur Überwachung und Beobachtungsphase, zum Verschluss des Tiefenlagers, zur Stilllegung der Oberflächenanlage sowie zur Begründung der Standortwahl (Art. 23 & 62 KEV 2004). Weiter ist das RBG gemäss den Vorgaben des ENSI für Etappe 3 (ENSI 2018) zu begründen. Die Gesuchsunterlagen zum RBG stützen sich auch auf Referenzberichte, die teilweise vor Einreichung des RBG veröffentlicht werden.

Der vorliegende Bericht stellt solch einen frühzeitig veröffentlichten Referenzbericht dar und beschreibt das Betriebskonzept für ein generisches Kombilager. Das Konzept gilt damit für alle standortspezifischen Lagerprojekte, die gemäss ENSI 33/649 (ENSI 2018) dem Standortvergleich – dokumentiert im Bericht zur Begründung der Standortwahl – sowie den Sicherheitsnachweisen am gewählten Standort – dokumentiert im Sicherheitsbericht – zugrunde liegen.

Der Bericht richtet sich primär an die Prüfbehörde ENSI. Er ist aber so verfasst, dass er auch einem erweiterten Publikum, insbesondere Fachgremien und interessierten Kreisen der Öffentlichkeit, als Information dienen kann.

Der Bericht bezweckt, die wichtigsten Prozesse des Tiefenlagers zu erläutern. Der Fokus liegt auf dem Einlagerungsbetrieb¹ (vgl. Fig. 2-4), da dessen Betriebsabläufe für die Sicherheit am komplexesten und relevantesten sind. Der Einlagerungsbetrieb erstreckt sich über 25 Jahre und dauert von der ersten Einlagerung eines Behälters mit radioaktiven Abfällen ins SMA-Pilotlager bis zum Verschluss der letzten Lagerkammer. Nebst den Einlagerungsprozessen werden in diesem Bericht auch die während des Einlagerungsbetriebs durchzuführenden Ausbrucharbeiten für Lagerstollen im HAA-Lagerteil berücksichtigt und beschrieben.

¹ Die anderen Phasen gemäss Fig. 2-4 mit betrieblichen Aktivitäten sind «Bau und Beginn EUU», «Weiterführung EUU» und «Beobachtungsphase». In diesen wird das geologische Tiefenlager wie jedes Untertagelabor oder konventionelle Bergwerk betrieben, weshalb in diesem Bericht nicht näher darauf eingegangen wird. Schematische Darstellungen des Tiefenlagers in verschiedenen Phasen finden sich in Anlage B.

1.2 Hinweis auf ergänzende Angaben zum Bau, Betrieb und Verschluss des Tiefenlagers

Der vorliegende Betriebskonzeptbericht ist – wie in Kap. 1.1 erläutert – einer von mehreren RBG-Referenzberichten. Für ergänzende Angaben zum Bau, Betrieb und Verschluss des Tiefenlagers sei auf folgende Unterlagen verwiesen, die teilweise bereits veröffentlicht sind, teilweise sich in Arbeit oder erst in Planung befinden:

- Angaben zu den erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag sind im NAB 21-14 (Nagra 2021b) zu finden.
- Angaben zum Bau werden für das RBG in einem bautechnischen Dossier zusammengestellt; darin wird u.a. die bautechnische Machbarkeit aufgezeigt.
- Das diesem Bericht zugrunde liegende generische Lagerkonzept wurde im NAB 22-35 (Nagra 2022c) verfeinert. Daraus wird ein standortspezifisches Lagerprojekt für ein Kombilager im Standortgebiet Nördlich Lägern erarbeitet und mit Einreichung des RBG veröffentlicht.
- Angaben zur möglichen Anordnung der Oberflächeninfrastruktur finden sich in der vorläufigen Planungsstudie (NAB 22-05 (Nagra 2022d)).
- Die Bewetterung der untertägigen Anlagen (Frischlufzufuhr und Abluftableitung) ist im Lüftungskonzept (NAB 22-31 (Nagra 2022b)) thematisiert.
- Angaben und Hinweise zum Strahlenschutzkonzept finden sich im NAB 14-51 (Nagra 2014a) und im NTB 13-01 (Nagra 2013).
- Das Überwachungskonzept ist im NAB 20-28 (Fanger et al. 2021) beschrieben.
- Sicherheitsbetrachtungen für Untertageanlagen sind im NAB 14-51 (Nagra 2014a) dokumentiert.
- Für Information zu den Verschluss- und Verfüllungsarbeiten des geologischen Tiefenlagers sei auf NAB 21-12 (Nagra 2021d) und zu einer allfälligen Rückholung auf NAB 21-13 (Nagra 2021c) verwiesen.

1.3 Aufbau und Gliederung des Berichts

Randbedingungen, Annahmen und Anforderungen, die diesem Bericht zugrunde liegen, werden im Kap. 2 genannt. Eine dieser Annahmen betrifft den Lagertyp. Aus der Beschreibung eines Kombilagers lassen sich bei Bedarf die Betriebsabläufe eines Einzellagers ableiten.

Im Kap. 3 folgen die Beschreibungen der sogenannten Prozessmodule, die sich aus einer sinnvollen Unterteilung des Gesamtablaufs ergeben. Dabei werden die eingehenden und ausgehenden Materialien aufgelistet (Input und Output der Module) und die betrieblichen Aktivitäten des Moduls beschrieben. In diesem Kapitel finden sich auch Hinweise auf den vorgesehenen Automatisierungsgrad der Prozesse.

Im Kap. 4 werden die untertägigen Einlagerungssequenzen (Reihenfolge der Einlagerungen) beschrieben, ohne auf einzelne Module oder Materialströme detaillierter einzugehen. Damit wird insbesondere der Gesamtablauf in einem Kombilager aufgezeigt. Im Kap. 5 schliesslich wird auf die Personen und ihre Tätigkeiten eingegangen, die beim Betrieb eines geologischen Tiefenlagers notwendig sind (z.B. Betriebspersonal, Baupersonal, Sicherungspersonal).

2 Randbedingungen, Annahmen und Anforderungen

Diesem Bericht liegen Randbedingungen und Annahmen zugrunde, die nicht als (Vor-)Festlegungen missverstanden werden dürfen. Festlegungen für ein geologisches Tiefenlager werden ausschliesslich im Rahmen der schrittweisen Bewilligungsverfahren² gemäss Kernenergiegesetz (KEG 2003) getroffen. Anforderungen an das Betriebskonzept lassen sich aus den Randbedingungen und Annahmen ableiten.

2.1 Radioaktive Abfälle / Abfallmengen

Für die geologische Tiefenlagerung werden die radioaktiven Abfälle aus den Zwischenlagern (z.B. bei der Zwiilag³) mit verschiedenen Prozessschritten in untertägige Lagerkammern eingelagert. Eine der Systemgrenzen für diesen Bericht liegt deshalb bei der Zwischenlagerung, d.h. beim Ausgangspunkt der radioaktiven Abfälle. Vorgelagerte Prozesse (z.B. Abfallkonditionierung, Rückbau von Kraftwerken) werden in diesem Bericht nicht beschrieben.

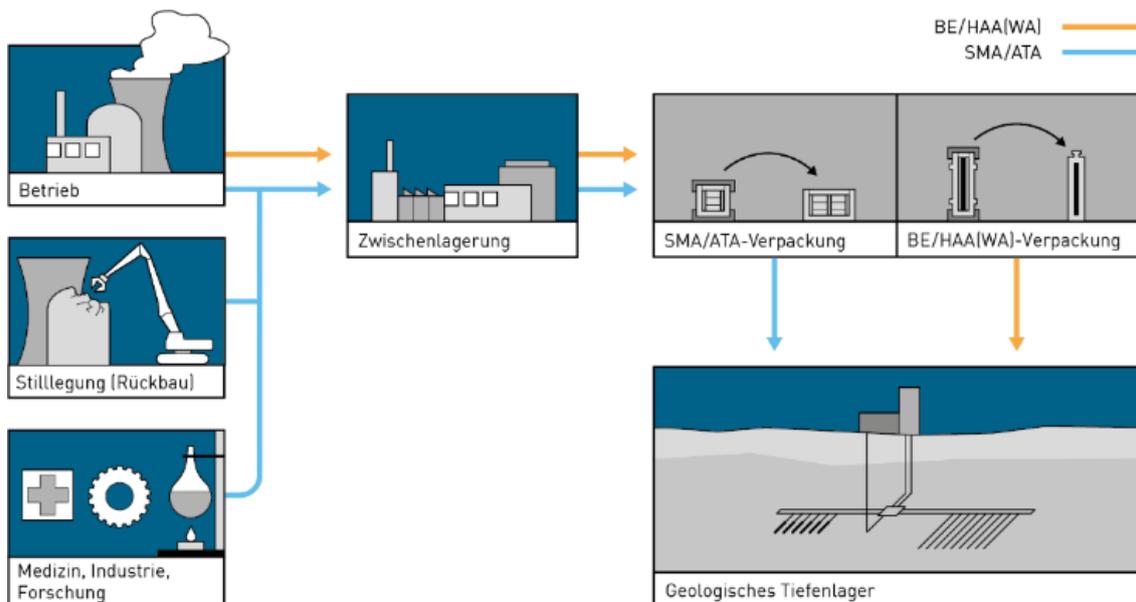


Fig. 2-1: Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz

Modellhafte Darstellung der Herkunft, Behandlung und Entsorgung radioaktiver Abfälle der Schweiz gemäss Entsorgungsplan 2021 (Fig. 1.2-1 in NTB 21-01 (Nagra 2021a))

² Entscheide zu betrieblichen Aspekten werden beispielsweise im Rahmen der nuklearen Betriebsbewilligung getroffen.

³ Zwischenlagerung findet an verschiedenen Standorten statt. Die allermeisten einzulagernden Abfälle werden beim Einlagerungsbeginn auf dem Areal der Zwiilag oder in dessen unmittelbarer Nähe sein (Zwibez, BZL). Für diesen Bericht werden die verschiedenen Standorte der Zwischenlager nicht differenziert betrachtet, da die entsprechenden Betriebsabläufe resp. Prozessmodule alle sehr ähnlich sind.

Die radioaktiven Abfälle setzen sich aus einer Vielzahl unterschiedlicher Abfallarten und Behälter zusammen. Für den SMA-Lagerteil wird mit insgesamt ca. 10'000 Endlagerbehältern gerechnet⁴, die im Tiefenlager platziert werden müssen. Bei Einlagerungsbeginn werden ca. 4'600 SMA-ELB endlagerfertig in der Zwischenlagerung vorliegen. In der SMA-Verpackungsanlage müssen die weiteren Endlagerbehälter befüllt werden (siehe auch Tab. 2-1 und Kap. 3.3.1).

Für den HAA-Lagerteil ergeben sich insgesamt ca. 2'150 Endlagerbehälter, die in der Brennelement-Verpackungsanlage (BEVA) beladen und verschlossen werden müssen (siehe auch Kap. 3.3.2).

Tab. 2-1: Anzahl Endlagerbehälter (ELB) für ein Kombilager

	SMA-Lagerteil	HAA-Lagerteil
Gesamtanzahl	ca. 10'000 ELB	ca. 2'150 ELB
Zwischenlagerung (endlagerfertig verpackt)	ca. 4'600 ELB	keine
Verpackung (SMA-VA / BEVA)	ca. 5'400 ELB	ca. 2'150 ELB

⁴ Die Anzahl erwarteter Endlagerbehälter beruht auf dem modellhaften Inventar radioaktiver Materialien (MIRAM), das letztmals im NTB 14-04 (Nagra 2014b) dokumentiert wurde. Die hier genannten ELB-Zahlen entsprechen dem Szenario «60 Jahre Betrieb KKW» im Entsorgungsprogramm 2021 (Nagra 2021a).

2.2 Lagertyp und Anlagenkonfiguration

Die Beschreibung des Betriebskonzepts wird – wie in Kap. 1.1 und 1.3 erwähnt – für ein Kombilager gemacht, das die sichere Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz in einem einzigen geologischen Tiefenlager ermöglicht.

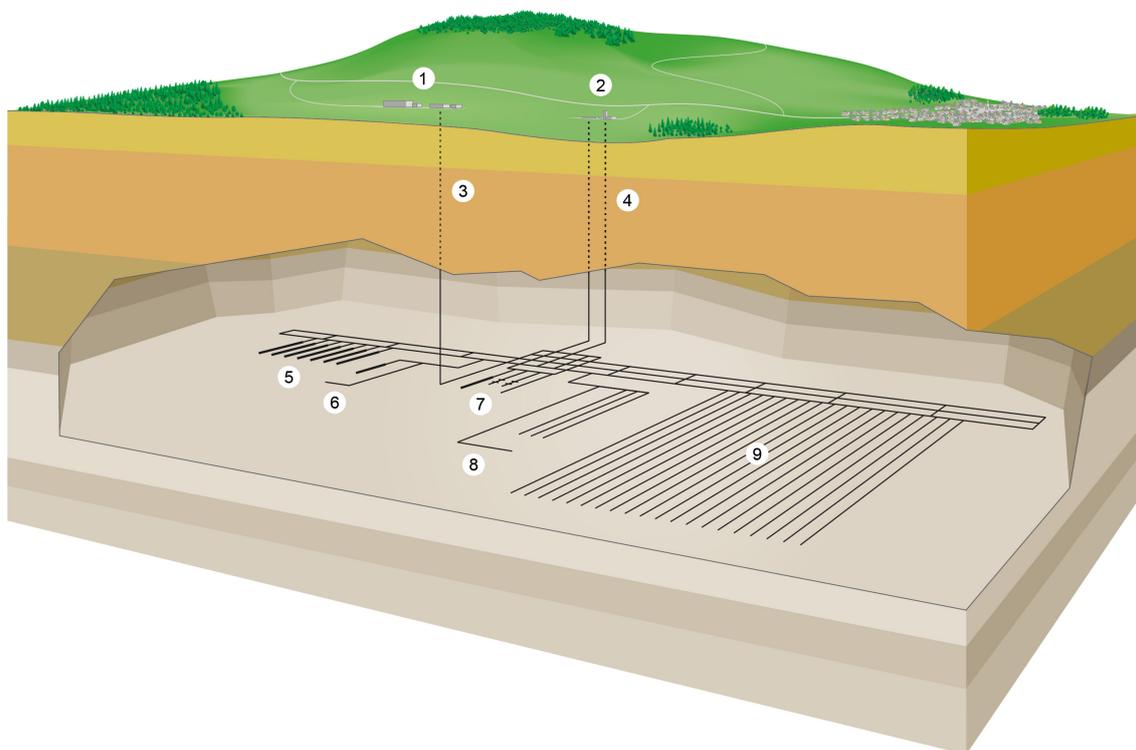


Fig. 2-2: Modellhafte Darstellung eines Kombilagers

Darstellung gemäss Entsorgungsplan 2021 (Fig. 3.2-2 in NTB 21-01 (Nagra 2021a));
 1) Oberflächenanlage (OFA); 2) Nebenzugangsanlage (NZA); 3) Zugangsschacht (Hauptzugang); 4) Betriebsschacht und Lüftungsschacht (Nebenzugänge); 5) Hauptlager SMA; 6) Pilotlager SMA; 7) Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag / Testbereiche; 8) Pilotlager HAA; 9) Hauptlager HAA

Untertag besteht ein Kombilager (u.a.) aus zwei abfallspezifischen, räumlich getrennten Lagerteilen: im SMA-Lagerteil werden schwach- und mittelaktive Abfälle eingelagert, für den HAA-Lagerteil sind abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen vorgesehen. Die beiden Lagerteile haben unterschiedliche Lagerkammern: im SMA-Lagerteil werden die quaderförmigen Endlagerbehälter aus Beton in grossen Lagerkavernen eingelagert, im HAA-Lagerteil sind langgestreckte Lagerstollen für die zylindrischen Endlagerbehälter aus Stahl vorgesehen.

Der Zugang zu den untertägigen Lagerteilen sowie deren Versorgung (z.B. Frischluft, Energie, Medien) wird durch verschiedene Bauwerke ermöglicht: drei Schächte (Zugangsschacht, Betriebsschacht, Lüftungsschacht) führen von der Erdoberfläche hinunter in den zentralen Bereich auf Lagerniveau (siehe auch Fig. 2-3). Das SMA-Lagerfeld wird ausgehend von diesem zentralen Bereich durch zwei Tunnel (Betriebstunnel und Lüftungstunnel) erschlossen, das HAA-Lagerfeld durch drei Tunnel (Betriebstunnel, Lüftungstunnel und Bautunnel). Mit einer solchen Anlagen-

konfiguration kann die aus Sicht der Sicherheit geforderte Anforderung von räumlicher resp. zeitlicher Trennung von Material- und Personenströmen, sowie von Einlagerungstätigkeiten und Bauarbeiten gut erfüllt werden.⁵

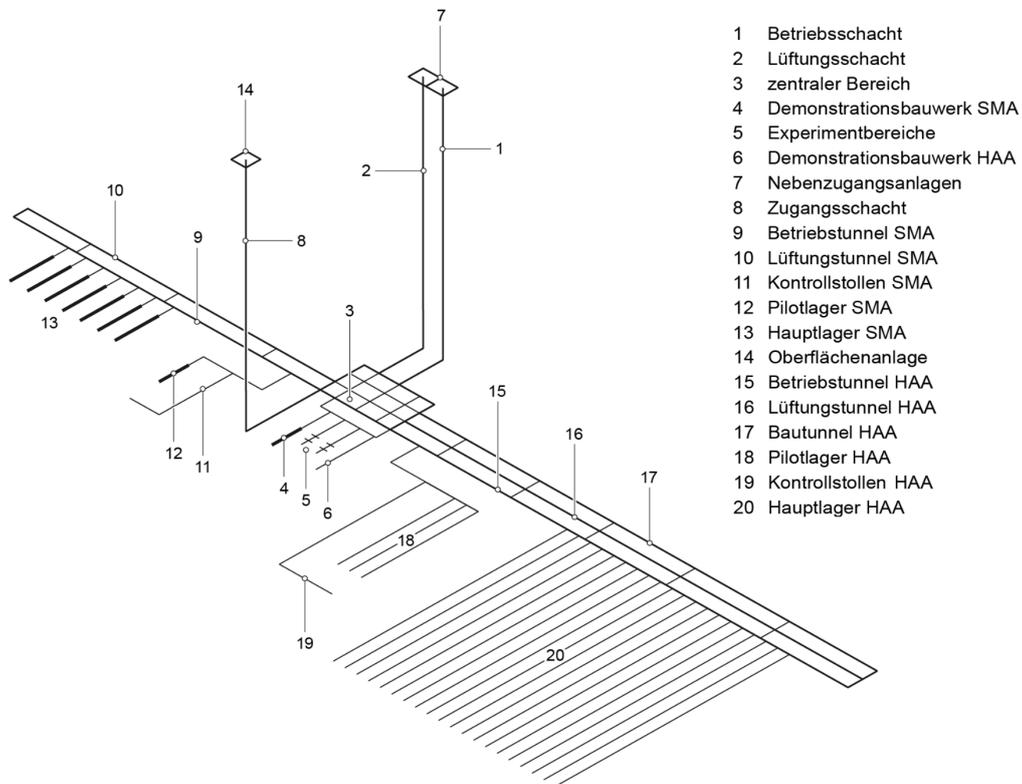


Fig. 2-3: Systemskizze Kombilager

Darstellung gemäss Entsorgungsplan 2021 (Fig. 3.2-1 in NTB 21-01 (Nagra 2021a))

Zu einem geologischen Tiefenlager gehören nebst den untertägigen Anlagen auch Einrichtungen an der Erdoberfläche, z.B. die Oberflächenanlage und die Nebenzugangsanlagen (siehe auch NTB 13-01 (Nagra 2013), NTB 16-08 (Nagra 2016), NAB 19-08 (Nagra 2019) und NAB 22-05 (Nagra 2022d)). Relevant sind für diesen Bericht die Standorte der Verpackungsanlagen (BEVA und SMA-VA). In Übereinstimmung mit der Ausgangslage (vgl. Kap. 1.1) wird angenommen, dass diese bei der Zwilag platziert werden (siehe auch NAB 20-14 (Nagra 2020b), NAB 22-05 (Nagra 2022d) und NAB 22-27 (Nagra 2022a)).

