



TECHNISCHER BERICHT 24-11

Anlagen- und Betriebskonzept für
das geologische Tiefenlager

November 2024

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



TECHNISCHER BERICHT 24-11

Anlagen- und Betriebskonzept für
das geologische Tiefenlager

November 2024

Autoren: Dr. J. Brommundt, Dr. J. Leuthold

Mit Beiträgen von: Dr. L. Cantieni, T. Gubler, Dr. A. Scheidegger, A. Soll, T. Steils,
Dr. T. Steinbach, Dr. S. Wälchli, P. Zimmermann, Dr. P. Zuidema

ISSN 1015-2636

Copyright © 2024 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

Das geologische Tiefenlager wird in einer Gesamtanlage realisiert, die aus einer Untertaganlage und einer Oberflächenanlage besteht. Diese wird erstellt, betrieben und verschlossen.

Der Bericht zeigt eine exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage, beschreibt deren Bau und Betrieb sowie die dafür erforderlichen Sicherheitskonzepte und geht auf Personal und Kosten ein. Er zeigt:

- Die Realisierung der Gesamtanlage ist machbar. Die Gesamtanlage kombiniert Bauwerke, Anlagen und Ausrüstungen des etablierten Anlagen- und Untertagbaus zu einem funktionierenden geologischen Tiefenlager.
- Bau und Betrieb der Gesamtanlage können in angemessener Zeit sicher umgesetzt werden. Die Anforderungen der konventionellen und nuklearen Sicherheit werden beim Bau und Betrieb auch bei paralleler Ausführung eingehalten.
- Bau und Betrieb der Gesamtanlage setzen das Sicherheits- und Lagerkonzept der Langzeitsicherheit um. Dadurch ist die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers in der Nachverschlussphase passiv gewährleistet.

Die Konzepte für die Gesamtanlage, für ihren Bau und für ihren Betrieb sind Grundlage für andere Gesuchunterlagen zu Sicherheit, Sicherung, Stilllegung, Überwachung, Umweltverträglichkeit, Raumplanung und Kosten. Sie dienen weiterhin als Startpunkt für die weitere Entwicklung der Gesamtanlage.

Abstract

The deep geological repository will be realised, operated and closed as an overall facility consisting of both underground and surface facilities.

The report describes a provisional implementation concept for the overall facility, explains how it will be constructed and operated, outlines the required safety concepts and discusses personnel and costs. It demonstrates that:

- Realisation of the overall facility is feasible. The facility combines structures, installations and infrastructure established in facility and underground engineering to form a functional deep geological repository.
- Construction and operation of the overall facility can be implemented safely and within a reasonable time period. Conventional and nuclear safety requirements will be met during construction and operation, even when these are executed in parallel.
- The post-closure safety and repository concept will be consistently implemented during construction and operation of the overall facility. This passively ensures the post-closure safety of the deep geological repository in the long term.

The concepts for the overall facility, its construction and its operation form the basis for other application documents relating to safety, security, decommissioning, monitoring, environmental impacts, spatial planning and costs. These concepts will continue to serve as starting point for the further development of the overall facility.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Abstract	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Figurenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Vorhergehende Arbeiten.....	2
1.2 Inhaltliche Abgrenzung	3
1.3 Gliederung des Berichts.....	3
2 Vorgaben	5
2.1 Ziel des Vorhabens	5
2.2 Gesetzliche, behördliche und weitere Vorgaben	5
2.3 Zeitplan	6
2.4 Sicherheits- und Lagerkonzept für die Nachverschlussphase.....	6
2.5 Abfallinventar und Verpackung	7
2.6 Projektperimeter und vorläufiger Schutzbereich	9
2.7 Geologische Situation.....	10
3 Beschreibung der Gesamtanlage	13
3.1 Funktionsbereiche.....	13
3.1.1 Funktionsbereiche der Untertaganlage	13
3.1.2 Funktionsbereiche der Oberflächenanlage.....	14
3.2 Zeitliche Entwicklung der Gesamtanlage	15
3.3 Oberflächenanlage	17
3.3.1 Bestandteile des Projektperimeters.....	17
3.3.2 Erschliessung des Projektperimeters	17
3.3.3 Anlagenperimeter	17
3.3.4 Eingliederungssaum.....	19
3.4 Untertaganlage.....	20
3.4.1 Schachtbauwerke	21
3.4.2 Zentraler Bereich	21
3.4.3 HAA-Hauptlager und HAA-Pilotlager	21
3.4.4 SMA-Hauptlager und SMA-Pilotlager	22
3.4.5 Testbereiche.....	22
3.4.6 Verschlussbauwerke	22
3.5 Anlagen und Ausrüstung	23
3.5.1 Lüftungs- und Kühlungskonzept	23

3.5.2	Transport – Logistik	27
3.5.3	Ver-/Entsorgungskonzept	28
4	Betrieb: Bestätigen, Einlagern, Beobachten	31
4.1	Bestätigen	31
4.2	Einlagern.....	31
4.2.1	Anlieferung, Bereitstellung und Schachtförderung	32
4.2.2	Transport und Einlagerung in Lagerkammern.....	33
4.3	Beobachten	33
4.4	Erhalten.....	34
5	Bau: Erstellen und Verschliessen	35
5.1	Erstellen: Vortrieb und Sicherung UTA	35
5.2	Materialbewirtschaftung	35
5.3	Verschliessen	36
6	Sicherheitskonzept.....	37
6.1	Vorgehen und übergeordnete Aspekte.....	38
6.2	Konventionelle Sicherheit	39
6.2.1	Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept.....	39
6.2.2	Personensicherheit – Flucht, Rettung, Evakuierung	40
6.2.3	Brand- und Explosionsschutz	42
6.2.4	Intervention.....	43
6.3	Nukleare Sicherheit	45
6.3.1	Nukleare Betriebssicherheit.....	45
6.3.2	Strahlenschutzkonzept	45
6.3.3	Sicherungskonzept.....	46
7	Personal & Organisation.....	49
8	Kosten	51
9	Weitere Projektentwicklung.....	53
10	Literaturverzeichnis	55
Anhang A	Geologie – Wirtgestein Opalinuston	A-1
Anhang B	Normative Vorgaben	B-1
B.1	Gesetze und Verordnungen des Bundes	B-1
B.2	Ausgewählte Bundesstellen, die Richtlinien und Wegleitungen herausgeben	B-1
B.3	Ausgewählte Dritte mit Normen, Richtlinien und Empfehlungen.....	B-2
Anhang C	Planung und Genehmigung	C-1
Anhang D	Weitere Angaben zur Oberflächenanlage	D-1
D.1	Sicherheit im westlichen Teil des Anlagenperimeters.....	D-1
D.2	Verkehrerschliessung des Projektperimeters	D-2

Anhang E	Kennzahlen der exemplarischen Umsetzung	E-1
E.1	Hauptmaterialmengen.....	E-1
E.2	Einlagerung.....	E-1
Anhang F	Grundwasserschutz der Oberflächenanlage	F-1
F.1	Kontext	F-1
F.2	Massnahmen Grundwasserschutz.....	F-1
F.2.1	Bau.....	F-1
F.2.2	Betrieb	F-2
F.3	Fazit	F-3
Anhang G	Entwicklung der Oberflächenanlage	G-1
G.1	Konkretisierung der Oberflächenanlage für das Rahmen- bewilligungsgesuch.....	G-1
G.2	Realisierungsphasen	G-3
Anhang H	Abweichungen vom ENSI-Glossar	H-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Gesamtvolumen des Abfallinventars MIRAM-RBG, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie	8
Tab. A-1:	Zuordnung der lithologischen Beschreibung zu den einzelnen Homogenbereichen	A-2
Tab. E-1:	Mengen der Hauptmaterialien, gerundet	E-1
Tab. E-2:	Phasenbezogene Hauptmaterialmengen, gerundet	E-1

Figurenverzeichnis

Fig. 1-1:	Exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers mit Untertaganlage und Oberflächenanlage am Standort Haberstal	1
Fig. 1-2:	Abfolge der fünf wesentlichen Tätigkeiten zur Realisierung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers	2
Fig. 2-1:	Realisierungsplan für das geologische Tiefenlager	6
Fig. 2-2:	Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase gemäss den aktuell verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA	7
Fig. 2-3:	Endlagerbehältertypen HAA mit Kenngrössen und Anzahl	8
Fig. 2-4:	Endlagerbehältertypen SMA mit Kenngrössen und Anzahl	9
Fig. 2-5:	Projektperimeter am Standort Haberstal mit vorläufigem Schutzbereich im Untergrund	10
Fig. 2-6:	Prognostiziertes geologisches Profil durch den Anlagenperimeter	11
Fig. 3-1:	Funktionsbereiche der Gesamtanlage mit Tätigkeiten	14
Fig. 3-2:	Zeitlicher Ablauf der Tätigkeiten	15
Fig. 3-3:	Zustand der Gesamtanlage zu fünf ausgewählten Zeitpunkten	16
Fig. 3-4:	Anlagenperimeter mit Bauten und Eingliederungssaum	18
Fig. 3-5:	Visualisierung der Oberflächenanlage, Blick über die Kiesstrasse nach Westen	20
Fig. 3-6:	Schematischer Grundriss der exemplarischen Umsetzung der UTA mit Funktionsbereichen	21
Fig. 3-7:	Elemente des Verschlusskonzepts der exemplarischen Umsetzung der UTA	22
Fig. 3-8:	Lüftungskonzept der UTA	24
Fig. 3-9:	Lüftungsschema in der UTA	25
Fig. 3-10:	Kälteversorgung der UTA	26
Fig. 3-11:	Funktionsschema Kälteanlage	26

Fig. 4-1:	Längsschnitt durch das Sicherungsareal (siehe Fig. 6-3) mit Einlagerungsschacht, zugehörigem Schachtkopfgebäude, Bereitstellungshalle und Schleuse auf das Sicherungsareal.....	32
Fig. 4-2:	Logistik nuklearer Betrieb UTA	33
Fig. 6-1:	Konventionelle und nukleare Sicherheit mit beitragenden Schutz- und Sicherheitskonzepten für die unterschiedlichen Schutzziele	37
Fig. 6-2:	Konzept für FREI-Wege in der UTA	42
Fig. 6-3:	Schema der OFA am Standort Haberstal mit Sicherungsareal	47
Fig. 7-1:	Qualitativer Verlauf des Personalbedarfs der Betriebsorganisation des gTL und weiteren relevanten Personals.....	49
Fig. A-1:	Geologisches Profil durch das Untersuchungsgebiet Nördlich Lägern	A-1
Fig. A-2:	Lithologische Prognoseprofile an den Schachtstandorten mit den ingenieurgeologischen Homogenbereichen.....	A-3
Fig. D-1:	Heutiger Verlauf des Haberstalgraben im Anlagenperimeter.....	D-2
Fig. D-2:	Verkehrstechnische Erschliessung des Projektperimeters	D-3
Fig. G-1:	Schematischer Überblick über das OFA-Areal (aus Nagra 2022g).....	G-2
Fig. G-2:	Realisierungsphasen der exemplarischen Umsetzung der OFA des geologischen Tiefenlagers	G-3

Abkürzungsverzeichnis

BEVA	Brennelementverpackungsanlage
BFE	Bundesamt für Energie
BZL	Bundeszwischenlager für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
gTL	Geologische(s) Tiefenlager
HAA	Hochaktive Abfälle (abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung)
KEG	Kernenergiegesetz
KTA	Kerntechnischer Ausschuss (Deutschland)
IAEA	International Atomic Energy Agency, Internationale Atomenergie-Organisation
ICRP	International Commission on Radiological Protection, Internationale Strahlenschutzkommission
MBS	Mehrfachbarrierensystem
MIF	Radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung
NAB	Nagra Arbeitsbericht
NTB	Nagra Technischer Bericht
OECD/NEA	Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency, Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung / Kernenergieagentur
OFA	Oberflächenanlage ¹
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
TB	Transportbehälter (für Endlagerbehälter)
TLB	Transport- und Lagerbehälter
VA	Verpackungsanlage
UTA	Untertaganlage

¹ Die Begrifflichkeit wurde gegenüber dem ENSI-Glossar der aktuellen Situation angepasst (vgl. Anhang H).

1 Einleitung

Dieser Bericht beschreibt Konzepte für die Gesamtanlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers (gTL) mit der Oberflächenanlage am Standort Haberstal (Gemeinde Stadel ZH). Das gTL dient der Einlagerung von hochaktiven Abfällen (HAA) sowie schwach- und mittelaktiven Abfällen (SMA).

Die Beschreibung erfolgt anhand einer exemplarischen Umsetzung des gTL. Diese dient der Plausibilisierung der Machbarkeit im Rahmen der im zugehörigen Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) zu treffenden Festlegungen (u.a. Grundzüge des Projekts, Anlagenperimeter, vorläufiger Schutzbereich; Nagra 2025d). Sie ist Grundlage für den Sicherheitsnachweis, die Konzepte zu Sicherung, Stilllegung und Überwachung sowie die Bewertungen zu Umweltverträglichkeit, Raumplanung und Kosten.

Das gTL wird im mehrstufigen Bewilligungsverfahren nach Kernenergiegesetzgebung ausgehend von den Festlegungen im RBG nach Stand der Erfahrung sowie Wissenschaft und Technik fortlaufend weiterentwickelt (Kap. 9). Dabei werden die Ergebnisse von Projektoptimierungen mit zugehörigen Variantenstudien in die Planung einfließen und gegebenenfalls zu bedeutenden Projektänderungen führen.

Fig. 1-1 zeigt die exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage. Diese besteht aus einer Oberflächenanlage (OFA) und einer Untertaganlage (UTA). OFA und UTA sind durch drei Schächte als Zugangsbauwerke verbunden. Diese werden hier als Teil der UTA angesprochen.

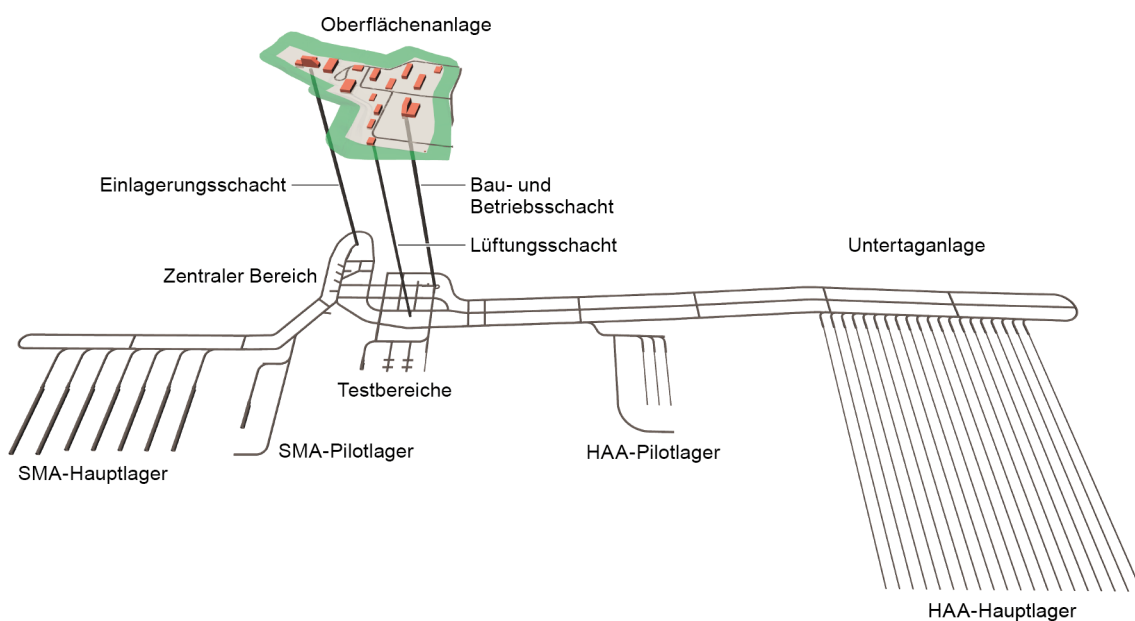


Fig. 1-1: Exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers mit Untertaganlage und Oberflächenanlage am Standort Haberstal

Blickrichtung Norden; die Erläuterung der Gesamtanlage erfolgt in Kapitel 3.

Die Beschreibung umfasst die Realisierung der Gesamtanlage des gTL bis zum Gesamtverschluss. Die Realisierung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers besteht in der Abfolge der fünf wesentlichen Tätigkeiten, wie in Fig. 1-2 illustriert. Diese ergeben sich aus den gesetzlichen Vorgaben zur Tiefenlagerung (Kap. 2.2) und den erforderlichen Bewilligungsschritten.

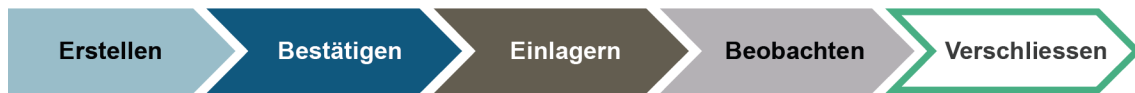


Fig. 1-2: Abfolge der fünf wesentlichen Tätigkeiten zur Realisierung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers

Die Erläuterung der Tätigkeiten erfolgt in Kapitel 4 und 5.

1.1 Vorhergehende Arbeiten

Die in diesem Bericht dargestellte Umsetzung basiert auf der Arbeit der Nagra der letzten Jahrzehnte. Die ersten massgeblichen Berichte zu Anlage und Betrieb geologischer Tiefenlager sind die Entsorgungsnachweise für SMA (Nagra 1985) und HAA (Nagra 2002), die für Einzellager erbracht und vom Bundesrat genehmigt wurden. Weitere Berichte zur Projektentwicklung sind Sicherheitsuntersuchungen zur Oberflächen- (Nagra 2013, 2016) und Untertaganlage (Nagra 2014a) des geologischen Tiefenlagers sowie Standortvorschläge für die OFA (Nagra 2019).

Die Nagra begründet mit dem Rahmenbewilligungsgesuch auch die Standortwahl (Nagra 2025a), für die nach Vorgaben des ENSI (ENSI 2018) Projekte auf Stufe Vorprojekt für SMA- und HAA-Einzellager bzw. Kombilager in den drei Standortregionen Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost zu planen und dokumentieren sind (Nagra 2023a).

Für alle Standortregionen gleich geltende Konzepte wurden dafür standort- und lagertypunabhängig beschrieben. Diese Konzepte erhalten ausführlichere Beschreibungen zu ausgewählten Themen. Auf sie wird hier verwiesen, ihr Inhalt wird – nur so weit zum Gesamtverständnis nötig – übernommen. Im Einzelnen sind dies:

- Module der Lagerarchitektur, Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35 (Nagra 2022d)
- Betriebskonzept für die geologische Tiefenlagerung, Nagra Arbeitsbericht NAB 21-06 (Nagra 2022b) – fokussiert auf die Einlagerung
- Lüftungs- und Kühlungskonzept geologisches Tiefenlager, Nagra Arbeitsbericht NAB 22-31 (Nagra 2022c)
- Schachtförderanlagen für geologische Tiefenlager, Nagra Arbeitsbericht NAB 23-23 (Nagra 2023c)
- Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager, Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12 (Nagra 2021c)

Die in Nagra (2023a) für den Standortvergleich dokumentierte exemplarische Umsetzung der UTA für das Kombilager in der Standortregion Nördlich Lägern zeigt die bauliche Machbarkeit der in diesem Bericht beschriebenen Anlage.

Alle Angaben im vorliegenden Bericht sind weitgehend konsistent mit den genannten Konzepten und Berichten. Abweichungen ergeben sich gegebenenfalls aus dem zeitlichen Abstand der Veröffentlichung und dem damit einhergehenden Projektfortschritt.

1.2 Inhaltliche Abgrenzung

Die nukleare Sicherheit des geologischen Tiefenlagers und der Umgang damit werden in den folgenden zwei Berichten betrachtet:

- Sicherheitsbericht (Nagra 2025d)
- Generische Sicherheitsbetrachtungen (Nagra 2024b)

Im vorliegenden Bericht wird daher nur die nukleare Sicherheit im Normalbetrieb² der Gesamtanlage beschrieben und auf die Ereignisvorsorge nur für konventionelle Ereignisse eingegangen. Die Schnittstellen zu Störfällen und Störfallbeherrschung werden erwähnt.

Die Themen Sicherung (Nagra 2025e), Stilllegung (Nagra 2025g) und integrale Überwachung (Nagra 2025c) werden in separaten Berichten erläutert.

Die endlagerfähige Verpackung der einzulagernden Abfälle erfolgt extern. Die Brennelementverpackungsanlage für die Verpackung der HAA ist am Standort Zwiilag geplant und Gegenstand eines separaten RBG (Nagra 2025h).

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle ist bis zum Verschluss des gTL zu gewährleisten. Sie ist jedoch keine regulär vorgesehene Tätigkeit (Nagra 2022e) und wird daher hier nicht behandelt.

Die Umweltverträglichkeit von Anlage und Betrieb wird im Umweltverträglichkeitsbericht (Nagra 2025i) untersucht. Das Umweltmonitoring ist in Nagra (2024e) beschrieben. Die Abstimmung des Projekts mit der Raumplanung ist in Nagra (2025b) dargestellt. Dort sind die Ergebnisse der Partizipation, insbesondere zur Konkretisierung der Oberflächenanlage, nach Sachplan Geologische Tiefenlager (BFE 2008) beschrieben.

1.3 Gliederung des Berichts

Das Anlagen- und Betriebskonzept setzt Vorgaben um, von denen die wichtigsten zu Beginn (Kap. 2) zusammengefasst werden. Damit wird die Gesamtanlage beschrieben (Kap. 3). Die Funktionsbereiche zur Umsetzung der wesentlichen Tätigkeiten werden eingeführt und deren konkrete exemplarische Umsetzung in OFA, UTA und technischer Ausrüstung gezeigt.

Die wesentlichen Tätigkeiten werden in zwei Gruppen erläutert: die betrieblichen Tätigkeiten (Kap. 4), d. h. Bestätigen, Einlagern und Beobachten, und die baulichen Tätigkeiten (Kap. 5), d. h. Erstellen und Verschliessen.

Anschliessend werden die Sicherheitskonzepte (Kap. 6) beschrieben. Dabei wird zwischen konventioneller und nuklearer Sicherheit unterschieden. Erste Überlegungen zu Personal und Organisation folgen in Kap. 7. Anschliessend wird, wie in Art. 62 Bst. c KEV vorgegeben, auf die Kosten (Kap. 8) für die Realisierung eingegangen. Abgeschlossen wird der Bericht mit Überlegungen zur weiteren Projektentwicklung (Kap. 9).

² Einschliesslich Betriebsstörungen und Bau

2 Vorgaben

Die Gesamtanlage des gTL dient dem Erreichen des Ziels des Vorhabens (Kap. 2.1). Dabei sind gesetzliche, behördliche und weitere Vorgaben (Kap. 2.2) und der aktuelle Zeitplan (Kap. 2.3) einzuhalten. Die Gesamtanlage setzt das Sicherheits- und Lagerkonzept für die Nachverschlussphase (Kap. 2.4) um. Wesentliche Randbedingungen sind die Abfallmenge (Kap. 2.5), der Projektperimeter, der vorläufige Schutzbereich (Kap. 2.6) und die geologische Situation (Kap. 2.7).

2.1 Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Vorhabens ist die Entsorgung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager unter Einhaltung aller gesetzlichen und behördlichen Vorgaben. Dafür wird das Tiefenlager gebaut und die verpackten Abfälle werden eingelagert. Daneben wird beobachtet und das Tiefenlager verschlossen. Das verschlossene Tiefenlager gewährleistet den Schutz von Mensch und Umwelt für den gesamten Nachweiszeitraum der Langzeitsicherheit, d. h. 1 Million Jahre (Nachverschlussphase; Nagra 2024f).

2.2 Gesetzliche, behördliche und weitere Vorgaben

Die gesetzlichen Grundlagen für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager sind im Kernenergiegesetz (KEG 2003) und der zugehörigen Kernenergieverordnung (KEV 2004), insbesondere Art. 10 Abs. 1, 11, 64-69 gegeben. Grundlagen im Wesentlichen für den Betrieb sind das Strahlenschutzgesetz (StSG 1991), die Strahlenschutzverordnung (StSV 2017) und die Verordnung über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM 2017).

Die Schutzziele der Sicherheit des Personals während Bau und Betrieb sind u. a. im Arbeitsgesetz (ArG 1964), der Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (Gesundheitsschutz; ArGV 3 1993), dem Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG 1981), der Verordnung über die Unfallverhütung (VUV 1983) und der Bauarbeitsverordnung (BauAV 2021) vorgegeben. Ferner sind das Umwelt- und das Gewässerschutzgesetz (USG 1983, GSchG 1991) zu berücksichtigen.

Das ENSI hat in seiner Richtlinie G03 «Geologische Tiefenlager» (ENSI 2023a) die Anforderungen von KEG und KEV präzisiert. Es gelten weitere Richtlinien des ENSI.

Art. 4 KEG fordert Auslegung und Betrieb des gTL nach Erfahrungen und Stand von Wissenschaft und Technik. Dieser ist formuliert in Veröffentlichungen von internationalen Organisationen wie der OECD/NEA, der ICRP oder der IAEA und in anerkannten in- und ausländischen Normen und Regelwerken, wie den SIA-Normen, Regelwerken von SUVA oder SECO und weiteren Institutionen (vgl. Anhang B).

Weitere Vorgaben ergeben sich aus Empfehlungen, Forderungen und Auflagen der Genehmigungsstellen im Zuge der Genehmigungsverfahren, z. B. ENSI (2018). Berechtigte Erwartungen und Ziele weiterer Stakeholder (Politik, Standortregion, usw.), z. B. formuliert in Stellungnahmen im Rahmen der Zusammenarbeit im Sachplanverfahren Geologische Tiefenlager (BFE 2008), sind angemessen zu berücksichtigen.

2.3 Zeitplan

Mit dem alle fünf Jahre zu aktualisierenden Entsorgungsprogramm legen die Entsorgungspflichtigen dem Bundesrat dar, wie sie die Pflicht zur Entsorgung der aus ihren Anlagen stammenden radioaktiven Abfälle zu erfüllen beabsichtigen³. Aktuell gültig ist das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21; Nagra 2021a). Fig. 2-1 zeigt den hier in Anlehnung an das EP21 zu Grunde gelegten Realisierungsplan. Wesentliche vorgegebene Randbedingungen des Zeitplans sind die Betriebsaufnahme des SMA-Lagers 2050 und des HAA-Lagers 2060. Nach Abschluss der Beobachtung verfügt der Bundesrat den Gesamtverschluss des gTL.

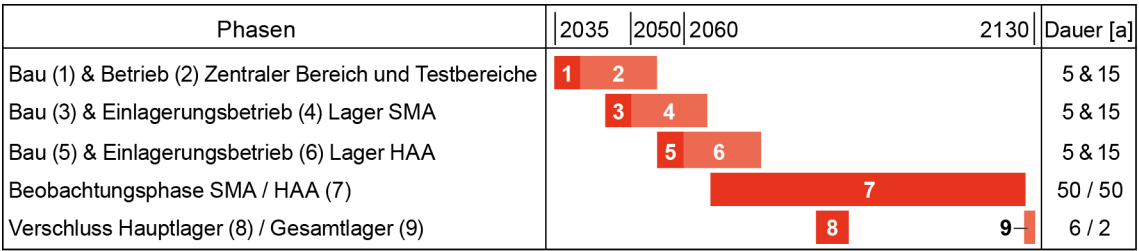


Fig. 2-1: Realisierungsplan für das geologische Tiefenlager
Nach Nagra (2021a)
Nur für diesen Bericht relevante Phasen wurden übernommen⁴ und durchnummeriert.

2.4 Sicherheits- und Lagerkonzept für die Nachverschlussphase

Das Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase des gTL gewährleistet den dauernden Schutz von Mensch und Umwelt durch gestaffelte, passive Barrieren (Art. 3 Bst. c KEG). Es basiert auf einem für die Langzeitsicherheit entwickelten Mehrfachbarrierensystem, das in Fig. 2-2 bzw. Nagra (2024f) beschrieben ist. Der Opalinuston als Wirtgestein bildet die geologische Barriere, die zusammen mit weiteren technischen Barrieren die Langzeitsicherheit gewährleistet.

³ Art. 31, 32 KEG, Art. 52 KEV
⁴ «Testbereiche» ersetzen im RBG «EUU»

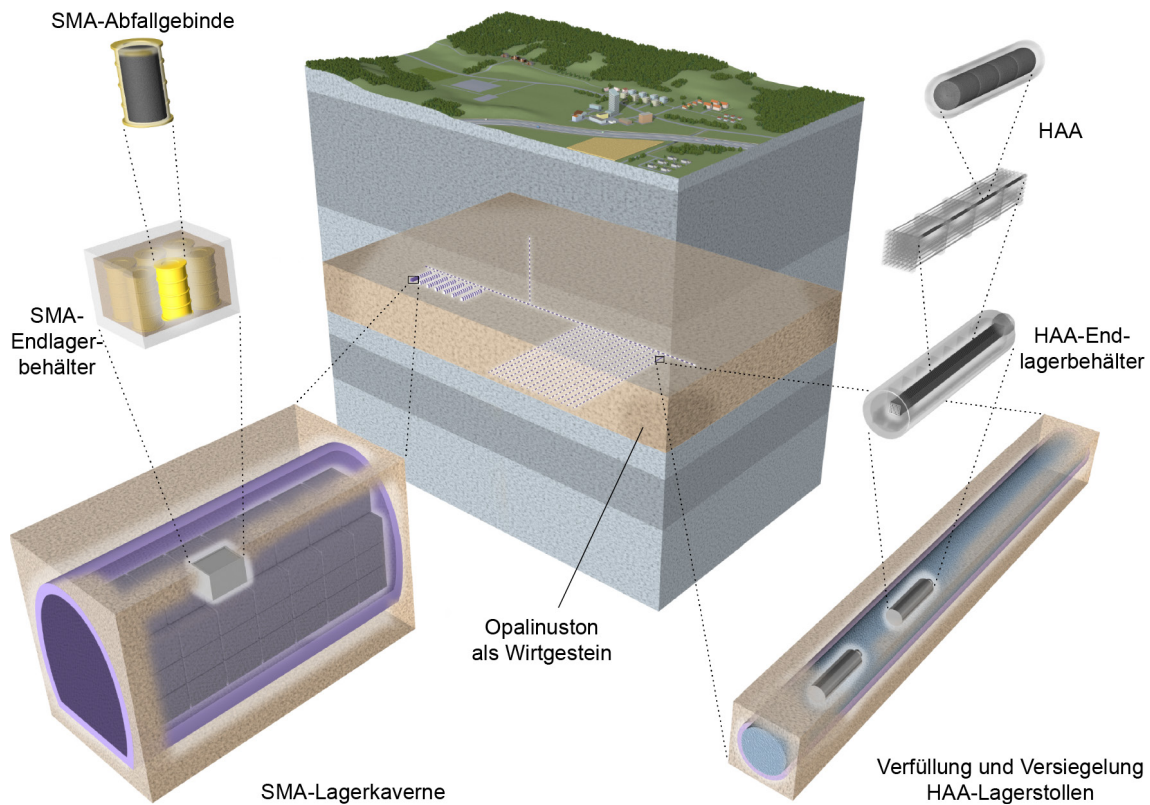


Fig. 2-2: Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase gemäss den aktuell verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA

Nagra (2021a)

In Nagra (2024g) sind Anforderungen und Umsetzungsvorgaben zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit formuliert, die in der exemplarischen Umsetzung der Gesamtanlage und ihres Betriebs zu berücksichtigen sind.

2.5 Abfallinventar und Verpackung

Zu den massgeblichen Auslegungsgrössen des gTL zählt das Abfallinventar, welches Menge, Art und Zeitpunkt des Anfalls der einzulagernden Abfälle beschreibt. Dieses hat die Nagra mit Hilfe ihrer MIRAM⁵ Datenbank für das RBG erhoben (Nagra 2023b). Es wird als MIRAM-RBG bezeichnet. MIRAM-RBG basiert auf den bis 31.12.2019 effektiv produzierten Abfällen und einer Prognose der bis zur vorgesehenen Einlagerung (vgl. Kap. 2.3) anfallenden Abfälle, wobei das Szenario "60 Jahre Betrieb der Kernkraftwerke" nach EP21 zugrunde gelegt wird. Das angenommene Verpackungskonzept verwendet standardisierte Endlagerbehälter (vgl. Fig. 2-3 und Fig. 2-4). Die Verpackungen erfüllen die Anforderungen der Langzeitsicherheit und sind so Bestandteil des Mehrfachbarrierensystems (Kap. 2.4). Tab. 2-1 fasst das Abfallinventar nach Abfallkategorie zusammen.

⁵ MIRAM = Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien

Tab. 2-1: Gesamtvolumen des Abfallinventars MIRAM-RBG, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie

Angaben aus Tabelle 7-1 in Nagra (2023b). Die Angaben sind gegliedert nach Kategorien der Kernenergieverordnung (KEV 2004) mit HAA: Hochaktive Abfälle, ATA: Alpha-toxische Abfälle, SMA: Schwach- und mittelaktive Abfälle. Im Folgenden werden ATA den SMA zugeschlagen.

Abfallvolumen [m³] je Kategorie nach KEV				Total [m³]
Status	HAA	ATA	SMA	
Unverpackt	1'550	288	42'572	44'410
Endlagerverpackt	9'295	1'065	82'776	93'135

Für die Auslegung des geologischen Tiefenlagers und der SMA-Lagerkavernen und HAA-Lagerstollen ergeben sich die folgenden Endlagerbehältertypen und deren Anzahl für HAA (Fig. 2-3) und SMA (Fig. 2-4).

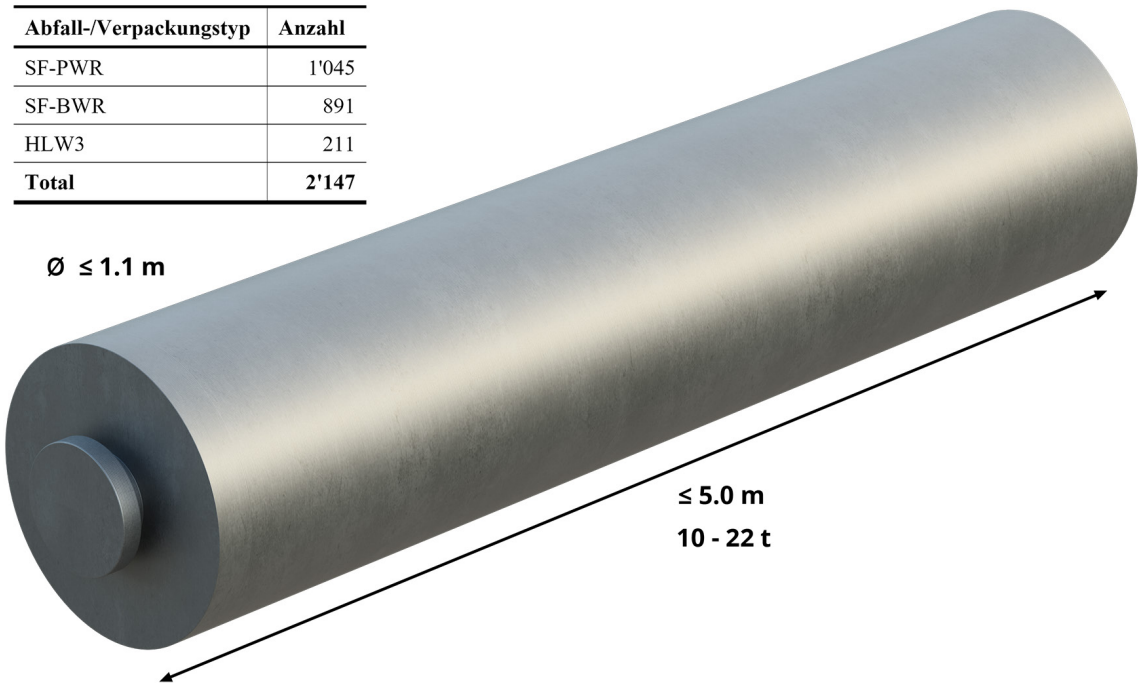


Fig. 2-3: Endlagerbehältertypen HAA mit Kenngrössen und Anzahl
Nagra (2023b)

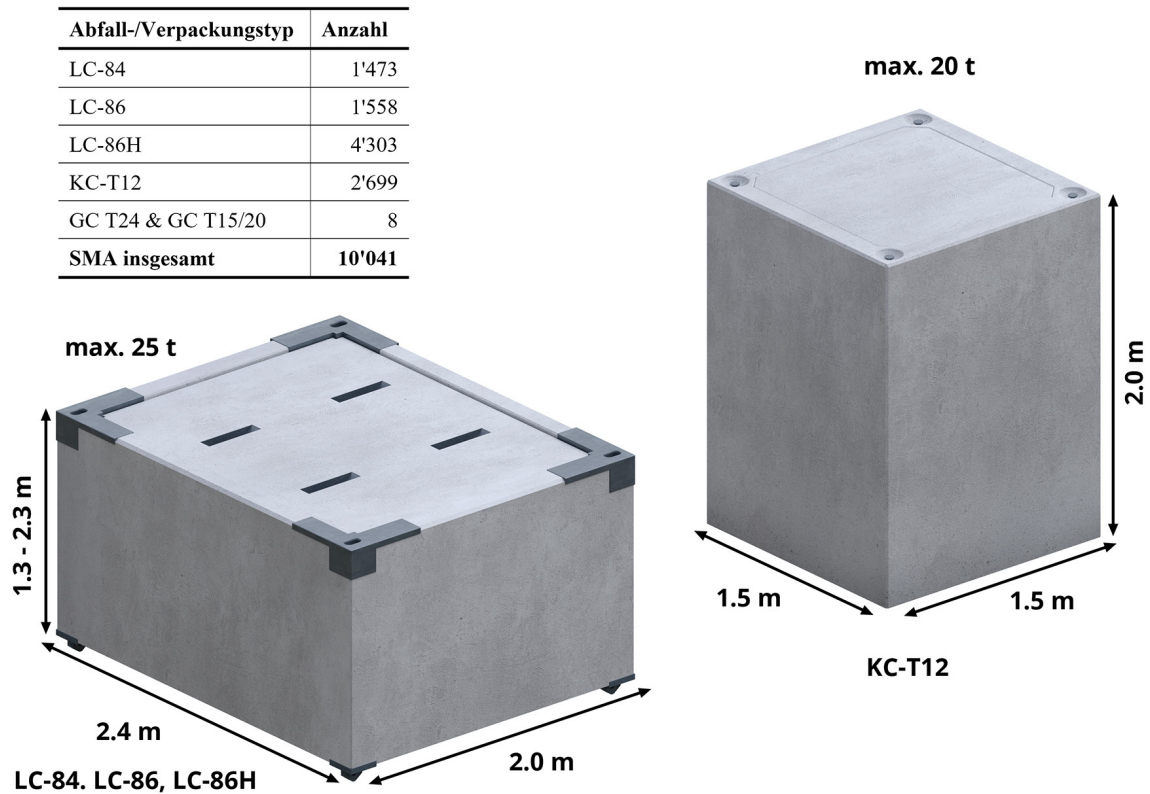


Fig. 2-4: Endlagerbehältertypen SMA mit Kenngrössen und Anzahl
Nagra (2023b)

2.6 Projektperimeter und vorläufiger Schutzbereich

Der Projektperimeter für die OFA befindet sich am Standort Haberstal, in der Gemeinde Stadel im Kanton Zürich (Fig. 2-5). Die nächstgelegenen Siedlungen sind 750 m nördlich Zweidlen (Gemeinde Glattfelden) und 750 m südlich Windlach (Gemeinde Stadel). Im vorläufigen Schutzbereich werden die Lagerfelder des gTL platziert (Nagra 2025d).

Der Projektperimeter ist das Resultat der Konkretisierung der Oberflächenanlage seit 2022 (Anhang G.1, Kapitel 4.2 in Nagra 2025b).

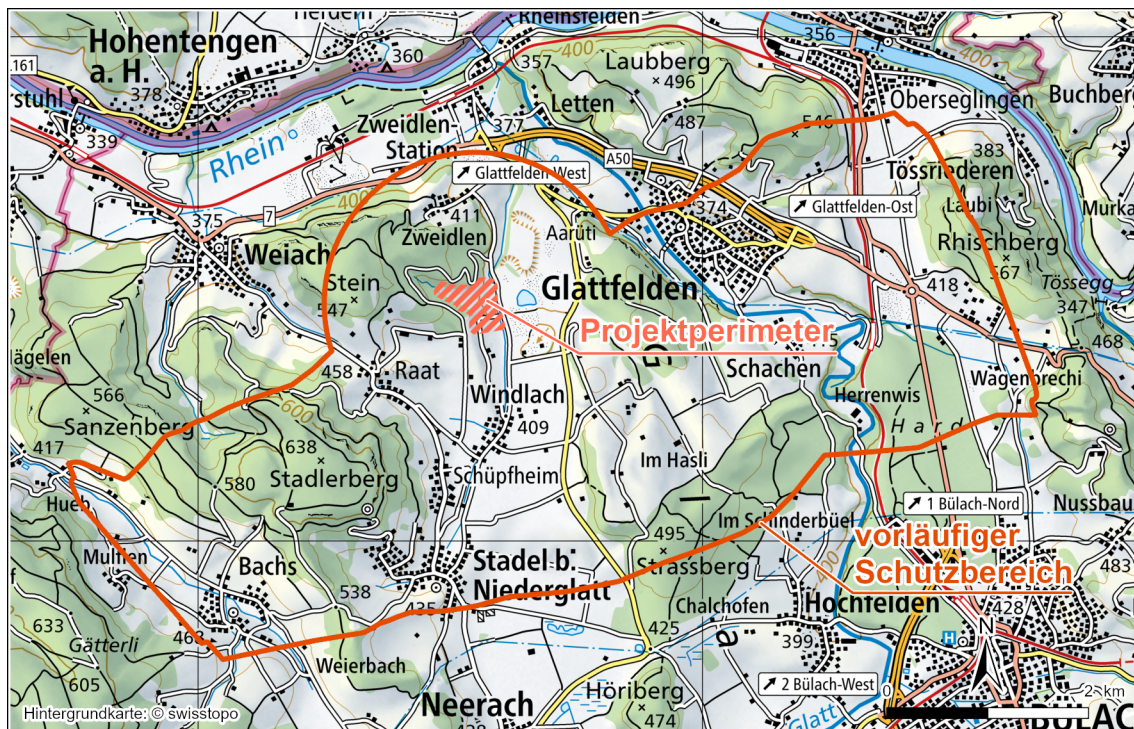


Fig. 2-5: Projektperimeter am Standort Haberstal mit vorläufigem Schutzbereich im Untergrund

Nagra (2025d)

2.7 Geologische Situation

Für den gewählten Standort liegt mit den Untersuchungsergebnissen der 3D-seismischen Kampagne und der Tiefbohrungen (TBO) eine gute geologische Datenbasis (Nagra 2024d) für die Projektierung vor. Die für den Bau der UTA relevanten geologischen Daten sind in Anhang A zusammengefasst.

Für die OFA ist die Situation in Eisenlohr & Müller (2016) beschrieben, ergänzt mit dem geologischen Schichtmodell der Nagra mit Stand Februar 2022.

Demnach liegt der westliche Teil des Anlagenperimeters⁶ in einem in den "Molassefels" eingeschnittenen kleinen Seitental des Windlacherfelds (Fig. 2-5). Der Baugrund besteht aus quartären Lockergesteinen, die den "Molassefels" überdecken (Fig. 2-6).

Das Lockergestein besteht aus wenige Meter mächtigen Gehängeschutt- und Bachschutt-ablagerungen. Im Osten des Anlagenperimeters verzahnen sich die Gehängeschutt- und Bachschutt-ablagerungen mit dem bis zu mehreren zehn Metern mächtigen Niederterrassenschotter.

Die Gehängeschutt- resp. Bachschutt-ablagerungen sind generell als locker bis mitteldicht gelagert zu erwarten. Sie sind entsprechend als wenig tragfähig und setzungsempfindlich einzustufen. Die darunterliegende Molasse ist gut tragfähig und nicht setzungsempfindlich. Der Niederterrassenschotter ist als dicht bis sehr dicht gelagert zu erwarten und stellt einen gut tragfähigen Baugrund mit geringer Setzungsempfindlichkeit dar.

⁶ Der Anlagenperimeter ist Teil des Projektperimeters (Fig. 3-4, Kap.3.3.1).

Der Baugrund befindet sich oberhalb des Grundwassers. Es ist mit geringen Mengen Sickerwasser entlang der Felsoberfläche zu rechnen.

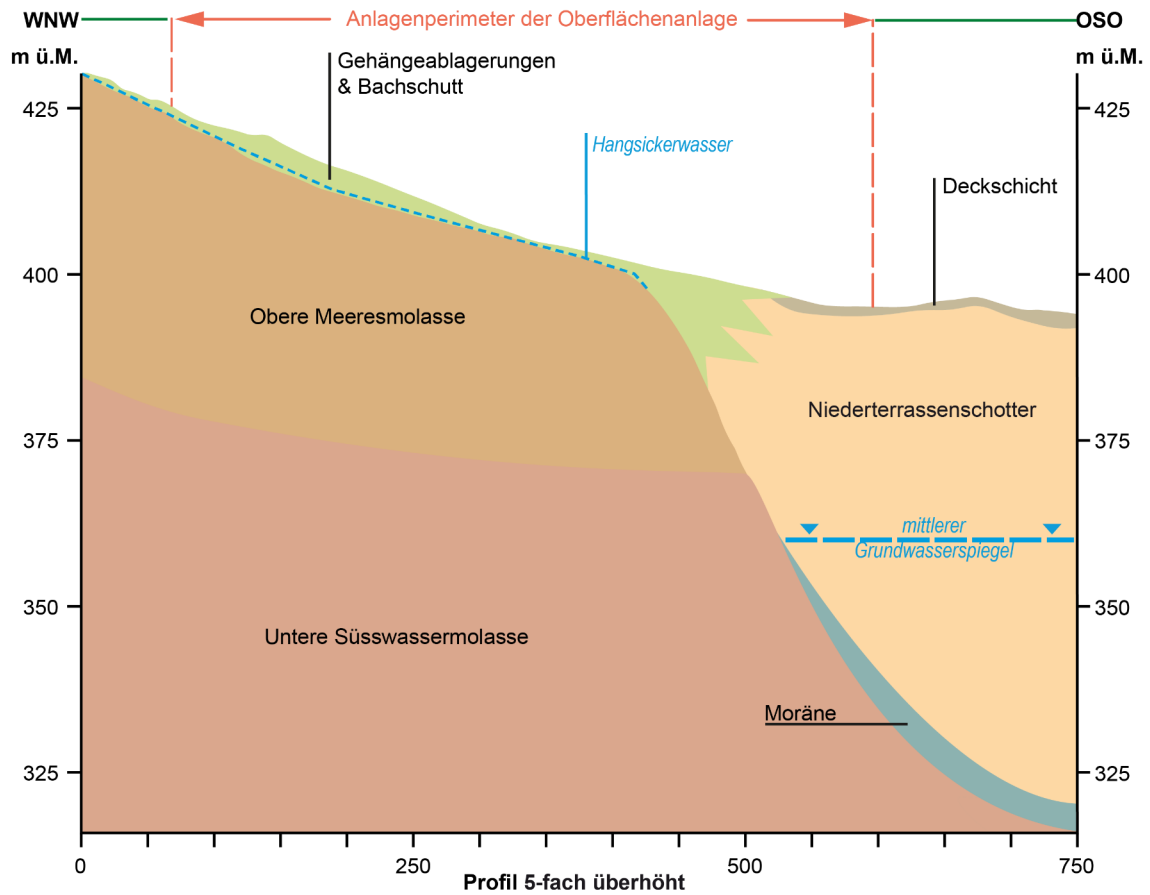


Fig. 2-6: Prognostiziertes geologisches Profil durch den Anlagenperimeter

Basierend auf Eisenlohr & Müller (2016) und dem geologischen Schichtmodell der Nagra mit Stand Februar 2022.

Im Hinblick auf die weitere Projektentwicklung und das Bewilligungsverfahren nach KEG sind weitere Untersuchungen der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse vorgesehen (Nagra 2025f).

3 Beschreibung der Gesamtanlage

Abgestimmt auf die wesentlichen Tätigkeiten (Fig. 1-2) werden zunächst die Funktionsbereiche der Gesamtanlage (Kap. 3.1) beschrieben. Anschliessend wird die zeitliche Entwicklung der Gesamtanlage (Kap. 3.2) basierend auf dem aktuellen Realisierungsplan (Fig. 2-1) im Zusammenspiel mit den Tätigkeiten dargestellt. Darauf aufbauend wird ein Überblick über die exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage gegeben. Dabei werden die OFA (Kap. 3.3) und ihre Erschliessung, die Bauwerke der UTA (Kap. 3.4) sowie die technische Ausrüstung und Anlagen (Kap. 3.5) beschrieben.

3.1 Funktionsbereiche

Die Gesamtanlage ist modular in Funktionsbereiche aufgeteilt (Fig. 3-1). Die Funktionsbereiche verteilen sich auf OFA und UTA. Ihre Unterteilung orientiert sich an der Umsetzung der fünf wesentlichen Tätigkeiten aus Fig. 1-2.

3.1.1 Funktionsbereiche der Untertaganlage

Für die UTA ist in Nagra (2022d) ein Konzept beschrieben, das die Funktionsbereiche als Module beschreibt. Fig. 3-1 zeigt die dort definierten Funktionsbereiche und ihre Beziehungen schematisch sowie Funktionsbereiche der OFA.

Die radioaktiven Abfälle werden zum grossen Teil in den «SMA-/ HAA-Hauptlagern» und zum kleinen Teil in den «SMA-/ HAA-Pilotlagern» eingelagert und darin verschlossen. Die «Pilotlager» dienen neben der Einlagerung auch der Beobachtung. In den «Testbereichen» werden Tests zur Eignungsbestätigung und Demonstrationen durchgeführt. Der «zentrale Bereich» verbindet die Funktionsbereiche untereinander und mit dem «Zugang».

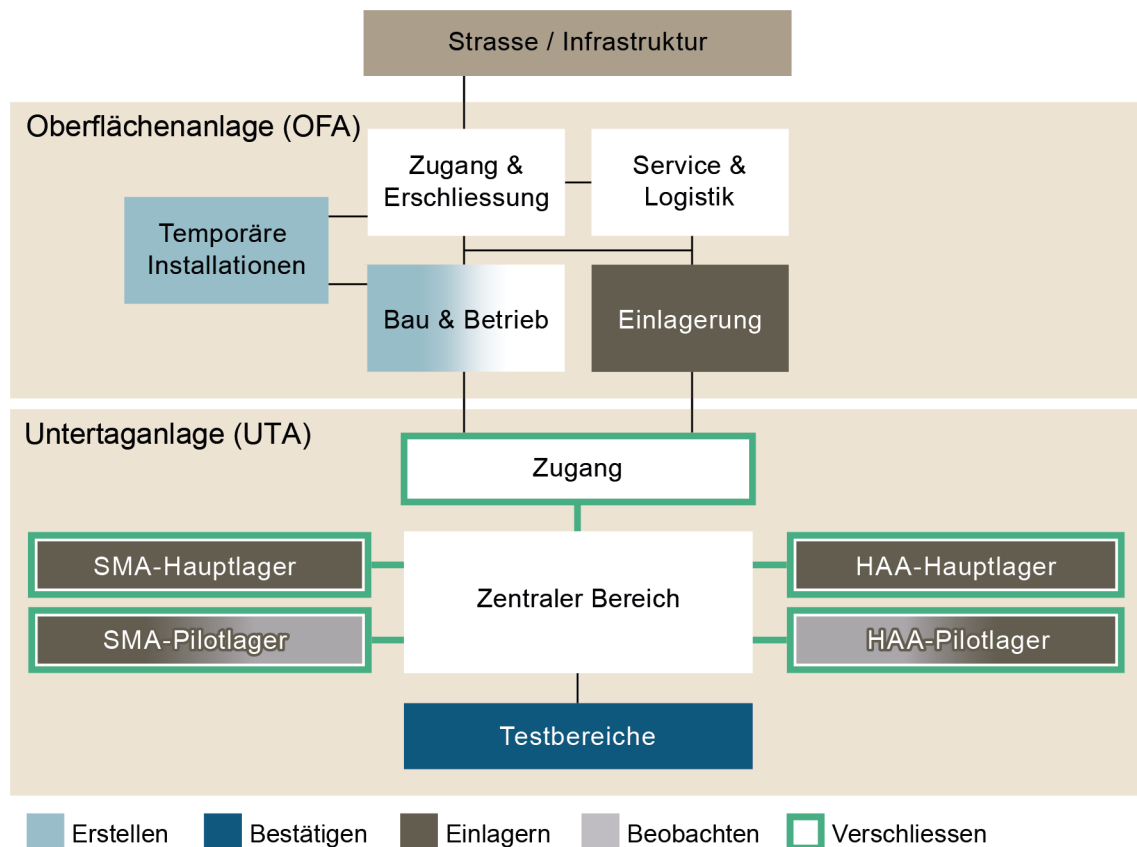


Fig. 3-1: Funktionsbereiche der Gesamtanlage mit Tätigkeiten

Die Farbe der Funktionsbereiche ordnet diesen Tätigkeiten zu. Weisse Funktionsbereiche dienen allen Tätigkeiten.

3.1.2 Funktionsbereiche der Oberflächenanlage

Die OFA unterstützt im Wesentlichen die UTA bei den Tätigkeiten. Die Definition und Abgrenzung der Funktionsbereiche der OFA folgt aus dem zeitlichen Bedarf (vgl. Fig. 3-2 und Fig. 2-1). Der Funktionsbereich «Einlagerung» unterstützt die Tätigkeit Einlagern und grenzt den Einlagerungsbetrieb räumlich ab. Der Funktionsbereich «Bau & Betrieb» stellt alle weiteren Funktionen für die UTA bereit. Für das Erstellen wird zeitweise der Funktionsbereich «Temporäre Installationen» benötigt. Die Funktionsbereiche «Bau & Betrieb» und «Einlagerung» haben beide «Zugang» zur UTA.

Der Funktionsbereich «Zugang & Erschliessung» ist der Zugang zur OFA aus der Umgebung⁷ und erschliesst alle Funktionsbereiche. «Service & Logistik» dient allen Tätigkeiten.

⁷ In Fig. 3-1 als «Strasse / Infrastruktur» beschriftet.