⁵ Eine Systemskizze mit den wichtigsten Material- und Personenströmen findet sich in Fig. A-1. Sie wurde in Analogie zu den Systemskizzen in NTB 16-08 (Nagra 2016) und NAB 19-15 (Nagra 2020a) erstellt.

2.3 Realisierungsplan

Der übergeordnete Zeitplan für die Realisierung eines Kombilagers sieht vor, dass nach den erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) und der Bauphase während ca. 25 Jahren radioaktive Abfälle ins Tiefenlager eingelagert werden. Diese Phase umfasst eine ca. 5-jährige überlappende SMA-/HAA-Einlagerung (siehe Fig. 2-4). Im Bericht zum Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern (Nagra 2020a) wird u.a. auf diesen sequenziellen SMA-/HAA-Einlagerungsbetrieb detaillierter eingegangen, sowie auf die vorgängige Überlappung von SMA-Einlagerungsbetrieb und HAA-Bautätigkeiten.

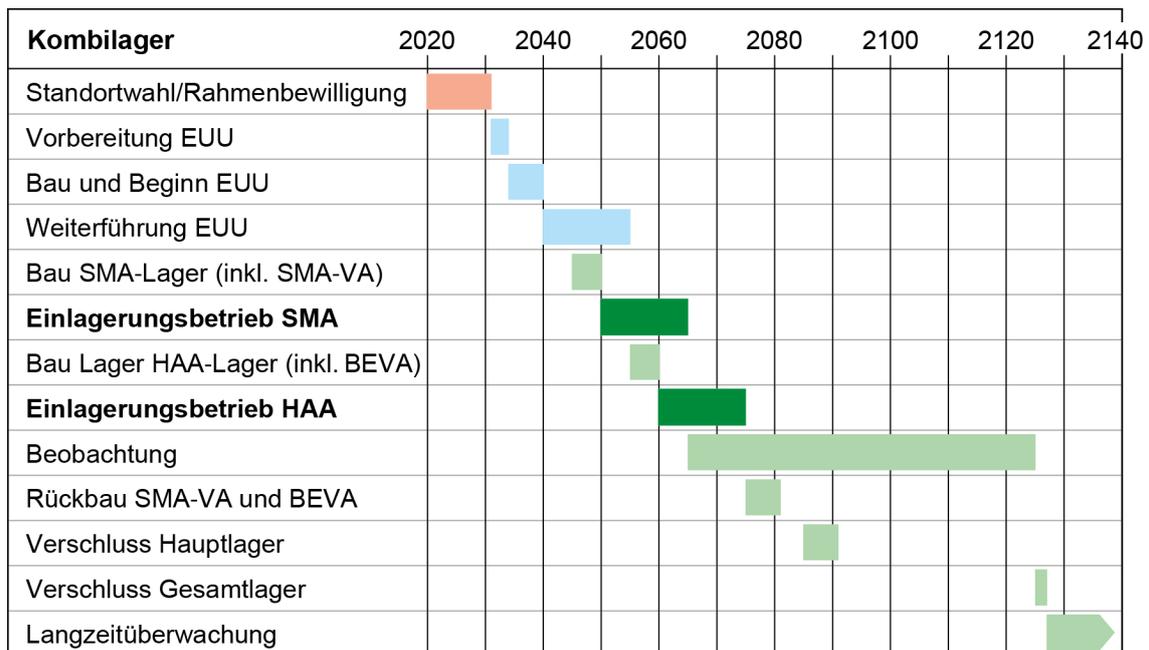


Fig. 2-4: Realisierungsplan für ein Kombilager
Darstellung gemäss Entsorgungsplan 2021 (Nagra 2021a)

Bevor die radioaktiven Abfälle in den Hauptlagern platziert werden dürfen, muss die Einlagerung in Pilotlagern durchgeführt werden. In diesen muss jeweils eine repräsentative kleine Auswahl von Abfällen eingelagert werden, und sie müssen hinsichtlich Bauweise, Einlagerung und Verfüllung den Hauptlagern entsprechen (Art. 66 Ziff. 3 KEV 2004). Jeweils in der ersten Teilphase des Einlagerungsbetriebs sind deshalb die Beschickung, Verfüllung und Versiegelung der Pilotlager vorgesehen (siehe auch Kap. 4). Ferner wird für das Betriebskonzept des Kombilagers eine Einlagerungssequenz angenommen, wie sie in Tab. 4-1 und Fig. 4-1 dargestellt ist.

2.4 Einlagerungsdurchsätze

Die notwendigen Einlagerungsdurchsätze lassen sich aus dem Abfallmengengerüst (siehe Kap. 2.1) und der zur Verfügung stehenden Zeit (Realisierungsplan gemäss Kap. 2.3) ableiten und stellen Anforderungen an das Betriebskonzept dar. Für die beiden Lagerteile des Kombilagers stehen, nach Abzug des Pilotlagerbetriebs und unter Berücksichtigung der überlappenden SMA/HAA-Einlagerung mit reduziertem Durchsatz⁶, jeweils ca. 12 Jahre⁷ Einlagerungsbetriebszeit zur Verfügung. Im Übrigen sei hier auf die Einlagerungssequenzen in einem Kombilager (Kap. 4.1) verwiesen.

Tab. 2-2: Abfallmengen (Anzahl ELB) und Einlagerungsdurchsätze

	SMA-Lagerteil	HAA-Lagerteil
Abfallmengen	ca. 10'000 Endlagerbehälter	ca. 2'150 Endlagerbehälter
Pilotlagerbetrieb	ca. 500 Endlagerbehälter	ca. 50 Endlagerbehälter
Hauptlagerbetrieb	ca. 9'500 Endlagerbehälter	ca. 2'100 Endlagerbehälter
Rechnerischer Mindestdurchsatz (für den Hauptlagerbetrieb)	ca. 792 ELB pro Jahr	ca. 175 ELB pro Jahr
Einlagerungsdurchsatz (Auslegung)	800 ELB pro Jahr 4 ELB pro Tag ⁸	200 ELB pro Jahr 1 ELB pro Tag ⁸

Mit den in Tab. 2-2 genannten Durchsatzauslegungen steht genügend Reservezeit für periodische Instandhaltungen und unvorhergesehene Ereignisse zur Verfügung, ohne die Einhaltung des Realisierungsplans zu gefährden.

2.5 Betriebszeiten

Für den Betrieb der Anlagen eines geologischen Tiefenlagers wird grundsätzlich ein normaler Wochentagsbetrieb angenommen, d.h. für die meisten Tätigkeiten wird mit einer 5-Tage-Woche und normalen Tagesarbeitszeiten gerechnet. Dies ergibt ca. 250 Arbeitstage pro Jahr, an denen in den Anlagen des geologischen Tiefenlagers reguläre Betriebstätigkeiten durchgeführt werden.

Für die untertägigen Arbeiten wird ein Zweischiichtbetrieb bei normalem Wochentagsbetrieb angenommen. Mit dem vorliegenden Bericht wird (u.a.) überprüft und bestätigt, dass solche Arbeitszeiten des Betriebspersonals die angestrebten Einlagerungsdurchsätze (gemäss Kap. 2.4) ermöglichen. Für untertägige Bauarbeiten wird (zumindest zeitweise, z.B. beim Vortrieb neuer Lagerstollen im HAA-Lagerteil) ein durchgehender Betrieb angenommen, was für unterstützende Tätigkeiten (z.B. Personenförderung im Betriebsschacht) ebenfalls einen durchgehenden Betrieb nach sich zieht. Der Umschlag und allfällige Abtransport von Ausbruch- und Baumaterial an der

⁶ Mit den im NAB 19-15 (Nagra 2020a) beschriebenen sequenziellen SMA/HAA-Einlagerungen ergeben sich reduzierte Durchsätze gegenüber den jeweiligen Nominaldurchsätzen im reinen SMA- oder HAA-Einlagerungsbetrieb.

⁷ Für die Berechnung des Mindestdurchsatzes wurden die Anzahl Jahre verwendet, in denen der Hauptlagerbetrieb mit Nominaldurchsatz laufen soll.

⁸ Dies basiert auf der Annahme, dass pro Jahr an ca. 200 Tagen Einlagerungen durchgeführt werden können (siehe auch Kap. 2.5 (Betriebszeiten) und Kap. 2.6 (Betriebsunterbrüche / Anlagenverfügbarkeit)).

Oberfläche wird jedoch nicht im 24-Stunden-Betrieb vorgesehen, sondern tagsüber während des normalen Wochentagsbetriebs.

Unabhängig von den Betriebszeiten und den Betriebstätigkeiten wird die Anlagensicherung durchgehend zu gewährleisten sein (siehe auch Kap. 2.8 und Kap. 5.3).

2.6 Betriebsunterbrüche / Anlagenverfügbarkeit

Wartung und Instandhaltung von Anlagen und Geräten ist eine periodisch wiederkehrende Aufgabe, die in diesem Bericht nicht mit Material- oder Personenströmen dargestellt wird. Grundsätzlich werden die Wartungs- und Instandhaltungspläne für die einzelnen Anlagen festgelegt und untereinander abgestimmt. Eine solche detailliertere Betriebsplanung wird stufengerecht erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt. Sie wird Zeitfenster für Wartung und Instandhaltung ohne Einlagerungsbetrieb berücksichtigen. Mit den oben erwähnten ca. 200 Einlagerungstagen pro Jahr und den genannten Betriebszeiten steht genügend solche Reservezeit zur Verfügung.

Die Verfügbarkeit der Gesamtanlage wird ausserdem durch redundante Teilsysteme sichergestellt, die den Weiterbetrieb ermöglichen, falls einzelne Anlagen und Geräte instandgesetzt werden oder ausfallen. Ein zeitlich beschränkter Weiterbetrieb von Anlagensystemen wird auch durch die Entkopplung von Prozessen (z.B. Bevorratungen; siehe Kap. 2.7) ermöglicht.

2.7 Betriebsautarkie / Bevorratung und Transportwege

Für die Bevorratungen betrieblicher Materialien wird angenommen, dass sie einen autarken Weiterbetrieb des geologischen Tiefenlagers bei Unterbruch von Zulieferketten für ca. 2 Wochen sicherstellen müssen. Mit solchen Bevorratungskapazitäten und der Entkopplung von Prozessen wird vermieden, dass die Gesamtanlage wegen allfälliger kurzer Unterbrüche einzelner Lieferketten direkt zum Stillstand kommt.

Für die Anlieferungen der betrieblichen Materialien (z.B. Endlagerbehälter, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien) wird angenommen, dass sie mit LKW auf dem Strassenweg erfolgen (Nagra 2022d).

2.8 Anlagensicherung

Die Anlagensicherung ist eine permanente Aufgabe, die nicht als Material- oder Personenstrom dargestellt wird. Sie wird im Einlagerungsbetrieb durch spezifisches Wach- und Sicherungspersonal wahrgenommen, das rund um die Uhr vor Ort präsent ist. Ein Sicherheitskonzept muss für die Betriebsbewilligung ausgearbeitet werden.

2.9 Betriebssicherheit und Strahlenschutz

Ebenfalls eine permanente Aufgabe, die nicht als Material- oder Personenstrom dargestellt wird, ist die Gewährleistung der Betriebssicherheit und des Strahlenschutzes. Ein stufengerechtes Sicherheitskonzept, das z.B. die Aspekte von Flucht, Rettung, Evakuierung und Intervention abdeckt, muss für die Bau- und für die Betriebsbewilligung ausgearbeitet werden. Die notwendigen baulichen, technischen und organisatorischen Vorkehrungen dafür werden in der Planung stufengerecht und laufend berücksichtigt.

Die Betriebssicherheit und der Strahlenschutz wurden bereits in folgenden Berichten thematisiert:

- Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers (Nagra 2013)
- Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen in der Betriebsphase (Nagra 2014a)
- Generische Beschreibung von Schachtkopfanlagen (Nagra 2016)
- Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagern mit zwei Einzellagern (Nagra 2020a)

3 Betriebsprozesse

3.1 Übersicht

Um die radioaktiven Abfälle sicher und kontrolliert von der Zwischenlagerung ins geologische Tiefenlager zu überführen und einzulagern, sind verschiedene Prozesse notwendig. Bei diesen Prozessen sind unterschiedliche Materialien, Personen, Geräte usw. involviert. Die Hauptprozesse für die radioaktiven Abfälle sind in Fig. 3-1 dargestellt.



Fig. 3-1: Hauptprozesse für radioaktive Abfälle

Die Hauptprozesse der geologischen Tiefenlagerung umfassen die Verpackung und die Einlagerung der radioaktiven Abfälle sowie die Verfüllung und die Versiegelung der Lagerkammern.

Aus Fig. 3-1 ist ersichtlich, dass ein Teil der radioaktiven Abfälle vor der Einlagerung im geologischen Tiefenlager noch verpackt werden muss, während ein anderer Teil bereits endlagerfertig in den Zwischenlagern vorliegt (siehe auch Kap. 2.1). Dabei handelt es sich beispielsweise um Abfälle aus dem Rückbau und der Stilllegung von Kernkraftwerken, die bereits in Endlagerbehälter verpackt in die Zwischenlagerung angeliefert werden.

Nebst den Hauptprozessen gibt es für die geologische Tiefenlagerung weitere Neben- und Hilfsprozesse wie das Bereitstellen von Materialien (z.B. leere Endlagerbehälter für die Verpackung, Transportbehälter, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien) oder den Bau neuer Lagerstollen im HAA-Lagerteil. In Fig. 3-2 wird eine detailliertere Übersicht der Prozessmodule mit einem direkten Bezug zu den radioaktiven Abfällen gezeigt. Weitere Prozesse mit wenig Bezug zu den radioaktiven Abfällen (z.B. Administration und Dokumentation, Wartung und Instandhaltung, Anlagensicherung, Empfang und Begleitung von Besucherinnen und Besuchern) sind in diesem Prozessflussschema zugunsten der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

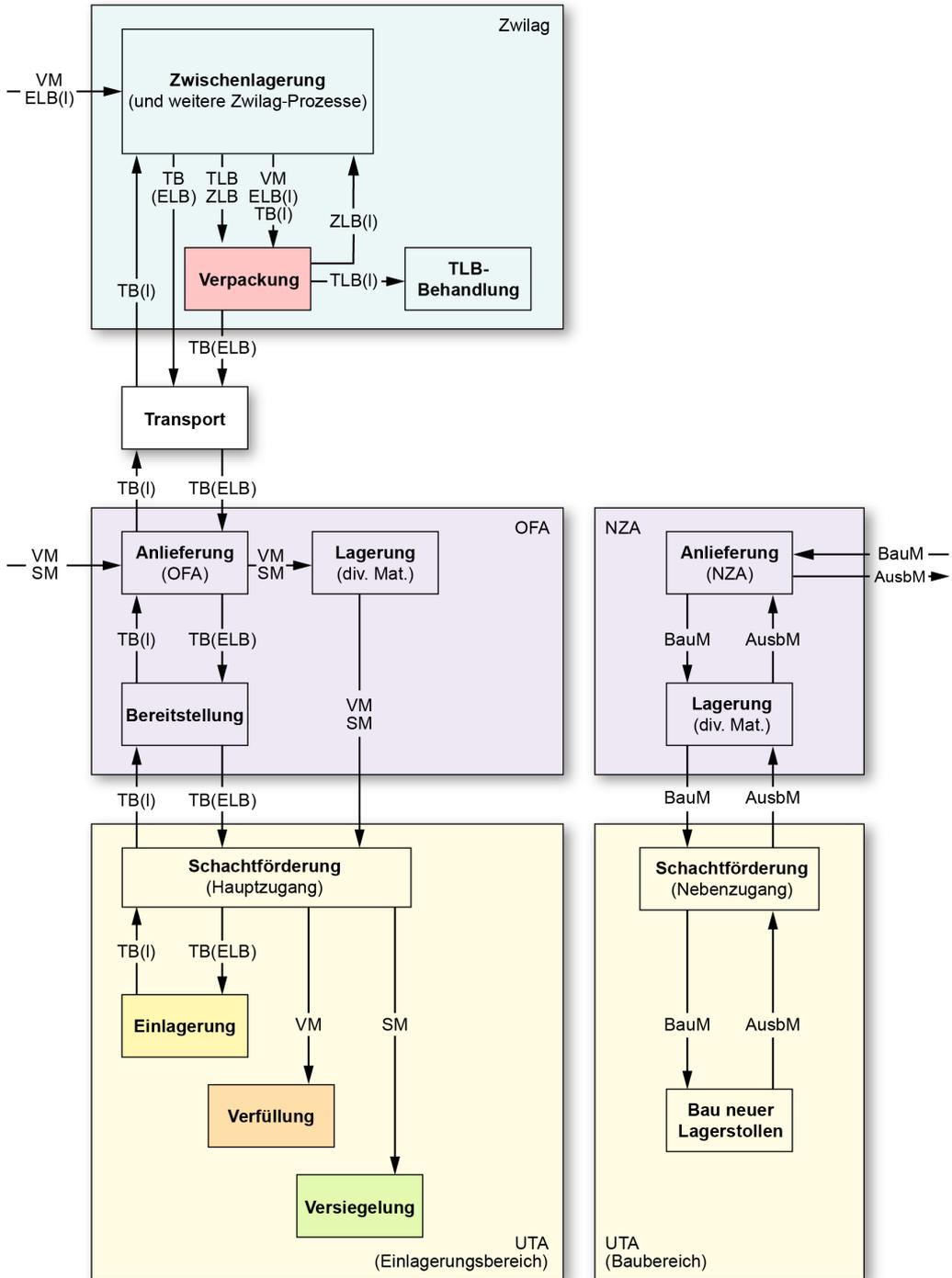


Fig. 3-2: Prozessflussschema mit Betriebsprozessmodulen

AusbM: Ausbruchmaterial, BauM: Baumaterial, ELB: Endlagerbehälter, TB: Transportbehälter, TLB: Transport- und Lagerbehälter, SM: Versiegelungsmaterial, VM: Verfüllmaterial, ZLB: Zwischenlagerbehältnis.

Der Inhalt eines Behälters wird in Klammern angegeben, (l) für einen leeren Behälter.

Nachfolgend werden die Prozessmodule beschrieben, dabei wird grundsätzlich die EVA- resp. IPO-Gliederung verwendet (Eingang (Input) – Verarbeitung (Prozess) – Ausgang (Output), siehe Fig. 3-3). Es wird betrachtet, welche Materialien in das Modul eintreten, was mit ihnen im Modul gemacht wird, d.h. welche Tätigkeiten ausgeführt werden, und welche Materialien das Modul verlassen. Durch die Auflistung der Materialströme lassen sich allfällige Engpässe und die notwendige Leistungsfähigkeit der einzelnen Module für den angestrebten Gesamtdurchsatz ermitteln.