3.2 Zeitliche Entwicklung der Gesamtanlage

Der zeitliche Ablauf der Tätigkeiten, der sich vom Realisierungsplan ableitet, ist in Fig. 3-2 dargestellt. Das Ablaufdiagramm verdeutlicht, dass zeitweise Tätigkeiten gleichzeitig ablaufen. Die Tätigkeiten Erstellen und Verschiessen werden mit Unterbrechungen durchgeführt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Bauwerke erst erstellt werden, wenn sie für eine oder mehrere Tätigkeiten benötigt werden. Wenn alle Tätigkeiten abgeschlossen sind, werden sie wieder verschlossen (UTA) oder rückgebaut (OFA). Dieser Prozess wird in Fig. 3-3 veranschaulicht. Dort wird der Zustand der Gesamtanlage zu fünf Zeitpunkten, die in Fig. 3-2 markiert sind, gezeigt, zu denen sich die Gesamtanlage wesentlich verändert. Die Entwicklung der OFA ist detaillierter in Fig. G-2 gezeigt.

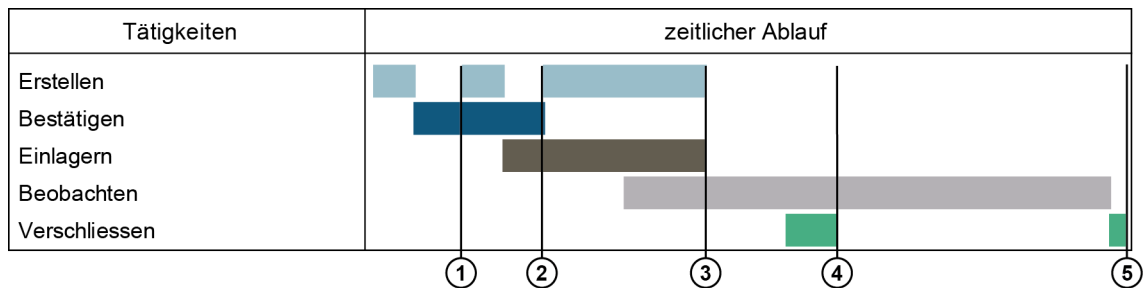


Fig. 3-2: Zeitlicher Ablauf der Tätigkeiten

Markiert und durchnummeriert sind die Zeitpunkte der in Fig. 3-3 dargestellten Zustände.

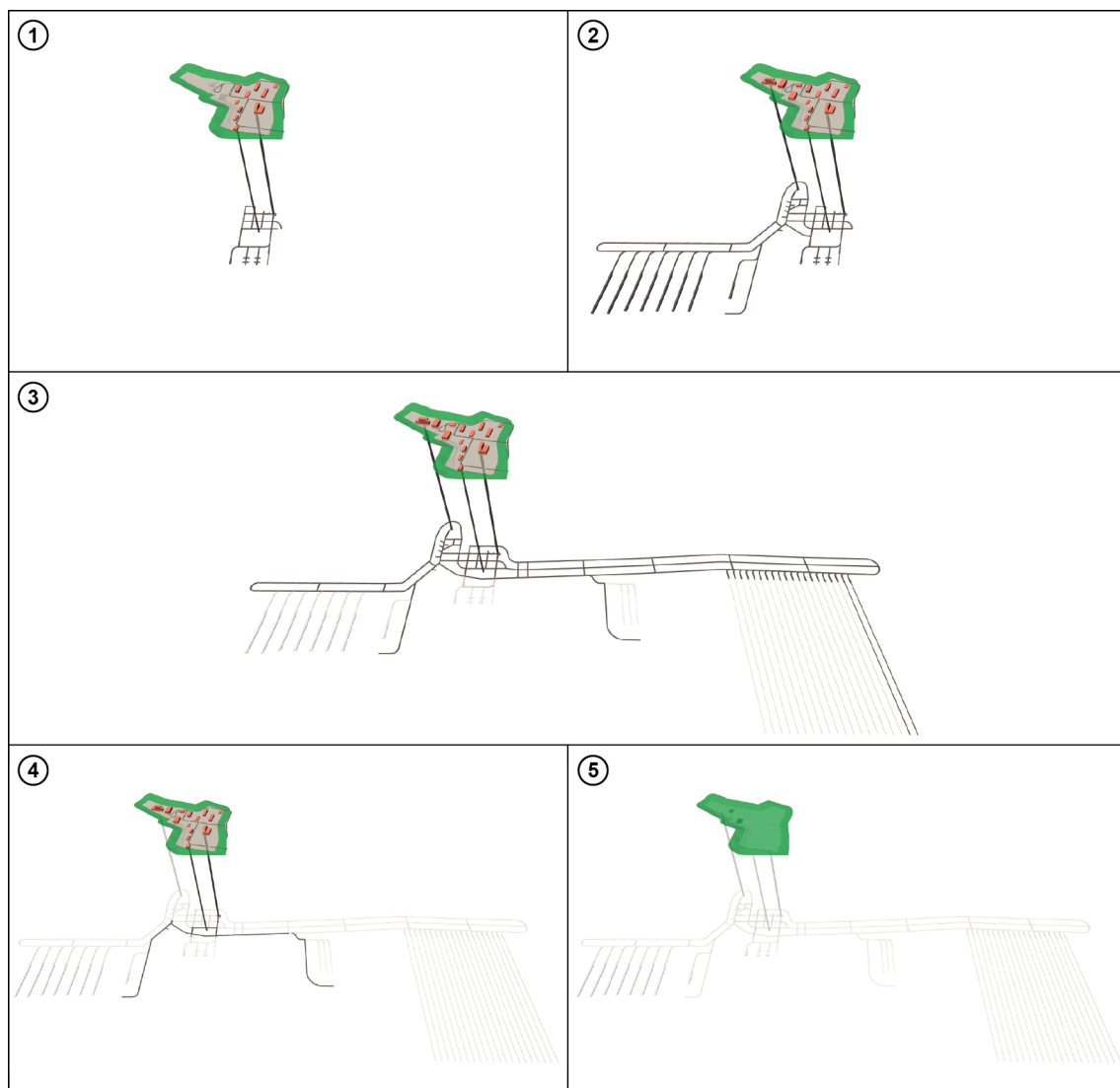


Fig. 3-3: Zustand der Gesamtanlage zu fünf ausgewählten Zeitpunkten

Die Zeitpunkte der dargestellten Zustände sind in Fig. 3-2 gezeigt.

In der UTA schwarz dargestellte Bauwerke sind in Betrieb, hellgraue Bauwerke sind verschlossen. Am Ende (5) ist die OFA rückgebaut.

3.3 Oberflächenanlage

Die OFA des gTL wird auf dem in Fig. 2-5 gezeigten Projektperimeter errichtet. Der Grundwasserschutz der OFA ist in Anhang F erläutert.

3.3.1 Bestandteile des Projektperimeters

Der Projektperimeter besteht aus dem Anlagenperimeter und dem Eingliederungssaum (Fig. 3-4). Die Bauwerke und Anlagen werden im Anlagenperimeter errichtet, während im Eingliederungssaum Massnahmen für Sicherheit, Sicherung und Landschaftseingliederung umgesetzt werden.

3.3.2 Erschliessung des Projektperimeters

Der Projektperimeter liegt in einer verkehrstechnisch gut erschlossenen Umgebung (Fig. 2-5, Anhang D.2). Heute verlaufen bereits Strom-, Frischwasser-, Abwasser- und Kommunikationsleitungen entweder über den Perimeter oder entlang der Strasse. Es ist vorgesehen, diese Anschlüsse zu nutzen, gegebenenfalls sind dafür die Kapazitäten anzupassen oder zusätzliche Leitungen zu verlegen (Fig. 3-4).

3.3.3 Anlagenperimeter

Die Anbindung des Anlagenperimeters erfolgt über drei Zufahrten (Fig. 3-4). Sie erlauben eine Trennung des Verkehrs für einen sicheren und effizienten Betrieb und stellen Redundanz her.

Die fünf Funktionsflächen (Fig. 3-1) nehmen den ganzen Anlagenperimeter in Anspruch. Ihre Anordnung folgt betrieblicher Logik und berücksichtigt das von Ost nach West steigende Terrain. Der Funktionsbereich «Einlagerung» ist geschützt (Anhang D.1) im Westen angeordnet, östlich davon «Service & Logistik», während die dem Bau & Betrieb dienenden Funktionsbereiche eher im Süden liegen.

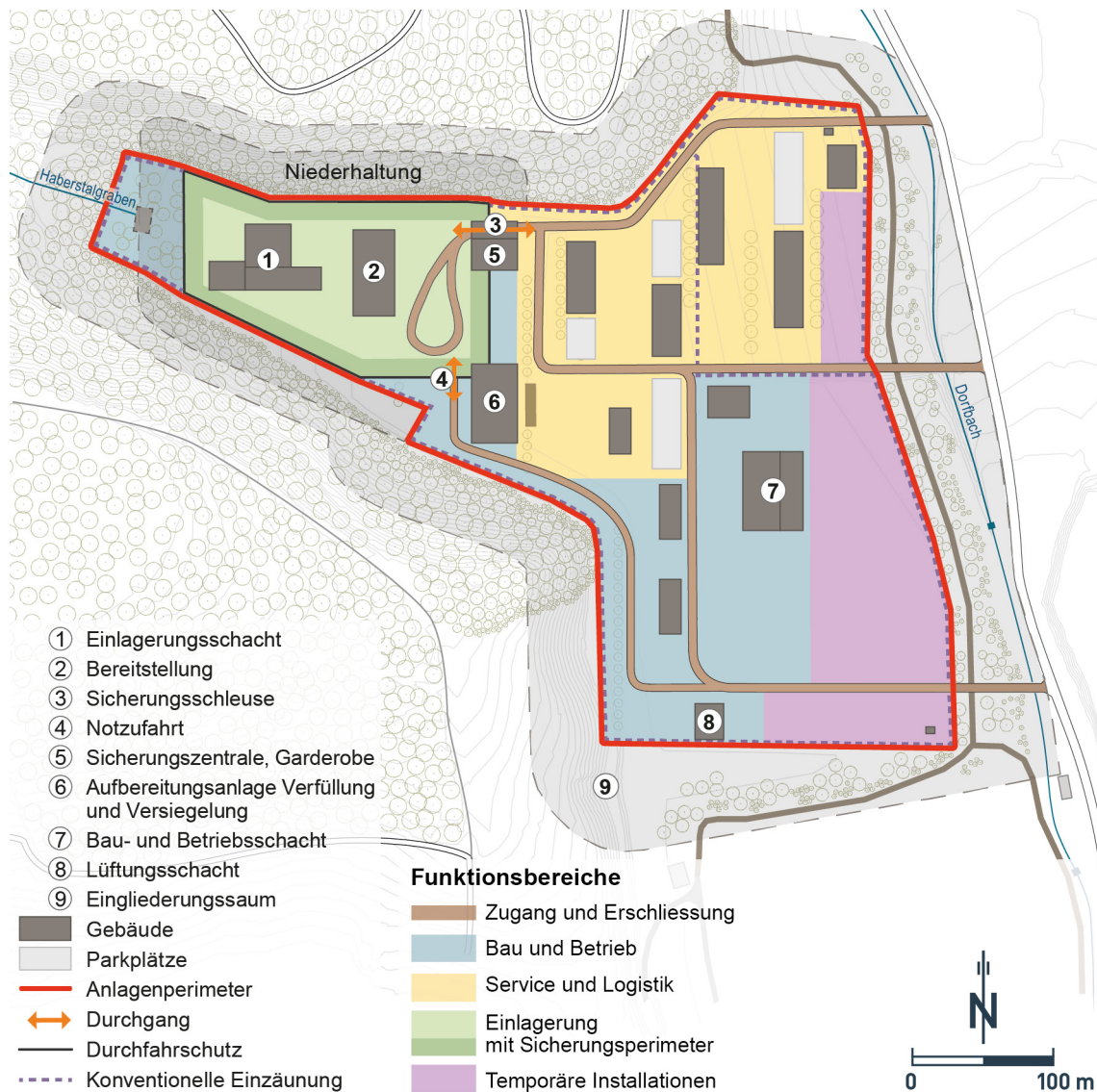


Fig. 3-4: Anlagenperimeter mit Bauten und Eingliederungssaum

Der 23.7 ha grosse Projektperimeter besteht aus Anlagenperimeter (13.1 ha) und Eingliederungssaum (10.6 ha). Ganz im Westen des Anlagenperimeters wird der Haberstalgraben (Bach) gefasst (Anhang D.1).

Funktionsbereich «Zugang & Erschliessung»

«Zugang & Erschliessung» besteht aus den internen Verkehrs- und Versorgungswegen und verbindet die OFA und Gesamtanlage mit der Umgebung. Der Funktionsbereich stellt Flucht- und Interventionswege bereit. Die Hauptzufahrt zur Gesamtanlage liegt ganz im Norden (Fig. 3-4).

Funktionsbereich «Einlagerung»

«Einlagerung» ist für das Einlagern als Sicherungsareal (Kap. 6.3.3) mit Sicherungsperimeter, einem Hauptzugang (Nr. 5 in Fig. 3-4) mit Fahrzeugschleuse (Nr. 3 in Fig. 3-4) im Nordosten und einer Notzufahrt (Nr. 4 in Fig. 3-4) im Südosten ausgebildet. Die Abfälle werden in der Bereitstellungshalle (Nr. 2 in Fig. 3-4) in Empfang genommen und für die Einlagerung bereitgestellt. Hauptbauwerk ist das Schachtkopfgebäude des Einlagerungsschachts (Nr. 1 in Fig. 3-4).

Funktionsbereich «Bau & Betrieb»

«Bau und Betrieb» dient Bau (Erstellen, Verschliessen) und Betrieb (Bestätigen, Beobachten). Hier befinden sich die Schachtkopfgebäude des Bau- und Betriebsschachts (Nr. 7 in Fig. 3-4) und des Lüftungsschachts (Nr. 8 in Fig. 3-4), die mit einem Sicherheitsabstand zueinander und zum Einlagerungsschacht aufgestellt sind. In beiden Schächten sind unterschiedliche Schachtförderanlagen und Ausrüstungen installiert (Kap. 3.5.2). Weiterhin sind eine Lüftungs- und eine Kältezentrale, eine Aufbereitungsanlage für Verfüllung und Versiegelung (Nr. 6 in Fig. 3-4) und eine (Ab-)Wasseraufbereitung angeordnet. Nahe des Bau- und Betriebsschachts sind Flächen für dauerhafte Installationen für «Bau und Betrieb» vorgesehen.

Funktionsbereich «Temporäre Installationen»

«Temporäre Installationen» besteht aus Installationsflächen, wie sie für eine Baustelle erforderlich sind. Auf den Flächen werden nach Bedarf Ausbruch-, Baumaterial- und Baufahrzeuglogistik umgesetzt und Baustoffe hergestellt. Weiterhin sind hier zum Beispiel Werkstätten, Baubüros oder Sanitär- und Verpflegungseinrichtungen oder Bauunterkünfte und Parkplätze zu finden. Die südliche Übergabestelle für Strom und Wasser ist hier geplant.

Funktionsbereich «Service und Logistik»

«Service und Logistik» ist zweigeteilt: ein tagsüber frei zugänglicher Teil für Besucher und Empfang / Büros und ein gesicherter Teil. Auf letzterem befinden sich Lager, Werkstätten und die Gruben- / Feuerwehr. Die nördliche Übergabestelle für Strom und Wasser ist hier geplant.

3.3.4 Eingliederungssaum

Der Eingliederungssaum dient der Sicherheit, Sicherung und landschaftlichen Eingliederung der OFA. Er mindert so den Einfluss der OFA auf Mensch und Umwelt und bietet Platz zur Umsetzung von dazu geeigneten Massnahmen⁸.

Im westlichen Teil des Eingliederungssaums rund um den Funktionsbereich «Einlagerung» ist aus Sicherheits- und Sicherungsgründen ein Niederhaltungsstreifen (Fig. 3-4) einzurichten. Dieser muss die geforderte Funktion für Sicherheit und Sicherung erfüllen und kann sonst frei gestaltet werden.

In anderen Teilen des Eingliederungssaums denkbare landschaftliche Eingliederungsmassnahmen sind beispielsweise naturnaher Sicht- und Lärmschutz oder Renaturierung mit natürlichem Hochwasserschutz. Hierbei sind im Osten der Dorfbach, im Norden ein Wildtierkorridor und im Süden das Schützenhaus zu berücksichtigen.

Fig. 3-5 visualisiert die OFA mit Eingliederungssaum und Anlagenperimeter. Fig. G-2 in Anhang G.2 illustriert die Entwicklung der OFA gemäss Fig. 3-2.

⁸ Während des Baus kann er bei Bedarf als zusätzliche temporäre Bauinstallationsfläche genutzt werden.



Fig. 3-5: Visualisierung der Oberflächenanlage, Blick über die Kiesstrasse nach Westen
Die Visualisierung zeigt die OFA zum Zeitpunkt ihrer grössten Ausdehnung.

3.4 Untertaganlage

Die UTA besteht aus Kombinationen von Standardbauwerken des Untertagbaus, d. h. Schächten, Tunneln (gerade und gekrümmt), Kreuzungen, Stollen und Kavernen. Diese Bauwerke stellen den Raum zur Verfügung, der für den Betrieb benötigt wird. Sie erfüllen ausserdem die Anforderungen des Sicherheitskonzepts und der Langzeitsicherheit.

Im Folgenden werden die Bauwerke in den Funktionsbereichen vorgestellt. Fig. 3-6 zeigt die exemplarische Umsetzung der UTA schematisch im Grundriss mit den einzelnen Funktionsbereichen.

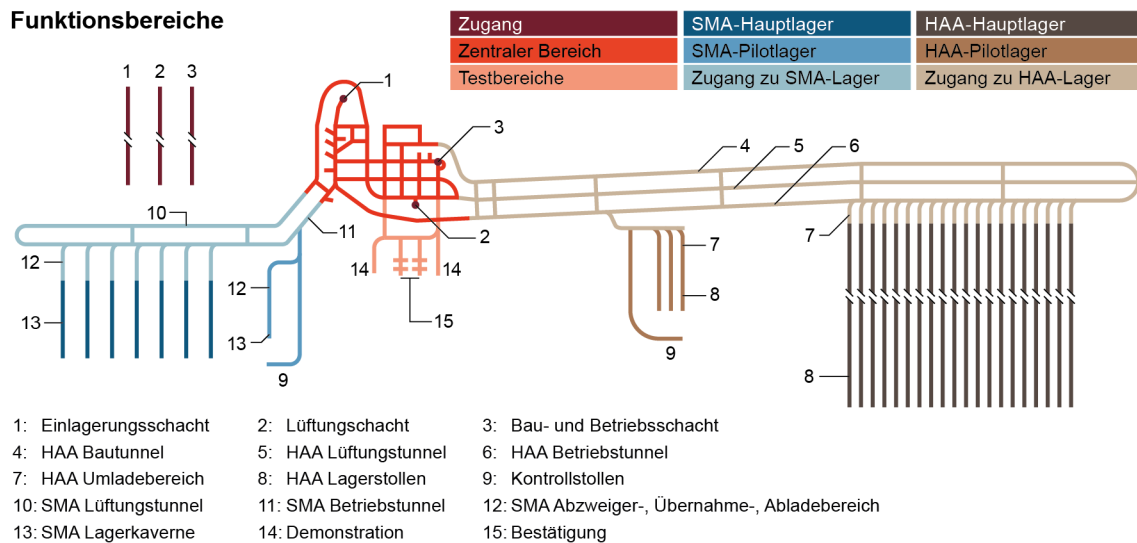


Fig. 3-6: Schematischer Grundriss der exemplarischen Umsetzung der UTA mit Funktionsbereichen

3.4.1 Schachtbauwerke

Alle drei Schächte (Nr. 1 – 3 in Fig. 3-6) führen von der OFA auf die Lagerebene. In ihnen befinden sich Schachtförderanlagen, Leitungssysteme für die Lüftung/Kühlung und Ver- und Entsorgungsleitungen (Kap. 3.5). Abgestimmt auf die geologischen Verhältnisse werden die Schächte mit einer druckwasserhaltenden Abdichtung ausgeführt (Nagra 2022a).

3.4.2 Zentraler Bereich

Der zentrale Bereich bietet die erforderliche Infrastruktur für die Erschliessung und Versorgung der UTA. Er verbindet die Funktionsbereiche untereinander und mit der OFA. Neben dieser verbindenden und versorgenden Funktion stellt der zentrale Bereich Platz für die Materialbewirtschaftung (Kap. 5.2) und Logistik bereit. Hier finden sich unter anderem Betriebs- und Einstellräume, Werkstätten, Lagerflächen, Zwischenlager, Wendenischen und Abstellflächen sowie Interventions- und Rettungsinfrastruktur (Kap. 6.2).

3.4.3 HAA-Hauptlager und HAA-Pilotlager

HAA-Hauptlager und HAA-Pilotlager dienen dem Einlagern der HAA. Das HAA-Hauptlager besteht aus Lagerstollen (Nr. 8 in Fig. 3-6) für die Einlagerung. Diese sind als Blindstollen mit einem Gefälle der Neigung des Opalinustons folgend und parallel zueinander angeordnet. Die Lagerstollen bieten genügend Platz, um die ELB gemäss dem Einlagerungskonzept (Kap. 4.2.2) einzulagern und die Lagerstollen zu verfüllen. Im Zugang der einzelnen Lagerstollen sind jeweils ebene Umladebereiche (Nr. 7 in Fig. 3-6) angeordnet, um die technische Ausrüstung für das Umladen aufzunehmen.

Das Pilotlager HAA dient der Einlagerung einer repräsentativen Abfallmenge und vor allem der Beobachtung. Es ist gleich wie das HAA-Hauptlager aufgebaut, nur wesentlich kleiner mit drei kürzeren Lagerstollen.

3.4.4 SMA-Hauptlager und SMA-Pilotlager

SMA-Hauptlager und SMA-Pilotlager dienen dem Einlagern der SMA. Das SMA-Hauptlager besteht aus ebenen Lagerkavernen (Nr. 13 in Fig. 3-6), die parallel zueinander angeordnet sind. Das Normalprofil der Lagerkaverne ermöglicht die Einlagerung der ELB und die Lagerkavernenverfüllung gemäss dem Einlagerungskonzept (Kap. 4.2.2). Im Zugang zu den Lagerkavernen sind jeweils ebene Übernahme- und Abladebereiche (Nr. 12 in Fig. 3-6), angeordnet, die genügend Platz für die dafür notwendige Ausrüstung bieten.

Das Pilotlager SMA dient der Einlagerung einer repräsentativen Abfallmenge und vor allem der Beobachtung. Es ist gleich wie das SMA-Hauptlager aufgebaut, nur wesentlich kleiner mit einer kürzeren Lagerkaverne.

3.4.5 Testbereiche

Die Testbereiche bestehen aus Bauwerken zur Durchführung von Tests zur Demonstration (Nr. 14 in Fig. 3-6) und zur Bestätigung (Nr. 15 in Fig. 3-6). Kap. 4.1 beschreibt das Vorgehen dazu.

3.4.6 Verschlussbauwerke

Die Verschlussbauwerke bestehen einerseits aus Versiegelungsbauwerken in den Umladebereichen der Lagerkavernen, im vorderen Bereich der Lagerstollen, in den Zugangstunneln zu den Lagerfeldern und in den Schachtbauwerken und andererseits den Verfüllungen aller untertägigen Hohlräume. Sie dienen der Langzeitsicherheit. Alle Angaben finden sich in Nagra (2021c).

Die Verschlussbauwerke setzen das räumlich gestaffelte Sicherheitskonzept (Kap. 2.4) um, indem von innen – den Abfällen – nach aussen – den Schächten als Bindeglied nach aussen – räumlich getrennt Siegelebenen angeordnet werden. In Fig. 3-7 sind die einzelnen Elemente der Siegelebenen des Verschlusses des Gesamtlagers dargestellt.

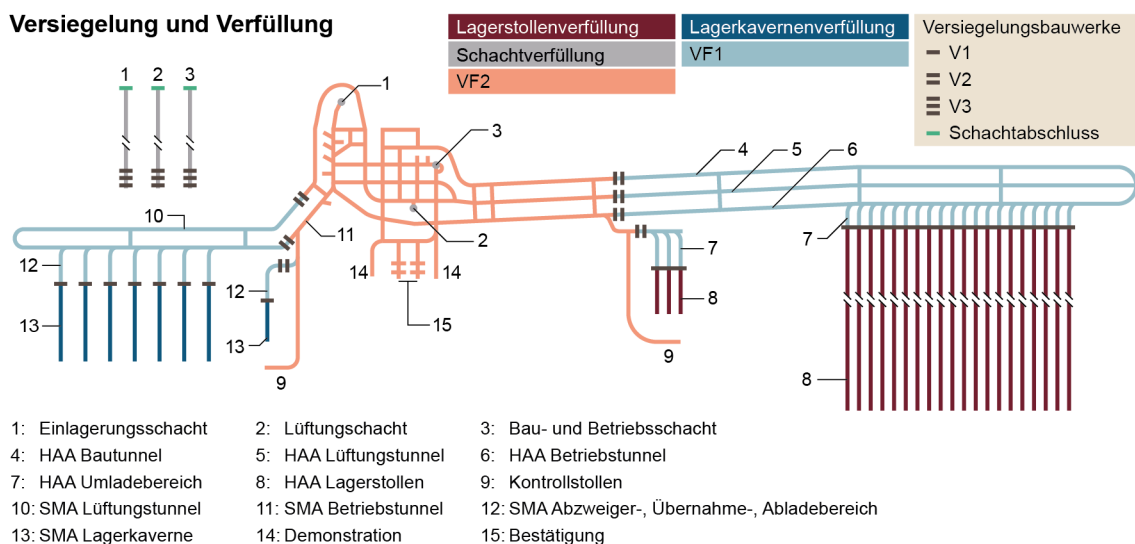


Fig. 3-7: Elemente des Verschlusskonzepts der exemplarischen Umsetzung der UTA

Die Versiegelungsbauwerke sind als schwarze Striche eingezeichnet; die Anzahl der Striche gibt die Siegelebene an.

3.5 Anlagen und Ausrüstung

Anlagen und Ausrüstung der Gesamtanlage stellen ihre Funktionen und die Erfüllung aller Anforderungen sicher und tragen massgeblich zur Sicherheit bei. Hier wird auf die Anlage und Ausrüstung für Lüftung / Kühlung (Kap. 3.5.1), Transport / Förderung (Kap. 3.5.2) und Ver- und Entsorgung (Kap. 3.5.3) eingegangen.

Weitere notwendige Anlagen und Ausrüstung wie Beleuchtung oder Kommunikationsanlagen sind nach Stand der Technik umsetzbar und nicht näher erläutert. Anlagen und Ausrüstung beispielsweise zu Brandschutz, Brandbekämpfung oder Rettung und Ersthilfe werden erst in späteren Genehmigungsstufen detailliert.

Anlagen und Ausrüstung sind praktisch überall in der Gesamtanlage zu finden. Der grösste Platzbedarf für die Grosskomponenten der Anlagen ist jedoch in der OFA und in der UTA im zentralen Bereich zu berücksichtigen. Wenn Betrieb und Bau gleichzeitig stattfinden, besteht der grösste Platzbedarf, der neben den Hauptlagern HAA und SMA für die Auslegung der Gesamtanlage entscheidend ist (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2).

3.5.1 Lüftungs- und Kühlungskonzept

Die Nagra hat in Nagra (2022c) das Lüftungs- und Kühlungskonzept mit Zielen, Anforderungen und konzeptioneller Umsetzung beschrieben. Hier werden für diesen Bericht nützliche Teile zusammengefasst.