Fig. 3-3: IPO-Modell (Input – Prozess – Output) für Prozessmodule

Input: ins Modul eintretende Materialströme (Eingang); Prozess: Tätigkeiten (Verarbeitung) im Modul; Output: aus dem Modul austretende Materialströme (Ausgang)

3.2 Zwischenlagerung und Bereitstellung der radioaktiven Abfälle

Die Zwischenlagerung hat mit den Prozessen der geologischen Tiefenlagerung wichtige Schnittstellen und umfasst:

- endlagerfertige verpackte SMA (SMA-ELB)
- noch zu verpackende SMA als Einzelbinde oder in Zwischenlagerbehältnissen (ZLB)
- noch zu verpackende abgebrannte Brennelemente (BE) und hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA(WA)) in Transport- und Lagerbehältern (TLB)

Die für den SMA-Lagerteil vorgesehenen Abfälle (die ersten beiden oben aufgelisteten Punkte) befinden sich in unterschiedlichen Gebinden und Behältern. Im Prozessflussschema (Fig. 3-2) und generell in diesem Bericht werden dafür die Oberbegriffe «Zwischenlagerbehältnis» und «Endlagerbehälter» verwendet.

Die dem HAA-Lagerteil zugeordneten Abfälle (dritter Punkt in der Auflistung oben) befinden sich in Transport- und Lagerbehältern (siehe auch Fig. 3-4). Zurzeit sind noch keine solchen Abfälle in Endlagerbehältern verpackt.



Fig. 3-4: Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle für das HAA-Lager

Lagerhalle für Transport- und Lagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen und Kokillen in der Zwiilag; Bild: Zwiilag

Alle radioaktiven Abfälle werden von der Zwischenlagerung bedarfsgerecht für den nachfolgenden Prozess bereitgestellt und stichprobenweise hinsichtlich der Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers überprüft. Diese nachfolgenden Prozesse sind entweder die Verpackung (Kap. 3.3) oder der Transport zur Oberflächenanlage (Kap. 3.4) mit anschließender Einlagerung.

3.3 Verpackung der radioaktiven Abfälle

Für die Verpackung müssen Gebinde und Behälter mit radioaktiven Abfällen von der Zwischenlagerung zur jeweiligen Verpackungsanlage (SMA-VA oder BEVA) gebracht werden. Dieser Transfer kann zumindest teilweise automatisiert ausgeführt werden, auch wenn eine Überwachung durch Personal vor Ort zurzeit vorgesehen ist.

Tab. 3-1: Materialströme für die Bereitstellung der Verpackung

	für den SMA-Lagerteil	für den HAA-Lagerteil
Material / Behälter	Zwischenlagerbehältnis (mit noch nicht endlagerfertig verpackten SMA)	Transport- und Lagerbehälter (mit abgebrannten Brennelementen oder Kokillen)
Menge pro Bereitstellung resp. Transfer	1 Behältnis (z.B. Gitterbox mit 36 Fässern)	1 Behälter (TLB, z.B. mit ca. 50 BE)
Frequenz	ca. 3 Bereitstellungen pro Woche	ca. 1 Bereitstellung pro Woche

Die Verpackung der Abfälle für den SMA-Lagerteil unterscheidet sich von der Verpackung für den HAA-Lagerteil (andere Prozessschritte, unterschiedliche Verpackungsanlagen, siehe z.B. Kap. 3 in NTB 13-01 (Nagra 2013)). Deshalb erfolgt die nachfolgende Beschreibung separat.

3.3.1 SMA-Verpackung

Der Prozess «SMA-Verpackung» übernimmt die Gebinde mit schwach- und mittelaktiven Abfällen aus den Zwischenlagerbehältnissen, platziert sie in Endlagerbehältern und verfüllt diese. Als weiteren Arbeitsschritt werden die fertig verpackten Endlagerbehälter in Transportbehälter⁹ gesetzt und an den nächsten Prozess abgegeben (Transport zur Oberflächenanlage, Kap. 3.4). Die SMA-Verpackung umfasst folgende Tätigkeiten:

- das Einschleusen der leeren Endlagerbehälter (ggf. inkl. Deckel¹⁰) in die SMA-Verpackungsanlage (SMA-VA)
- das Einschleusen der Abfallgebinde (in ihren Zwischenlagerbehältnissen) in die SMA-VA
- das Umladen der Abfallgebinde aus den Zwischenlagerbehältnissen in die Endlagerbehälter (mit stichprobenweiser Charakterisierung / Überprüfung der Abfälle)
- Ggf. die Zubereitung des ELB-Verfüllmaterials (z.B. Mörtelproduktion (Anmischen der Mörteltrockenkomponenten mit Wasser))
- das Verfüllen der Endlagerbehälter, ggf. Aushärten des Verfüllmaterials und Verschiessen der Endlagerbehälter mit dem Deckel
- das Ausschleusen der befüllten und verschlossenen Endlagerbehälter aus der SMA-Verpackungsanlage (inkl. Strahlenschutzkontrollen)
- das Versetzen der Endlagerbehälter in Transportbehälter⁹
- das Ausschleusen der leeren Zwischenlagerbehältnisse aus der SMA-Verpackungsanlage (inkl. Strahlenschutzkontrollen)

⁹ Die Platzierung in Transportbehälter ist für einige SMA-ELB wegen den Transportbestimmungen (ADR (WEKA 2021) / SDR (SDR 2002)) zwingend, für andere stellt sie eine Optimierungsmöglichkeit dar. Um die Materialströme abdeckend darzustellen, werden in diesem Bericht Transportbehälter grundsätzlich mitberücksichtigt.

¹⁰ Zurzeit kommen noch unterschiedliche ELB in Frage, auch hinsichtlich allfälliger Deckel.



Fig. 3-5: Zwischenlagerbehälter mit SMA
Gitterbox (Zwischenlagerbehälter) mit mittelaktiven Abfällen (in 200-Liter-Fässern); Bild:
Zwilag



Fig. 3-6: Endlagerbehälter mit SMA
Modellhafte Darstellung eines befüllten SMA-Endlagerbehälters

Ein grosser Teil der Tätigkeiten für die SMA-Verpackung wird zumindest teilweise automatisiert¹¹ und ferngesteuert ausgeführt werden. Eine Überwachung durch Betriebspersonal vor Ort (aus einem Bedienraum in der Verpackungsanlage) ist vorgesehen. Aus den angestrebten Einlagerungsdurchsätzen (Kap. 2.4) und den zu verpackenden Abfallmengen¹² (Kap. 2.1) lassen sich die Input- und Output-Materialströme für die SMA-Verpackung ableiten:

Tab. 3-2: Materialströme für die SMA-Verpackung (pro Tag)

	Input	Output
1	ca. 2 leere SMA-Endlagerbehälter	ca. 2 befüllte SMA-Endlagerbehälter in je einem Transportbehälter
2	ca. 1 Zwischenlagerbehältnis	ca. 1 leeres Zwischenlagerbehältnis
3	ca. 2 leere Transportbehälter	(benutzt in Pos. 1)
4	Verfüllmaterial (z.B. Trockenbestandteile und Wasser für Vergussmörtel)	(verarbeitet in Pos. 1)

¹¹ Eine Automatisierung ist beispielsweise für das Ein- und Ausschleusen sowie für das Verfahren der Behälter an ihre Be- resp. Entladeplätze und für das Anmischen des Verfüllmaterials denkbar.

¹² Bei den SMA müssen nur etwas mehr als die Hälfte der einzulagernden ELB in der SMA-VA verpackt werden (Tab. 2-1). Die andere Hälfte liegt schon endlagerfertig verpackt in der Zwischenlagerung vor.

3.3.2 HAA-Verpackung und TLB-Behandlung

Die HAA-Verpackung findet in der Brennelement-Verpackungsanlage (BEVA) statt. Dabei werden abgebrannte Brennelemente (BE) oder Kokillen mit hochaktiven Abfällen (HAA(WA)) aus Transport- und Lagerbehältern (TLB) übernommen, in Endlagerbehältern platziert und diese luftdicht verschlossen.



Fig. 3-7: Modellhafte Darstellung der HAA-Behälter

Darstellung gemäss Fig. 1.1-1 in NAB 20-14 (Nagra 2020b)

Die Endlagerbehälter befinden sich schon vor ihrer Befüllung in Transportbehältern, die für den späteren Transport über das öffentliche Verkehrsnetz (Kap. 3.4) und für das Verbringen ins geologische Tiefenlager (Kap. 3.5 ff) benötigt werden.

Die HAA-Verpackung umfasst folgende Tätigkeiten:

- das Einschleusen, Vorbereiten und Andocken der leeren Endlagerbehälter (in ihren Transportbehältern) an die Umladezelle der BEVA
- das Einschleusen, Vorbereiten und Andocken der Transport- und Lagerbehälter an die Umladezelle der BEVA
- das Umladen von Brennelementen oder Kokillen aus Transport- und Lagerbehältern in Endlagerbehälter (mit stichprobenweiser Charakterisierung / Überprüfung der Abfälle)
- das luftdichte Verschliessen der befüllten Endlagerbehälter mit den Primärdeckeln und Andocken der Endlagerbehälter (zusammen mit ihren Transportbehältern)
- Strahlenschutzkontrollen und Transfer der Endlagerbehälter und ihrer Transportbehälter zur Schweisstation
- das Verschweissen der Endlagerbehälter-Sekundärdeckel inkl. Wärmebehandlung (kontrolliertes Abkühlen) und Überprüfen der Schweissnähte
- das Verschliessen der Transportbehälter und Ausschleusen derselben mit den darin enthaltenen Endlagerbehältern
- das Verschliessen und Ausschleusen entleerter Transport- und Lagerbehälter (inkl. Strahlenschutzkontrollen)

Bei den Verpackungstätigkeiten in der BEVA sind eine vollständige Fernbedienung und die teilweise Automatisierung vorgesehen, während für die Überwachung Betriebspersonal vor Ort vorhanden ist.



Fig. 3-8: TLB-Anlieferung in der Zwiilag

Abladen eines Transport- und Lagerbehälters (TLB) mit abgebrannten Brennelementen;
Foto: Zwiilag



Fig. 3-9: Umladezelle in der Zwiilag

Umladezelle für abgebrannte Brennelemente und Kokillen; Foto: Zwiilag

Tab. 3-3: Materialströme für die HAA-Verpackung (pro Woche)

	Input	Output
1	ca. 5 leere Endlagerbehälter (ELB) in ihren Transportbehältern	ca. 5 befüllte und verschweisste ELB inkl. umhüllende Transportbehälter
2	ca. 1 Transport- und Lagerbehälter (TLB) mit BE oder HAA(WA)	ca. 1 leerer Transport- und Lagerbehälter

Nachdem die leeren Transport- und Lagerbehälter (TLB) verschlossen und aus der Umladezelle der BEVA ausgeschleust wurden, werden sie bis zu ihrer Weiterbehandlung in ein Pufferlager¹³ gestellt. Die TLB-Behandlung erfolgt in unmittelbarer Nähe der BEVA, dabei werden die TLB in verschiedene Fraktionen zerlegt: wiederverwertbare, konventionell zu entsorgende oder als Abfall im geologischen Tiefenlager zu platzierende Materialien.

Für die TLB-Behandlung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Zurzeit wird von einer trockenen Behandlung ausgegangen, d.h. es ist eine Zerlegung und mechanische Zerkleinerung der Transport- und Lagerbehälter vorgesehen, so dass ausschliesslich feste zu entsorgende Materialien anfallen. Eine Automatisierung ist für die TLB-Behandlung nicht vorgesehen, aber eine Fernhandlung wird für möglichst viele Behandlungsschritte angestrebt, um die Strahlenbelastung für das Personal zu minimieren.

3.4 Transport (ZWILAG - OFA)

Für den Transport zur Oberflächenanlage werden die einzelnen Endlagerbehälter mit ihren Transportbehältern von der Zwischenlagerung oder von der Verpackung übernommen und auf ein Transportfahrzeug gesetzt. Diese Bereitstellung beinhaltet u.a. die Prüfung auf Konformität mit den Annahmebedingungen des geologischen Tiefenlagers, die Prüfung und Feststellung der Transportfähigkeit (Schadenfreiheit des Behälters / Strahlenschutz) und die Dokumentation des bevorstehenden Transports.

Eine vollständige Automation der Transportbereitstellung und des anschliessenden Transports auf öffentlichen Verkehrswegen ist derzeit nicht denkbar.

¹³ Dieses Pufferlager leerer TLB kann sich in der BEVA befinden, es ist aber auch ein Pufferlager in der TLB-Behandlungsanlage denkbar.

Tab. 3-4: Materialströme für den Transport zur OFA

	für den SMA-Lagerteil	für den HAA-Lagerteil
Material / Behälter	Endlagerbehälter / Transportbehälter ⁹ (mit endlagerfertig verpackten SMA)	Endlagerbehälter / Transportbehälter (mit endlagerfertig verpackten HAA)
Menge pro Bereitstellung resp. Transport	1 TB(ELB) pro Transportfahrzeug ¹⁴	mehrere TB(ELB) auf ebenso vielen Transportfahrzeugen ¹⁵
Frequenz	mehrere Transp. pro Woche (ca. 800 ELB pro Jahr)	ca. 1 Transport pro Woche (ca. 200 ELB pro Jahr)

Die Transporte von der Zwilag zum Tiefenlager müssen mit Behältern und Transportmitteln durchgeführt werden, die den Anforderungen (u.a. ADR (WEKA 2021) / SDR (SDR 2002)) genügen. Für diese Transporte werden in Übereinstimmung mit der vorläufigen Planungsstudie (Nagra 2022d) Strassentransporte angenommen.



Fig. 3-10: Modellhafte Darstellung eines Strassentransporters für HAA-ELB

Beispielhafter LKW für einen Strassentransport eines HAA-Endlagerbehälters, der in einem Transportbehälter mit Stossdämpfern platziert ist.

Wie in Tab. 3-4 aufgelistet sind während des SMA-Einlagerungsbetriebs pro Woche mehrere Transporte vorgesehen, um den durchschnittlichen Bedarf an SMA-ELB abdecken zu können. Im HAA-Einlagerungsbetrieb ist pro Woche durchschnittlich ein Konvoi-Transport vorgesehen.

¹⁴ Für den SMA-Lagerteil sind Einzeltransporte oder auch Konvoi-Transporte mit bis zu 8 Transportfahrzeugen möglich.

¹⁵ Für den HAA-Lagerteil sind zurzeit Konvoi-Transporte mit 4 bis 5 Transportfahrzeugen vorgesehen, die je einen Endlagerbehälter mit entsprechendem Transportbehälter enthalten.

3.5 Anlieferung in die OFA (ELB, VM, SM)

Die für den Einlagerungsbetrieb benötigten Materialien, die auf die Oberflächenanlage angeliefert werden, umfassen:

- Endlagerbehälter (SMA-ELB und HAA-ELB, in jeweiligen Transportbehältern)
- Verfüllmaterialien (VM) für die Verfüllung der Lagerkammern (z.B. Mörtel für die Kavernen im SMA-Lagerteil, Bentonitauflager und Bentonitgranulat für die Lagerstollen im HAA-Lagerteil)
- Versiegelungsmaterialien (SM) für die Versiegelung der Lagerkammern (diverse Baumaterialien, wie z.B. Sand, Bentonit, Beton)

Die Anlieferung der Endlagerbehälter erfolgt, wie in Kap. 3.4 beschrieben, einzeln oder mit mehreren Transportfahrzeugen gleichzeitig (Konvoi-Transporte). Nach der Anlieferung werden die Endlagerbehälter mit ihren Transportbehältern zu den jeweiligen Bereitstellungshallen (siehe Kap. 3.6) gefahren, wo sie den Transportfahrzeugen entnommen werden.

Die Zulieferung der Verfüll- und Versiegelungsmaterialien erfolgt von den externen Produktionsstätten (oder Vorratslagern) zur Oberflächenanlage in die Aufbereitungsanlage für Verfüll- und Versiegelungsmaterialien (siehe Kap. 3.8). Bei erhöhtem Materialbedarf (z.B. während der Kavernen-Verfüllkampagnen im SMA-Lagerteil) können pro Anlieferung mehrere LKW involviert sein.

Tab. 3-5: Anlieferungen in die OFA (Materialströme)

Materialstrom	für den SMA-Lagerteil	für den HAA-Lagerteil
Endlagerbehälter / Transportbehälter	mehrere Anlieferungen pro Woche (ca. 800 ELB pro Jahr)	ca. 1 Anlieferung pro Woche (ca. 200 ELB pro Jahr)
Mörtel	ca. 3 Anlieferungen pro Woche (ca. 7'000 m ³ pro Jahr)	-
Bentonitauflager	-	ca. 1 Anlieferung pro Woche (ca. 200 Stk. pro Jahr)
Bentonitgranulat	-	ca. 3 Anlieferungen pro Woche (ca. 9'000 m ³ pro Jahr)
Versiegelungsmaterialien (z.B. Sand, Beton, Bentonit)	ca. 25 Anlieferungen pro Jahr, jeweils beim Bau der Versiegelungsbauwerke (durchschnittlich ca. 600 m ³ pro Jahr)	ca. 10 Anlieferungen pro Jahr, jeweils beim Bau der Versiegelungsbauwerke (durchschnittlich ca. 250 m ³ pro Jahr)

3.6 Bereitstellung von Endlagerbehältern

Das Prozessmodul "Bereitstellung" stellt die radioaktiven Abfälle und ihre Behälter für die Einlagerung zur Verfügung und ist für einen autonomen (Weiter-)Betrieb während ca. 2 Wochen vorgesehen. So kann auch bei Liefer- oder Abnahmeunterbrüchen während einer beschränkten Zeit der Betrieb des geologischen Tiefenlagers fortgesetzt werden (siehe auch Kap. 2.7).

Die Bereitstellung der radioaktiven Abfälle umfasst u.a. folgende Tätigkeiten:

- Überprüfen der Endlagerbehälter bei der Anlieferung, z.B. Sichtkontrollen, Wischtests oder Messung der Dosisleistung
- Platzieren der Endlagerbehälter mit ihren Transportbehältern in der Bereitstellungshalle
- Bei untertägigem Einlagerungsbedarf: Entnahme eines Endlagerbehälters mit seinem Transportbehälter aus der Bereitstellungshalle sowie Platzieren und Befestigen auf einem Untertage-Transportwagen

Als weiteren Materialstrom dieses Moduls sind die Untertage-Transportwagen zu betrachten, die vom Einlagerungsprozess zurückkommen und mit einem leeren Transportbehälter beladen sind. Diese werden bis zu ihrer erneuten Verwendung in der Bereitstellungshalle aufbewahrt.

Tab. 3-6: Materialströme der Bereitstellung in einem Kombilager

	Input	Output
1	SMA-Endlagerbehälter (mit ihren Transportbehältern): mehrere Anlieferungen pro Woche (siehe auch Tab. 3-4 und Tab. 3-5)	SMA-Endlagerbehälter (mit ihren Transportbehältern): in der Regel 2 Auslieferungen pro Tag mit 4 TB(ELB) ¹⁶
2	HAA-Endlagerbehälter (mit ihren Transportbehältern): ca. 1 Anlieferung pro Woche (siehe auch Tab. 3-4 und Tab. 3-5)	HAA-Endlagerbehälter (mit ihren Transportbehältern): in der Regel 1 TB(ELB) pro Tag
3	leere Transportbehälter (zurückkommend vom Einlagerungsprozess): max. 4 Stk. pro Tag	leere Transportbehälter (Rücktransport zur Zwiilag): nach Bedarf / Verfügbarkeit

3.7 Schachtförderung (im Hauptzugang)

Mit Schachtförderanlagen wird der Transport im Zugangsschacht zwischen der Erdoberfläche und der Lagerebene für Materialien (und Personen) sichergestellt. Schachtförderung ist eine sehr zuverlässige Technik und mit entsprechenden Massnahmen sicher (Sindern & Borowski 2014). Die für die Förderung nach Untertag vorgesehenen Materialien (z.B. Endlagerbehälter in ihren Transportbehältern) werden an ihren Standorten (z.B. Bereitstellungshalle, Kap. 3.6) abgeholt, zum Schachtkopfgebäude und dann in den Grossförderkorb gebracht.