Ziel

Nach heutigem Stand besteht in der OFA aus Gründen der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes (Kap. 6.2) nur in einzelnen Bereichen die Notwendigkeit zu Lüftung und Kühlung bzw. Heizung. Diese wird mit herkömmlicher Heizung, Lüftung, Klima (HLK)-Technik realisiert.

Zur Gewährleistung der konventionellen Sicherheit (Kap. 6.2) sind Lüftung und Kühlung der UTA notwendig.

Anforderungen

Lüftung und Kühlung haben folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Gewährleistung einer permanenten, zuverlässigen und bedarfsgerechten Versorgung der UTA mit Frischluft, gemäss den wechselnden Anforderungen von Bau und Betrieb
- Herstellung der geforderten klimatischen Arbeitsbedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) und Beitrag zur Luftreinhaltung an Arbeitsorten (Kap. 6.2)
- Entrauchung, Beitrag zu Personensicherheit, Brand- und Explosionsschutz und Notfallschutz durch Frischluftversorgung von FREI⁹-Wegen bzw. Nutzung der Frischluftwege als FREI-Wege (Kap. 6.2.2 – 6.2.4)
- Verhindern der Ansammlung explosionsgefährdender oder toxischer Konzentrationen von Gasen und Schadstoffen; im Wesentlichen durch Abgas-/Abluftabfuhr und Entstaubung zu gewährleisten; Schadstoffe umfassen auch Rauch, Russ, Staub, Abgase oder Aerosole.
- Die Lüftung muss die Gleichzeitigkeit von Bau und Betrieb berücksichtigen (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2).

⁹ FREI = Flucht, Rettung, Evakuierung, Intervention, Kap. 6.2.2

Lüftung – Umsetzung UTA / Gesamtanlage

Der Beschrieb erfolgt anhand der Lüftung in der anspruchsvollsten Phase mit gleichzeitigem Bau und Betrieb (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2). Die Gesamtschau und Details zu angesprochenen Sonderlösungen finden sich in Nagra (2022c).

Die Lüftung wird mit einer Lüftungsanlage realisiert, die in der OFA Luft aus der Umwelt ansaugt und vorkühlt. Die vorgekühlte Luft wird durch den einziehenden Lüftungsschacht geleitet, durch die UTA geführt und durch zwei ausziehende Schächte, Einlagerungs- und Bau- & Betriebs-schacht zurück auf die OFA gebracht und an die Umwelt abgegeben. Die Lüftung erfolgt saugend, d. h., die Luft wird mit Hilfe zweier Lüftungsanlagen am Kopf der ausziehenden Schächte durch die UTA gesogen (Fig. 3-8). Für den Ereignisfall ist das Zuschalten eines Überdruckventilators am Kopf des einziehenden Lüftungsschachts zur Sicherstellung eines Überdrucks in den FREI-Wege (vgl. Kap. 6.2.2) vorgesehen.

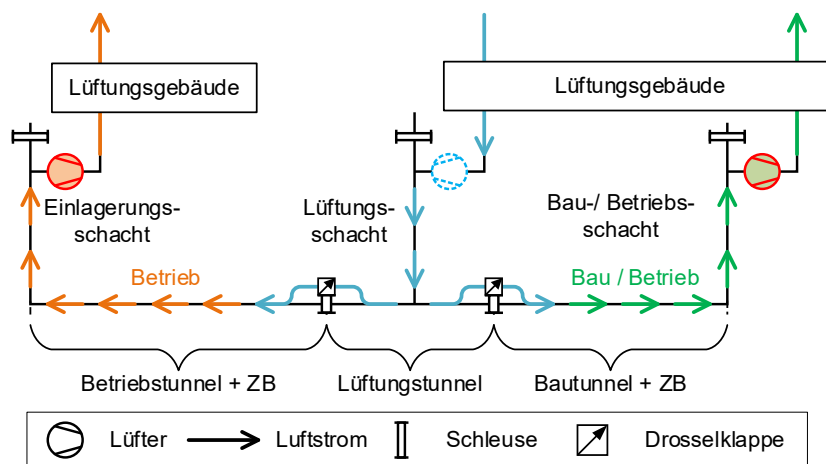


Fig. 3-8: Lüftungskonzept der UTA

Lüftungskonzept im Unterdruck (saugend) mit zuschaltbarer Überdrucklüftung für die FREI-Wege (Kap. 6.2.2). Dargestellt ist die Lüftung während gleichzeitigem Bau und Betrieb (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2).

Die Aufbereitung der Zuluft in der OFA umfasst die Einstellung gewünschter klimatischer Bedingungen (Kap. 6.2). Die Luftführung im Lüftungsschacht erfolgt über den freien Querschnitt. Am Fusspunkt des Schachts (Nr. 2 in Fig. 3-9) wird die Luft getrennt und in den Bau- und Betriebsbereich und den Einlagerungsbereich verteilt (Fig. 3-9). Hintergrund dieser getrennten Luftführung ist die Luftqualität (Baustaub) und Wärmebelastung aufgrund der Bautätigkeiten in einem Bereich und die Einlagerung im anderen Bereich (im HAA-Hauptlager, Fig. 3-9). Die Abluft aus dem Bau- und Betriebsbereich wird über den Bau- und Betriebsschacht abgesaugt. In der OFA erfolgt die Wärmerückgewinnung und die Abluft wird abgeblasen. Die Abluft aus dem Einlagerungsbereich wird über den Einlagerungsschacht abgesaugt und abgeblasen.

Die Frischluftführung in der UTA erfolgt generell im vollen Querschnitt. Ausnahmen von dieser Regel bilden gefangene Vortriebe (Kap. 5.1) wie auch die Lagerstollen und -kavernen. In diesen Blindbauwerken kommen Sonderlösungen zum Einsatz.

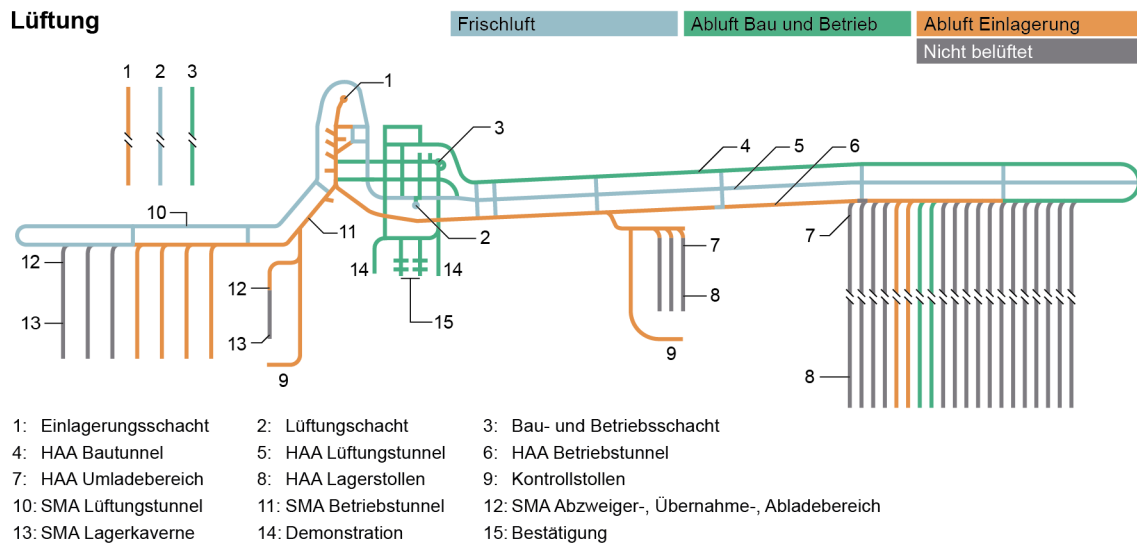


Fig. 3-9: Lüftungsschema in der UTA

Gezeigt ist der Zeitpunkt, zu dem gleichzeitig gebaut und betrieben wird (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2).

Kühlung – Umsetzung UTA / Gesamtanlage

Die Ursprungstemperatur des Opalinustons beträgt rund 40 °C (Anhang A) und liegt damit deutlich höher als die für Arbeiten zulässigen Klimagrenzwerte. Neben dem Gebirge kommen technische Wärmequellen wie (Bau)Maschinen oder Anlagen sowie während der Einlagerung der HAA die Abwärme der einzulagernden Abfälle hinzu. Die UTA muss daher aktiv gekühlt werden.

Das Kühlungskonzept ist in das Lüftungskonzept integriert (Fig. 3-8), indem die Kältezufuhr bzw. Wärmeabfuhr mit Hilfe der zirkulierenden Luft erfolgt. Dazu wird die einziehende Luft in der OFA gekühlt. In der OFA wird dafür eine Kältezentrale errichtet, die mit Wärmetauschern die einziehende Luft kühlt und aus der ausziehenden Luft Wärme (Energie) gewinnt. Hierbei ist sichergestellt, dass auch die Luftfeuchtigkeit entsprechend eingestellt wird.

Weiterhin ist die direkte Kälteversorgung der UTA vorgesehen (Fig. 3-10). In einem Primärkreis wird im Bau- und Betriebsschacht kaltes Wasser an den Schachtfuss geführt (Fig. 3-11). Auf Lagerebene versorgt ein Sekundärkreis Anlagen und Orte in der UTA, an denen Sonderkühlung notwendig ist, mit Kälte. In Nagra (2022c) finden sich Erläuterungen zu Sonderkühlungen.

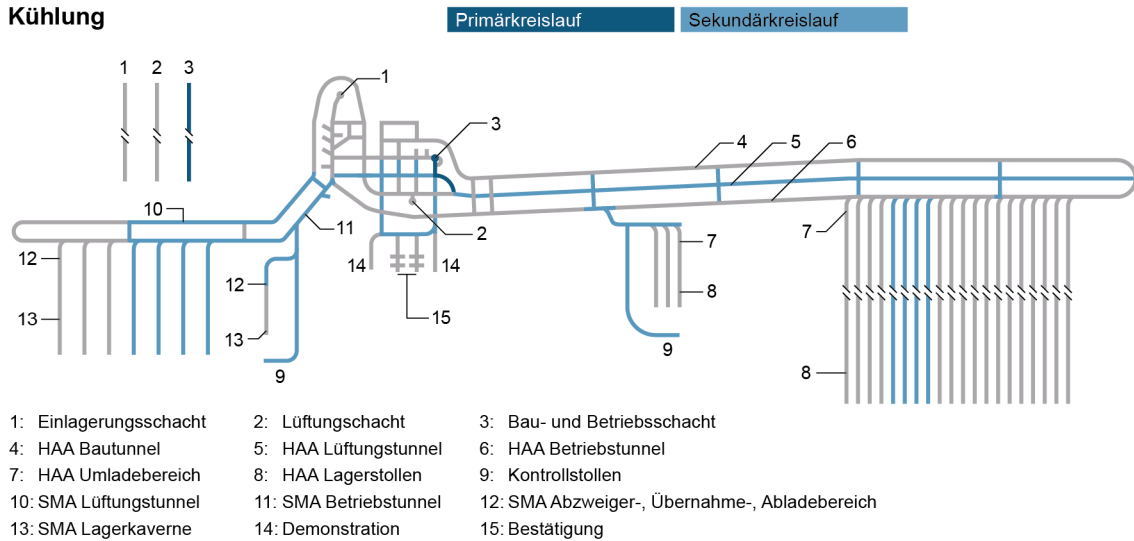
Kühlung

Fig. 3-10: Kälteversorgung der UTA

Gezeigt ist der Zeitpunkt, zu dem gleichzeitig gebaut und betrieben wird (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2).

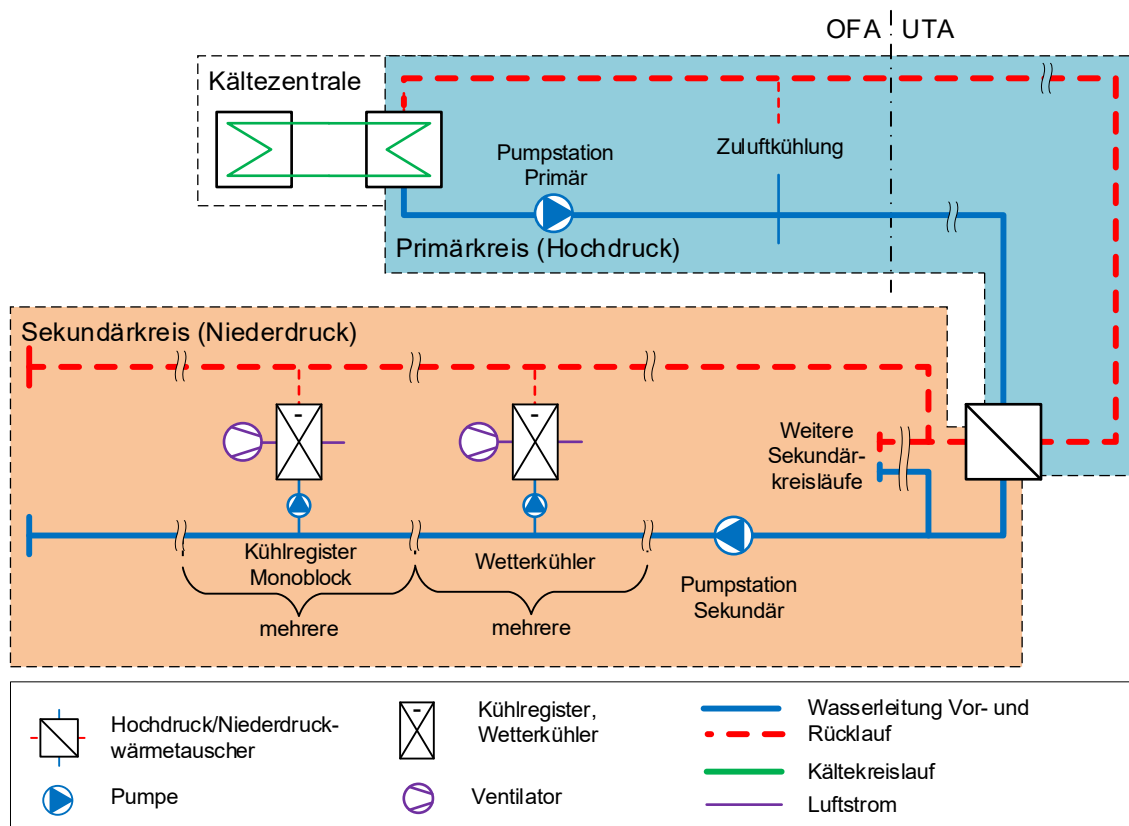


Fig. 3-11: Funktionsschema Kälteanlage

Das Kühlmittel ist gereinigtes aufbereitetes Wasser.

3.5.2 Transport – Logistik

Logistik umfasst in der Gesamtanlage die Personenlogistik, auch Personenbeförderung genannt, und Transport, Umschlag, Verarbeitung und Lagerhaltung von Material und Abfällen. Die Logistik übernimmt auch Aufgaben der Ver-/Entsorgung, sobald beispielsweise Betriebsabfälle oder Wasser in Tanks transportiert werden.

Ziel

Das Logistikkonzept hat das Ziel, den Transport von Personen, Material und Abfall mit für den wirtschaftlichen sicheren dauerhaften Betrieb notwendiger Kapazität zu gewährleisten. Hierzu gehören bei Material und Abfällen Umschlag, Verarbeitung und Bereitstellung zur Schaffung von Redundanz und Robustheit entlang der Transportketten.

Anforderungen

- Die Personen- und Materialförderung von und nach untertag soll aus Sicherheitsgründen und aus Gründen der Flexibilität in separaten Förderanlagen erfolgen. Die Personenbeförderung hat hierbei die Anforderungen an FREI-Wege umzusetzen (Kap. 6.2.2).
- Die Logistik muss die Gleichzeitigkeit von Bau und Betrieb und daraus resultierende Anforderungen berücksichtigen (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2).
- Die Logistik hat die für den geplanten Ablauf notwendigen Förder- und Abfertigungskapazitäten zu gewährleisten, sie soll nicht ablaufbestimmend sein. Dies umfasst die Logistik innerhalb der Gesamtanlage wie auch die Logistik an den Schnittstellen der Gesamtanlage zur Umgebung.
- Die Logistik der radioaktiven Abfälle soll mit möglichst niedrigen Absturzhöhen umgesetzt werden. Es soll immer nur ein ELB gleichzeitig im Schacht gefördert werden; Personen sollen nicht gleichzeitig mit radioaktiven Abfällen gefördert werden.
- Die Logistik muss so ausgelegt werden, dass sie Anforderungen des Transportguts an den Transport erfüllen kann, beispielsweise der Abfälle, von Baustoffen oder Ausbruch.
- Baustoff- und Ausbruchlogistik in der OFA müssen insbesondere die Anforderungen des Umweltschutzes berücksichtigen.

Umsetzung Gesamtanlage

Die Logistik der Gesamtanlage basiert auf der radgebundenen Förderung von Personen, Material und Abfällen. Transportfahrzeuge wie Transportgut haben aufeinander abgestimmte Standardmasse bzw. Transportgut wird für den Transport entsprechend vorbereitet, z. B. auf einer Standard-Palette fixiert. Die Standardisierung setzt sich beim Umschlag fort, indem Transportgut und Hebezeuge aufeinander abgestimmte Standardanschlagpunkte, z. B. Iso-Ecken (Fig. 2-4), und Standardanschlagmittel verwenden.

Schachtförderanlagen

Die Nagra hat zu Schachtförderanlagen und deren Sicherheit einen Bericht veröffentlicht (Nagra 2023c). Die Schachtförderanlagen als zentrale Erschliessung der UTA sind auf die Bedürfnisse von Bau und Betrieb abgestimmt. Unterschieden werden:

- Personenfahranlage (Personenförderkorb)
- Güterförderanlage (Grossförderkorb)
- Schüttgutförderanlage (Gefässförderkorb)
- Hilfsfahranlage (Personenförderkorb)

Alle vier Fahranlagentypen sind Standardprodukte aus dem Untertag-/Bergbau. Sie werden auf die Anforderungen des gTL ausgelegt (Nagra 2023c).

Aus den Anforderungen der Phase mit gleichzeitigem Bau und Betrieb (Nr. 2 – 3 in Fig. 3-2) und dem Strahlenschutz (Kap. 6.3) folgt die Konfiguration der einzusetzenden Fahranlagen. Im Einlagerungs- sowie Bau- und Betriebsschacht sind je eine Personenfahranlage und eine Güterförderanlage vorgesehen. Im Bau- und Betriebsschacht kommt zusätzlich eine Schüttgutförderanlage zum Einsatz. Für die Personenrettung (FREI) ist als Hilfsfahranlage eine mobile Schachtwinde (Nagra 2023c) vorgesehen, die in allen drei Schächten eingesetzt werden kann. Betrieb und Unterhalt der Schachtförderanlagen erfolgen sicherheitsorientiert, gegebenenfalls müssen für die Erhaltung (Kap. 4.2) betriebliche Einschränkungen eingeplant werden.

Transportfahrzeuge

Die Auswahl der Transportfahrzeuge erfolgt so, dass die Transportfahrzeuge mit den verfügbaren Schachtfördermitteln transportiert werden und das Transportgut transportieren können. Transportfahrzeuge haben eine möglichst geringe Brandlast bzw. automatische Löschsyste. Im Sinne des Strahlenschutzes sind autonom fahrende oder ferngesteuerte Fahrzeuge für den Abfalltransport vorteilhaft. Emissionsarme Fahrzeuge sind vorteilhaft für die Lüftung.

Für den Transport im gTL werden aus dem Bergbau und der Fördertechnik und Logistik bekannte Spezialfahrzeuge verwendet. Je nach Verwendungszweck werden Anpassungen nötig, die von Sonderfahrzeugbaufirmen durchgeführt werden.

Es werden folgende Fahrzeugtypen eingesetzt:

- Personentransporter (Einzelpersonen, Personengruppen)
- Schüttguttransporter
- Stückguttransporter
- Sonderfahrzeuge, z. B. FREI, Erhaltung, Bau

Die Fahrzeuge werden in der OFA und der UTA eingesetzt. Der Fahrzeugunterhalt kann, falls vorteilhaft oder notwendig, auch untertag stattfinden.

3.5.3 Ver-/Entsorgungskonzept

Ziel

Die Ver- und Entsorgung der Gesamtanlage mit Wasser und Strom erfolgt vom öffentlichen Netz in einer Art und Weise, die den Anforderungen des geologischen Tiefenlagers gerecht wird. Dazu gehören – falls nötig – redundante Anschlüsse oder die Vorhaltung von Reserve-/Ausfallkapazitäten. Die Gesamtanlage wird an die öffentliche Kommunikationsinfrastruktur angeschlossen.

Anforderung

- Die Ver- und Entsorgung der Gesamtanlage sowie die interne Verteilung haben für Strom und Wasser bedarfsgerecht redundant zu erfolgen. Es ist eine angemessene Ersatzversorgung kritischer Systeme vorzusehen.
- Die Ver- und Entsorgung der UTA hat die Vorgaben der Langzeitsicherheit bezüglich Wassereintrag zu berücksichtigen. Die Wasserverteilung und Nutzung in der UTA ist sicher auszulegen und zu reduzieren. Wassergebrauch wird, soweit betrieblich möglich, minimiert.
- Trink- und Löschwasserversorgung darf kombiniert werden.
- Abwässer sind je nach Art und Grad der Verschmutzung zu reinigen, bevor sie abgeführt werden. Dafür sind entsprechende Anlagen vorzuhalten oder Vorkehrungen zur externen Behandlung zu treffen.
- Alle Anlagen samt Ausrüstung werden ausreichend abgeschirmt und unempfindlich gegen elektromagnetische Einflüsse ausgelegt.
- Die Bauwerke, Anlagen und Ausrüstung der Gesamtanlage sind zu erden.
- Die Gesamtanlage muss jederzeit über einen entsprechend ausgelegten Anschluss sicher mit der Aussenwelt kommunizieren und bedarfsgerecht Daten austauschen können.

Umsetzung Gesamtanlage

Die Anschlüsse der Gesamtanlage an die öffentliche Strom- und Wasserversorgung erfolgen redundant¹⁰ räumlich getrennt im Norden und Süden des Anlagenperimeters (Nr. 14 in Fig. 3-4).

Strom

Die Gebäude in der OFA werden entsprechend ihrer Relevanz für die Sicherheit an eine Ringleitung der Stromversorgung angeschlossen. Sicherheitsrelevant sind insbesondere:

- die Schachtkopfgebäude und darin enthaltene Förderanlagen
- die Lüftungs-/Kühlungsanlagen mit zugehörigen Gebäuden
- die Gebäude und Anlagen der Interventionskräfte
- die Sicherungsanlagen des Sicherungsperimeters und Safeguardseinrichtungen

Die Ringleitung wird bedarfsgerecht mit entsprechenden Netzersatzanlagen gepuffert.

¹⁰ Sollte dies für die Wasserversorgung zu aufwändig sein, sind entsprechende Ausfallkapazitäten auf der OFA vorzuhalten.

Die UTA wird über den Bau- und Betriebsschacht und den Lüftungsschacht redundant mit Energie versorgt. In der UTA sind insbesondere sicherheitsrelevant:

- die Lüftungs-/Kühlungsanlagen
- die FREI-Einrichtungen
- die Sicherungsanlagen

Die Versorgung erfolgt analog der OFA, Netzersatzanlage inklusive.

Alle Bauwerke, Anlagen und die Ausrüstung in der Gesamtanlage sind so weit zutreffend geerdet.

Wasser

Die Gebäude der OFA werden bedarfsgerecht mit Wasser versorgt. Löschwasser ist gegebenenfalls in einem Löschwasserbecken zu puffern. Alle Gebäude und Oberflächen der OFA werden an eine Trennkanalisation angeschlossen. Schmutzwasser wird der nächsten Abwasserreinigungsanlage zugeführt, Meteorwasser versickert. Gebäude, in denen wassergefährdende Stoffe in relevanten Mengen gelagert oder gehandhabt werden, werden grundwasserschutzgerecht (Anhang F) ausgelegt.

Sonder- und Brauchwassernutzungen, wie beispielsweise die Betonherstellungen, werden fachgerecht durchgeführt. Anfallende Abwässer werden gesammelt, aufbereitet / gereinigt und anschliessend versickert oder abgeführt.

Die UTA wird über den Bau- und Betriebsschacht und den Lüftungsschacht redundant mit Wasser versorgt. Der Wassereinsatz in der UTA dient im Wesentlichen der Baustoffherstellung und gegebenenfalls dem Löschen. Der Wassergebrauch in der UTA ist dabei soweit betrieblich möglich zu minimieren. Abwasser wird in der UTA gesammelt und in der OFA entsorgt. Die Integration der Wasserversorgung mit der Kühlwasserversorgung (Kap. 3.5.1) ist möglich.

Kommunikation

Die Gesamtanlage und hier insbesondere die Leitzentrale werden an die dannzumal bestehende öffentliche Kommunikationsinfrastruktur angeschlossen. Auf der Gesamtanlage werden ereignissichere kabelgebundene und kabellose Kommunikationsinfrastrukturen aufgebaut.

4 Betrieb: Bestätigen, Einlagern, Beobachten

Die Gesamtanlage ist eine Kernanlage nach KEG. Für den Betrieb der Gesamtanlage ist es jedoch zweckmässig, konventionellen und nuklearen Betrieb zu unterscheiden. Der in diesem Bericht verwendete Begriff nuklearer Betrieb beinhaltet die Handhabung von radioaktiven Abfällen. Mit dem Betrieb gehen unterschiedliche Sicherheitsanforderungen einher (Kap. 6), indem nur im nuklearen Betrieb zusätzlich auch die nukleare (Betriebs-)Sicherheit (Kap. 6.3) zu gewährleisten ist. Der nukleare Betrieb umfasst die Tätigkeit Einlagern (Kap. 4.2), der konventionelle Betrieb die Tätigkeiten Bestätigen (Kap. 4.1) und Beobachten (Kap. 4.3). Für die Gewährleistung der Zuverlässigkeit der Gesamtanlage ist die Anlage zu erhalten (Kap. 4.4).

Im Folgenden werden die Umsetzungskonzepte der Tätigkeiten kurz dargestellt. Das übergeordnete Ziel der Tätigkeiten ist es, die Gesamtanlage sicher, qualitäts-, termin- und kostentreu zu betreiben.

4.1 Bestätigen

Das Bestätigen umfasst einerseits die Bestätigung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins, andererseits die Demonstration der Funktionstüchtigkeit sicherheitsrelevanter Techniken (Art. 65 KEV).

In der UTA werden dafür die Testbereiche genutzt. Die OFA zusammen mit dem zentralen Bereich der UTA stellen die Infrastruktur für den Betrieb der Testbereiche untertag zur Verfügung.

Für die Bestätigung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften sind dafür geeignete Einrichtungen in den Testbereichen (Nr. 15 in Fig. 3-6) zu installieren. Für den Betrieb dieser Einrichtungen werden vereinzelt Personen vor Ort sein.

Für die Demonstrationen werden in Testbereichen die Einlagerungssituationen SMA und HAA nachgebildet (Nr. 14 in Fig. 3-6). Zu demonstrieren sind (Art. 65 KEV) das Einbringen von Verfüllmaterial (Kap. 5.2), das Entfernen des Verfüllmaterials (Nagra 2022e), die Techniken zur Rückholung (Nagra 2022e) und zur Versiegelung (Kap. 5.3). Dafür sind die Geräte und Materialien zur Demonstration vor Ort zu bringen, einzusetzen und von Personal zu bedienen.