Für diverse Logistikaufgaben (z.B. Beladen oder Befüllen von Transportwagen, Transfer zur Schachtförderanlage, Aufschieben in den Förderkorb) ist Betriebspersonal vorgesehen. Die Prozesse werden durch Hilfsmittel und Steuerungen unterstützt, eine vollständige Automatisierung ist derzeit nicht vorgesehen.

¹⁶ In der Regel können pro Transportwagen 2 SMA-ELB mit ihren TB transportiert werden. Einige wenige SMA-ELB / TB müssen einzeln auf einen Transportwagen geladen werden.

Die Tätigkeiten (Prozessschritte) bei der Schachtförderung mit dem Grossförderkorb umfassen:

- das Arretieren und Öffnen des Förderkorbs im Schachtkopfgebäude der OFA
- das Aufschieben und Befestigen des jeweiligen Transportwagens im Förderkorb (inkl. Schliessen des Förderkorbs)
- die eigentliche Förderung nach Untertag
- das erneute Arretieren und Öffnen des Förderkorbs beim Schachtfuss auf Lagerebene
- das Entsichern und Abziehen des Transportwagens aus dem Förderkorb (sowie ggf. das Schliessen des Förderkorbs)

Die maximale Geschwindigkeit für den Grossförderkorb im Hauptzugang beträgt 1 m/s, d.h. eine Fahrt dauert ca. 15 Minuten. Für das Aufschieben, Sichern und Abziehen von Transportwagen ist jeweils mit weiteren ca. 10 Minuten zu rechnen, so dass eine Schachtfahrt insgesamt ca. 30 Minuten benötigt.

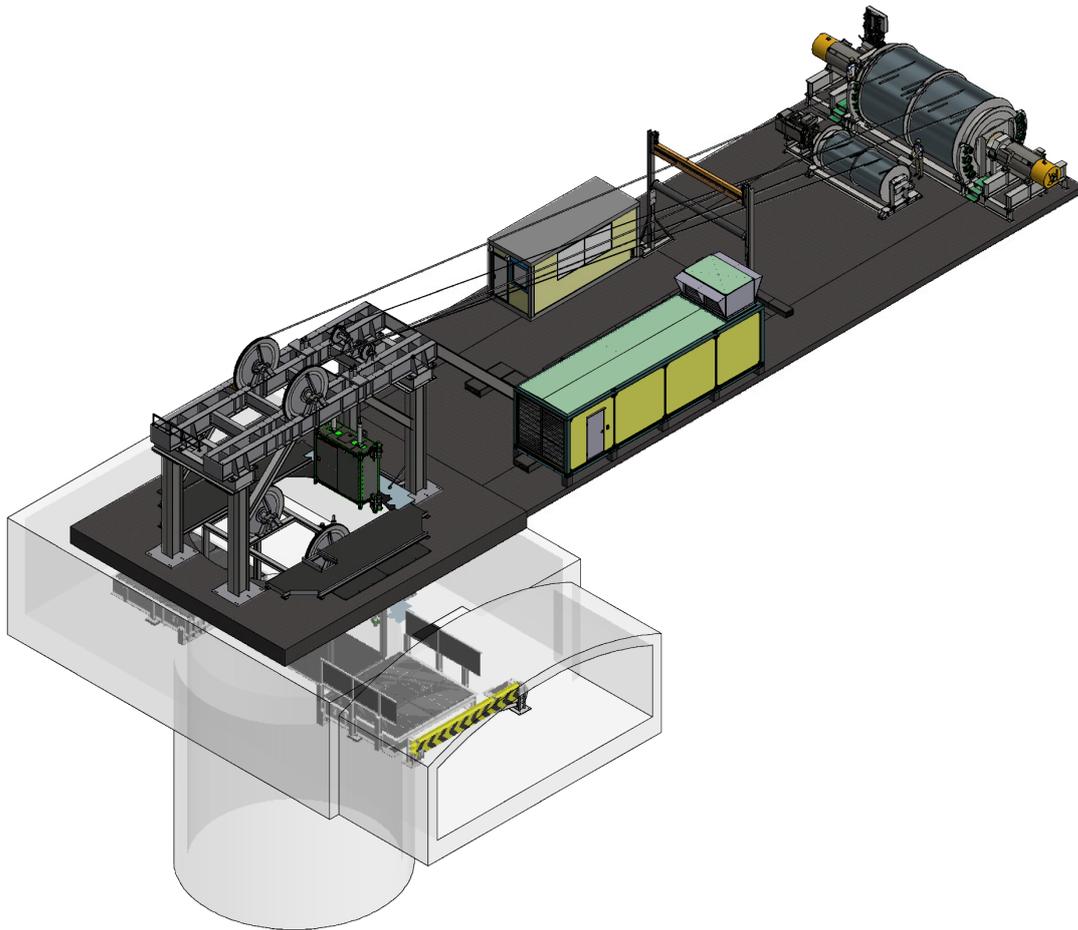


Fig. 3-11: Modellhafte Darstellung einer Schachtförderanlage

Modellhafte Darstellung einer Windenförderanlage für den Zugangsschacht; Bild: Albatros

Pro Schachtfahrt ist die Förderung eines Transportwagens vorgesehen, d.h. der gleichzeitige Transport von radioaktiven Abfällen und anderen Materialien oder Betriebspersonal ist nicht vor-

gesehen. Die Schachtförderung kann weitgehend automatisiert durchgeführt werden, zurzeit ist jedoch eine Vorortüberwachung Stand der Technik.

Tab. 3-7: Materialströme der Schachtförderung

Transportgut	Transportrichtung
Endlagerbehälter / Transportbehälter / Transportwagen: 1-2 Transporte pro Tag ¹⁷	von der Erdoberfläche (OFA) nach Untertag (Schachtfuss) ↓
Verfüllmaterialien (z.B. Bentonitauflager, Bentonitgranulat, Verfüllmörtel) und Transportwagen: 4-6 Transporte pro Tag	von der Erdoberfläche (OFA) nach Untertag (Schachtfuss) ↓
Versiegelungsmaterialien (z.B. Sand, Filterkies, Beton, Bentonit) in Transportwagen: 2-3 Transporte pro Tag (nur während Versiegelungstätigkeiten)	von der Erdoberfläche (OFA) nach Untertag (Schachtfuss) ↓
leere Transportwagen, ggf. mit leeren Transportbehältern: 5-8 Transporte pro Tag	von Untertag (Schachtfuss) zur Erdoberfläche (OFA) ↑
in beide Richtungen je ca. 5-8 Transporte pro Tag (im normalen Einlagerungsbetrieb)	

Mit ca. 10-16 Schachtfahrten im normalen Einlagerungsbetrieb ist der Grossförderkorb des Hauptzugangs während ca. 5-8 Stunden pro Tag in Betrieb und stellt im vorgesehenen untertägigen Zweischichtbetrieb keinen Engpass dar. Es steht genügend Spielraum für zusätzliche resp. ungeplante Transporte mit diesem Förderkorb zur Verfügung, und es sind keine höheren Fördergeschwindigkeiten notwendig.

Schachtförderung wird im Zugangsschacht auch für Betriebspersonal durchgeführt. Dieses besteigt und verlässt den dafür vorgesehenen separaten Förderkorb (mittlere Seilfahrtanlage), der mit max. 4 m/s fahren kann, selbständig. Zusammen mit dem geringeren Zeitbedarf für das Zustiegen und Verlassen des Personenförderkorbs ergeben sich ca. 6 Minuten pro Fahrt. Damit steht auch auf diesem Förderweg genügend Kapazität zur Verfügung.

3.8 Lagerung von Betriebsmaterialien

Mit der Lagerung von Betriebsmaterialien wird die Abhängigkeit von Lieferketten reduziert (siehe auch Kap. 2.7), so dass der Einlagerungsbetrieb für eine gewisse Zeit¹⁸ ohne Anlieferungen weitergeführt werden kann. Auf der Oberflächenanlage werden Materialien für die Verfüllung und Versiegelung der Lagerkammern bereitgehalten. Die Lagerung solcher Betriebsmaterialien ist gängige Praxis.

Die Lagerung von Stückgut (z.B. Bentonitauflager) ist in Lagerhallen vorgesehen, je nach örtlichen Platzverhältnissen (z.B. bei kleiner Grundfläche) sind auch Regallager denkbar. Bentonitauflager werden mit einer speziellen Verpackung gelagert, um sie vor Feuchtigkeit zu schützen.

¹⁷ Gemäss Tab. 3-6 und Fussnote 16 können pro Transportwagen in der Regel 2 SMA-ELB transportiert werden. Deshalb kann für den SMA-Lagerteil bei einem Einlagerungsdurchsatz von 4 ELB pro Tag (siehe Kap. 2.4 und Tab. 2-2) mit 2 Schachtförderungen für ELB/TB/Transportwagen gerechnet werden. Für den HAA-Lagerteil wird mit 1 Förderung pro Tag für ELB/TB/Transportwagen gerechnet.

¹⁸ Als Annahme (siehe auch Kap. 2.7) ist eine stetige Bevorratung für 2 Wochen Normalbetrieb vorgesehen.



Fig. 3-12: Lagerung von Betriebsmaterialien
Beispielhafte Lagerhalle für Betriebsmaterialien; Bild: Zwiilag

Die Lagerung von Schüttgut (z.B. Bentonitgranulat, Mörtelkomponenten, Versiegelungsmaterialien) findet in Silos statt, zur Anlieferung werden Silofahrzeuge verwendet. Bei Bedarf werden die Verfüll- und Versiegelungsmaterialien von den Vorratssilos in kleine Silowagen gefüllt, die für den Untertagetransport geeignet sind.

3.9 Einlagerung der radioaktiven Abfälle in die Lagerkammern

Da die Einlagerung im SMA-Lagerteil im Vergleich zum HAA-Lagerteil andere Prozessschritte beinhaltet, die in unterschiedlichen Lagerkammern stattfinden, erfolgen die Beschreibungen separat (Kap. 3.9.1 und 3.9.2). Input- und Outputströme können hingegen zusammenfassend dargestellt werden (siehe Tab. 3-8).

Tab. 3-8: Materialströme für Einlagerungen (ohne Verfüllungen)

	für den SMA-Lagerteil	für den HAA-Lagerteil
Materialströme (Input)	SMA-Endlagerbehälter (mit Transportbehälter/-wagen)	HAA-Endlagerbehälter und Bentonitauflager (mit Transportbehälter/-wagen)
Materialströme (Output)	Transportbehälter (leer) und Transportwagen	Transportbehälter (leer) und Transportwagen
Frequenz	ca. 2 Transportwagen, d.h. ca. 4 ELB pro Tag ¹⁶	ca. 2 Transportwagen pro Tag (1 Bentonitauflager und 1 ELB/TB)

3.9.1 Einlagerung radioaktiver Abfälle im SMA-Lagerteil

Nach dem Abholen der Transportwagen mit radioaktiven Abfällen beim Schachtfuss des Hauptzugangs werden diese über den zentralen Bereich und weiter durch den SMA-Betriebstunnel zur jeweiligen Lagerkaverne transportiert. Um die Strahlenbelastung für das Betriebspersonal zu minimieren, ist ein automatisierter und unbegleiteter Transport der radioaktiven Abfälle anzustreben. Technisch ist dies bereits heute möglich.

Im SMA-Lagerteil werden die Endlagerbehälter kompartiments- und schichtweise in alternierenden Einlagerungs- und Verfüllkampagnen in den Kavernen eingelagert (siehe auch Kap. 4.2). Ein grosser Teil der Tätigkeiten für die SMA-Einlagerungen wird, wiederum im Sinne der Minimierung der Strahlenbelastung, automatisiert und/oder ferngesteuert durchgeführt. Dies betrifft insbesondere das Fahren der am Kran befestigten Endlagerbehälter bis zur Einlagerungsposition und deren Platzierung in der Kavernenwanne. Eine Überwachung vor Ort durch Betriebspersonal (im Abladebereich, d.h. beim Eingang der Kaverne, vgl. Fig. 3-14) ist während der Einlagerungsprozesse allerdings vorgesehen.



Fig. 3-13: SMA-Einlagerung (Wanne)

Einlagerung eines SMA-Endlagerbehälters in der Kavernenwanne (modellhafte Darstellung)

Wenn eine Schicht eines Kavernenkompartiments vollständig mit Endlagerbehältern befüllt ist, kann sie verfüllt werden (siehe Kap. 3.10). Wenn alle Kompartimente in der Kavernenwanne vollständig befüllt sind, können die verbleibenden Hohlräume im oberen Teil der Kaverne, der sogenannten Kalotte, nach entsprechender Umrüstung der Lagerkaverne¹⁹, mit weiteren Endlagerbehältern beschickt und fortlaufend verfüllt werden.

¹⁹ Die Vorbereitungsarbeiten für die Kalotteneinlagerung umfassen z.B. die Demontage des Einlagerungskrans, die Erstellung einer befahrbaren Fläche auf den eingelagerten ELB, die Bereitstellungen des Kalotteneinlagerungsgeräts und des Kalottenverfüllgeräts.

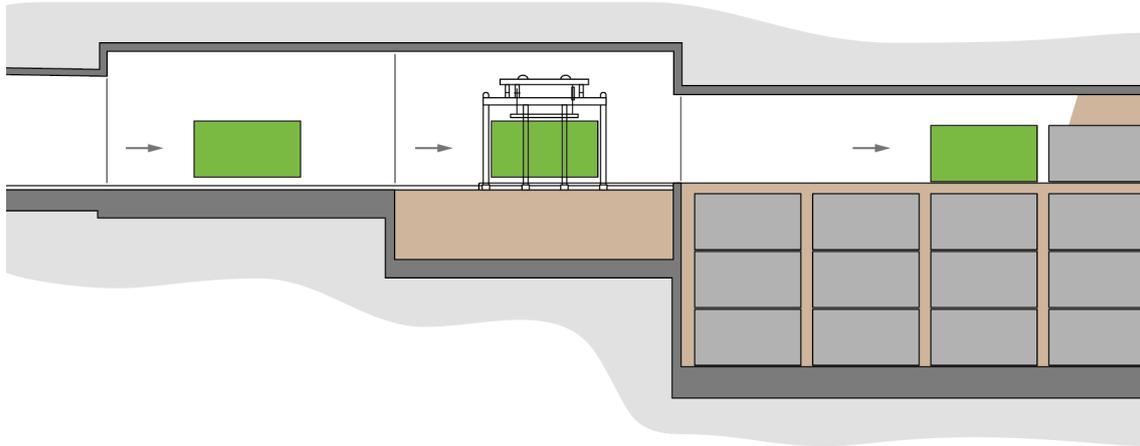


Fig. 3-14: SMA-Einlagerung (Kalotte)

Einlagerung eines SMA-Endlagerbehälters in der Kavernenkalotte (modellhafte Darstellung). Beim Eingang zur Kaverne (links in der Abbildung) befindet sich der sogenannte Abladebereich.

In den Kavernenkalotten erfolgt die Belegung mit Endlagerbehältern und die Verfüllung der Hohlräume reihenweise. Nach der Einlagerung von jeweils zwei Endlagerbehältern folgt eine kurze Verfüllkampagne (siehe auch Kap. 3.10).

3.9.2 Einlagerung radioaktiver Abfälle im HAA-Lagerteil

Im HAA-Lagerteil wird beim Einlagerungsprozess als erstes das Bentonitauflager benötigt und deshalb vom Schachtfuss zum Umladebereich vor dem Lagerstollen transportiert, vom Transportwagen auf das Einlagerungsgerät umgeladen und für die Einlagerung vorbereitet. Anschliessend wird ein Endlagerbehälter mit seinem Transportbehälter vom Schachtfuss zum Umladebereich des Lagerstollens gefahren, aus dem Transportbehälter entnommen und ebenfalls auf das Einlagerungsgerät geladen. Endlagerbehälter und Bentonitauflager werden in der Folge mit dem Einlagerungsgerät in den Lagerstollen gefahren und an der vorgesehenen Stelle platziert. Nach dem Zurückfahren des Einlagerungsgeräts aus dem Lagerstollen folgt die Verfüllung des betroffenen Lagerstollenabschnitts (siehe Kap. 3.10).

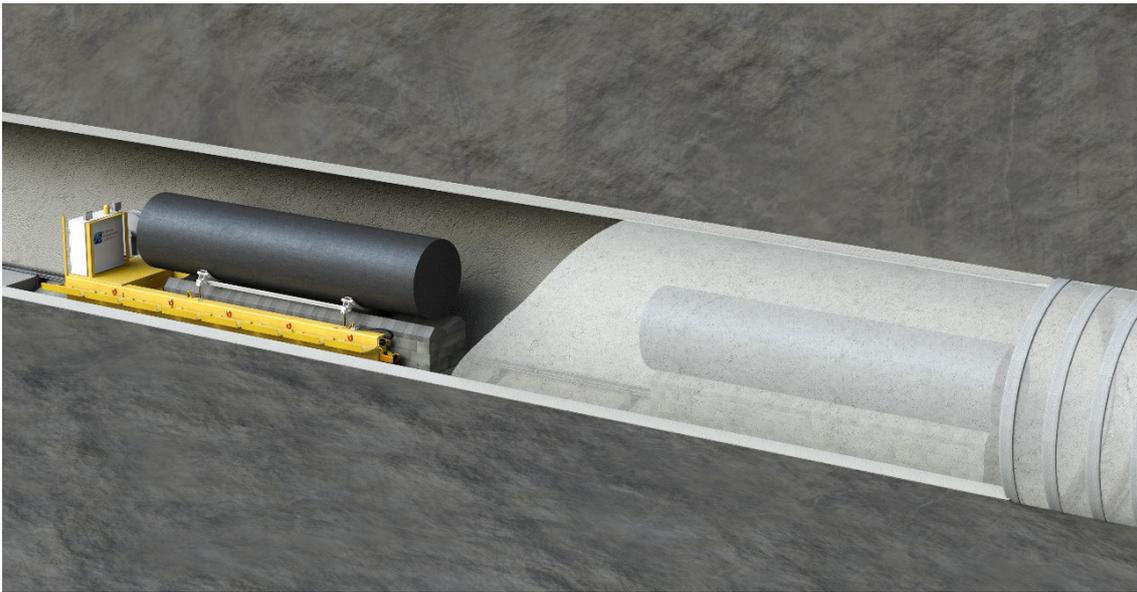


Fig. 3-15: HAA-Einlagerung

Einlagerung eines HAA-Endlagerbehälters mit seinem Bentonitauflager im Lagerstollen (modellhafte Darstellung)

Auch bei der HAA-Einlagerung erfolgt der grösste Teil der Tätigkeiten automatisiert und/oder ferngesteuert. Für die Vorbereitungsarbeiten sowie für die Überwachung der Prozesse ist Betriebspersonal vor Ort vorgesehen (strahlenschutztechnisch abgeschirmt im Umladebereich, d.h. in der Nähe des Eingangs zum Lagerstollen).