Weiterhin ist für die vorgesehenen Lagerbereiche die Erfüllung der Eignungskriterien nachzuweisen (Art. 14 Abs. 1 Bst. f Ziff. 1 KEG). Dies wird an geeigneten Orten in der UTA durch Personal vor Ort durchgeführt.

4.2 Einlagern

Für die Einlagerung der SMA und HAA hat die Nagra ein Konzept (Nagra 2022b) erarbeitet. Die Einlagerung der Abfälle umfasst die Einlagerung selbst, die Nahfeldverfüllung der Abfälle und den Verschluss der Lagerkammern.

Die Einlagerung erfolgt über den Funktionsbereich «Einlagerung» der OFA in die Hauptlager der UTA. Der Einlagerungsbetrieb (Anhang E.2) wird gemäss dem referenzierten Konzept in folgende Schritte unterteilt:

- Anlieferung in die OFA
- Bereitstellung
- Schachtförderung
- Transport zur Lagerkammer
- Einlagerung in die Lagerkammer

Die Schritte werden aus Strahlenschutzgründen (Kap. 6.3) so weit wie möglich ferngesteuert oder automatisiert durchgeführt.

4.2.1 Anlieferung, Bereitstellung und Schachtförderung

Die Einlagerungsbehälter (ELB) mit den SMA und HAA, gegebenenfalls in Transportbehältern (TB), werden per Strassentransport auf das Sicherungsareal der OFA (Fig. 6-3) geliefert (Nagra 2024h). Die Transportfahrzeuge mit den ELB werden in Empfang genommen. Anschliessend werden sie in die Bereitstellungshalle gefahren und die ELB auf interne Transportfahrzeuge umgeladen. Nach der Umladung sind die Abfälle zur Einlagerung bereitgestellt (Fig. 4-1).

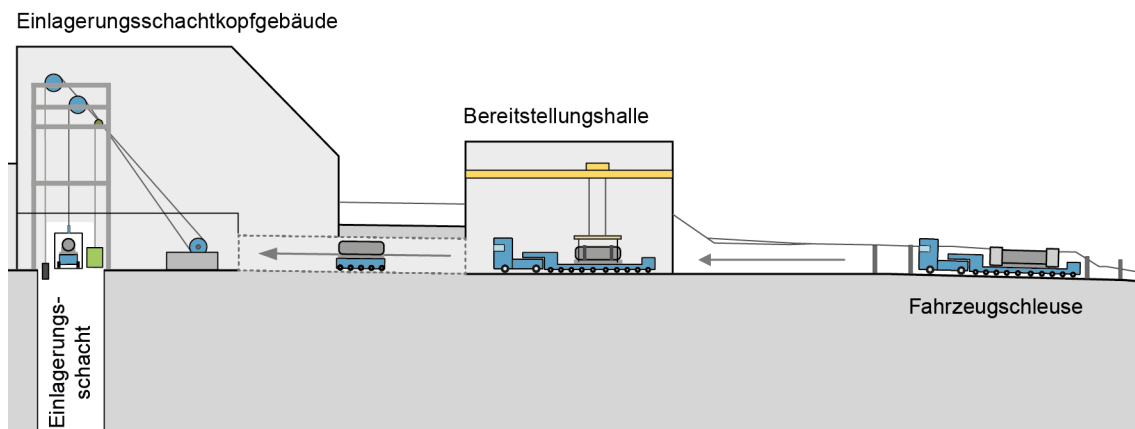


Fig. 4-1: Längsschnitt durch das Sicherungsareal (siehe Fig. 6-3) mit Einlagerungsschacht, zugehörigem Schachtkopfgebäude, Bereitstellungshalle und Schleuse auf das Sicherungsareal

Gezeigt ist ein HAA-ELB, der in einem Transportbehälter angeliefert wird.

Für die Einlagerung werden die Abfälle aus der Bereitstellungshalle zur Förderanlage im Einlagerungsschacht gefahren und in die UTA gefördert (Kap. 3.5.2). Die HAA-ELB verbleiben hierfür in Transportbehältern.

4.2.2 Transport und Einlagerung in Lagerkammern

In der UTA fahren die internen Transportfahrzeuge die ELB zu ihrem Lagerbereich (Fig. 4-2).

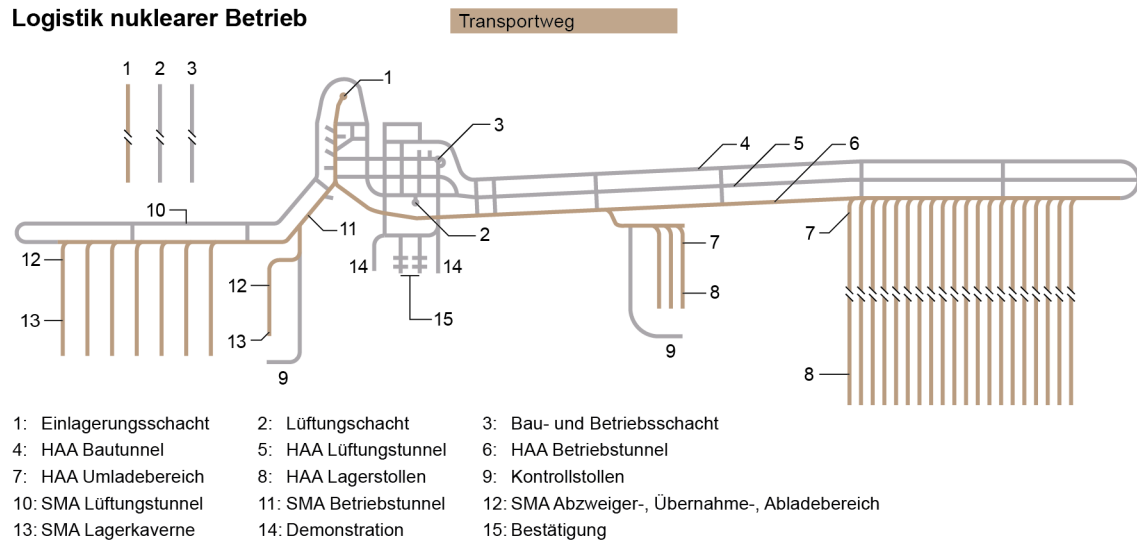


Fig. 4-2: Logistik nuklearer Betrieb UTA

Dort werden sie im jeweiligen Umladebereich vom Transportfahrzeug gehoben und eingelagert. Das Nahfeld wird verfüllt. Der Umladebereich der HAA-Lagerstollen kann aufgrund der dort vorhandenen Strahlenexposition (Kap. 6.3.2) zwischen Ausstossen des ELB aus dem Transportbehälter und Positionierung des ELB im Lagerstollen nicht betreten werden. Zuerst wird jeweils das Pilotlager gefüllt und verschlossen, anschliessend das Hauptlager. Die Abläufe sind jeweils identisch.

Mit Abschluss der Einlagerung werden die Lagerstollen (HAA) bzw. Lagerkavernen (SMA) verfüllt und mit einem Siegel versiegelt (Kap. 5.2). Mit Versiegelung aller Einlagerungsstollen / -kavernen ist der nukleare Betrieb abgeschlossen.

4.3 Beobachten

Die Beobachtung dient der Überwachung des Verhaltens der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins in den Pilotlagern (Art. 66 KEV). Die OFA zusammen mit dem zentralen Bereich der UTA stellen die Infrastruktur für die Beobachtung dar.

Nach der Installation der nötigen Beobachtungseinrichtungen erfolgt deren Betrieb weitestgehend automatisiert. Für die Beobachtung muss daher nur für Wartungsarbeiten Personal vor Ort sein.

4.4 Erhalten

Die Erhaltung dient der Sicherstellung von Bestand, Funktion und Wert der Gesamtanlage. Sie gewährleistet die Funktionsfähigkeit während der Nutzung bis zur geforderten Nutzungsdauer und gegebenenfalls darüber hinaus.

Grundsätzlich werden die Bauwerke, Anlagen und Ausrüstung so geplant, dass sie die geforderten Nutzungsdauern nur mit Instandhaltung, jedoch ohne Instandsetzung, gewährleisten. Für Anlagen oder Ausrüstungen, für die das nicht möglich ist, werden Instandsetzung und Erneuerung geplant und entsprechende Ausfallzeiten berücksichtigt. Instandsetzungen und Erneuerungen werden dann so durchgeführt, dass die Erfahrungen und der Stand von Wissenschaft und Technik (Art. 37 KEG) zum Zeitpunkt der Instandsetzung oder Erneuerung einfließen.

Die Erhaltung der Gesamtanlage orientiert sich für die Bauwerke an den Vorgaben der SIA 469, für Anlagen und Ausrüstung an den Herstellerangaben bzw. einschlägigen Regelwerken.

Erhaltung benötigt Überwachung und Unterhalt. Überwachung stellt die Zustandsentwicklung von Bauwerken, Anlagen und Ausrüstung fest, bewertet und leitet gegebenenfalls Konsequenzen ab. Unterhalt ist die Erhaltung selbst bzw. die Wiederherstellung.

Die Nagra hat in Nagra (2025c) ein integrales Überwachungskonzept beschrieben, zu dem die Überwachung während Bau und Betrieb gehört. Die Überwachung für die Erhaltung enthält unter anderem die allgemeine Beobachtung während des Betriebs, Inspektionen, Kontrollmessungen, Funktionskontrollen / -prüfungen und Zustandsbeurteilung. Sie findet regelmässig statt. Sicherheitskritische Bauwerke, Anlagen und Ausrüstung werden automatisch und bei Bedarf kontinuierlich überwacht.

Unterhalt beinhaltet die regelmässige Instandhaltung. Dies schliesst auch die Reinigung, Behebung kleiner Schäden und fachgerechte Wartung mit ein.

Für Überwachung und Unterhalt muss regelmässig Personal vor Ort sein.

5 Bau: Erstellen und Verschiessen

Das Bauen hat das Ziel, die Gesamtanlage, d. h. ihre Bauwerke, Anlagen und technische Ausrüstung, plan-, qualitäts- und termingerecht sowie kostentreu bereitzustellen. Bauen umfasst das Erstellen und Verschiessen der Gesamtanlage.

Die OFA umfasst Hochbauten und Industrieanlagen wie Lüftungs- / Kühlungsanlagen oder Förderanlagen. Diese werden mit üblichen Methoden des Hoch- und Anlagenbaus sicher errichtet und in Betrieb genommen und werden daher in diesem Bericht nicht weiter betrachtet. Dasselbe trifft auf die Ausrüstung der OFA und auf die Anlagen und Ausrüstung der UTA zu.

Im Folgenden werden das grundlegende Vortriebs- und Sicherungskonzept zur Erstellung der UTA (Kap. 5.1) vorgestellt und auf Materialbewirtschaftung (Kap. 5.2) und Realisierung der Verschlussbauwerke (Kap. 5.3) eingegangen.

5.1 Erstellen: Vortrieb und Sicherung UTA

Das Vortriebs- und Sicherungskonzept ist ausführlich in Band 6 von Nagra (2023a) beschrieben. Die Vortriebsmethode, die Sicherungs- und die Bauhilfsmassnahmen für das Abteufen der als Zugang vorgesehenen drei Schächte werden entsprechend der geologischen Situation gewählt. Die (Pilot-)Lagerstollen werden nach aktuellem Planungsstand wegen den Anforderungen der Langzeitsicherheit mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine (TBM) vorgetrieben. Alle anderen Bauwerke der UTA werden konventionell, z. B. im Sprengvortrieb oder Schräm-vortrieb¹¹, errichtet. Die (Pilot-)Lagerstollen werden mit Tübbingen ausgebaut. Für alle weiteren Bauwerke sind eine nachgiebige Ausbruchssicherung und eine Betoninnenschale vorgesehen.

5.2 Materialbewirtschaftung

Die Materialbewirtschaftung ist zentral für den Baubetrieb und massgeblich für den Platzbedarf und die Leistungsfähigkeit (Kap. 3.5.2). Zu betrachten sind die Materialströme während des Baus, d. h. Erstellung und Verschluss, der Gesamtanlage. Für Erstellung und Verschluss werden dieselben Strukturen verwendet, da sich beide nur in der Richtung der Hauptmaterialströme (Ausbruch / Verfüllung) unterscheiden. Der Transport findet in den Schächten mit Förderanlagen und untertag radgebunden mit Standardfahrzeugen des Untertagbaus statt.

In der OFA liegt der Schwerpunkt der Materialbewirtschaftung auf der Bereitstellung der Fläche für die Lagerung und Materialherstellung auf den Funktionsbereichen «Bau und Betrieb» und «temporäre Installationen» (Fig. 3-4, Anhang E.1).

In der UTA sind die Prozesse des Transports und des Umladens des Materials massgebend. Daher ist der Zentrale Bereich für die Materialbewirtschaftung entsprechend auszulegen.

Die Herstellung von Baustoffen wie Beton kann in der OFA oder in der UTA erfolgen.

¹¹ Vortrieb mit einer Teilschnittmaschine

5.3 Verschiessen

Der Verschluss besteht aus Verfüllung und Versiegelung (Kap. 3.4.6). Im Folgenden werden das Vorgehen beim Verschluss und der Bau der Versiegelungsbauwerke erläutert. Weitere Angaben finden sich in Nagra (2021c).

Verfüllung

In den beiden Verschlussstappen der UTA (Fig. 3-2) werden jeweils alle Hohlräume verfüllt, die betrieblich nicht mehr benötigt werden. Zur Anwendung kommen Standard-Bauverfahren des Berg- und Untertagebaus. Verfüllt wird von innen nach aussen (Kap. 3.4.6).

Versiegelung

Beim Bau der Versiegelungsbauwerke wird aus Gründen der Langzeitsicherheit (Nagra 2024g) zunächst im Bereich des Versiegelungsbauwerks der bestehende Tunnelausbau vollständig oder partiell entfernt. Dafür wird der an den Rändern angrenzende Ausbau verstärkt und bei Bedarf der Bereich des Versiegelungsbauwerks mit Ankern und Stahlbögen gesichert. Zur Anwendung kommen Standard-Bauverfahren des Berg- und Untertagebaus.

6 Sicherheitskonzept

Die Sicherheit des Personals und der Anlage sind während Bau und Betrieb zu gewährleisten. Dafür werden Schutzziele¹² definiert, für deren Einhaltung Sicherheitskonzepte sorgen. Hier sind konventionelle Sicherheit (Bau, konventioneller Betrieb) und nukleare Sicherheit (nuklearer Betrieb) zu gewährleisten (Kap. 4).

In diesem Bericht liegt der Schwerpunkt auf der konventionellen Betriebssicherheit für Normalbetrieb, Betriebsstörungen und konventionelle Ereignisse. Angaben zu nuklearen Störfällen und Störfallbeherrschung finden sich im Sicherheitsbericht und den generischen Sicherheitsbetrachtungen (Kap. 1.2).

Die konventionelle und nukleare Sicherheit der Anlage selbst werden, wie in Kap. 6.2 und 6.3 beschrieben, hauptsächlich durch die Auslegung gewährleistet. Sie werden in Bau und Betrieb im Zusammenspiel von verschiedenen Schutz- und Sicherheitskonzepten gewährleistet, wie in Fig. 6-1 gezeigt.

Konzepte für konventionelle Sicherheit und nukleare Sicherheit			
Im	Für	Normalbetrieb & Betriebsstörungen	Ereignis
Bau, konventionellen Betrieb	Nuklearen Betrieb	Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept Brand- und Explosionsschutzkonzept	Personensicherheitskonzept: • Flucht • Rettung • Evakuierung Interventionskonzept
		Strahlenschutzkonzept, Sicherungskonzept	

Fig. 6-1: Konventionelle und nukleare Sicherheit mit beitragenden Schutz- und Sicherheitskonzepten für die unterschiedlichen Schutzziele

Nukleare Ereignisse im nuklearen Betrieb werden im Sicherheitsbericht adressiert.

Wesentliche Schutz- und Sicherheitskonzepte sind für den konventionellen und nuklearen Betrieb gleich (Fig. 6-1). Sie haben massgeblichen Einfluss auf das Lagerlayout und den Betrieb, weshalb sie im Folgenden exemplarisch erläutert werden.

¹² Anforderungen / Vorgaben zum zu erreichenden Sicherheitsniveau

6.1 Vorgehen und übergeordnete Aspekte

Das Vorgehen zur Erarbeitung aller in Fig. 6-1 genannten Schutz- und Sicherheitskonzepte ist grundlegend identisch. Zunächst werden immer Anforderungen¹² definiert, deren Einhaltung vom Schutz- / Sicherheitskonzept gewährleistet werden soll. Dann wird der geplante Ablauf auf mögliche Abweichungen / Ereignisse analysiert. Das Schutz- oder Sicherheitskonzept legt dann Massnahmen und ihre Umsetzung fest, um die Einhaltung der Schutzziele auch bei Abweichungen / Ereignissen, die die Einhaltung gefährden¹³, zu gewährleisten.

Die Massnahmen werden nach ihrer Wirkung unterschieden. Je nach Aufwand und Möglichkeiten für die Umsetzung ist folgende Reihenfolge anzustreben:

1. Vermeidung von bzw. Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit von Abweichungen / Ereignissen bzw. abweichungen- / ereignisauslösenden Faktoren (Prävention)
2. Reduktion der Auswirkungen von Abweichungen / Ereignissen
3. Bewältigung und Eindämmung der Auswirkungen von Abweichungen / Ereignissen (Intervention)

Die sicherheitsgerichtete Auslegung der Gesamtanlage und des Betriebs setzt für ein gTL zutreffende Standards der Sicherheitstechnik aus Kerntechnik und Untertagbau in einer gestaffelten Sicherheitsvorsorge um. Generell berücksichtigen Schutz- und Sicherheitskonzepte ganzheitlich Mensch, Technik und Organisation (MTO-System). Sie umfassen bauliche und technische sowie organisatorische Massnahmen (Nagra 2024b), wozu Ausbildungen, Befähigungen und Verhaltensweisen der Personen in der Gesamtanlage gehören. Die Sicherheit der Gesamtanlage des gTL, der Abfälle und der darin arbeitenden oder sich aufhaltenden Personen wird integral geplant, umgesetzt, überwacht und kontinuierlich verbessert.

Übergeordnet tragen zur konventionellen und nuklearen Sicherheit der Gesamtanlage bei:

- Sicherheitsgerichtete Auslegung aller sicherheitsrelevanten Bauwerke, Anlagen und Ausrüstungen mit Bevorzugung passiver gegenüber aktiven Massnahmen, zeitlicher und räumlicher Trennung sowie Redundanz und Diversität
- Zustandsüberwachung und -bewertung aller sicherheitsrelevanten Bauwerke, Anlagen und Ausrüstungen
- Einweisung, Schulung, Übung und Wiederholung zu Sicherheitsthemen für alle Mitarbeitende UTA obligatorisch
- Einsatzorganisation mit Interventionsfähigkeiten (Kap. 6.2.3), abgestimmt mit öffentlichen Einsatzorganisationen¹⁴ und deren Interventionsfähigkeiten
- UTA: wirksame Zutrittskontrolle und Tracking von Personen, Limitierung der Personenzahl nach betrieblichen Bedingungen und Anforderungen
- UTA: Sicherheitseinweisung und persönliche Schutzausrüstung (PSA), z. B. Schutzkleidung, Sauerstoff-Selbstretter für jede Person

Im Folgenden werden relevante spezifische Schutzziele der unterschiedlichen Sicherheitsaspekte, ausgewählte daraus resultierende Anforderungen und ihre exemplarische Umsetzung vorgestellt.

¹³ Solche Abweichungen werden auch als Gefährdung bezeichnet, die zugehörige Analyse auch als Gefährdungsanalyse.

¹⁴ Z. B. Feuerwehr, Rettung

6.2 Konventionelle Sicherheit

6.2.1 Arbeitssicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept

Das Ziel der Arbeitssicherheit¹⁵ und des Gesundheitsschutzes ist die Herstellung und Gewährleistung sicherer, gesunder Bedingungen für Arbeitende und weitere Personen sowie die Verhinderung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten sowie berufsbedingten Erkrankungen mit geeigneten Mitteln sicherzustellen.

Zur Planung und Umsetzung stehen eine Vielzahl einschlägiger Richtlinien zu Bau und Betrieb von Hochbauten und Untertagebauwerken von EKAS, SECO, SIA, SUVA und anderen zur Verfügung. Diese können auch für den nuklearen Betrieb angewendet werden, wobei zusätzlich Anforderungen aus der nuklearen Sicherheit (Kap. 6.3) umzusetzen sind. Hierzu sind ENSI-Richtlinien verfügbar. Veröffentlichungen weiterer Fachorganisationen geben Anhalt.

Für die exemplarische Umsetzung relevante Anforderungen sind:

- Der Arbeitgeber hat insbesondere die betrieblichen Einrichtungen / den Arbeitsablauf so zu gestalten, dass Gesundheitsgefährdungen und Überbeanspruchungen der Arbeitnehmenden nach Möglichkeit vermieden werden.
- Bauarbeiten müssen so geplant und durchgeführt werden, dass das Risiko von Berufsunfällen, Berufskrankheiten oder Gesundheitsbeeinträchtigungen möglichst klein ist und die notwendigen Sicherheitsvorgaben eingehalten werden.
- Die Arbeitnehmenden sind verpflichtet, den Arbeitgeber in der Durchführung der Vorschriften über den Gesundheitsschutz sowie über die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten zu unterstützen. Dazu haben sie die Weisungen des Arbeitgebers bzw. der ernannten Spezialisten in Bezug auf Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz zu befolgen und die anerkannten Sicherheitsregeln zu berücksichtigen.
- Es sind nur Arbeitsmittel vorzusehen, welche die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmenden nicht gefährden. Eingehende Regelungen dazu finden sich in Art. 24–32c VUV sowie in der EKAS-RL 6512 "Arbeitsmittel".

Exemplarische Umsetzung OFA

Die Gewährleistung von Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in OFA-ähnlichen Anlagen ist Standard, und es liegt grosse Erfahrung in der Schweiz vor für Bau, konventionellen und nuklearen Betrieb. Einzig für die Schachtkopfgebäude und die darin vorgesehenen Tätigkeiten wird auf internationale Erfahrungen zurückgegriffen werden. Die SUVA verweist hierfür auf das dazu in Deutschland existierende Regelwerk.

¹⁵ Organisationen wie die SUVA sprechen Sicherheit ohne den Zusatz «Arbeits-» an, z. B. Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan. Hier wird Sicherheit breiter verstanden, weshalb «Arbeitssicherheit» als solche angesprochen wird.

Exemplarische Umsetzung UTA

In der UTA dienen die primären Massnahmen der Herstellung und Aufrechterhaltung gesetzeskonformer sicherer Arbeitsbedingungen:

- Versorgung mit Frischluft¹⁶, Behandlung / Abführung von Abluft (Kap. 3.5.1)
- Ausreichende Beleuchtung, Lärmschutz
- Sicherer Ausbau der Bauwerke (Kap. 5.1) mit Hilfe sicherer Bauverfahren (Kap. 5)
- Herstellen zulässiger klimatischer Arbeitsbedingungen, d. h. Temperatur und Luftfeuchtigkeit, im Zusammenspiel bzw. mit Hilfe der Lüftung und Kühlung (Kap. 3.5.1), Wärmeabfuhr, Entstaubung
- Bereitstellen technischer Hilfsmittel
- Radonmessungen¹⁷ sind als Teil des Gesundheitsschutzes an den verschiedenen Arbeitsplätzen in der UTA durch anerkannte Radonmessstellen sicherzustellen. Wenn der Radon-Schwellenwert überschritten werden sollte, sind Massnahmen nach Art. 167 StSV 2017 einzuleiten.

Bau und Betrieb erfordern leicht unterschiedliche Vorgehensweisen zum Gewährleisten identischer Schutzziele. Im Bau sind aufgrund des vorübergehenden Charakters und der situativ möglichen Vorgehensweisen höhere Belastungen zulässig. Diese sind jedoch streng zeitlich begrenzt und nach Möglichkeit sowie im Normalbetrieb zu vermeiden.

Im nuklearen Betrieb gelten dieselben Anforderungen wie im konventionellen Betrieb, zusätzlich sind dem Strahlenschutz (Kap. 6.3.2) und der Sicherung (Kap. 6.3.3) Rechnung zu tragen.

6.2.2 Personensicherheit – Flucht, Rettung, Evakuation

Das Flucht- und Rettungskonzept verfolgt das Ziel der Aufrechterhaltung der Personensicherheit durch die zuverlässige Alarmierung und Kommunikation allfälliger Gefahrensituationen sowie Sicherstellung der Flucht (Selbstrettung), Rettung (Fremdrettung) und Evakuierung aus allfälligen Gefahrensituationen und Gefahrenbereichen in einen sicheren Bereich (und ggf. anschliessende Versorgung der Personen). Zudem soll sichergestellt werden, dass die Zugänglichkeit auch für allfällige Interventionen (Kap. 6.2.4) gewährleistet ist.

Die Anforderungen zur Sicherstellung der Personensicherheit sind u. a. in ArGV 4 und VUV gesetzlich verankert und in Richtlinien von VKF, ENSI, SUVA detailliert. In der Gesamtanlage des gTL ist insbesondere vorzusehen:

- Das Alarm- und Kommunikationssystem muss notfallsicher sein und alle Personen in der Gesamtanlage zuverlässig erreichen.
- Unabhängige FREI-Wege müssen jederzeit an jedem Ort in der Gesamtanlage in ausreichender Anzahl (≥ 2) vorhanden sein und sind so anzulegen, zu bemessen und auszuführen, dass sie jederzeit rasch und sicher benutzbar sind; sie sind zu kennzeichnen. Für zeitlich (z. B. Bau, Revision) und räumlich (z. B. Blindschacht) beschränkte unvermeidbare Abweichungen müssen Ersatzmassnahmen (z. B. Rettungskammer bzw. -container) umgesetzt werden.

¹⁶ Hierbei spielt die Einhaltung der MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte) eine zentrale Rolle (Suva 2021).

¹⁷ Gemäss Art. 156 StSV 2017 sind Arbeitsplätze in Bergwerken als radonexponierte Arbeitsplätze anzusehen. Die Festlegung von Auswahl und Umfang erfolgt in Abstimmung mit der Bewilligungsbehörde.

- FREI-Wege müssen in einem sicheren Bereich enden, der nicht zu weit entfernt liegt (z. B. untertag: <500 m, an der Oberfläche: <35 m).
- Den Anforderungen des Strahlenschutzes (Kap. 6.3.2) und der Sicherung (Kap. 6.3.3) bezüglich der Beschränkung der Zugänglichkeit ist bei FREI-Weegen Rechnung zu tragen.
- Sichere Bereiche, die sich nicht im Freien befinden, müssen frischluftversorgt und rauchfrei sein.

Exemplarische Umsetzung OFA

Die Gewährleistung der Personensicherheit in den Gebäuden der OFA während Bau, konventionellem und nuklearem Betrieb ist Standard und es liegt grosse Erfahrung in der Schweiz vor. Durch sachgemässe Umsetzung der VKF-Vorschriften wird sichergestellt werden, dass Flucht, Rettung, Evakuierung und Intervention gewährleistet sind.

Die Personensicherheit der UTA hängt von der OFA ab, indem die OFA den sicheren Fluchtpunkt aller FREI-Wege der UTA darstellt und Rettungs- und Interventionsfähigkeiten für die UTA bereitstellen muss, wie nachstehend beschrieben.