3.10 Verfüllung der Lagerkammern

Da die Verfüllung im SMA-Lagerteil im Vergleich zum HAA-Lagerteil andere Prozessschritte umfasst, die sich zudem je nach Einlagerungsposition unterscheiden (Wannen- oder Kalottenverfüllung), erfolgt die nachfolgende Beschreibung separat, während die Input- und Outputströme wiederum gemeinsam beschrieben werden können (Tab. 3-9).

Tab. 3-9: Materialströme für Verfüllungen

	für den SMA-Lagerteil	für den HAA-Lagerteil
Material / Transportwagen	Verfüllmaterial (z.B. Mörtel) (in Silowagen)	Bentonitgranulat (in Silowagen)
Frequenz	ca. 6 Silowagen pro Tag (bei Kompartimentsverfüllung, d.h. ca. alle 2 Wochen), evtl. im Konvoi mehrerer Silowagen	ca. 3 Silowagen pro Tag (d.h. nach jeder ELB-Einlagerung), evtl. im Konvoi mehrerer Silowagen
Phase	Verfüllkampagnen (in der SMA-Einlagerungsbetriebsphase)	HAA-Einlagerungsbetrieb (fortlaufend)

Transportwagen mit Verfüllmaterialien können nach ihrer Ankunft auf Lagerebene (siehe Kap. 3.7) im Zentralen Bereich abgestellt werden, um sie bei Bedarf miteinander zur entsprechenden Lagerkammer zu transportieren. Ebenso können leere Transportwagen auf dem Rückweg im Zentralen Bereich kurzzeitig stationiert werden, bis sie an die Erdoberfläche gebracht werden.

3.10.1 Verfüllung der Lagerkavernen

Die Verfüllung im unteren Teil der Lagerkavernen (Kavernenwannen) erfolgt kompartiments- und schichtweise, nachdem das entsprechende Kompartiment auf einer Ebene vollständig mit Endlagerbehältern bestückt worden ist (siehe Kap. 3.9). In den Kalotten der Lagerkavernen erfolgt die Verfüllung abschnittsweise nach jeweils einer Reihe Endlagerbehälter.

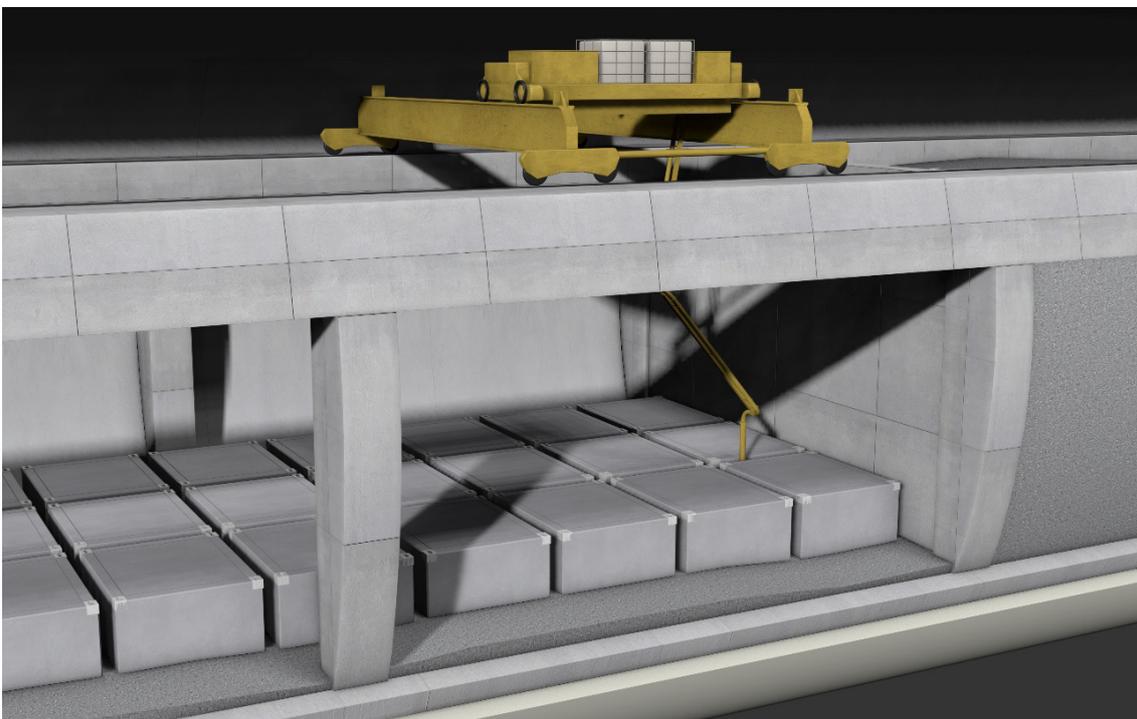


Fig. 3-16: Kavernenverfüllung (Kavernenwanne)

Verfüllung einer Kompartimentsebene in einer SMA-Lagerkavernenwanne mit Verfüllmaterial (z.B. Mörtel) mit Hilfe eines Manipulators (modellhafte Darstellung)

Für die Vorbereitung und Zubereitung des Verfüllmaterials im Abladebereich der Kaverne (z.B. für das Anmischen des Mörtels und anschließende Befüllen des Manipulators) ist Betriebspersonal vorgesehen. Eine Teilautomatisierung und Fernsteuerung ist beim eigentlichen Verfüllungsprozess mit dem Manipulator vorgesehen.

Nach dem Verfüllen muss in einer Kavernenwanne mit einer Aushärtezeit des Verfüllmaterials gerechnet werden, bevor das Kompartiment für erneute Einlagerungen zur Verfügung steht. In anderen Kompartimenten kann aber weiter eingelagert werden. In einer Kalotte kann nach der Verfüllung eines Abschnitts ohne Unterbruch weiter eingelagert werden.

3.10.2 Verfüllung der Lagerstollen

Die Verfüllung der Lagerstollen im HAA-Lagerteil erfolgt fortlaufend nach jeder Platzierung eines Endlagerbehälters (siehe auch Kap. 3.9). Hierzu wird die Verfüllmaschine (Fig. 3-17) in den Lagerstollen bis zum vorgängig platzierten Endlagerbehälter gefahren und anschliessend mit Verfüllmaterial (Bentonitgranulat) aus den beigeestellten Silowagen versorgt. Für den Verfüllprozess wird mit mehreren Stunden gerechnet, der weitestgehend automatisch und vollständig ferngesteuert durchgeführt wird. Die Überwachung erfolgt durch Betriebspersonal im Umladebereich vor dem Lagerstollen.



Fig. 3-17: Verfüllgerät des FE-Experiments

Beispielhaftes Verfüllgerät, wie es im Rahmen des Full-Scale-Emplacement-Experiments im Felslabor Mont Terri verwendet wurde.

3.11 Versiegelung der Lagerkammern

Die Versiegelung der Lagerkammern unterscheidet sich nicht grundsätzlich zwischen dem SMA- und dem HAA-Lagerteil, auch wenn die Versiegelungsbauwerke nicht genau gleich aufgebaut sind (Nagra 2021d). Wenn eine Lagerkammer vollständig be- und verfüllt ist, d.h. wenn dort kein weiterer Endlagerbehälter eingelagert werden kann, wird die Versiegelung dieser Lagerkammer erstellt.

Tab. 3-10: Materialströme für Versiegelungen

	für den SMA-Lagerteil	für den HAA-Lagerteil
Material	Versiegelungsmaterialien (z.B. Sand, Filterkies, Beton, Bentonit)	
Frequenz	ca. 2-3 Transport- und Silowagen pro Tag, evtl. im Konvoi	ca. 2-3 Transport- und Silowagen pro Tag, evtl. im Konvoi
Phase	Erstellen der Versiegelungsbauwerke (in der Einlagerungsbetriebsphase, ca. alle 2 Jahre während ca. 15 Tagen)	Erstellen der Versiegelungsbauwerke (in der Einlagerungsbetriebsphase, ca. zweimal pro Jahr während ca. 35 Tagen)

Die Versiegelungsbauwerke bestehen aus verschiedenen Teilbauwerken, die nacheinander durch entsprechendes Baupersonal erstellt werden (Nagra 2021d).

3.12 Bau neuer Lagerstollen und zugehörige Materiallogistik

Beim fortlaufenden Bau neuer Lagerstollen im HAA-Lagerteil werden Hohlräume im Wirtgestein ausgebrochen und Baumaterialien (z.B. Tübbinge) eingebaut. Diese Bautätigkeiten werden von den Einlagerungstätigkeiten strikt getrennt, d.h. die untertägigen konventionellen Bereiche mit Bauarbeiten sind von den nuklearen Bereichen abgetrennt. Entsprechend erfolgen die dafür notwendigen Transporte zwischen der Oberfläche und der Lagerebene durch den Betriebsschacht und die dort vorhandene Schachtförderanlage.

Nach heutiger Planung werden neue Lagerstollen mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) aufgefahren. Das Ausbruchmaterial wird im Umladebereich des neuen Lagerstollens auf Transportwagen²⁰ (z.B. Kleindumper) geladen, damit es anschliessend über den Bautunnel zum Schachtfuss des Betriebsschachts transportiert werden kann. Dort wird es in das Beschickungssilo der Gefässförderanlage (Skipförderung) abgegeben. Durchschnittlich ist mit ca. 12'000 m³/a Ausbruchmaterial²¹ zu rechnen, das an die Erdoberfläche transportiert werden muss.

Den umgekehrten Weg des Ausbruchmaterials nehmen die für die Lagerstollen benötigten Baumaterialien (z.B. Tübbinge): Sie werden auf Transportwagen geladen, die für den untertägigen Einsatz geeignet sind, und mit dem Grossförderkorb des Betriebsschachts von der Erdoberfläche auf die Lagerebene gebracht. Die Schachtförderung kann weitgehend automatisiert durchgeführt werden. Zurzeit ist jedoch eine Vorortüberwachung Stand der Technik und demnach vorgesehen. Im untertägigen Logistikbereich (in der Nähe des Betriebsschachtfusses) können Transportwagen bei Bedarf abgestellt werden, um sie gemeinsam mit weiteren Transportwagen zur Baustelle zu transportieren. Ebenso können dort leere Transportwagen nach ihrem Baustelleneinsatz stationiert werden, bis sie an die Erdoberfläche zurückgebracht werden.

²⁰ Alternativ ist der Transport von der Lagerstollen-Baustelle zum Schachtfuss des Betriebsschachts auch mit Förderbändern denkbar.

²¹ Die tägliche Ausbruchmaterialeistung einer TBM liegt höher als der durchschnittliche Tagesmittelwert, es wird mit ca. 70 m³/d resp. ca. 175 t/d gerechnet.

Die Materialströme im Bautunnel (zwischen Betriebsschachtfuss und Baustelle im HAA-Lagerfeld) lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Ausbruchmaterial, auf oder in Transportwagen (z.B. Kleindumper): ca. 7 Transporte pro Tag
- Baumaterialien, auf oder in Transportwagen: ca. 20 Transporte pro Tag
- leere Transportwagen: insgesamt ca. 27 Transporte pro Tag

Der gleichzeitige Transport mehrerer Transportwagen (Konvoi-Transporte) ist im Bautunnel möglich. Auch für den gleichzeitigen Transport von Bau- und Ausbruchmaterialien gibt es keine sicherheitstechnischen Restriktionen. Sofern genügend Transportwagen vorhanden sind und Gegenverkehr (Kreuzen der Transportwagen) realisiert werden kann, sind im Bautunnel keine Kapazitätsengpässe zu befürchten. Auch die Schachtförderung im Grossförderkorb hat mit ca. 20 Schachtfahrten von ca. 15 Minuten Dauer genügend Spielraum für zusätzliche resp. ungeplante Transporte.

4 Einlagerungssequenzen

In diesem Kapitel werden die grundsätzliche Reihenfolge von Einlagerungen in einem Kombilager und einige spezielle Aspekte des untertägigen Einlagerungsbetriebs genauer beleuchtet.

4.1 Einlagerungssequenzen in einem Kombilager

Für das Betriebskonzept des Kombilagers wird eine Einlagerungssequenz angenommen, wie sie in Tab. 4-1 und Fig. 4-1 dargestellt ist. Zuerst wird ein Grossteil der Abfälle im SMA-Lagerteil eingelagert, ab einem gewissen Zeitpunkt wird parallel zum SMA-Einlagerungsbetrieb der HAA-Lagerteil gebaut und anschliessend ein sequenzieller SMA/HAA-Einlagerungsbetrieb durchgeführt. Diese Einlagerungssequenz stützt sich u.a. auf den Realisierungsplan gemäss Kap. 2.3 und Fig. 2-4. Nach der Einlagerung aller Abfälle im HAA-Lagerteil werden Teile der Oberflächeninfrastruktur zurückgebaut und die entsprechenden Stilllegungsabfälle, die nicht freigegeben werden können, in einem noch zugänglichen Hohlraum des geologischen Tiefenlagers eingelagert²².

Tab. 4-1: Einlagerungssequenzen in den Lagerteilen des Kombilagers

Zeitraum	SMA-Lagerteil	HAA-Lagerteil
2050 - 2051	Einlagerungen ins SMA-Pilotlager	-
2052 - 2055	Einlagerungen ins SMA-Hauptlager	-
2056 - 2059	Einlagerungen ins SMA-Hauptlager	Bau des HAA-Lagerteils
2060 - 2064	sequenzieller SMA/HAA-Einlagerungsbetrieb (mit Einlagerungen ins HAA-Pilotlager am Anfang dieses Zeitraums)	
2065 - 2074	-	Einlagerungen ins HAA-Hauptlager
	Einlagerung von Stilllegungsabfällen der Oberflächeninfrastruktur ins geologische Tiefenlager ²²	

²² Diese Abfälle aus dem Rückbau der Oberflächeninfrastruktur sind im SMA-Inventar enthalten und somit für den SMA-Lagerteil vorgesehen. Sie können aus sicherheitstechnischer Sicht auch in Hohlräumen des HAA-Lagerteils platziert werden, z.B. in einem Teil des Bau- oder Betriebstunnels. Der genaue Einlagerungsort und -zeitpunkt wird zu gegebener Zeit festgelegt.

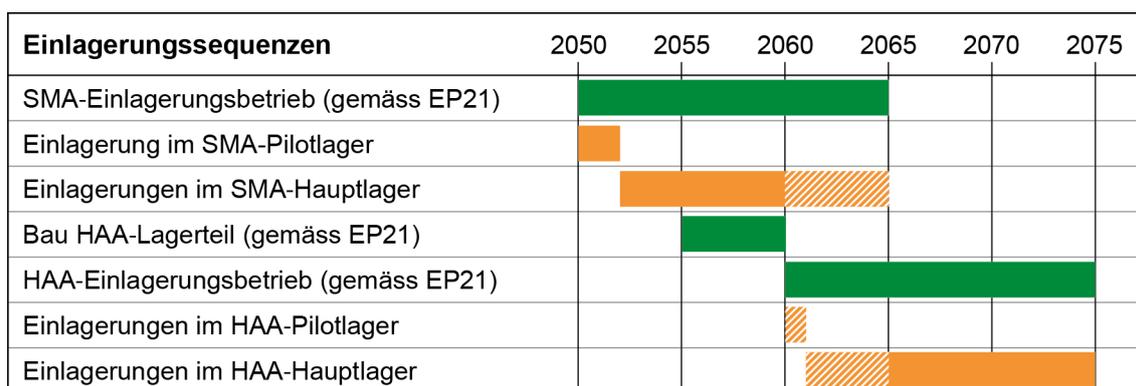


Fig. 4-1: Einlagerungssequenzen in den Lagerteilen des Kombilagers

Grün dargestellt sind die Phasen gemäss Entsorgungsplan 2021 (NTB 21-01 (Nagra 2021a), siehe auch Fig. 2-4). Die orangenen Zeitbalken zeigen die Teilphasen des Einlagerungsbetriebs, wobei sie während des sequenziellen SMA/HAA-Einlagerungsbetriebs schraffiert dargestellt sind.

4.2 Einlagerungssequenzen im SMA-Lagerteil

Die untertägigen Einlagerungskonzepte lassen sich durch das Zusammenspiel verschiedener Prozessmodule, wie sie in Kap. 3 beschrieben wurden, darstellen. Für die Einlagerungen im SMA-Lagerteil ist der vorgesehene Gesamttablauf in Tab. 4-2 zusammengefasst. Insgesamt sind für den SMA-Pilotlagerbetrieb ca. 2 Jahre vorgesehen, für den SMA-Hauptlagerbetrieb ca. 12 Jahre (siehe auch Kap. 2.3 und Kap. 2.4).

Tab. 4-2: Einlagerungssequenzen im SMA-Lagerteil

Ort der Tätigkeiten	Tätigkeiten (Prozesse)	Bemerkungen
Pilotlagerkaverne (Wanne)	Einlagerungen ²³	Wiederholungen, bis alle Kompartimente voll sind.
Pilotlagerkaverne (Wanne)	Verfüllungen ²⁴	Wiederholungen, bis alle Kompartimente verfüllt sind.
Pilotlagerkaverne	Vorbereitungen für Kalotteneinlagerung ²⁵	keine Einlagerungen
Pilotlagerkaverne (Kalotte)	Einlagerungen und Verfüllungen ^{23 24} (abschnittsweise)	Wiederholungen, bis alle Abschnitte mit ELB bestückt und verfüllt sind.

²³ umfasst die in Kap. 3 beschriebenen Module Bereitstellung (Kap. 3.6), Schachtförderung (Kap. 3.7) und Einlagerung (Kap. 3.9).

²⁴ umfasst die in Kap. 3 beschriebenen Module Lagerung (Kap. 3.8), Schachtförderung (Kap. 3.7) und Verfüllung (Kap. 3.10.1).

²⁵ umfasst die in Kap. 3.9.1 (Fussnote 19) beschriebenen Umrüstungsarbeiten.

Tab. 4-2: Fortsetzung

Ort der Tätigkeiten	Tätigkeiten (Prozesse)	Bemerkungen
Pilotlagerkavernenzugang (Umladebereich)	Versiegelung ²⁶	keine Einlagerungen
Einlagerungen ins Pilotlager		Dauer: ca. 2 Jahre
Hauptlagerkaverne 1 (Wanne)	Einlagerungen und Verfüllungen ^{23 24}	Wiederholungen, bis alle Kompartimente voll sind.
Hauptlagerkaverne 1	Vorbereitungen für Kalotteneinlagerung ²⁵	
Hauptlagerkaverne 1 (Kalotte) und 2 (Wanne)	Einlagerungen und Verfüllungen ^{23 24}	Kalotteneinlagerung in Kaverne 1, mit zeitweiser Wanneneinlagerung in Kaverne 2.
Kaverne 1	Versiegelung ²⁶	Möglich, sobald die Kalotte 1 voll ist; keine Einlagerungen während des Baus des Versiegelungsbauwerks.
Einlagerungen in die Kaverne 1		Dauer: ca. 2 Jahre
Weitere Kavernen	Einlagerungen, Verfüllungen und Versiegelung	wie bei Kaverne 1
Einlagerungen ins Hauptlager		Dauer: ca. 12 Jahre

Im SMA-Pilotlager ist zuerst die Platzierung von Endlagerbehältern in der Kavernenwanne mit nachfolgender kompartimentsweiser Verfüllung vorgesehen (siehe auch Kap. 3.9.1 und 3.10.1). Nach einer kurzen Umrüstzeit kann die Kalotte bestückt und verfüllt werden. Abschliessend wird die Pilotlagerkaverne versiegelt (siehe auch Kap. 3.11).