Die OFA verfügt über drei Zufahrten auf den Anlagenperimeter (Fig. 3-4), die als FREI-Wege alle Gebäude ausser die im Sicherungsbereich (Kap. 6.3.3) direkt erschliessen. Der Sicherungsbereich verfügt über eine reguläre und eine Notzufahrt (Fig. 6-3). Er kann optional mit einer weiteren Notzufahrt erschlossen werden. Die Anordnung und Erschliessung der Gebäude trägt zur Personensicherheit bei.

Exemplarische Umsetzung UTA

Die Personensicherheit untertag wird umgesetzt, indem dafür Sorge getragen wird, dass im Ereignisfall alle Personen (Kap. 7) so schnell wie möglich sicher aus der UTA in die OFA gebracht werden können. Dies wird in der exemplarischen Umsetzung durch folgende Massnahmen erreicht:

- Dauerhafte Bereitstellung von zwei unabhängigen Zugängen nach untertag, ausgelegt und betrieben als FREI-Wege¹⁸, jeweils mit zuverlässigen Fördersystemen (Nagra 2023c) ausgestattet; gegebenenfalls Vorhalten einer mobilen Schachtwinde (Nagra 2023c); beim Schachtabteufen (Kap. 5.1) sind Ersatzmassnahmen vorzusehen.
- Dauerhafte Bereitstellung eines Rettungsraums im zentralen Bereich als sicherer Bereich untertag. Der Rettungsraum ist so ausgerüstet, dass er alle Personen untertag aufnehmen und ausreichend lang autark mit Luft und Wasser versorgen kann; er ist feuerfest ausgelegt, kann autonom gekühlt werden, ist notbeleuchtet und hält Kommunikations-, Sanitär- und Sanitäts-einrichtungen vor (DAUB & ITA-AITES 2018).
- Dauerhafte Bereitstellung von zwei durchgehenden markierten Fluchtwegen mit einem phasengerechten¹⁹ dauerhaft freien Lichtraum zu einem sicheren Bereich; durch Layout und Bauablauf zu gewährleisten.

¹⁸ Auslegung und Betrieb als FREI-Weg bedeutet, dass alle festen Einbauten keine bzw. eine möglichst geringe Brandlast haben, eine Sicherheitsbeleuchtung installiert ist, keine Brandlasten zwischengelagert werden und der Weg betrieblich soweit möglich dauerhaft rasch und sicher nutzbar ist.

¹⁹ Während der Bauphase kann aufgrund der baulichen Anforderungen und des temporären Zustands ein etwas kleinerer Lichtraum akzeptiert werden als während der Betriebsphasen.

- Begrenzung der Fluchtweglänge zum nächsten sicheren Bereich:
 - Frischluftführende Tunnel sind als sichere FREI-Wege bzw. sichere Bereiche auszuführen und zu betreiben und mit Querschlägen zugänglich zu machen (Fig. 6-2). In Abstimmung mit dem Brandschutz- (Kap. 6.2.3) und Lüftungskonzept (Kap. 3.5.1) sind diese Tunnel mit Schleusen / Toren von den aktiven Bau- und Betriebstunneln zu trennen.
 - In Bauphasen sind gegebenenfalls Rettungscontainer als temporäre Fluchtendpunkte mitzuführen. Rettungscontainer sind mobil, analog dem Rettungsraum auszuführen und auf die Anzahl des gefährdeten Baupersonals auszulegen.
- Lüftung (Kap. 3.5.1) und Brandschutz (Kap. 6.2.3) stellen die Rauchfreiheit wenigstens eines Fluchtwegs sicher.
- Beim Betreten von Blindstollen sind gegebenenfalls Rettungscontainer als temporäre Fluchtendpunkte mitzuführen.

FREI-Wege

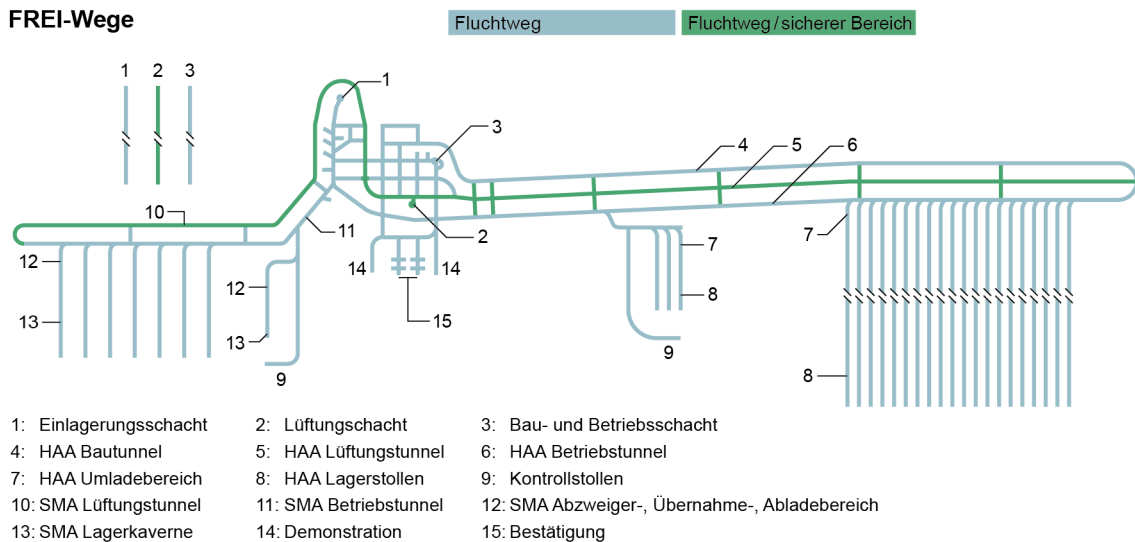


Fig. 6-2: Konzept für FREI-Wege in der UTA

Die FREI-Wege in der UTA sind weitgehend als sichere Bereiche ausgebaut, d. h. sie funktionieren auch als Fluchtendpunkte aus Gefahrenbereichen. Der Rettungsraum ist im zentralen Bereich angeordnet. Blindstollen sind nur mit Ersatzmassnahmen zu betreten.

6.2.3 Brand- und Explosionsschutz

Ziel des Brand- und Explosionsschutzes ist es, die Entstehung von Bränden oder Explosionen zu verhindern, das Brand- und Explosionsrisiko durch Minimierung der Brandlasten bzw. Zündquellen in Verbindung mit einer frühzeitigen Erkennung und Alarmierung gering zu halten sowie durch gezielte Brandfallsteuerungen, baulichen Brandschutz zur Kompartimentierung und Einsatz von Löscheinrichtungen eine Brandausbreitung zu begrenzen und einen Brand zu löschen.

Zum Brandschutz der OFA, d. h. Hoch- / Anlagenbau und Kernanlagen, liegen umfangreiche Regelwerke, z. B. von VKF und ENSI, vor. Zum Brandschutz in der UTA können Richtlinien aus untertägigen Anlagen wie Strassentunneln (von SIA, ASTRA) oder Eisenbahntunneln (von BAV, EBA) sinngemäss angewendet werden. Zusätzlich sind verschiedene Empfehlungen von internationalen Fachorganisationen (z. B. DAUB) verfügbar.

Die weiteren Anforderungen des Brand- und Explosionsschutzes decken sich teils mit den schon genannten Anforderungen aus Personensicherheit und Intervention. Folgende Anforderungen sind relevant für die exemplarische Umsetzung:

- Durch geeignete Massnahmen und Einrichtungen ist sicherzustellen, dass Brände / Explosionen und ihre Folgen, wie Rauch- oder Wärmeentwicklung, innerhalb und ausserhalb von Gebäuden die Sicherheit der Anlage nicht unzulässig beeinträchtigen.
- Zur Prävention sind die einzelnen baulichen Anlagen durch ausreichend feuerwiderstandsfähige Bauteile in Brandzonen und innerhalb dieser Zonen in Brandabschnitte auszubilden oder durch ausreichende Abstände voneinander zu trennen.
- Gewährleistung der Tragsicherheit der Bauwerke bei Brand- und Explosionseinwirkung während eines bestimmten Zeitraums.
- Baulicher Blitzschutz und Erdung sind vorzusehen.
- Bei Auslegung und Nutzung sind Brandlasten und mögliche Zündquellen auf das für den sicheren Betrieb erforderliche Mass zu begrenzen (zu minimieren).

Exemplarische Umsetzung OFA

Der objektbezogene Brandschutz wird durch Umsetzung der Anforderungen sichergestellt. Kritische Bauwerke und Anlagen, wie die Schachtkopfgebäude, werden mit automatischen Brandmelde- und -löschanlagen ausgerüstet. Dies ist gängige Praxis und für Bau, konventionellen und nuklearen Betrieb liegen Erfahrungen in der Schweiz vor.

Exemplarische Umsetzung UTA

Der Brand- und Explosionsschutz wird so geplant und ausgeführt, dass eine gestaffelte Schutzwirkung gewährleistet wird. Die wirksamste Massnahme dazu ist die Prävention:

- Reduktion der permanenten Brandlast durch Verwendung nicht brennbarer bzw. schwer entflammbarer Materialien, wo immer sinnvoll und möglich
- Anordnung und Betrieb so, dass nicht vermeidbare temporäre Brandlasten nicht entzündet werden, z. B. durch Kapselung, Abschirmung, Schutz von Gasflaschen, Tanks

Weiterhin stellen eine schnelle Branderkennung und Intervention (Kap. 6.2.4) sicher, dass Brände früh erkannt und direkt bekämpft werden. Sollte trotz dieser Massnahmen ein Brand entstehen, so sorgen mit der Lüftung (Kap. 3.5.1) abgestimmte Massnahmen dafür, dass ein Brand und seine Auswirkungen lokal begrenzt und der Rest der Gesamtanlage sicher bleiben.

6.2.4 Intervention

Das Interventionskonzept hat das Ziel, die schnelle Rettung verletzter oder gefährdeter Personen aus dem Gefahrenbereich in einen sicheren Bereich zu gewährleisten. Weiteres Ziel ist, in Gefahrenbereichen Massnahmen zur Bewältigung von Gefahrensituationen umzusetzen. Die Intervention gewährleistet die Personensicherheit im Ereignisfall, die konventionelle und die nukleare Sicherheit.

Für das Interventionskonzept der exemplarischen Umsetzung werden folgende Anforderungen berücksichtigt:

- Für die Intervention sind Schutz- und Leistungsziele zu definieren und eine klare Organisation und Aufgabenverteilung mit Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten für die Intervention zu erarbeiten.
- In Abstimmung mit der Personensicherheit und dem Brand- und Explosionsschutz sind die schnelle und einfache Alarmierung und ereignissichere Kommunikation zu gewährleisten.
- Rettung und Erstversorgung müssen sowohl für Unfälle wie auch Ereignisfälle schnell, d. h. in vorgegebenen Alarmierungs- und Einsatzzeiten, erfolgen. Dazu sind Rettungsmittel und Rettungskräfte in Reichweite bereitzustellen bzw. Ersthelfer auszubilden. Rettungswege sind freizuhalten.
- Ausrüstung und Auslegung der Bauwerke, Anlagen und Ausrüstungen, insbesondere in der UTA, müssen eine schnelle und wirksame Intervention sicherstellen.
- Intervention und Rettung müssen situationsgerecht in Abstimmung mit anlagenexternen Einsatzorganisationen durchgeführt werden und können auf externe Einsatzorganisationen abstützen. Dazu sind entsprechend Vereinbarungen zu treffen, gemeinsame Interventions-taktiken zu entwickeln und Übungen durchzuführen.
- Der Anlagenbetreiber muss Interventionsfähigkeiten sicherstellen.
- Die Organisation der Intervention muss mit der Organisation des gTL nach ENSI (2023b) abgestimmt sein.

Exemplarische Umsetzung Gesamtanlage

Die Interventionsorganisation des gTL hält basierend auf einer vorherigen Gefährdungsanalyse notwendige Einsatzpläne und -mittel für eine effektive Intervention vor. Das Interventionskonzept wird in einem MTO-System umgesetzt. Dazu wird die Zusammenarbeit mit örtlichen und umliegenden Interventionskräften bis hin zu Schutz & Rettung Zürich und der Nationalen Alarmzentrale des Bundes geprüft.

Die Gesamtanlage des gTL wird mithilfe verschiedener Überwachungs- und Alarmsysteme²⁰ überwacht. Die Systeme stellen die Kommunikation sicher. Bei Bedarf wird eine Intervention ausgelöst. Mit dem Auslösen werden nach Einsatzplan interne und externe Einsatzorganisation für eine adäquate Intervention aufgeboden.

Die Interventionsorganisation wird je nach Einsatzerfordernis stufenweise aufgeboden. In der UTA ist die Interventionsdauer von der OFA zu berücksichtigen, weshalb ggf. eine Grubenwehr die Ersteinsatzfähigkeit sicherstellen muss. Dafür muss Personal ausgebildet und Material untertag vorgehalten werden. In der Arbeitsorganisation muss sichergestellt werden, dass immer Personal für eine funktionsfähige Grubenwehr eingesetzt ist.

Für die Personenrettung und -versorgung wird mit den lokalen Interventionskräften und Spitälern zusammengearbeitet.

²⁰ Brandmeldeanlage, Gefahrenmeldeanlage, ...

Weiter sind insbesondere untertag vorgesehen:

- (Semi-)automatische Sicherheitssysteme wie Löschanlagen, Brandabschnittstüren / -tore (Kap. 6.2.3), Lüftungsklappen oder Entrauchungsanlagen
- Interventionsunterstützende Systeme wie Löschwasserleitungen, Hydranten, Erste-Hilfe-Stationen, Meldeanlagen, Feuerlöscher
- Ausbildung der Rettungs- und Interventionsfähigkeiten der Mitarbeiter durch Ersthelfer-ausbildung, Schutzausrüstung, Brandlöschausbildung

Die Betriebsorganisation der Gesamtanlage nach ENSI-G07 (ENSI 2023b) stellt sicher, dass konventionelle und nukleare Sicherheit im Ereignisfall gewährleistet sind (Nagra 2025d).

6.3 Nukleare Sicherheit

Die nukleare Sicherheit des gTL ist nach Ende der Einlagerung durch die Auslegung des Mehrfachbarrierensystems (Fig. 2-2) passiv, d. h. ohne aktive Massnahmen, gewährleistet (Kap. 2.4; Nagra 2025d).

6.3.1 Nukleare Betriebssicherheit

Die nukleare Betriebssicherheit und die Sicherung (vgl. Kap. 6.3.3) sind zum Schutz von Mensch und Umwelt für das gTL als Kernanlage ab Einlagerungsbeginn zu gewährleisten (Art. 4 KEG). Die in Kap. 6.2 beschriebenen Schutz- und Sicherheitskonzepte sind Bestandteil der nuklearen Betriebssicherheit (Fig. 6-1). Weiterhin sind die grundlegenden Schutzziele S1 – S4 zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit nach der Verordnung des UVEK (UVEK 2009) einzuhalten. Die Schutzziele S1 und S2 gelten nur für HAA (insbesondere BE) und sind für die Einlagerung im gTL intrinsisch passiv erfüllt²¹ (Nagra 2025d). Der Einschluss von SMA und HAA (S3) wird – neben der Abfallmatrix und Umschliessung (bspw. Hüllrohr, Zylinder) – durch die Verpackung in ELB (Kap. 2.5) sichergestellt und ist bei geeigneter Handhabung (Normalbetrieb) und Sicherung (Kap. 6.3.3) ebenfalls passiv gegeben. Die Verpackung²² dient auch im Fall von Auslegungstörfällen als Schutz, so dass eine unzulässige Strahlenexposition der Bevölkerung ausgeschlossen werden kann (S4).

6.3.2 Strahlenschutzkonzept

Die strahlenschutztechnischen Auslegungsgrundlagen für die Gesamtanlage sind im Sicherheitsbericht (Nagra 2025d) zu finden. Hier wird daher nur auf die exemplarische Umsetzung in der Gesamtanlage eingegangen.

Nach ENSI (2021) umfasst das überwachte Betriebsareal von Kernanlagen den gesicherten Teil des gTL (Fig. 6-3). In StSV 2017 wird «Überwachungsbereich» für den Betrieb von Anlagen oder beim Umgang mit geschlossenem radioaktivem Material, wie es am gTL der Fall ist (Kap. 4.2), verwendet. Somit sind der Sicherungsbereich der OFA (Fig. 6-3) und die Teile der UTA, in denen mit radioaktiven Abfällen umgegangen wird (Fig. 4-2), als Überwachungsbereiche auszulegen, die entsprechend der zu erwartenden Dosisleistung (ausgehend von den verpackten Abfällen) in Gebietstypen unterteilt werden.

²¹ Da nur zwischengelagerte, endlagerfähig verpackte HAA eingelagert werden und die Nachzerfallswärmeabfuhr über die Behälteroberfläche ausreichend ist.

²² Bei Bedarf gemeinsam mit einer entsprechend ausgelegten Transportverpackung, bspw. Typ B-Verpackung der HAA-ELB

Die Nagra strebt an, die Überwachungsbereiche des gTL dem Zonentyp 0 zuzuordnen. Bedingung dafür ist, dass die Transport- und Endlagerbehälter (TB/ELB) beide bei Anlieferung kontaminationsfrei sind. Da für den Strassentransport (ADR 1957, SDR 2002) Kontaminationsgrenzwerte zu gewährleisten sind, werden die TB/ELB ohnehin bereits beim Versender auf ihre Kontaminationsfreiheit überprüft. Bei Anlieferung sind die TB/ELB somit auch im Sinne der Anforderungen an eine Zone 0 kontaminationsfrei und werden im gTL als geschlossenes radioaktives Material betrachtet.

Die Überwachungsbereiche der OFA und UTA hängen zusammen und sind von aussen für Material und Personen nur über die Sicherungsschleuse (Nr. 3 in Fig. 6-3) oder die Sicherungszentrale und Garderobe als Personenzugang (Nr. 5 in Fig. 6-3) bzw. den Einlagerungsschacht²³ (Nr. 1 in Fig. 6-3) zugänglich. Der Personenzugang wird eine Personenschleuse enthalten, in der auch die Übernahme / Rückgabe der Dosimeter vorgesehen sind.

In Überwachungsbereichen des Zonentyps 0 ist nach Kapitel 6.4.2 ENSI (2021) keine Unterdruckhaltung gegenüber der Umwelt notwendig, so dass vom Strahlenschutz keine Anforderungen an deren Lüftung gestellt werden. Eine Kontamination der Luft ist nicht zu unterstellen. Damit ist keine Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Luft zu erwarten und es besteht keine Notwendigkeit der isokinetischen Messung und Bilanzierung. Damit wird auch eine mobile Aerosolüberwachung überflüssig.

Es wird eine geeignete Strahlenschutzorganisation mit sachkundigem Personal, Kompetenzen und Mitteln aufgebaut. Personal und Besucher werden geschult / eingewiesen.

6.3.3 Sicherungskonzept

Die Nagra hat im Sicherheitsbericht (Nagra 2025e) ein Sicherheitskonzept beschrieben, auf das hier verwiesen wird. Darin finden sich auch Aussagen zu Safeguards. Die Sicherung ist während der Einlagerung der HAA relevant. Fig. 6-3 zeigt einen schematischen Überblick der Sicherung der OFA.

²³ In der UTA ist heute in Übereinstimmung mit der Sicherung kein Zugang zum Überwachungsbereich vorgesehen.

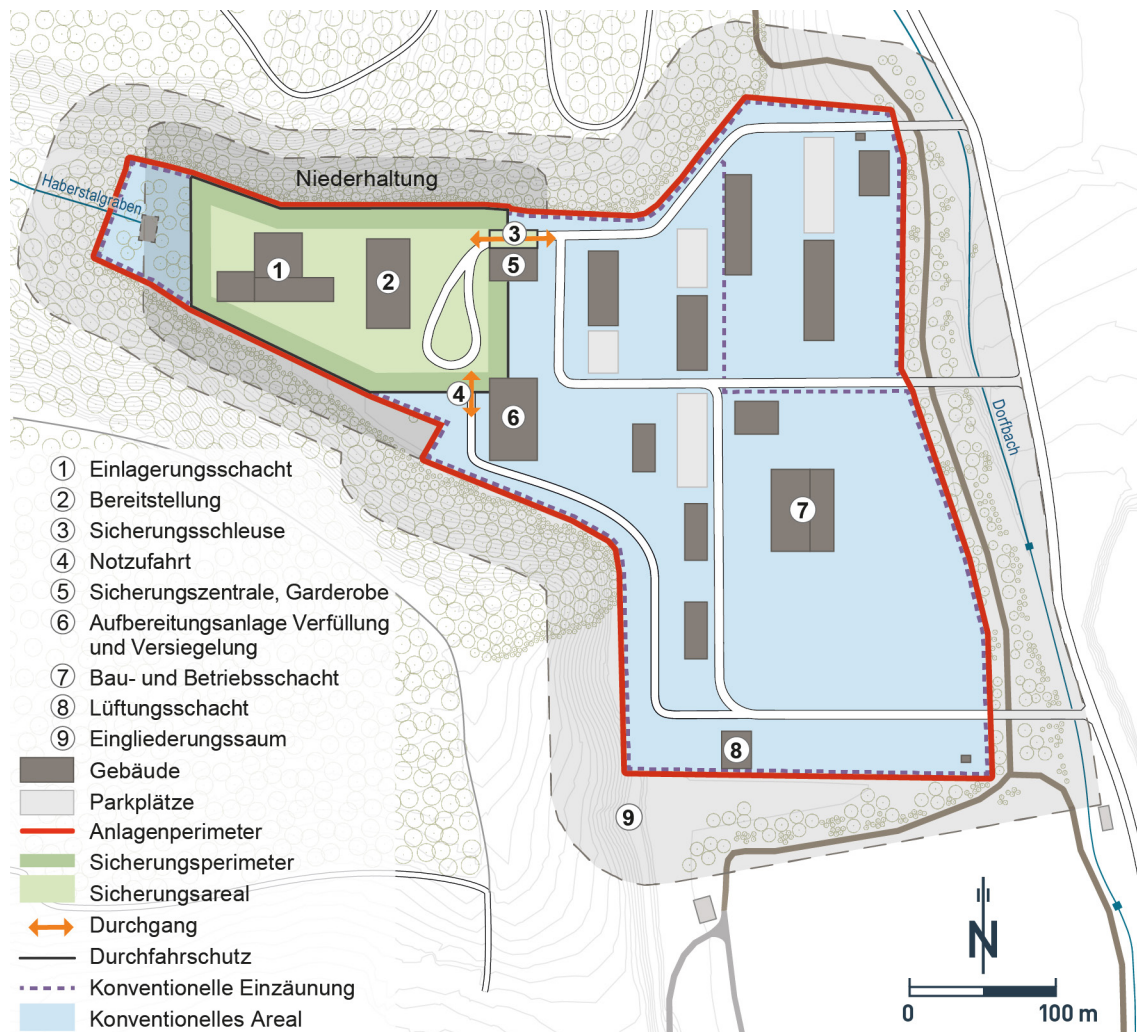


Fig. 6-3: Schema der OFA am Standort Haberstal mit Sicherungsareal

Die radioaktiven Abfälle werden nur im gesicherten Teil der OFA gehandhabt.

7 Personal & Organisation

Der Aufbau der Betriebsorganisation des gTL als Kernanlage ist in Nagra (2025d) beschrieben. Da ein ganzheitliches Anlagen- und Betriebskonzept auch Angaben zu Personal erfordert, wird hier auf einzelne relevante Aspekte eingegangen.

Generell trägt der Bewilligungsinhaber einer Kernanlage die Verantwortung für die konventionelle und nukleare Sicherheit und Sicherung seiner Kernanlage und ihres Betriebs²⁴. Er ist verpflichtet eine dazu geeignete Organisation aufzubauen und ausreichend geeignetes Personal zu beschäftigen. Integraler Bestandteil des Vorhabens (Kap. 2.1) ist daher der Aufbau und die Entwicklung einer Betriebsorganisation nach KEG (KEG 2003) und ENSI (2023b).

Die Betriebsorganisation ist verantwortlich für Bau und Betrieb. Sie muss genügend eigenes Personal haben, um dieser Verantwortung gerecht zu werden. Wie in Fig. 3-2 verdeutlicht, entwickelt sich die Gesamtanlage mit der Zeit und entsprechend ändern sich die Anforderungen an die Betriebsorganisation.

In Fig. 7-1 ist ein qualitativer Verlauf massgeblichen Personalbedarfs skizziert. Die Leitung und die Verantwortung für die Sicherheit als Kernkompetenzen gewährleisten die Betriebsorganisation dauerhaft mit eigenem Personal. Für den Bau (Kap. 5) wird externes Fachpersonal eingesetzt. Den Betrieb (Kap. 4) wird eine Kombination von eigenem und externem Betriebspersonal übernehmen. Die Einlagerung (Kap. 4.2) als weitere Kernkompetenz wird voraussichtlich mit internem Personal durchgeführt. Die Sicherung ist am Standort gTL in einer Kombination von internem und externem Personal vorstellbar. Aufgeführt sind ebenfalls Besucher, da diese die einzigen nicht wiederkehrenden Personen sind, die die Gesamtanlage betreten, und somit eine dritte Personenkategorie – neben internem und externem Personal – darstellen.

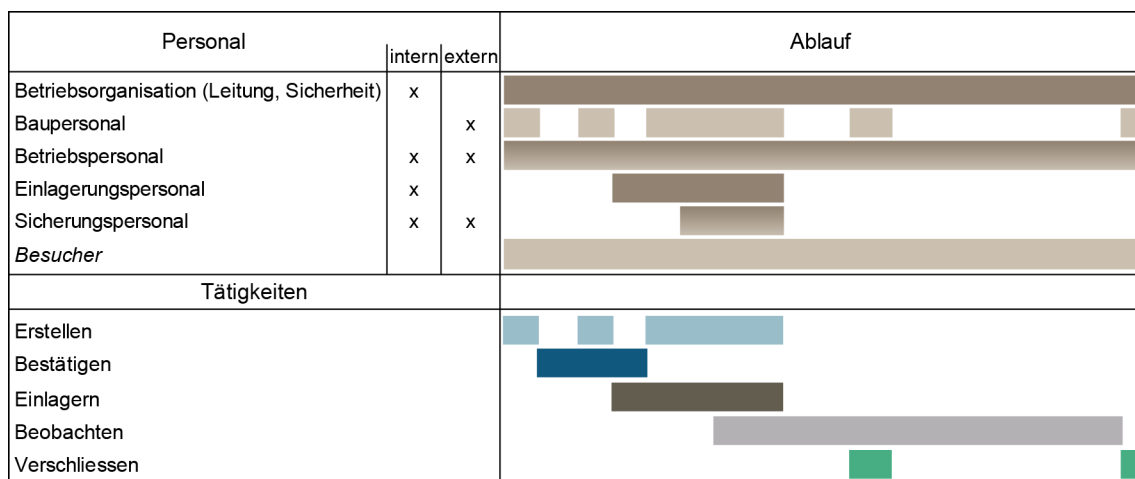


Fig. 7-1: Qualitativer Verlauf des Personalbedarfs der Betriebsorganisation des gTL und weiteren relevanten Personals

Der Personalbedarf ist indikativ zum Zeitpunkt des Bedarfs dargestellt; Einarbeitung, Personalaufbau und Personalabbau sind nicht dargestellt. Die unterschiedlichen Brauntöne oben stehen für internes und externes Personal.

²⁴ Art. 22 KEG 2003

Generell ist davon auszugehen, dass die Betreiberorganisation des gTL Schlüsselpositionen und Kernkompetenzen selbst einstellt und nur temporär notwendige oder am Markt in hoher Qualität verfügbare Kompetenzen zukaufte. Der Sicherheit zuträglich ist gut ausgebildetes langfristig in der Gesamtanlage eingesetztes Personal.