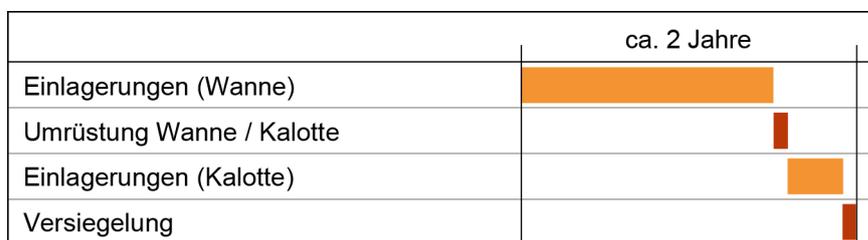


Fig. 4-2: Einlagerungssequenzen im SMA-Pilotlager

Die Einlagerungen und die Versiegelung benötigen insgesamt ca. 2 Jahre.

²⁶ umfasst die in Kap. 3 beschriebenen Module Lagerung (Kap. 3.8), Schachtförderung (Kap. 3.7) und Versiegelung (Kap. 3.11).

Im SMA-Hauptlager werden in den Kavernen ebenfalls zuerst die Endlagerbehälter in der Wanne platziert und dann kompartimentsweise verfüllt (siehe auch Kap. 3.9.1 und 3.10.1). Die Verfüllung eines Kompartiments muss nicht sofort nach vollständiger Beschickung einer Lage erfolgen, sondern es können Verfüllkampagnen für mehrere Kompartimente zusammengefasst werden. Nach der Verfüllung einer Kompartimentslage ist jedoch mit einer gewissen Aushärtezeit zu rechnen (siehe Kap. 3.10.1), bevor in diesem Kompartiment weitere Endlagerbehälter platziert werden dürfen.

Wenn eine Kavernenwanne vollständig bestückt und verfüllt ist, kann nach einer Umrüstung (Entfernung des Einlagerungskrans, usw.) mit der Kalottenbeschickung dieser Kaverne begonnen werden. Während dieser Kalotteneinlagerung und -verfüllung kann in einer weiteren Kaverne die Wanneneinlagerung beginnen oder fortgesetzt werden.

Die Versiegelung einer Kaverne (siehe auch Kap. 3.11) kann zeitlich flexibel gehandhabt werden, sobald die Kaverne vollständig befüllt ist. Vorgesehen ist eine zeitnahe Versiegelung nach Abschluss der Verfüllung. Während der Versiegelungsarbeiten sind keine weiteren Einlagerungen im SMA-Lagerteil vorgesehen.

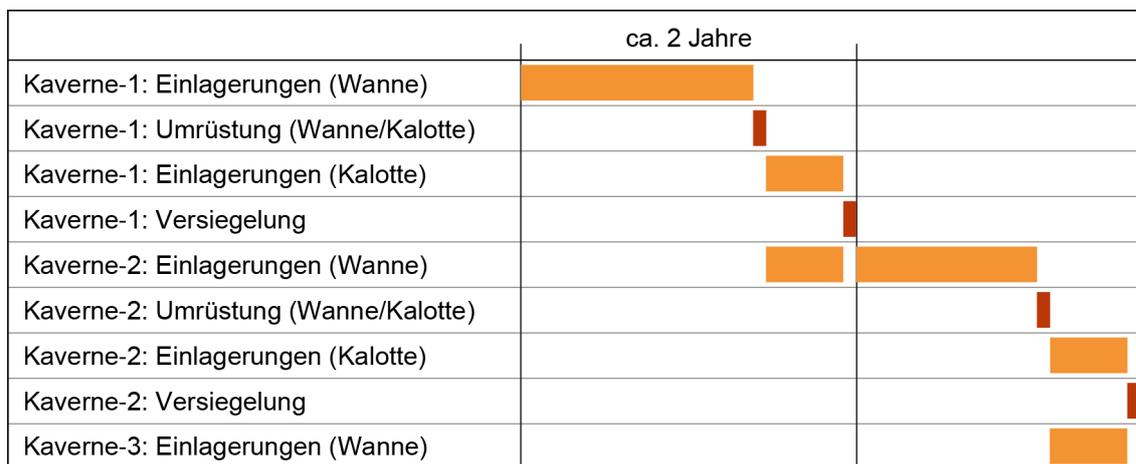


Fig. 4-3: Einlagerungssequenzen im SMA-Hauptlager

Die Einlagerungen und die Versiegelung einer Kaverne benötigen insgesamt ca. 2 Jahre.

4.3 Einlagerungssequenzen im HAA-Lagerteil

Für die Einlagerungen im HAA-Lagerteil ist der vorgesehene Ablauf in Tab. 4-3 dargestellt.

Tab. 4-3: Einlagerungssequenzen im HAA-Lagerteil

Ort der Tätigkeiten	Tätigkeiten (Prozesse)	Bemerkungen
Pilotlagerstollen	Einlagerungen ²⁷ und Verfüllungen ²⁸ (fortlaufend)	Wiederholung, bis der Lagerstollen voll ist.
Pilotlagerstollen	Versiegelung ²⁹ (und Vorbereitung nächster Lagerstollen)	keine Einlagerungen während der Versiegelungs- und Umrüstarbeiten
weitere Pilotlagerstollen	Einlagerungen, Verfüllungen und Versiegelungen ^{27 28 29}	Wiederholungen (wie beim ersten Pilotlagerstollen)
Total Pilotlager		Dauer: ca. 1 Jahr
Hauptlagerstollen	Einlagerungen, Verfüllungen und Versiegelungen ^{27 28 29}	für jeweils zwei Lagerstollen nacheinander
Hauptlager (Betriebs-tunnel)	Umrüstungen für Einlagerungsbetrieb	für jeweils zwei weitere Lagerstollen
Total Hauptlager		Dauer: ca. 11 Jahre

²⁷ umfasst die in Kap. 3 beschriebenen Module Bereitstellung (Kap. 3.6), Schachtförderung (Kap. 3.7) und Einlagerung (Kap. 3.9.2).

²⁸ umfasst die in Kap. 3 beschriebenen Module Lagerung (Kap. 3.8), Schachtförderung (Kap. 3.7) und Verfüllung (Kap. 3.10.2).

²⁹ umfasst die in Kap. 3 beschriebenen Module Lagerung (Kap. 3.8), Schachtförderung (Kap. 3.7) und Versiegelung (Kap. 3.11).

Im HAA-Pilotlager ist die hintereinander gereihete Be- und Verfüllung der Pilotlagerstollen mit anschliessender Versiegelung vorgesehen.



Fig. 4-4: Einlagerungssequenzen im HAA-Pilotlager

Die Einlagerungen und die Versiegelungen für das HAA-Pilotlager benötigen insgesamt ca. 1 Jahr.

Im Hauptlagerteil werden jeweils zwei Lagerstollen nacheinander beschickt, verfüllt und versiegelt, bevor die Umrüstung und Bereitstellung zweier weiterer Lagerstollen erfolgt.

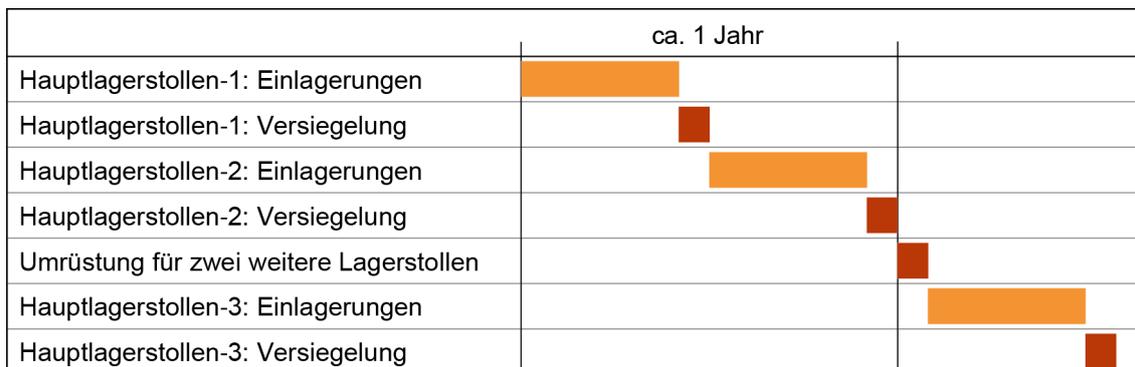


Fig. 4-5: Einlagerungssequenzen im HAA-Hauptlager

Die Einlagerungen und die Versiegelungen für zwei Lagerstollen benötigen ca. 1 Jahr.

Für die Beschickung und Verfüllung von zwei Lagerstollen wird mit diesen Einlagerungssequenzen ca. 1 Jahr benötigt. Insgesamt ergeben sich damit, ohne Unterbrechungen für Instandhaltung und Wartung, ca. 11 Jahre HAA-Einlagerungsbetrieb, womit die in Kap. 2.4 genannte Gesamtzeit von ca. 12 Jahren gut eingehalten und der daraus abgeleitete Auslegungsdurchsatz von 200 HAA-ELB pro Jahr bestätigt werden kann.

5 Personalkonzepte

5.1 Betriebspersonal

Trotz zahlreicher automatisierter und/oder fernbedienter Prozesse³⁰ ist bei praktisch allen Aktivitäten des Einlagerungsbetriebs (Betriebsprozessmodule gemäss Kap. 3) Betriebspersonal vor Ort vorgesehen. Die dafür notwendigen Personenbewegungen (Personenströme) variieren aufgrund der unterschiedlichen Tätigkeiten und Örtlichkeiten stark. Im Folgenden wird eine grobe Einteilung je nach Betriebspunkt (Ort der Tätigkeit) angewendet. Als Betriebspunkte werden unterschieden:

- die Oberflächenanlage (OFA)
- die Nebenzugangsanlage (NZA)
- die Untertageanlagen (UTA)
- das Zwischenlager (Zwilag, Betriebspersonal für die Verpackungsanlagen gemäss Kap. 3.3)

5.1.1 Betriebspersonal für die Oberflächenanlage

Beim Betriebspunkt der Oberflächenanlage ist Betriebspersonal für folgende Tätigkeiten vorgesehen:

- Annahme und Handling von diversen Materialien (Logistikpersonal)
- Schachtförderung (Schachtpersonal)
- Betrieblicher Unterhalt, Reinigung (Betriebsdienstpersonal)
- Technischer Unterhalt von Einrichtungen (Instandhaltungspersonal)
- Administrative Arbeiten, Bürobetrieb, Betriebsleitung (Administrationspersonal)
- Überwachung und Sicherheit (Sicherheitspersonal³¹)

Grundsätzlich ist auf der Oberflächenanlage im Einlagerungsbetrieb ein Einschichtmodell mit klar definierten Arbeitszeiten vorgesehen (gemäss Kap. 2.5 Betriebszeiten), ausgenommen davon ist das Schacht- und das Sicherheitspersonal³¹ (in der Regel Zweischichtbetrieb). Beim Administrationspersonal sind flexible Arbeitszeiten vorgesehen.

5.1.2 Betriebspersonal für die Nebenzugangsanlage

Auf der Nebenzugangsanlage ist Betriebspersonal vorgesehen für folgende Tätigkeiten:

- Annahme und Handling von Bau- und Betriebsmaterialien (Logistikpersonal)
- Betrieblicher Unterhalt, Reinigung (Betriebsdienstpersonal)
- Technischer Unterhalt von Einrichtungen (Instandhaltungspersonal)
- Schachtförderung (Schachtpersonal)

³⁰ Die Möglichkeiten für Automatisierung und/oder Fernbedienung werden in Zukunft noch zunehmen. Die Betrachtungen in diesem Bericht basieren auf dem aktuellen Stand von Technik und Wissenschaft.

³¹ Mit dem Sicherheitspersonal ist nicht das Sicherungspersonal gemeint, das in Kap. 5.3 beschrieben wird.

Im Einlagerungsbetrieb ist auf der Nebenzugangsanlage grundsätzlich resp. für viele Tätigkeiten ein Einschichtmodell vorgesehen. Eine Ausnahme stellt das Schachtpersonal dar, das die Versorgung der untertägigen Baustellen (Förderung des Baupersonals) mit einem Zweischichtbetrieb, zeitweise auch mit einem durchgehenden Betrieb sicherstellen muss.

5.1.3 Betriebspersonal für die Untertageanlagen

Das Betriebspersonal für die untertägigen Einlagerungsarbeiten gelangt primär über die Oberflächenanlage und den Zugangsschacht an seinen Arbeitsort. Im Einlagerungsbetrieb ist ein Zweischichtmodell geplant, wobei das Personal während der Schichtarbeit untertage bleibt und nur für den Schichtwechsel die Schachtförderanlage benutzt.

Im SMA-Lagerteil sind während der Einlagerungen fortlaufend und sich wiederholend folgende untertägigen Prozessschritte vorgesehen, die durch Betriebspersonal überwacht und ggf. durchgeführt werden:

- Annahme und Transport von Endlagerbehältern (mit Transportbehältern und auf Transportwagen befestigt) vom Schachtfuss zur Lagerkaverne
- Entnahme der Endlagerbehälter aus ihren Transportbehältern und Platzierung in der Lagerkaverne
- Rücktransport der leeren Transportbehälter (auf ihrem Transportwagen) in den zentralen Bereich und zu gegebener Zeit an die Erdoberfläche

Während der Verfüllkampagnen werden im SMA-Lagerteil folgende Prozessschritte untertage durchgeführt:

- Annahme und Transport von Verfüllmaterialien (in Silowagen) vom Schachtfuss zur Lagerkaverne
- Verarbeiten (z.B. Anmischen) von Verfüllmaterialien und Einbringen in die Lagerkaverne
- Rücktransport der leeren Silowagen in den zentralen Bereich und zu gegebener Zeit an die Erdoberfläche

Im HAA-Lagerteil sind während der Einlagerungen pro Arbeitstag folgende Prozessschritte auf Lagerebene vorgesehen, die durch Betriebspersonal überwacht und durchgeführt werden:

- Transport eines Bentonitauflagers (auf einem Transportwagen) vom zentralen Bereich zum Lagerstollen und dessen Vorbereitung für die Einlagerung (Umladen auf das Einlagerungsgerät)
- Annahme und Transport eines Endlagerbehälters (mit seinem Transportbehälter auf einem Transportwagen befestigt) vom Schachtfuss zum Lagerstollen
- Entnahme des Endlagerbehälters aus seinem Transportbehälter und Platzierung auf dem Einlagerungsgerät
- Platzierung des Endlagerbehälters und des Bentonitauflagers im Lagerstollen
- Zurückfahren des Einlagerungsgeräts aus dem Lagerstollen und Bereitstellung des Verfüllgeräts
- Annahme und Transport von Verfüllmaterialien (Bentonitgranulat in Silowagen) vom Schachtfuss zum Lagerstollen
- Verfüllen des Lagerstollenabschnitts um den platzierten Endlagerbehälter durch das Verfüllgerät mit Bentonitgranulat

- Zurückfahren des Verfüllgeräts aus dem Lagerstollen und Bereitstellung des Einlagerungsgeräts (für die Einlagerung am nächsten Tag)
- Annahme und Bereitstellung eines Bentonitaufлагers (auf seinem Transportwagen) im zentralen Bereich (für den nächsten Tag)

Weiteres Untertagebetriebspersonal, das nicht direkt mit radioaktiven Abfällen zu tun hat und somit nicht die kontrollierte Zone betreten muss (z.B. untertägige Betriebsdienste, Wartungspersonal für untertägige Infrastrukturen, betriebliches Supportpersonal Bauarbeiten), gelangt über die Nebenzugangsanlage und den Betriebsschacht an seinen Arbeitsort (wie auch das Baupersonal, siehe Kap. 5.2).

5.1.4 Betriebspersonal bei der Zwiilag

Unter den in Kap. 1 und 2 genannten Annahmen und Randbedingungen wird das Verpackungspersonal seinen Arbeitsort nicht auf der Oberflächenanlage haben, sondern bei der Zwiilag. Für den Betrieb der Verpackungsanlagen ist ein normaler Einschichtbetrieb vorgesehen.

5.1.5 Betriebspersonal für EEU

Das Betriebspersonal für die Betreuung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EEU) gelangt über die Nebenzugangsanlage an seinen Arbeitsort. Im Einlagerungsbetrieb ist für das EEU-Personal ein Einschichtmodell vorgesehen, d.h. die Betreuung dieser Experimente und Untersuchungen erfolgt in der Regel zu normalen Wochentagsarbeitszeiten.

5.2 Baupersonal (für die Erstellung neuer Lagerstollen)

Während des HAA-Einlagerungsbetriebs werden fortlaufend neue Lagerstollen erstellt, wofür Baupersonal benötigt wird. Dieses gelangt über den Nebenzugang und den Betriebsschacht zur untertägigen Baustelle. Für diese Bauarbeiten parallel zum Einlagerungsbetrieb (siehe auch Kap. 3.12) ist ein Zweischichtmodell vorgesehen, zeitweise (beim Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen) ein durchgehender Betrieb, wobei die eigentlichen Ausbrucharbeiten und somit die Materialförderungen nicht kontinuierlich stattfinden.

Weiteres Baupersonal wird im Rahmen dieses Berichts nicht behandelt, weil es entweder in anderen Projektphasen (z.B. in der Bauphase des geologischen Tiefenlagers) oder auf separaten Bauarealen (z.B. Bau BEVA) tätig ist. Somit ergeben sich keine Schnittstellen resp. Engpässe mit den Personenströmen des Betriebspersonals im Einlagerungsbetrieb.

5.3 Sicherungspersonal

Alle Anlagen des geologischen Tiefenlagers müssen, insbesondere im Einlagerungsbetrieb, gesichert und bewacht werden. Die Sicherung erfolgt an den in Kap. 5.1 genannten Betriebspunkten.

Nebst den Zugangskontrollen an den ordentlichen Eingängen der Oberflächeninfrastruktur überwacht das Sicherungspersonal die Areale und Zugänge nach Untertag auch mit periodischen Rundgängen. Für das Sicherungspersonal ist ein durchgehender Dreischichtbetrieb vorgesehen.

5.4 Besucherwesen

Für Besucherinnen und Besucher ergeben sich je nach Art ihres Besuchs unterschiedliche Abläufe. Zurzeit wird mit folgenden Besucharten gerechnet, die gegebenenfalls auch kombiniert resp. sequenziell stattfinden können:

- Besuch des Besucherzentrums
- Besuch der Oberflächenanlage (und evtl. der Nebenzugangsanlage)
- Besuch der Untertageanlagen

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass alle Besucherinnen und Besucher im Besucherzentrum in Empfang genommen werden. Hier erhalten sie Informationen und ggf. Instruktionen für das weitere Vorgehen.

Besucherinnen und Besucher werden zusammen mit einer Begleitperson durch die Anlagen geführt. Um auf die Lagerebene hinunterzukommen, benutzen sie die Schachtförderanlage des Betriebsschachts auf der Nebenzugangsanlage.

Literaturverzeichnis

- BFE (2008): Sachplan Geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.
- 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.
- Fanger, L., Müller, H. & Vogt, T. (2021): Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-28.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2021. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Februar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- Nagra (2013): Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers: Grundlagen zur Beurteilung der grundsätzlichen Bewilligungsfähigkeit einer Oberflächenanlage für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Technischer Bericht NTB 13-01.
- Nagra (2014a): Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-51.
- Nagra (2014b): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien – MIRAM 14. Nagra Technischer Bericht NTB 14-04.
- Nagra (2016): Generische Beschreibung von Schachtkopfanlagen (Nebenzugangsanlagen) geologischer Tiefenlager. Nagra Technischer Bericht NTB 16-08.
- Nagra (2019): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 1: Einführung und Grundlagen. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 1.
- Nagra (2020a): Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich Bau- und Betriebsabläufe sowie Umwelt. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-15.
- Nagra (2020b): Verpackungsanlage hochaktiver Abfälle: Vor- und Nachteile verschiedener Standortvarianten. Nagra Arbeitsbericht NAB 20-14.
- 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): Rückholung (generisch). Nagra Arbeitsbericht NAB 21-13.
- Nagra (2021d): Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12.