8 Kosten

Art. 62 Bst. c KEV fordert eine Angabe zu den Kosten. Zur Sicherung der Finanzierung der Entsorgung der radioaktiven Abfälle hat der Bund im Jahr 2000 den Entsorgungsfonds eingerichtet (Art. 77 KEG). Die Einzahlungen in den staatlich kontrollierten Fonds und die Rückstellungen der Eigentümer von Kernanlagen für die Entsorgung werden alle 5 Jahre auf Basis einer umfassenden Kostenstudie verfügt. Die aktuelle Kostenstudie ist von 2021 (KS21, swissnuclear 2021) und die nächste Kostenstudie wird turnusgemäss 2026 erstellt.

Die Verwaltungskommission des Fonds legt im Vorfeld der Kostenstudien jeweils die modellhaft zugrunde zu legenden Basisprojekte fest. Für die KS21 wurden ein SMA-Lager in der Standortregion Jura Ost und ein HAA-Lager in Zürich Nordost festgelegt. Die in der KS21 ermittelten Gesamtkosten für diese zwei Einzellager betragen 12.8 Milliarden CHF (Tabelle 21 (60 Jahre) swissnuclear 2021). Als Variante dazu wurde ein Kombilager in der Standortregion Zürich Nordost betrachtet. Für dessen Realisierung wurden Gesamtkosten von 11.1 Milliarden CHF ermittelt. Die Kostenstudie enthält vorgabengemässe Zuschläge. Da damit neben weiterem auch bedeutende Projektabweichungen von den Basisprojekten abdeckt werden, sind die Kosten für das geologische Tiefenlager am Standort Haberstal in der KS21 berücksichtigt.

Die Nagra beantragt Rahmenbewilligungen für ein geologisches Tiefenlager (Kombilager) mit Oberflächenanlage am Standort Haberstal und für eine Brennelementverpackungsanlage am Standort Zwiilag. Als Konsequenz hat der Fonds dies als Basisprojekt für die KS26 vorgegeben. Damit werden in der KS26 die Kosten des geologischen Tiefenlagers nach vorgegebenen Standards ermittelt. Die lokalen Gegebenheiten werden hierbei berücksichtigt. So wird in der potenziellen Lagerzone nicht mehr mit Anordnungs- oder einlagerungsbestimmenden Störungen (Figur 2.2-1 in Nagra 2014b) gerechnet. Daraus ergeben sich im Vergleich zur exemplarischen Umsetzung (Fig. 1-1) Anpassungen bei der Lagerfeldplatzierung und der Linienführung der Lagerfeldzugänge. Wesentlichen Effekt auf die Kosten haben die gegenüber der Variante Kombilager in Zürich Nordost grössere Tiefe des Tiefenlagers in Nördlich Lägern (Mehrkosten) sowie die externe Verpackung am Standort Zwiilag (Minderkosten).

Die Ergebnisse der nächsten Gesamtkostenermittlung in der KS26 werden den Behörden vor Abschluss ihrer fachtechnischen Beurteilung der Rahmenbewilligungsgesuche (2027) vorliegen. Somit kann der Bundesrat seinen Entscheid zu den Rahmenbewilligungen (Mitte 2029) in Kenntnis des Entscheids des UVEK zur KS26 (Ende 2028) treffen.

9 Weitere Projektentwicklung

Die exemplarische Umsetzung bietet einen Startpunkt für die Auslegung der Gesamtanlage. Für die weitere Planung und Entwicklung der Gesamtanlage liegen mit dem Entsorgungsprogramm (Nagra 2021a) und dem Forschungs- und Entwicklungsplan (RD&D-Plan, Nagra 2021b) übergeordnete Strategien vor, die periodisch – das nächste Mal 2026 – fortgeschrieben werden.

Die Gesamtanlage des gTL wird gemäss dem Bewilligungsverfahren nach der Kernenergiegesetzgebung und basierend auf den Festlegungen im RBG nach Stand der Erfahrung und Wissenschaft und Technik entwickelt.

In der Untertaganlage werden Anpassungen bei Anzahl und Ort der Schächte, bei den Pilotlagern, den Testbereichen, den Versiegelungen auf Lagerebene, aber auch bei den HAA-Endlagerbehältern, den Lagerstollen und -kavernen erwartet. Insgesamt wird ein möglichst kompaktes Lagerprojekt angestrebt, wodurch das Ausbruchvolumen und so auch Auswirkungen auf die Umwelt reduziert werden.

Die Bauwerke und Anlagen der Oberflächenanlage werden im Anlagenperimeter sicherheitsgerichtet entwickelt und angeordnet. Dafür sind Untersuchungen der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse (HydOFA) und Schachterkundungsbohrungen vorgesehen.

Im Eingliederungssaum können auf der Dorfbachtalseite in Abstimmung mit der Region Massnahmen für die landschaftliche Eingliederung und Abschirmung der Oberflächenanlage zur Reduktion der möglichen Auswirkungen wie Lärm oder Einsehbarkeit konkretisiert werden.

10 Literaturverzeichnis

- ADR (1957): Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) vom 30. September 1957, Stand am 1. Januar 2023. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 0.741.621, Schweiz.
- ArG (1964): Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz) vom 13. März 1964, Stand am 1. September 2023. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.11, Schweiz.
- ArGV 3 (1993): Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (Gesundheitsschutz) vom 18. August 1993, Stand am 1. Oktober 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.113, Schweiz.
- ArGV 4 (1993): Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz vom 18. August 1993, Stand am 01. Mai 2015. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 822.114, Schweiz.
- BauAV (2021): Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung) vom 18. Juni 2021, Stand am 1. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.311.141, Schweiz.
- BFE (2008): Sachplan Geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.
- DAUB & ITA-AITES (2018): Empfehlungen für den Einsatz von Fluchtkammern auf Untertagbaustellen. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), German Tunnelling Committee (ITA-AITES), Köln.
- Eisenlohr, T. & Müller, P. (2016): Standortareal NL-6-SMA-HAA-Kombi - Geologisch-geotechnischer Bericht: Baugrundbeschreibung und geotechnische Beschreibung der oberflächennahen Abschnitte der Zugangsbauwerke (Rampe, Schächte). Nagra Arbeitsbericht NAB 16-65.
- ENSI (2018): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2021): Anlageninterner Strahlenschutz ENSI-G12. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2023a): Geologische Tiefenlager. Ausgabe Dezember 2020 (Änderung vom 1. November 2023). Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2023b): Organisation von Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G07/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991, Stand am 1. Januar 2023. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.20, Schweiz.

- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- Nagra (1985): Projekt Gewähr 1985: Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle: Sicherheitsbericht. Nagra Gewähr Bericht NGB 85-08.
- Nagra (2002): Projekt Opalinuston: Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers: Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. Nagra Technischer Bericht NTB 02-02.
- Nagra (2013): Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers. 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): Textband: Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT-Etappe 2: Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Technischer Bericht NTB 14-01.
- 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. Teil 2: Standortspezifische Vorschläge. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 1 und Teil 2.
- Nagra (2021a): Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 21-01.
- Nagra (2021b): The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland. Nagra Technical Report NTB 21-02.
- Nagra (2021c): Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12.
- Nagra (2022a): Beherrschung möglicher karstbedingter Wasserzutritte während des Baus und Betriebs eines geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-41.
- Nagra (2022b): Betriebskonzept für die geologische Tiefenlagerung. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-06.
- Nagra (2022c): Lüftungs- und Kühlungskonzept geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-31.
- Nagra (2022d): Module der Lagerarchitektur. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35.
- Nagra (2022e): Rückholungskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-13.

- Nagra (2022f): Schutz von Grund- und Oberflächenwasser im Fall einer BEVA bei der Zwiilag. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-33.
- Nagra (2022g): Vorläufige Planungsstudie zur Oberflächeninfrastruktur für das geologische Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-05.
- Nagra (2023a): Bautechnisches Dossier. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 1-9.
- Nagra (2023b): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM-RBG. Nagra Technischer Bericht NTB 22-05.
- Nagra (2023c): Schachtförderanlagen für geologische Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-23.
- Nagra (2024a): Einwirkungen auf den Standort der Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers bei Störfällen in der Nachbarschaft. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-32.
- Nagra (2024b): Generische Sicherheitsbetrachtungen der Einwirkungen von innen für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-02.
- Nagra (2024c): Geological Properties of the Jura Ost, Nördlich Lägern and Zürich Nordost Siting Regions for Safety Assessment. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-10.
- Nagra (2024d): Geosynthesis of Northern Switzerland. Nagra Technischer Bericht NTB 24-17.
- Nagra (2024e): Konzeptbericht Überwachung Umwelt und geologisches Umfeld (ÜUG) (standortspezifisch). Nagra Arbeitsbericht NAB 24-04.
- Nagra (2024f): Post-Closure Safety Report. Nagra Technical Report NTB 24-10.
- Nagra (2024g): Safety and Repository Concept and Provisional Design. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-18 Rev. 1.
- Nagra (2024h): Transportkonzept für radioaktive Abfälle zum geologischen Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-34.
- Nagra (2025a): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Begründung der Standortwahl. Nagra Technischer Bericht NTB 24-03.
- Nagra (2025b): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung. Nagra Technischer Bericht NTB 24-06.
- Nagra (2025c): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Integrales Überwachungskonzept. Nagra Technischer Bericht NTB 24-07.
- Nagra (2025d): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-01.
- Nagra (2025e): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-04.

- Nagra (2025f): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe mit Pflichtenheft für die 2. Stufe. Nagra Technischer Bericht NTB 24-05.
- Nagra (2025g): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologisches Tiefenlager – Konzept für die Stilllegung der Oberflächenanlage. Nagra Technischer Bericht NTB 24-09.
- Nagra (2025h): Rahmenbewilligungsgesuch für eine Brennelementverpackungsanlage – Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-02.
- Nagra (2025i): Rahmenbewilligungsgesuch für eine Brennelementverpackungsanlage – Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe mit Pflichtenheft für die 2. Stufe. Nagra Technischer Bericht NTB 24-14.
- SDR (2002): Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002, Stand am 1. Januar 2023. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 741.621, Schweiz.
- SIA (2022): Entwässerung von Baustellen. SIA 431, SN 509 431. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- StSG (1991): Strahlenschutzgesetz (StSG) vom 22. März 1991, Stand am 1. Juli 2023. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.50, Schweiz.
- StSV (2017): Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017, Stand am 1. Januar 2017. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.
- Suva (2021): Grenzwerte am Arbeitsplatz. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern.
- swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 (KS21). Ermittlung der Entsorgungskosten - Geologische Tiefenlagerung, Olten.
- UraM (2017): Verordnung des EDI über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM) vom 26. April 2017, Stand am 30. Januar 2018. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.554, Schweiz.
- USG (1983): Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG) vom 7. Oktober 1983, Stand am 1. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.01, Schweiz.
- UVEK (2009): Verordnung des UVEK vom 17. Juni 2009 über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen. Amtliche Sammlung des Bundesrechts 2009 3551 SYS: SR 732.112.2, Schweiz.
- UVG (1981): Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981, Stand am 1. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.20, Schweiz.
- VUV (1983): Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983, Stand am 1. Mai 2018. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 832.30, Schweiz.

Anhang A Geologie – Wirtgestein Opalinuston

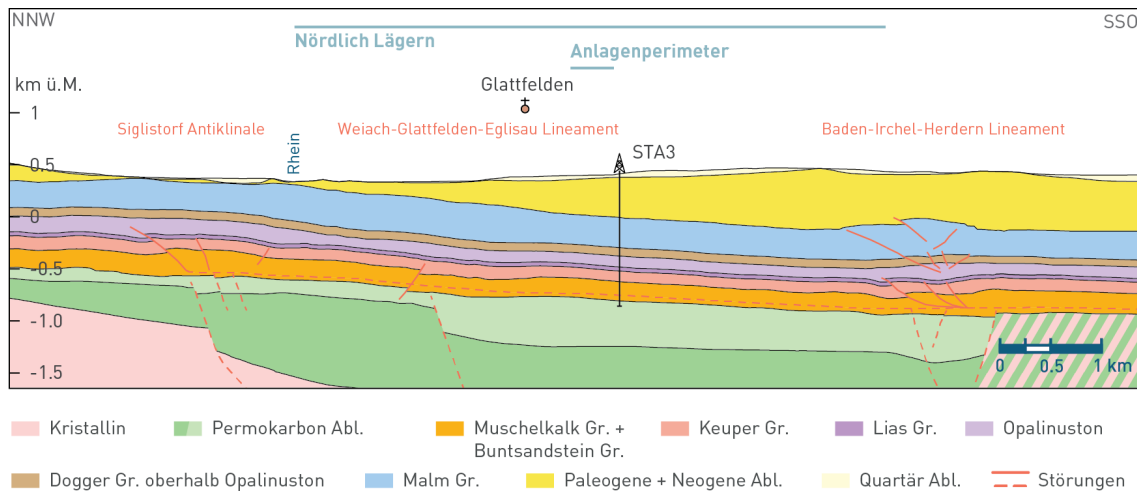


Fig. A-1: Geologisches Profil durch das Untersuchungsgebiet Nördlich Lägern

Nagra (2024d, modifiziert)

STA3: Tiefbohrung Stadel-3-1; Anlagenperimeter markiert die Ausdehnung der OFA; Lagerfelder sind im äusserst gering durchlässigen Opalinuston geplant. Gr.: Gruppe, Abl.: Ablagerungen.

Die Lagerfelder sind im tonreichen, äusserst gering durchlässigen Opalinuston geplant. Der Opalinuston setzt sich hauptsächlich aus einer Serie feingeschichteter, zum Teil siltiger und feinsandiger sowie sandig/siltiger und kalkiger Tonsteine zusammen. Er zeichnet sich durch seine räumlich wenig verändernden hydraulischen und geomechanischen Eigenschaften aus.

Das mechanische Verhalten des Opalinustons ist charakterisiert durch eine Steifigkeits- und Festigkeitsanisotropie. Aufgrund der im Vergleich zum Überlagerungsdruck geringen Festigkeit ist auf Lagerebene mit druckhaftem Gebirge zu rechnen. Die Entwicklung der Verformungen bzw. des echten Gebirgsdrucks ist aufgrund der geringen hydraulischen Durchlässigkeit des Opalinustons zeitabhängig. Der Opalinuston weist ein hohes Quellpotenzial auf.

Als Basis für die Planung der Erstellung der UTA dienen die folgenden standortspezifischen Ergebnisse der geologischen Untersuchungen in Nagra (2023a), Band 3.

- Die Lage der Mittelebene des Opalinustons liegt im Bereich der Zugangsbauwerke auf rund 800 m unter Terrain (Fig. A-2).
- Die Mächtigkeit des Opalinustons beträgt im Bereich der geplanten Zugangsschächte rund 110 m.
- Die Schichtneigung beträgt rund 5° gegen Südosten.
- Im Bereich der Zugangsbauwerke und den Bauwerken auf Lagerebene wurden auf dem seismischen Abbild keine kartierbaren Störungszonen identifiziert.
- Die Temperatur auf Mittelebene des Opalinustons liegt bei rund 40 °C.
- Die dominante Richtung der maximalen, horizontalen Spannungsmagnitude ist 166°N ± 10.8°

Zur Erschliessung der Lagerebene (Nagra 2016) wird eine Abfolge von unterschiedlichen Sedimentgesteinen durchörtert, die in den TBO charakterisiert wurden (Nagra 2024c). Sie sind im Rahmen der ingenieurgeologischen Betrachtung in Bereiche mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zusammengefasst worden, den sogenannten ingenieurgeologischen Homogenbereichen (Nagra 2023a, Band 3), wobei der Homogenbereich 5 (HB 5) dem Opalinuston entspricht. Die Zuordnung des lithologischen Kurzbeschriebs zu den einzelnen Homogenbereichen ist in Tab. A-1 zu finden. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Angaben zu den einzelnen Homogenbereichen ist in Nagra (2023a) in Band 3, Kapitel 9 dokumentiert. Fig. A-2 zeigt eine Übersicht der lithologischen Profile an den Schachtstandorten.

Tab. A-1: Zuordnung der lithologischen Beschreibung zu den einzelnen Homogenbereichen

HB 1	HB 2	HB 3	HB 4	HB 5
Molasse (OMM, USM)	«Felsenkalke» und «Massenkalk»	Schwarzbach- und Villigen-Formation	Wildegg-Formation und Dogger Gruppe oberhalb Opalinuston	Opalinuston

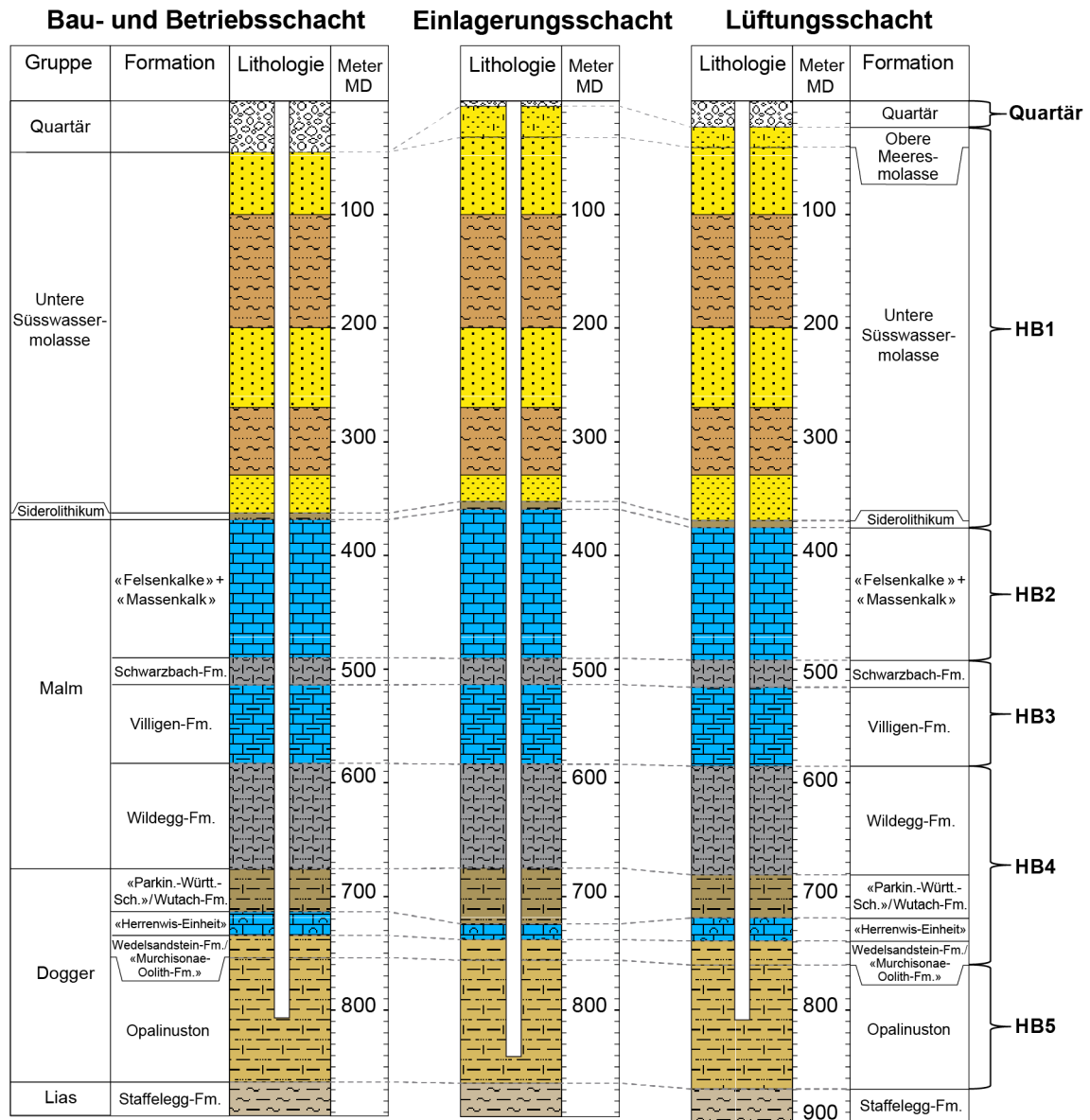


Fig. A-2: Lithologische Prognoseprofile an den Schachtstandorten mit den ingenieurgeologischen Homogenbereichen

Nagra (2023a), Band 3

Anhang B Normative Vorgaben

Im Folgenden werden ausgewählte relevante Stellen genannt und grob eingeordnet, zu welchen Themen diese Stellen normative Vorgaben zur Verfügung stellen.

B.1 Gesetze und Verordnungen des Bundes

Der Bund erlässt Gesetze, in denen er rechtsetzende Bestimmungen, d. h. in verbindlicher und generell-abstrakter Weise Pflichten, Rechte und Zuständigkeiten festlegt. In Verordnungen konkretisiert er die Gesetze.

Die geologische Tiefenlagerung wird im Wesentlichen vom Landesrecht zu Energie / Kernenergie, zu Verkehr, zu Gesundheit / Schutz des ökologischen Gleichgewichts, zu Arbeit und zu Sozialversicherung reguliert.

B.2 Ausgewählte Bundesstellen, die Richtlinien und Wegleitungen herausgeben

Richtlinien von Bundesstellen konkretisieren die Gesetzesvorschriften und erläutern somit Gesetze und Verordnungen; sie schaffen kein (neues) Recht.

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)

Das ENSI konkretisiert mit Hilfe von Richtlinien die Vorgaben aus der Kernenergiegesetzgebung und entwickelt sie nach dem Stand von Wissenschaft und Technik weiter. In den Richtlinien werden die Anforderungen für die geologische Tiefenlagerung festgelegt.

Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS)

Die EKAS veröffentlicht Richtlinien, die Vorgaben aus der Unfallversicherungs- und Unfallverhütungsgesetzgebung konkretisieren.

Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO)

Das SECO veröffentlicht Wegleitungen zur Arbeitsgesetzgebung.

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU konkretisiert in Richtlinien und Vollzugshilfen die Vorgaben der Umwelt- und Gewässerschutzgesetzgebung.

B.3 Ausgewählte Dritte mit Normen, Richtlinien und Empfehlungen

Internationale Atomenergie Organisation (IAEO)

Die IAEO entwickelt und veröffentlicht Sicherheitsstandards für Auslegung, Bau und Betrieb von Kernanlagen im Allgemeinen und geologischen Tiefenlagern im Speziellen. Diese Standards fliessen in der Regel in das ENSI-Regelwerk ein.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA)

Der SIA erarbeitet und pflegt das Normenwerk des SIA als massgebendes Regelwerk für das Planen und Bauen in der Schweiz. Normen stellen die Regeln der Baukunde dar und dokumentieren gesichertes Wissen. Zu den Publikationen des Normenwerks gehören Normen, Ordnungen, Merkblätter und ins Normenwerk übernommene europäische Normen (SN EN) sowie übernommene europäische technische Spezifikationen (SNR CEN/TS).

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA)

Die SUVA erarbeitet und veröffentlicht Richtlinien, Regeln und Bestimmungen u. a. für das sichere Arbeiten und das sicherheitsorientierte Vorgehen bei Auslegung, Bau und Betrieb von Untertagbauten.

Bundesamt für Strassen (Astra)

Das Astra hat als für Nationalstrassen und die dazugehörenden technischen Einrichtungen verantwortliches Bundesamt eigene Richtlinien entwickelt und veröffentlicht. Diese Richtlinien enthalten auch Vorgaben für Tunnel, insbesondere Tunnelsicherheit.

Bundesamt für Verkehr (BAV)

Das BAV hat als Sicherheitsaufsichtsbehörde für den Eisenbahnverkehr Richtlinien entwickelt und veröffentlicht. Diese Richtlinien enthalten auch Vorgaben für Tunnel, insbesondere Tunnelsicherheit.

Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen e. V (DAUB)

Der DAUB ist ein unabhängiges nationales Gremium für unterirdisches Bauen. Er ist paritätisch besetzt aus Behörden und öffentlichen Bauherren, Wissenschaft und Planung sowie aus der Bauwirtschaft. Er veröffentlicht Empfehlungen zu verschiedenen Themen des Untertagbaus, die im D-A-CH-Raum und darüber hinaus angewandt werden.

Die Aufzählung ist nicht abschliessend.

Anhang C Planung und Genehmigung

Die Anforderung des KEG (KEG 2003) nach Erfahrung und Stand von Wissenschaft und Technik vorzugehen, bezieht sich nicht nur auf die Gesamtanlage und den Betrieb, sondern auch auf die Planung selbst und die angewendete Planungsmethodik.

Die Gesamtanlage wird integral geplant im Planungsmodell nach KEG (KEG 2003) / KEV (KEV 2004) bzw. SIA. Die verschiedenen Modelle müssen parallel verwendet werden, da einerseits das Genehmigungsverfahren klar den Vorgaben von KEG / KEV folgen muss, andererseits die involvierten Planungsbüros, Baufirmen und Anlagenbauer mit dem SIA-Modell vertrauter sind als mit KEG / KEV und das SIA-Modell auch die Verantwortlichkeiten und Beziehungen zwischen Bauherr, Planer und Bauunternehmen / Anlagenbauer umfasst.

Die Planung des gTL nutzt derzeit u.a. folgende integralen Planungstools

- Dateiablage (Datenmanagement)
- Anforderungsmanagement (Requirements / Configuration Management)
- Anlagenkennzeichnungssystem (aufbauend auf RDS-PP)
- Building Information Modelling (BIM)

Die Nagra verfügt über ein firmenweit etabliertes ISO-9001:2015 zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem (QMS) (Nagra 2025d).

Unabhängig von Umfang und Anzahl weiterer Genehmigungsschritte gilt allgemein, dass nach erteilter Rahmenbewilligung:

- für die Errichtung von Bauwerken ein Baugesuch mit UVB 2. Stufe und Baubewilligung
- für die Inbetriebnahme ein Betriebsbewilligungsgesuch mit Betriebsbewilligung

notwendig sind.

Anhang D Weitere Angaben zur Oberflächenanlage

D.1 Sicherheit im westlichen Teil des Anlagenperimeters

Aus der Topografie, Breite und Lage des Haberstal ergeben sich Anforderungen, für den Fall, dass dort zukünftig ein Zugang nach untertag errichtet werden soll, wie es in der exemplarischen Umsetzung vorgesehen ist.

Die geringe Breite des Haberstal schränkt die Möglichkeiten zur Bebauung erheblich ein, da auf beiden Seiten der im Kanton Zürich gesetzlich vorgeschriebene Waldabstand von 30 Metern eingehalten werden müsste. In der exemplarischen Umsetzung ist daher vorgesehen, den Waldabstand zu unterschreiten und die Sicherheitsfunktion des Waldabstands, nämlich das Verhindern der Gefährdung von Bauten und Anlagen durch Waldbrand oder Windwurf (Nagra 2024a), im Eingliederungssaum durch eine 30 m breite Niederhaltungszone (Fig. 6-3) herzustellen.

Für die Bebauung und Nutzung sind weiter sicherzustellen, dass der Zugang nach untertag und das Areal flexibel nutzbar und den Haberstalgraben (Fig. D-1) betreffend überflutungssicher sind. Der Haberstalgraben fliesst heute als kleines offenes Gerinne im Wald und wird eingedolt über den Anlagenperimeter dem Dorfbach zugeführt. Für die Sicherheit des Anlagenperimeters wird der Haberstalgraben in der exemplarischen Umsetzung ausserhalb des Sicherungsperimeters auf dem Anlagenperimeter gefasst (Fig. 6-3) und in einem dafür dimensionierten Rohr kontrolliert um den Anlagenperimeter (bspw. entlang des Waldwegs) zum "Dorfbach" geleitet.

Die Umsetzung dieser oder alternativer Massnahmen mit derselben Wirkung ermöglicht die vorteilhafte und sichere Anordnung eines Zugangs zum gTL im Haberstal. Die Tallage schirmt den Zugang bei Bedarf ab und entkoppelt Ein- und Auswirkungen von den Anlagen im Dorfbachtal.

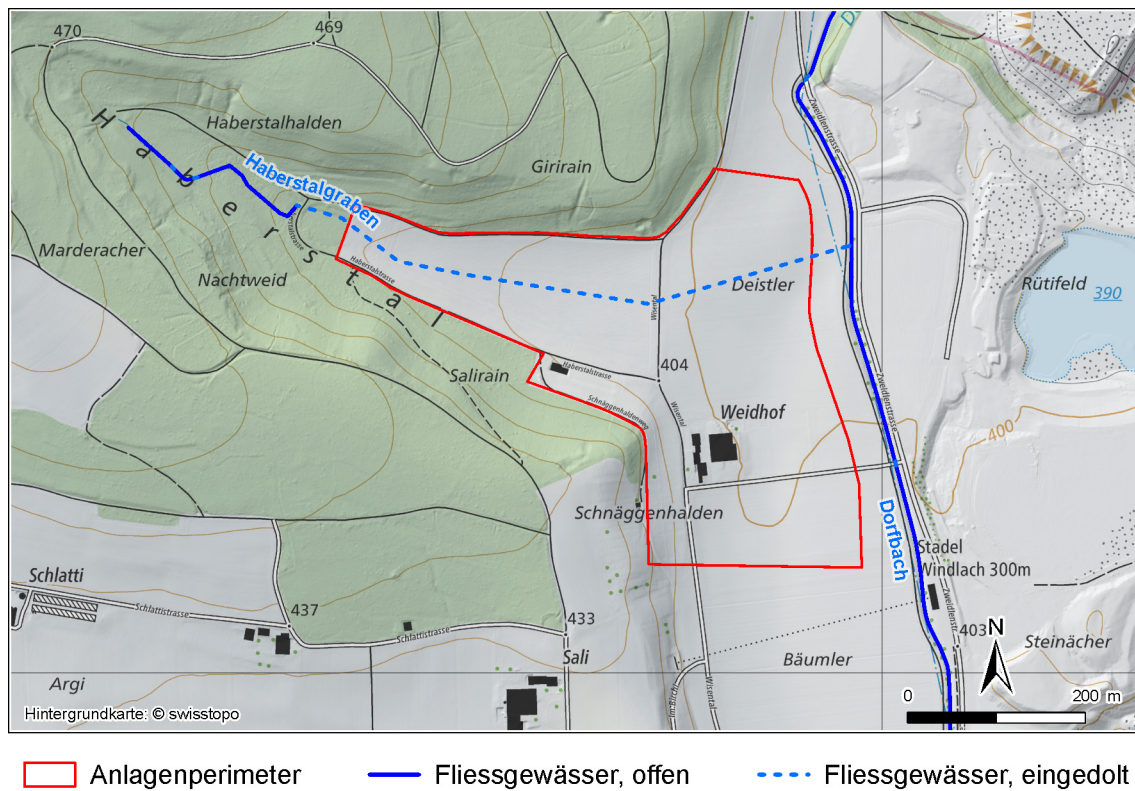


Fig. D-1: Heutiger Verlauf des Haberstalgraben im Anlagenperimeter

Für den unwahrscheinlichen Fall eines Wassereintruchs ist die UTA, wie in Nagra (2022a) beschrieben, konzipiert.

D.2 Verkehrserschliessung des Projektperimeters

Der Projektperimeter liegt in einer verkehrstechnisch gut erschlossenen Umgebung (Fig. 2-5). Die kantonale Autobahn A50 verläuft etwa 1.5 km nördlich in Ost-West-Richtung (Fig. D-2). Der Projektperimeter ist über die Kantonsstrasse K348 (Kiesstrasse), die Querstrasse und die Zweidlenstrasse mit der A50 verbunden. Die bestehende, wenig befahrene Zweidlenstrasse dient als Hauptzugang, erfordert jedoch einen Ausbau für den Materialtransport. Eine eingleisige Bahnstrecke entlang des Rheins bietet die Möglichkeit, Material per Bahn zu transportieren, je nach zukünftiger Materialbewirtschaftung.

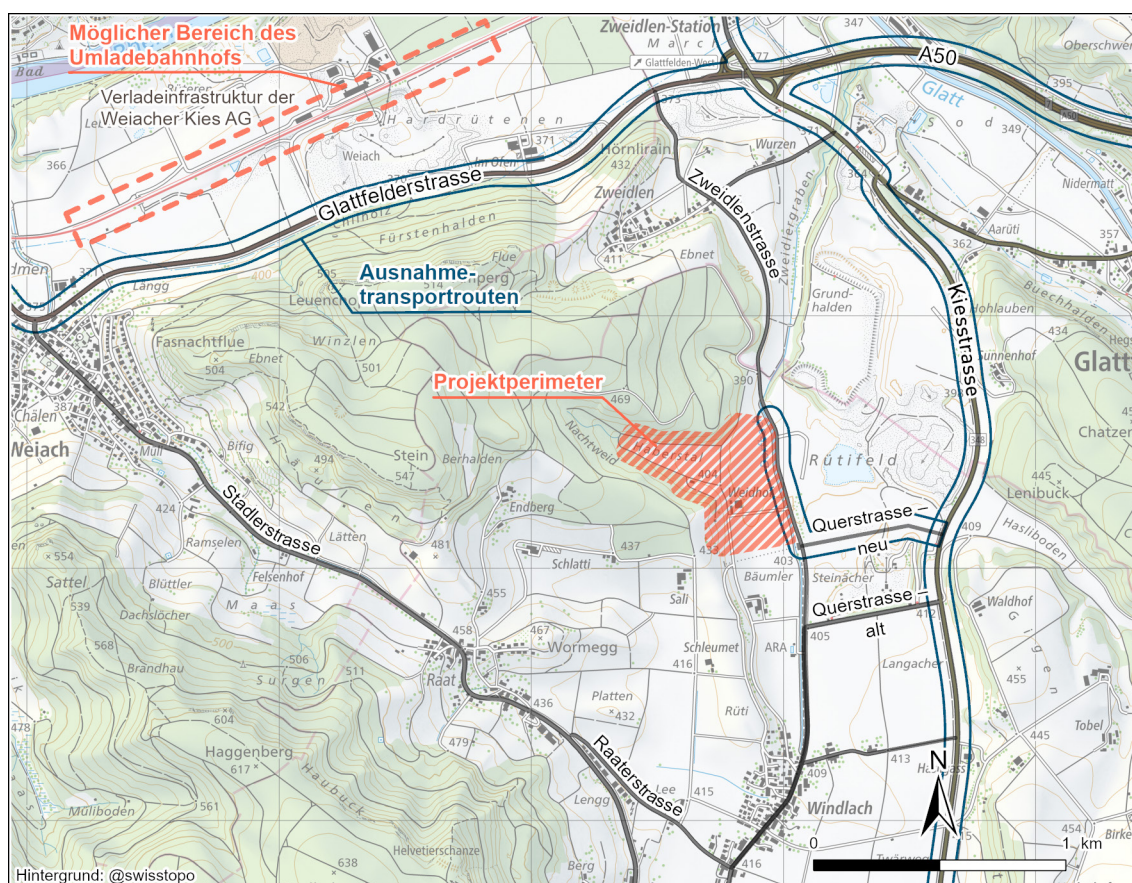


Fig. D-2: Verkehrstechnische Erschließung des Projektperimeters

Gezeigt sind der Ist-Zustand sowie die ohnehin und für das gTL vorgesehenen Ausbauten der Strassen; die Querstrasse wird aufgrund der Bedürfnisse der Kiesindustrie verlegt. Im Norden ist der mögliche Bereich des Umladebahnhofs gezeigt.

Anhang E Kennzahlen der exemplarischen Umsetzung

E.1 Hauptmaterialmengen

Für die exemplarische Umsetzung der UTA wurden Kennzahlen der Hauptmaterialmengen ermittelt. Diese sind gegenüber vorherigen Angaben in Nagra (2023a) aktualisiert. Tab. E-1 und Tab. E-2 fassen diese zusammen.

Tab. E-1: Mengen der Hauptmaterialien, gerundet

Ausbruch	Ort- und Spritzbeton	Stahl	Verfüllung / Versiegelung
[m ³ fest]	[m ³]	[t]	[m ³ fest]
1'900'000	900'000	90'000	900'000

Das Ausbruchvolumen setzt sich aus der Kubatur des Ausbruchmaterials auf Lagerebene im Opalinuston und der Zugänge oberhalb des Opalinustons zusammen.

Die Betonmenge enthält Gewölbe- und Sohlbeton und die Tübbinge und Ringspaltverfüllung der Lagerstollen.

Die phasenbezogenen Hauptmaterialmengen sind in Tab. E-2 dargestellt.

Tab. E-2: Phasenbezogene Hauptmaterialmengen, gerundet

Die Phasenbezeichnungen und -nummern folgen Fig. 2-1.

Phase	Ausbruch	Ort- und Spritzbeton	Stahl	Verfüllung / Versiegelung
	[m ³ fest]	[m ³]	[t]	[m ³ fest]
Bau (1) Zentraler Bereich und Testbereiche	300'000	100'000	20'000	-
Bau (3) Lager SMA	800'000	400'000	35'000	-
Bau (5) Lager HAA ²⁵	800'000	400'000	35'000	-
Einlagerungsbegleitend (4) & (6)	-	-	-	220'000
Verschluss Hauptlager (8)	-	-	-	400'000
Verschluss Gesamtlager (9)	-	-	-	280'000

E.2 Einlagerung

In Nagra (2022b) sind Einlagerungsfrequenzen für HAA- und SMA-ELB angegeben, die auf die jeweils 15-jährige Einlagerungsdauer gemäss Realisierungsplan (Fig. 2-1) abgestimmt sind. Vorgesehen ist die jährliche Einlagerung von 200 HAA-ELB und 800 SMA-ELB. Die exemplarische Umsetzung setzt diese Frequenzen um.

²⁵ Enthält Mengen, die baubedingt erst während des Einlagerungsbetriebs (6) Lager HAA anfallen.

Anhang F Grundwasserschutz der Oberflächenanlage

F.1 Kontext

Im technischen Bericht "Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers" (Nagra 2013) wird gezeigt, wie die Sicherheit und der Schutz des Grundwassers beim Bau einer OFA inklusive Verpackungsanlage (BEVA) standort- und lagertypunabhängig sichergestellt werden können. Der Bericht untersucht eine Bandbreite von typischen Situationen (Bauwerk innerhalb oder ausserhalb des Gewässerschutzbereichs A_u und des nutzbaren Grundwassers, gegründet ober- oder unterhalb des Grundwasserspiegels) generisch und schematisch für Lockergestein und Fels während der Bau- und Betriebsphase und beurteilt die potenzielle Gefährdung. Es wird aufgezeigt, dass der Grundwasserschutz bei geeigneter Auslegung der Anlage und Organisation der Betriebsabläufe gewährleistet werden kann und somit eine OFA auch im Gewässerschutzbereich A_u keine besondere Gefährdung für das Grundwasser darstellt.

Dieser Feststellung hat sich das Bundesamt für Energie (BFE) im Bundesargumentarium "Gewässerschutz und nukleare Sicherheit bei Oberflächeninfrastrukturen für geologische Tiefenlager" vom 30.10.2019 angeschlossen. Darin haben die Bundesbehörden festgehalten, dass eine OFA keine besondere Gefahr im Sinne des Gewässerschutzrechts darstellt.

Inzwischen wurde der Standort der BEVA am Standort Zwiilag in der Gemeinde Würenlingen im Kanton Aargau vorgeschlagen. Für den Schutz von Grund- und Oberflächenwasser der BEVA am Standort Zwiilag ist in Nagra (2022f) ein Konzept entwickelt worden.

Der Entscheid, die BEVA nicht am Standort Haberstal zu betreiben, hat zur Folge, dass an der OFA nur in Endlagerbehältern verpackte Abfälle gehandhabt werden (Kap. 2.5). Mit den Konzepten für die Ausgestaltung der Endlagerbehälter (ELB) kann die Gefährdung einer radioaktiven Verschmutzung des Grundwassers im Normalbetrieb ausgeschlossen werden (Kap. 2.5).

Im Folgenden hat die Nagra ein beispielhaftes Grundwasserschutzkonzept entwickelt, um der Schutzforderung des Kantons Zürich weiterhin gerecht zu werden. Nachfolgend wird auf mögliche sichere technische Lösungen für den Grundwasserschutz bei der OFA eingegangen.

F.2 Massnahmen Grundwasserschutz

Der Projektperimeter erstreckt sich von ca. 390 bis 425 m ü.M. und liegt somit deutlich höher als der Grundwasserspiegel im Dorfbachtal (Fig. 2-6). Die Bodenplatten der Gebäude der OFA werden somit voraussichtlich über dem Grundwasser-Hochwasser-Pegel zu liegen kommen. Einzig die nach heutiger Planung drei Schachtbauwerke (Kap. 3.4.1) werden das Grundwasser durchstossen. Für diese Situation sind sowohl für den Bau als auch für den Betrieb wirksame Massnahmen zum Grundwasserschutz vorhanden, wie folgend exemplarisch ausgeführt.

F.2.1 Bau

Während der Erstellung der Bauwerke der OFA beschränken sich die Gefährdungen auf die von den auf der Baustelle gelagerten und verwendeten wassergefährdenden Stoffen (bspw. Treibstoff, Öl, Bauchemikalien) ausgehenden Gefährdungen. In dieser Phase werden übliche baustellen-spezifische Schutzmassnahmen gemäss den aktuellen Normen und Verordnungen ergriffen. Hierbei werden die Schutzmassnahmen der SIA 431 "Entwässerung von Baustellen" (SIA 2022) bzw. der zum Ausführungszeitpunkt geltenden Norm umgesetzt. Dazu gehören z. B. bauliche Massnahmen wie das Einrichten von Umschlags-, Installations- und Lagerplätzen im Freien mit dichtem Belag und Auffangbecken mit Behandlung und Ableitung des Abwassers.

F.2.2 Betrieb

Die im Untergrund liegenden Teile der Bauwerke sollen bei Bedarf nach Erfahrung und Stand von Wissenschaft und Technik wasserdicht ausgebildet werden. Hierbei ist eine Abdichtung direkt am Bauwerk vorteilhaft, da bauwerksferne Abdichtungen im Ereignisfall zu einer Beeinträchtigung des Grundwasserleiters zwischen Bauwerk und bauwerksferner Abdichtung führen können. Zudem bietet die Abdichtung am Bauwerk den Vorteil, dass die Rückhaltung von austretenden Stoffen im Bauwerk selbst erfolgt und diese nicht in die Umgebung des Bauwerks gelangen.

Für die nicht für den nuklearen Betrieb genutzten Gebäude sind je nach Bedarf an der Bodenplatte und den Kellerwänden entsprechende Abdichtungsmaterialien (z. B. Bitumen, Polymerbitumenbahnen, kalt selbstklebende Bitumendichtungsbahnen) mit langzeitbeständigen Schutzschichten, die vor mechanischer Beschädigung schützen, und wasserunlösliche Beschichtungen (z. B. Bitumendeckbeschichtungen, Bitumenvoranstrich) anzubringen (sog. System "schwarze Wanne") sowie zusätzliche Drainagesysteme zur Ableitung des Wassers einzubauen. Alternativ kann wasserundurchlässiger Beton in den Untergeschossen angewendet werden (System "weisse Wanne").

Eine Kombination einer wasserundurchlässigen Betonwanne mit Abdichtungslagen wird nach Bedarf für die für den nuklearen Betrieb genutzten OFA-Gebäude gegen das Eindringen von Wasser vorgesehen. Dafür werden die Untergeschosse als armiertes, wasserundurchlässiges Betonkonstrukt mit einer ausreichenden Wand-/Bodenstärke ausgebildet. Durch die zusätzliche Abdichtung mit einer Frischbetonverbundfolie bis über die Terrainkante, welche auf der Bauwerksaussen Seite dicht mit dem Beton verbunden wird, ergibt sich das System der sogenannten "gelben Wanne".

Die Innenräume der für den nuklearen Betrieb genutzten Gebäude werden bedarfsgerecht gegen das Ausdringen von Stoffen durch die Betonwände mit speziellen Mehrfachbeschichtungen versiegelt. Diese Mehrfachbeschichtungen lassen sich einfach reinigen und sind beständig gegen chemische und mechanische Einflüsse. Innerhalb der Betonwanne gegebenenfalls austretende Flüssigkeiten werden somit immer aufgefangen und der fachgerechten Behandlung und Entsorgung zugeführt.

Alle Schachtbauwerke werden nach heutigem Stand mit einer Stahlpanzerung wasserundurchlässig ausgeführt (Kap. 3.4.1).

Niederschlagsentwässerungen von Dächern werden versickert oder in die Geländeentwässerung der OFA abgeleitet und mit Notüberläufen ausgestattet. Aussenflächen, auf welchen wassergefährdende Stoffe umgeschlagen oder gehandhabt werden, werden befestigt und bei Bedarf getrennt entwässert.

Die Geländeentwässerung der OFA wird so ausgelegt, dass Starkregenereignisse bedarfsgerecht nicht zu einer Überflutung des Geländes führen. Das Eindringen von Wasser in die Gebäude wird durch die entsprechende wasserdichte Auslegung der Gebäudeöffnungen (Tore, Türen, Fenster, Leitungsdurchführungen etc.) sowie ausreichende Höhe der Oberkanten aller Lichtschächte zuverlässig verhindert.

Bei Bedarf werden in den Ableitungssystemen zusätzlich Vorbehandlungsanlagen (z. B. Ölabscheider, Spaltanlage) oder Löschwasserrückhaltanlagen (z. B. Rückhaltebecken, Auffangwannen, Notfallschieber) eingesetzt.

F.3 Fazit

Die Bauwerke der OFA stellen hinsichtlich Gewässerschutzmassnahmen im Vergleich zu Industrieanlagen gemäss eingangs genanntem Bundesargumentarium keine ausserordentlichen Bauten dar. Mit den vorgestellten Massnahmen kann der Grundwasserschutz gewährleistet werden. Die in diesem Konzept dargelegten Massnahmen werden in den folgenden Projektphasen auf Notwendigkeit und Zweckmässigkeit überprüft, ausgearbeitet, behördlich abgestimmt und genehmigt.

Anhang G Entwicklung der Oberflächenanlage

G.1 Konkretisierung der Oberflächenanlage für das Rahmenbewilligungsgesuch

Im Partizipationsprozess nach Sachplan Geologische Tiefenlager (BFE 2008) wurde die Anlagenplanung für das im Ergebnisbericht Etappe 2 festgelegte Standortareal NL-6 seit 2019 konkretisiert. Dabei wurden Aspekte der Raumplanung und Umwelt berücksichtigt. In Etappe 3 diskutierte die Regionalkonferenz Nördlich Lägern basierend auf der vorläufigen Planungsstudie (Nagra 2022g) Anordnung und Auslegung einer OFA (Fig. G-1), insbesondere die Erschliessung, die temporären Installationsflächen, den Verladebahnhof und die Materialbewirtschaftung. Die Fachgruppe Oberflächeninfrastruktur und weitere Vertreter mit Orts- und Fachkenntnissen erarbeiteten Vorschläge zur Konkretisierung. Folgende Anliegen wurden in der Konkretisierung für das RBG berücksichtigt:

- Der Projektperimeter beinhaltet temporäre Installationsflächen (Fig. 3-4).
- Die Erschliessung des Projektperimeters wurde angepasst (Fig. D-2).
- Die Möglichkeit der Nutzung des Bahnhofs Weiacher Kies AG wurde abgeklärt (Kap. D.2).
- Für eine bessere landschaftliche Eingliederung, Sicherheit und Sicherung wurde dem Anlagenperimeter der Eingliederungssaum beigelegt (Kap. 3.3.4).
- Untersuchungen der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sind vorgesehen (Nagra 2025f).

Mit der Konkretisierung wurde der Projektperimeter abgegrenzt (vgl. Fig. 2-5). Die Abgrenzung erfolgt so, dass die Eingriffe in den Wald sowie in die Gewässer (Dorfbach) minimiert werden resp. es zu keiner Waldrodung kommt. Der Wildtierkorridor wird nur randlich tangiert.

Dennoch sind verschiedene Schutzinteressen der Raumplanung (Wald, Gewässerschutzbereich, Fruchtfolgeflächen, Landschaft) vom Projektperimeter betroffen. Für die verbleibenden Konflikte ist in Nagra (2025b) die Interessenabwägung dargelegt.



Fig. G-1: Schematischer Überblick über das OFA-Areal (aus Nagra 2022g)

Die Bezeichnungen der Funktionsbereiche haben sich seit 2022 weiterentwickelt, siehe Fig. 3-4 und Anhang H für die aktuellen Bezeichnungen.

G.2 Realisierungsphasen

Die Realisierungsphasen der exemplarischen Umsetzung der OFA sind in Fig. G-2 dargestellt. Für die Beschreibung der Tätigkeiten und deren Ablauf wird auf die Kapitel 3.2, 4 und 5 verwiesen. Dort wird auch der Zusammenhang zum Realisierungsplan (Fig. 2-1) hergestellt.

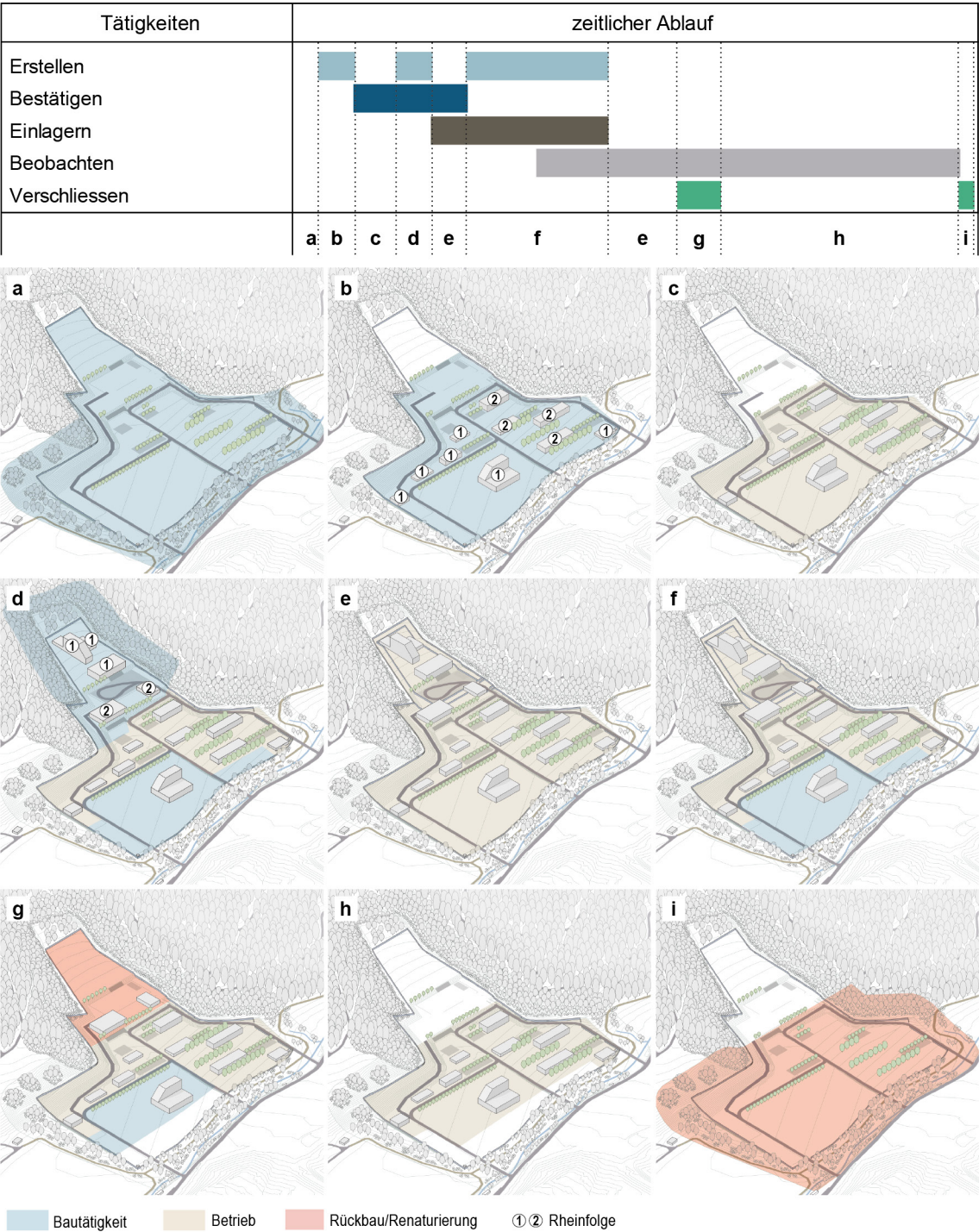


Fig. G-2: Realisierungsphasen der exemplarischen Umsetzung der OFA des geologischen Tiefenlagers

Anhang H Abweichungen vom ENSI-Glossar

Mit dem Standortvorschlag tritt das Vorhaben "geologische Tiefenlagerung" in eine neue Phase. Die in den beiden Rahmenbewilligungsgesuchen beantragte Konfiguration mit einem Kombilager mit einem einzigen Projektperimeter und der Verpackung der Abfälle an der Zwiilag erlaubt die Fortschreibung der Begrifflichkeiten im ENSI-Glossar. Die RBGs berücksichtigen diese Fortschreibung bereits.

Fachausdruck	Erläuterung
Oberflächenanlage	Die Oberflächenanlage umfasst die Gesamtheit der Anlagen (Bauwerke, Installationen und Geräte) an der Oberfläche (oder in Oberflächennähe) zur Annahme radioaktiver Abfälle, zur Vorbereitung der <u>Bereitstellung für die</u> Einlagerung (z. B. Verpackung) inklusive Anlieferung und Rückschub aller dazu erforderlichen Behälter und Materialien, zum Verlad für den Transport der Tiefenlagerbehälter, Verfüll- und Versiegelungsmaterialien sowie für alle erforderlichen Nebenprozesse (z. B. Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen). Die Oberflächenanlage befindet sich am oberen Ende des der Zugangsbauwerkes, über welches die Transporte radioaktiver Abfälle in das des geologischen Tiefenlagers.
Nebenzugangsanlage	Eine Nebenzugangsanlage umfasst jene Anlageteile (Bauwerke, Installationen und Geräte) an der Oberfläche und am oberen Ende eines Zugangsbauwerks (Schacht oder Tunnel) eines geologischen Tiefenlagers, über welche keine Transporte radioaktiver Abfälle erfolgen. Eine Nebenzugangsanlage stellt die Aufgaben und Funktionen des Nebenzugangs sicher und kann bei der Oberflächenanlage oder getrennt davon angeordnet sein.
Verpackungsanlage	Die Eine Verpackungsanlage ist <u>eine jener Teil der Oberflächenanlage</u> , in welchem der Umgang mit den <u>die</u> einzulagernden radioaktiven Abfällen <u>endlagerfähig verpackt werden erfolgt</u> , von der Annahme der Abfälle bis zur Verbringung in das Tiefenlager