- Nagra (2022a): Begründung der Standortwahl für die Verpackungsanlagen bei der Zwiilag. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-27.
- Nagra (2022b): Lüftungs- und Kühlungskonzept geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-31.
- Nagra (2022c): Module der Lagerarchitektur. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35.
- Nagra (2022d): Vorläufige Planungsstudie zur Oberflächeninfrastruktur für das geologische Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-05.
- SDR (2002): Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR), vom 29. November 2002, Stand am 01. Januar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 741.621, Schweiz.
- Sindern, W. & Borowski, S. (2014): Sicherheitstechnische Betrachtungen zu Schachtförderanlagen für den Zugang zu einem zukünftigen geologischen Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-75.
- WEKA (2021): Gefahrgutrecht Strasse/Schiene : ADR/RID 2021 + Nationale Vorschriften. 1. Auflage 2021. WEKA, Augsburg.

Anlage A Systemskizze

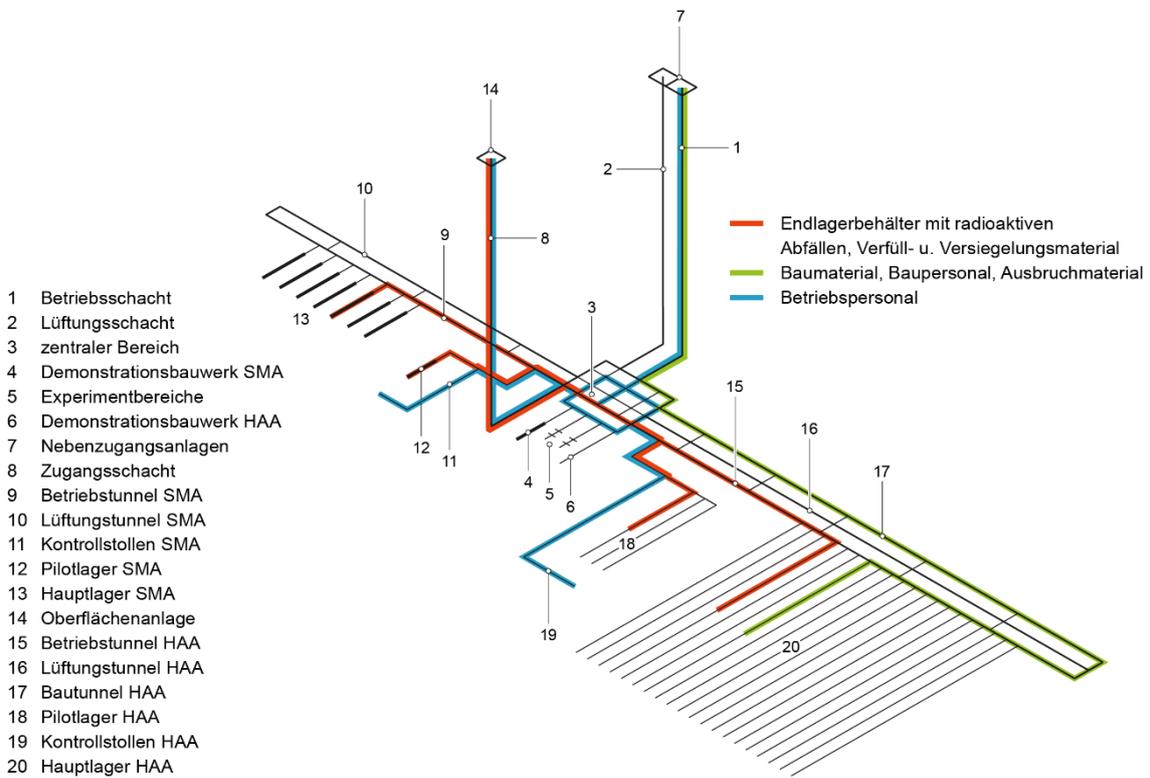


Fig. A-1: Systemskizze mit Hauptströmen

Farblich markiert sind die hauptsächlichen Wege des Betriebspersonals und verschiedener Materialien unter Verwendung der Systemskizze aus dem Entsorgungsplan (Fig. 3.2-1 in NTB 21-01 (Nagra 2021a)).

In obiger Systemskizze sind die wesentlichen Transportwege verschiedener Materialien und Personen während des Einlagerungsbetriebs dargestellt. Bei solchen Systemskizzen handelt es sich um generische, prinzipielle und somit stark vereinfachte, nicht massstäbliche Darstellungen des geologischen Tiefenlagers.

Aus dieser Systemskizze ist ersichtlich, dass über den Hauptzugang (Zugangsschacht) bei der Oberflächenanlage die radioaktiven Abfälle in ihren Endlagerbehältern, das Verfüll- und Versiegelungsmaterial sowie das Betriebspersonal in die untertägigen Anlagen gelangen. Über den Nebenzugang (Betriebsschacht) erfolgen die Transporte der Baulogistik (Baumaterial, Baupersonal, Ausbruchmaterial), während über den Lüftungsschacht keine Transporte vorgesehen sind.

Anlage B Phasenablauf-Systemskizzen

B.1 Systemskizzen EEU-Phasen

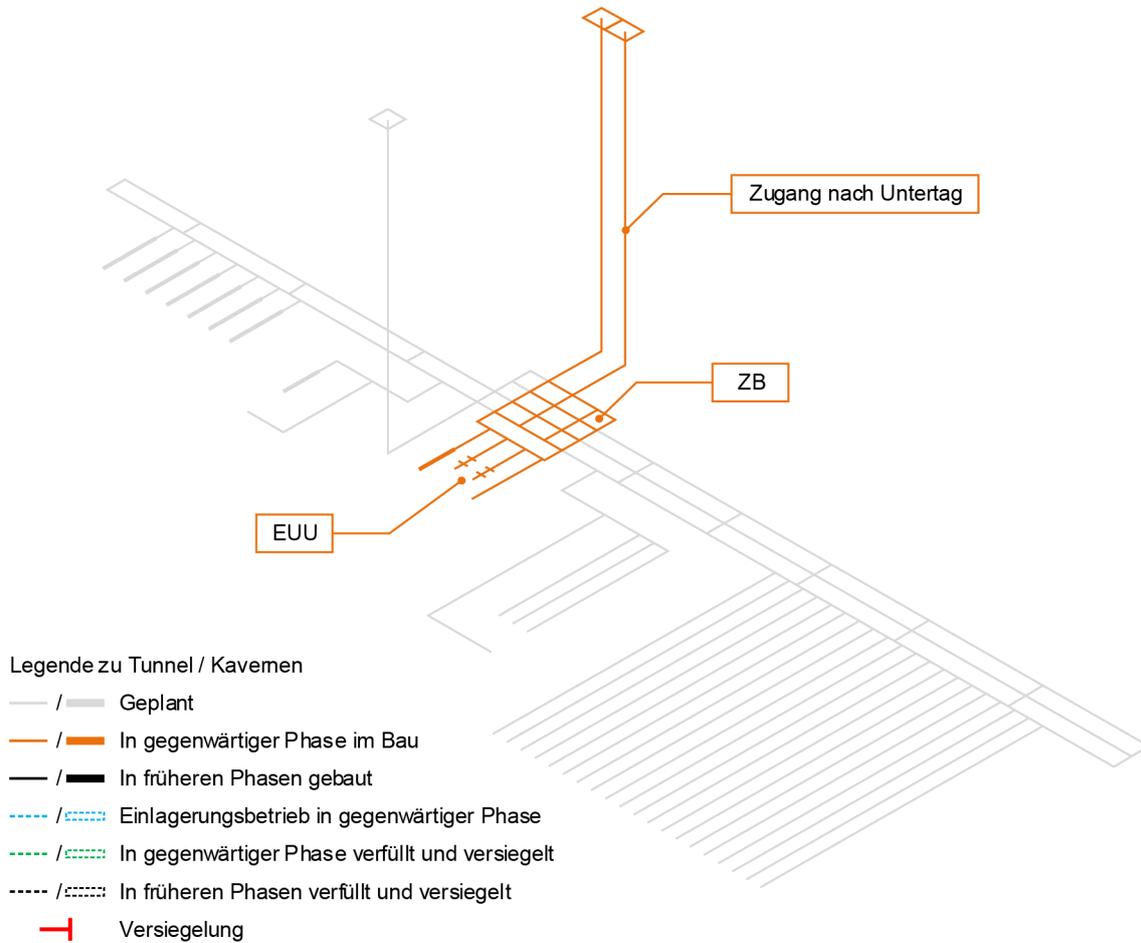


Fig. B-1: Systemskizze während der Phase «Bau und Beginn EEU»

Die Bauarbeiten umfassen die Erschliessung und den Bau der Nebenzugangsanlagen, das Abteufen des Betriebs- und des Lüftungsschachts, sowie den Ausbruch und die Erstellung des Zentralen Bereichs mit den Bauten für erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag. (Fig. 2-2 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

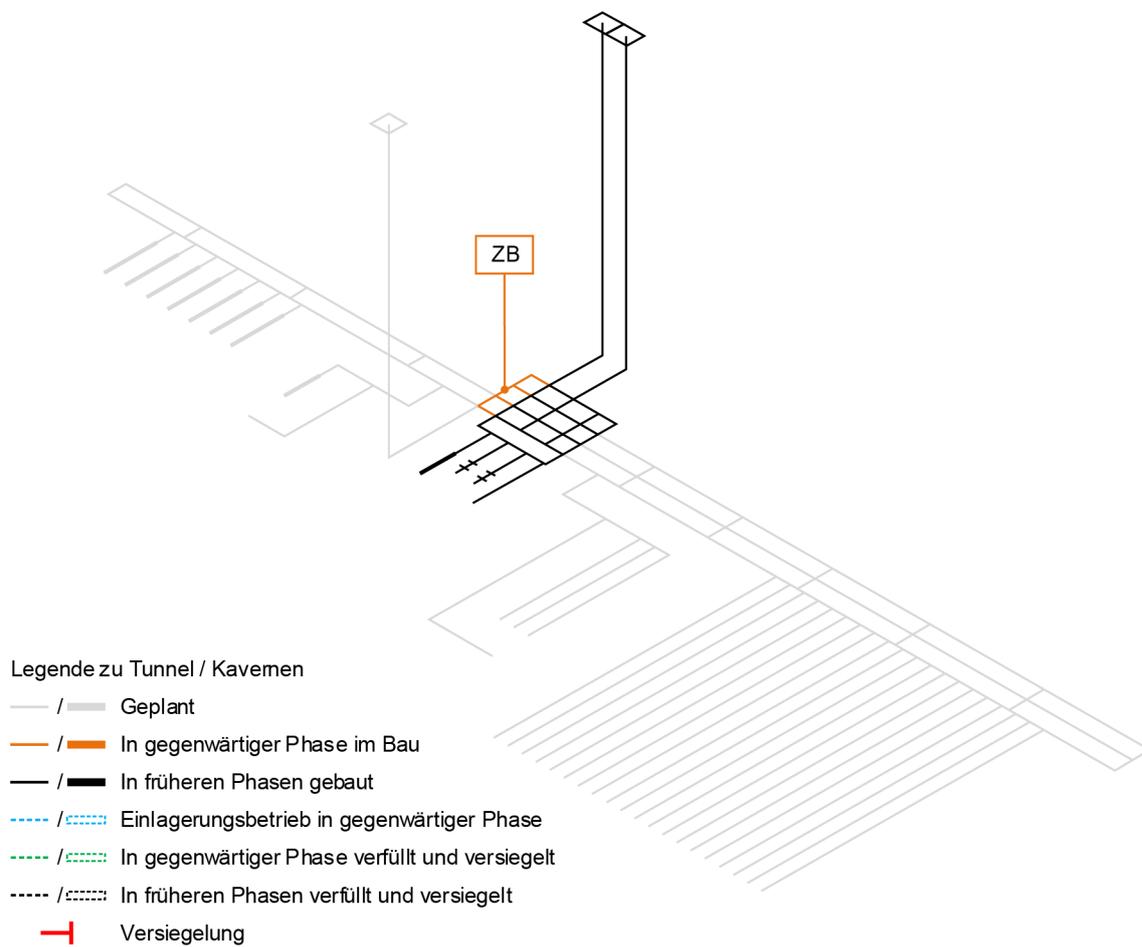


Fig. B-2: Systemskizze während der Phase «Weiterführung EEU»

Die Bauarbeiten umfassen weitere Bauwerke im Zentralen Bereich (Vorbereitungen für die SMA-Lagerfeldzugänge). (Fig. 2-3 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

B.2 Systemskizzen Bau- und Betriebsphasen

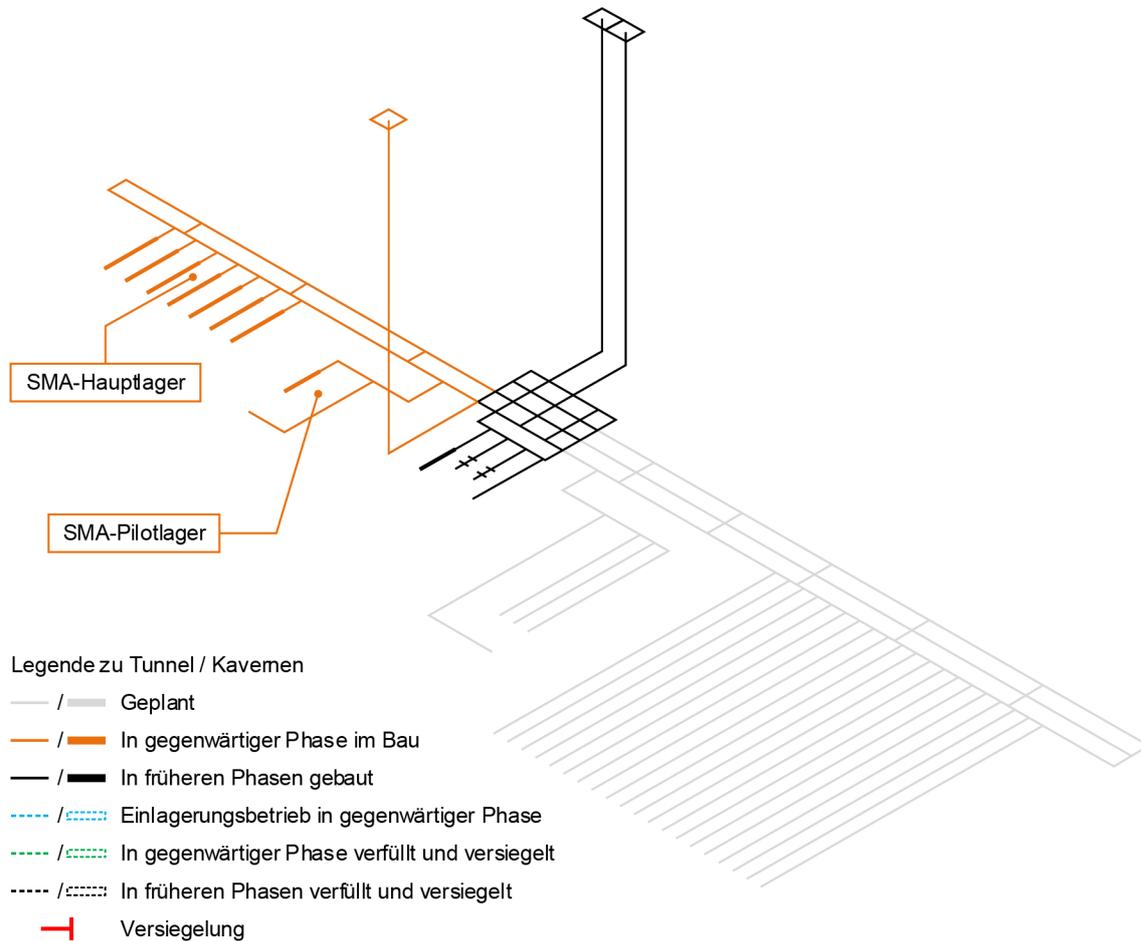


Fig. B-3: Systemskizze während der Phase «Bau Lager SMA»

Die Bauarbeiten umfassen in dieser Phase die Erschliessung und den Bau der Oberflächenanlage, das Abteufen des Zugangsschachts sowie den Ausbruch und die Erstellung des SMA-Pilotlagers (inkl. Kontrollstollen), des Betriebs- und des Lüftungstunnels im SMA-Lagerteil und der SMA-Lagerkavernen. (Fig. 2-4 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

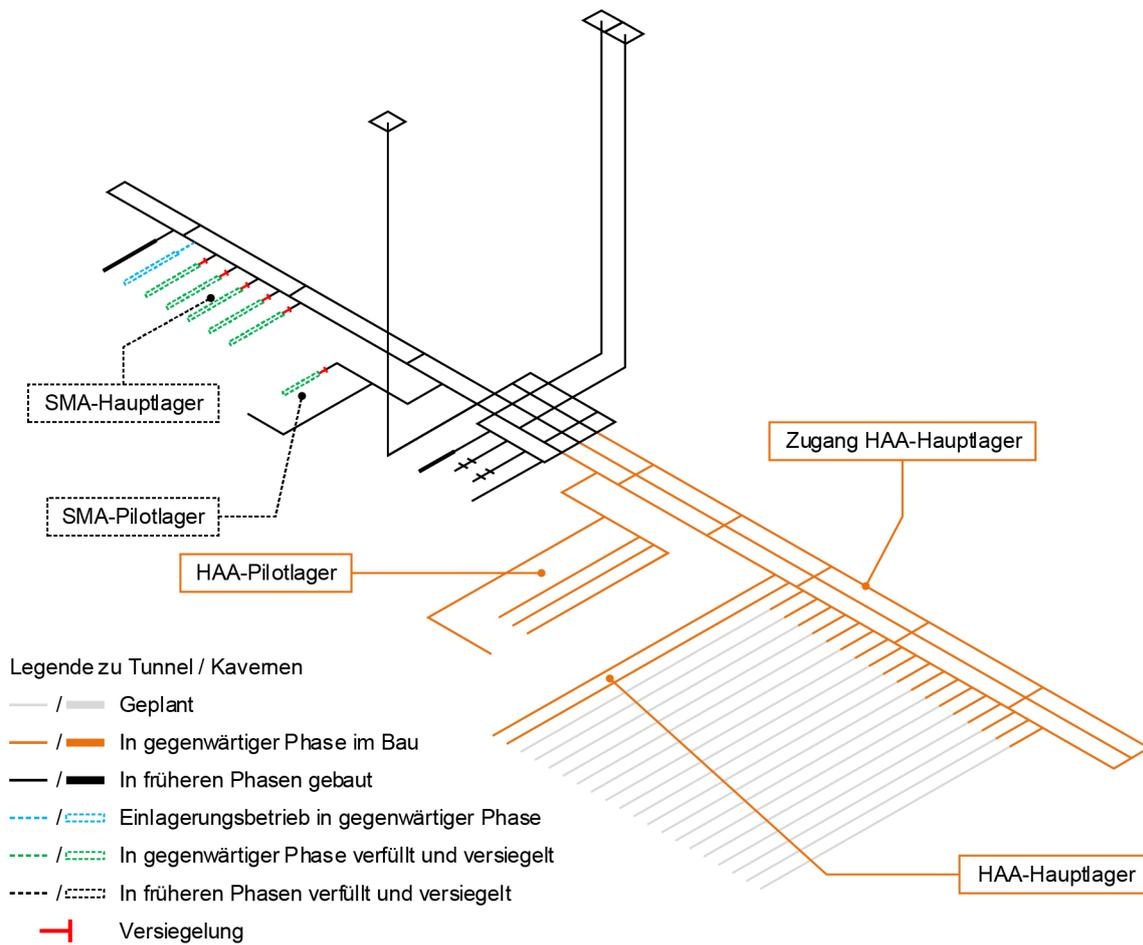


Fig. B-4: Systemskizze während der Phase «Bau Lager HAA»

Die Bauarbeiten umfassen in dieser Phase den Ausbruch und die Erstellung des HAA-Pilotlagers (inkl. Kontrollstollen), des Bau-, des Betriebs- und des Lüftungstunnels im HAA-Lagerteil sowie der ersten beiden HAA-Lagerstollen. (Fig. 2-5 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

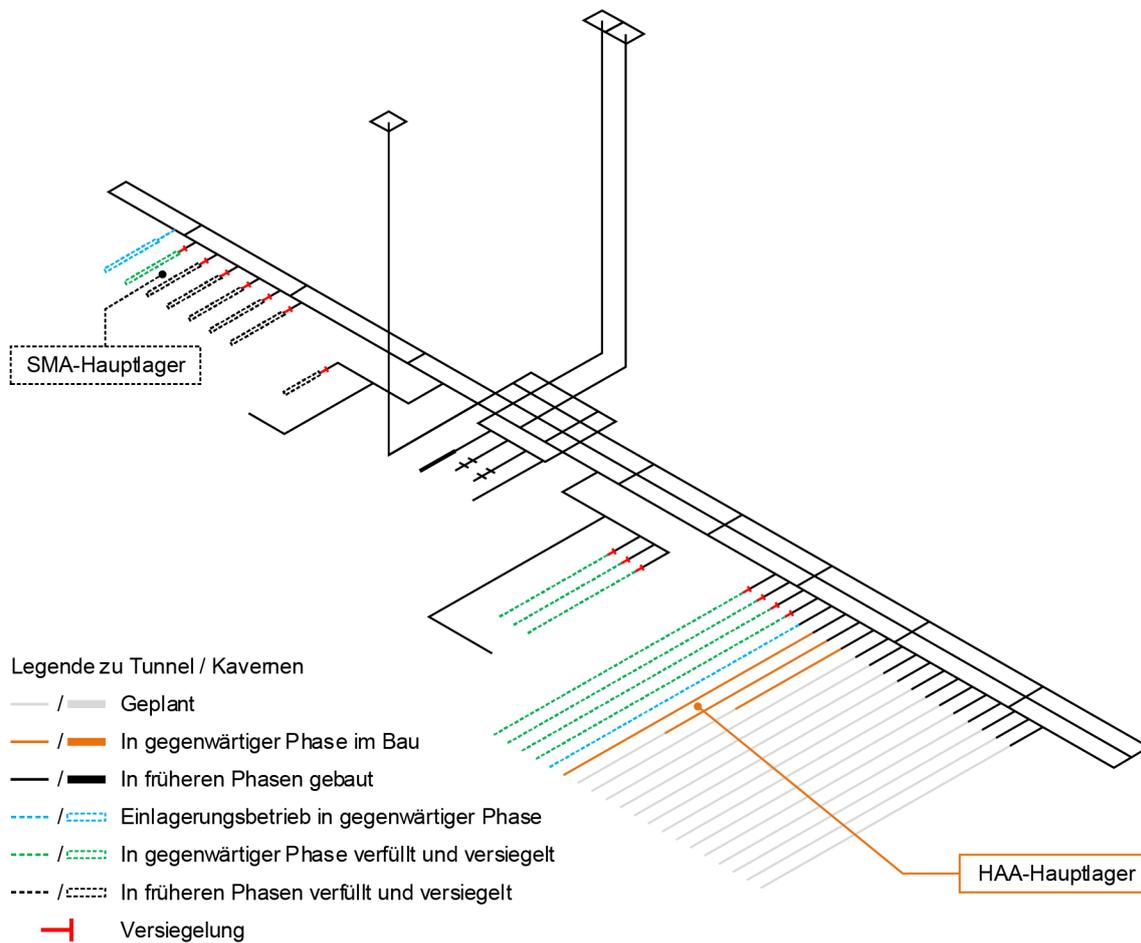


Fig. B-5: Systemskizze während der Phase «Einlagerungsbetrieb HAA»

Die Bauarbeiten umfassen in dieser Phase den fortlaufenden Ausbruch und die Erstellung der HAA-Lagerstollen, die im darauffolgenden Jahr benötigt werden. (Fig. 2-6 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

B.3 Systemskizzen Beobachtungs- und Verschlussphasen

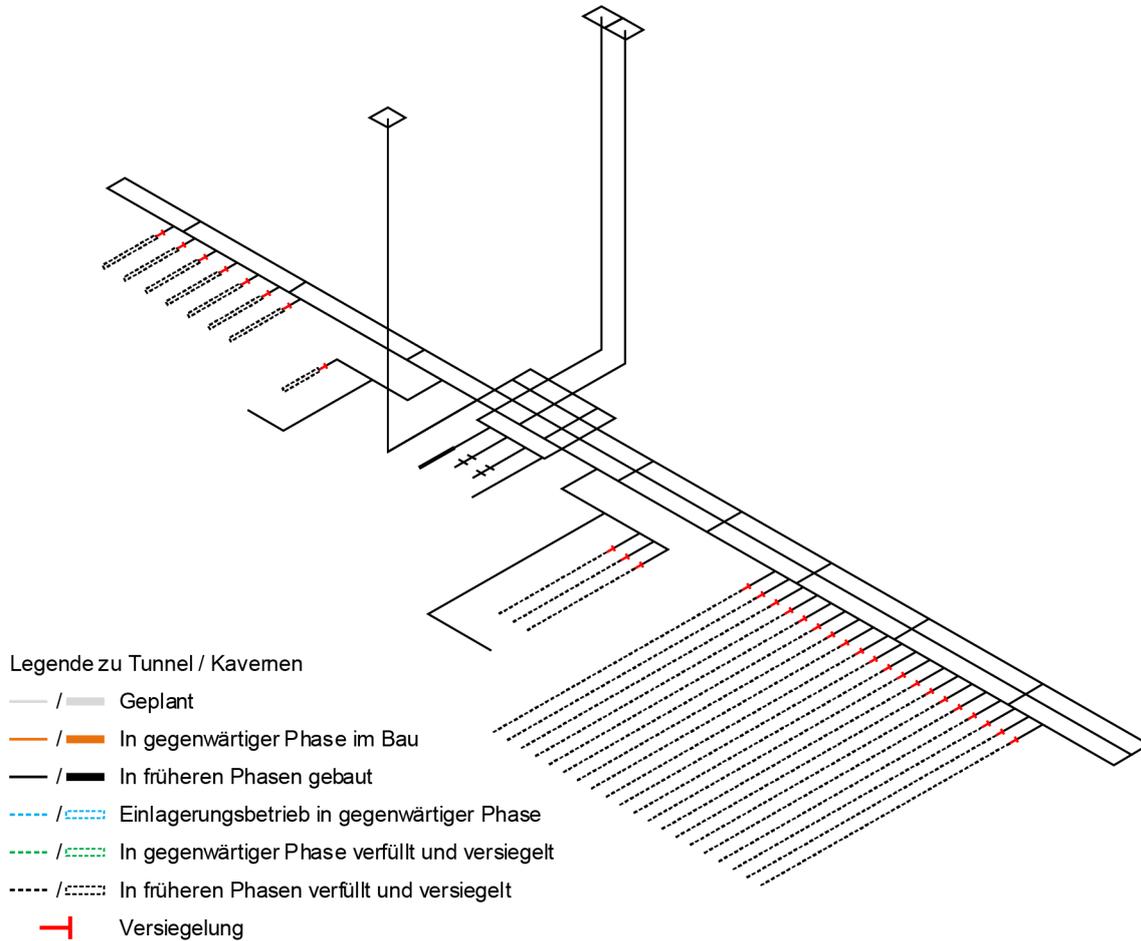


Fig. B-6: Systemskizze am Ende der Phase «Einlagerungsbetrieb HAA» und während der ersten Teilphase «Beobachtung»

Es sind keine wesentlichen Bauarbeiten in dieser Teilphase vorgesehen. Alle Lagerkammern sind versiegelt. (Fig. 2-7 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

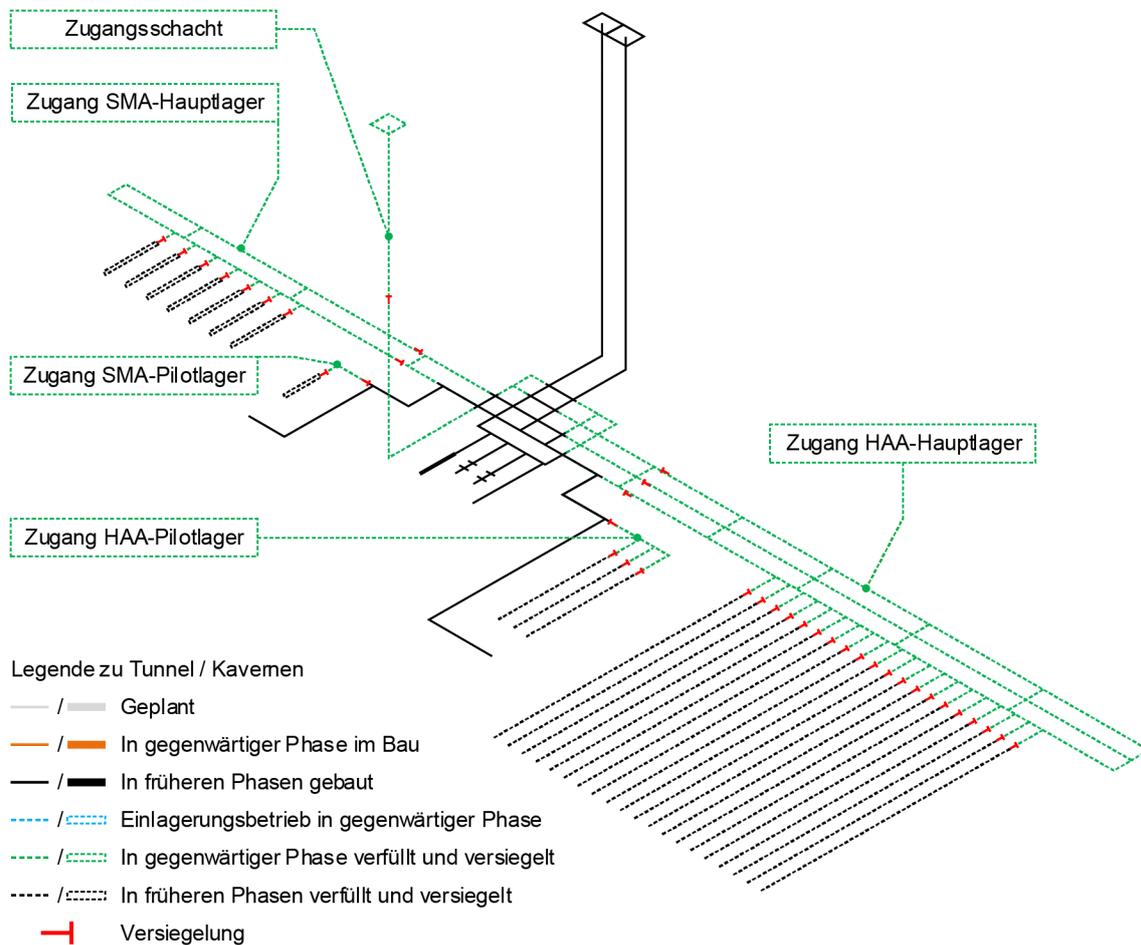


Fig. B-7: Systemskizze während der Phase «Verschluss Hauptlager»

Die Bauarbeiten umfassen in dieser Teilphase die vollständige Verfüllung und den Verschluss der Lagerfeldzugänge (Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel) sowie der Pilotlagerzugänge. (Fig. 2-8 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

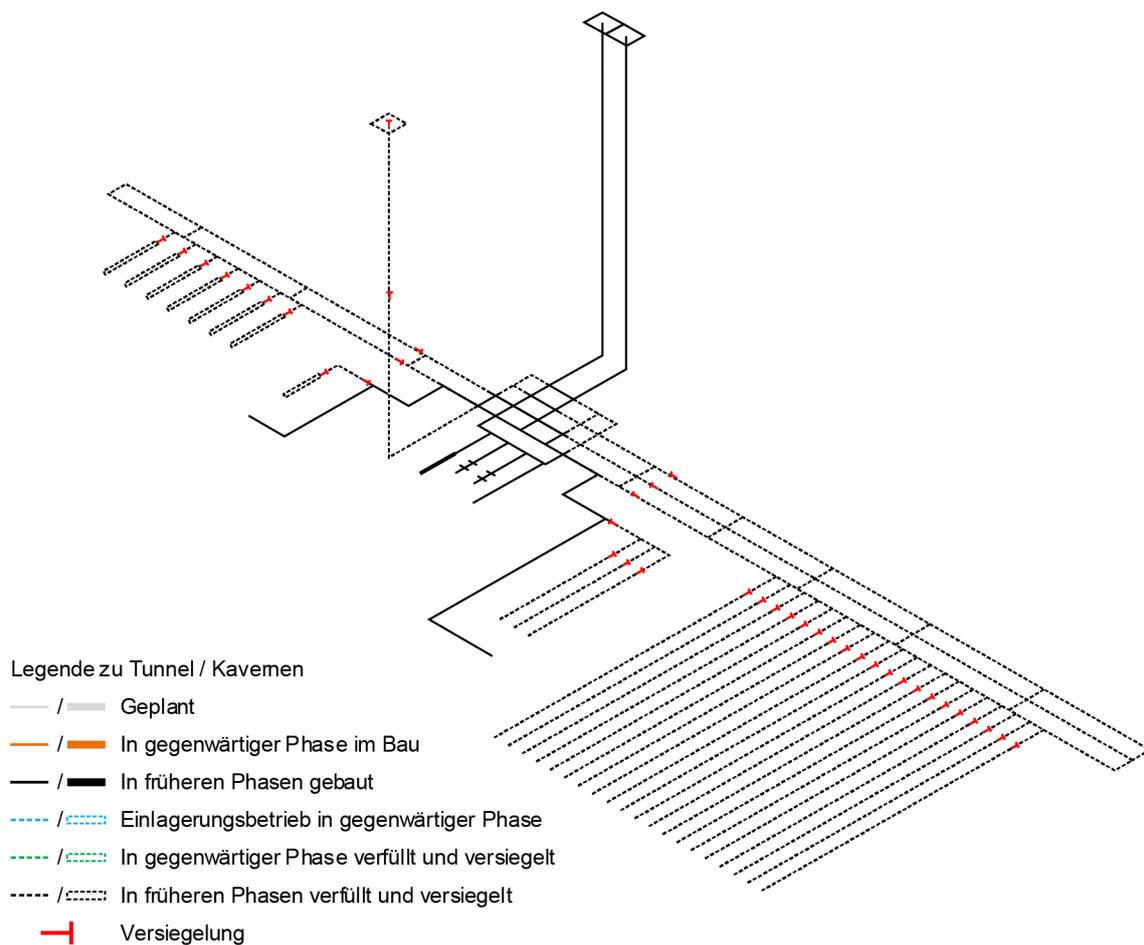


Fig. B-8: Systemskizze während der Phase «Weiterführung Beobachtung»

Es sind keine wesentlichen Bauarbeiten in dieser Teilphase vorgesehen. Alle Lagerkammern und die Lagerfeldzugänge sind versiegelt. (Fig. 2-9 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).

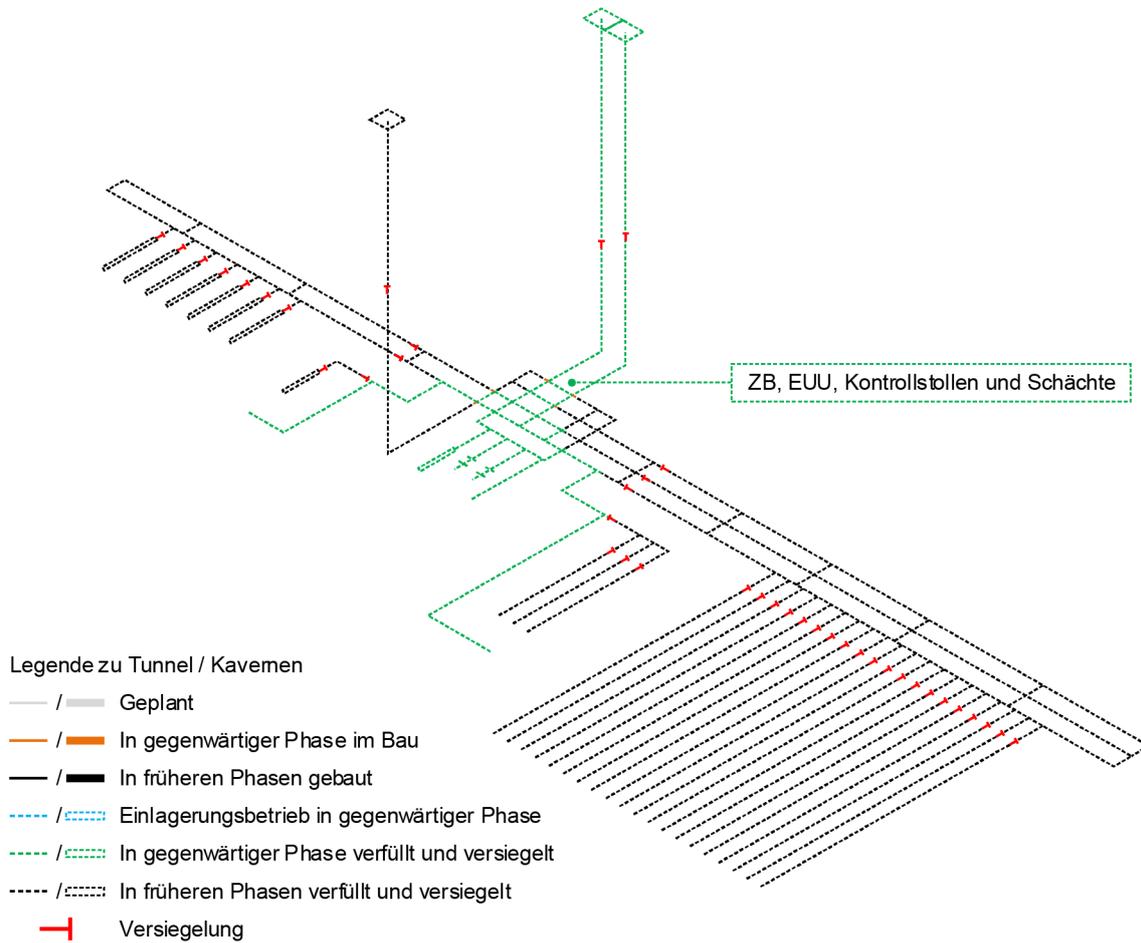


Fig. B-9: Systemskizze während der Phase «Verschluss Gesamtlager»

In dieser Phase werden sämtliche noch zugänglichen Hohlräume untertag verfüllt und verschlossen, und die verbliebene Oberflächeninfrastruktur wird zurückgebaut. (Fig. 2-10 aus NAB 22-35 (Nagra 2022c)).