

Arbeitsbericht NAB 22-31

**Lüftungs- und Kühlungskonzept
geologisches Tiefenlager**

September 2022

Arbeitsbericht NAB 22-31

Lüftungs- und Kühlungskonzept geologisches Tiefenlager

September 2022

Nagra

STICHWÖRTER

Geologisches Tiefenlager, Untertaganlagen, UTA, Lüftung,
Kühlung, Lüftungskonzept, Kühlungskonzept

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
Postfach
5430 Wettingen
Telefon 056 437 11 11
www.nagra.ch

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

Copyright © 2022 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	III
Figurenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Einordnung und Ziele dieses Berichts	1
1.2 Umfang und Abgrenzung dieses Berichts	1
1.3 Inhalt und Aufbau.....	2
2 Grundlagen.....	5
2.1 Normen und Gesetze.....	5
2.2 Anforderungen.....	5
2.2.1 Strahlenschutz.....	6
2.2.2 Nukleare Betriebssicherheit.....	7
2.2.3 Brand- und Explosionsschutz	7
2.2.4 Personensicherheit	8
2.2.5 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	8
2.3 Vorgaben und Randbedingungen	9
2.3.1 Lagerarchitektur.....	9
2.3.2 Realisierungsplan und Bau- und Betriebsphasen mit Relevanz für Lüftung und Kühlung eines gTL	12
2.3.3 Betriebskonzept	15
2.3.4 Weitere Randbedingungen.....	16
2.3.4.1 Gebirgstemperatur	16
2.3.4.2 Baubetrieb.....	16
2.3.4.3 Einlagerungsbetrieb	17
2.3.4.4 Weitere Wärmequellen	17
2.3.4.5 Brandquellen aus Baubetrieb	17
2.3.4.6 Brandquellen aus Einlagerungsbetrieb	18
2.3.5 Übergeordnetes Lüftungs- und Kühlungskonzept	18
2.3.6 Flucht- und Rettungskonzept.....	19
2.3.7 Brandschutzkonzept.....	20
3 Lüftungskonzept UTA.....	23
3.1 Aktivitäten mit Lüftungs- und Kühlungsbedarf.....	23
3.2 Übergeordnete Lüftungskonzepte im Regelbetrieb	24
3.3 Lokale Lüftungskonzepte im Regelbetrieb.....	27
3.3.1 Bewetterung konventioneller Vortriebe in der Bauphase	28
3.3.2 Bewetterung eines TBM-Vortriebs für den Bau eines HAA-Lagerstollens.....	30

3.3.3	Bewetterung der HAA-Lagerstollen während der Einlagerung.....	31
3.3.4	Bewetterung der SMA-Lagerkavernen während der Einlagerung.....	33
3.4	Lüftungskonzepte im Brand- bzw. Störfallbetrieb (Ereignisfall)	35
4	Kühlungskonzept UTA.....	37
4.1	Konzeptwahl auf Basis Trockenkühlung.....	37
4.2	Kühlungskonzept.....	37
4.3	Kühlbedarf.....	41
5	Anlagen übertag.....	43
5.1	Gebäude der Lüftung/Kühlung UTA auf den OFI.....	43
5.2	Abluftwege der UTA über die OFA	43
5.3	Zu- und Abluftwege der UTA über die NZA-L und NZA-B	45
5.3.1	Zuluftwege der UTA über NZA-L	45
5.3.2	Abluftwege der UTA über NZA-B.....	46
5.4	Das Wärme-/Kälteversorgungssystem des gTL	48
5.5	Abluftqualität.....	49
5.5.1	Abluftqualität im Regelbetrieb	49
5.5.2	Abluftqualität im Störfall- und Ereignisbetrieb	49
6	Fazit.....	51
7	Literaturverzeichnis	53
7.1	Nagra Arbeitsberichte und Technische Berichte	53
7.2	Verzeichnis der normativen Grundlagen	53
7.2.1	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien des Bundes.....	53
7.2.2	Ausländische Gesetze und Richtlinien	54
7.2.3	Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden.....	54
7.3	Weitere Quellen.....	55
Anlage A	Lüftungs- und Kühlungsschemata pro Phase	A-1
A.1	Lüftungsschemata UTA pro Phase	A-1
A.2	Kühlungskonzept UTA pro Phase	A-10
Anlage B	Umsetzung der Anforderungen und Randbedingungen	B-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Beispielhafte Systemskizze für den Stand der Realisierung des Kombilagers in den jeweiligen Realisierungsphasen nach EP21	14
Tab. 3-1:	Realisierungsphasen und Aktivitäten mit Relevanz für die Auslegung der Lüftungs- und Kühlungskonzepte	23

Figurenverzeichnis

Fig. 1-1:	Mögliche Anordnung der verschiedenen Anlagenelemente und Bauten für ein Kombilager.....	2
Fig. 2-1:	Systemskizze für die untertägigen Bauten und Anlagen eines Kombilagers.....	10
Fig. 2-2:	Realisierungsplan für das Kombilager.....	12
Fig. 2-3:	Saugendes Lüftungskonzept eines Kombilagers im Unterdruck mit zuschaltbarer Überdrucklüftung für die Interventions- und Fluchtwege über die Lüftungstunnel SMA und HAA. Dargestellt ist das Konzept im Einlagerungsbetrieb.....	19
Fig. 3-1:	Lüftungskonzept in der Phase Einlagerungsbetrieb HAA mit parallelem Einlagerungsbetrieb (im SMA- und HAA-Lagerteil) und gleichzeitigen Bau von HAA-Lagerstollen im HAA-Lagerteil	25
Fig. 3-2:	Lüftungs- und Kühlungskonzept von zwei parallel im Bau befindlichen Tunnelvortrieben (z.B. Lüftungstunnel HAA und Betriebstunnel HAA), welche vom zentralen Bereich aus gebaut werden	29
Fig. 3-3:	Lüftungs- und Kühlungskonzept eines TBM-Vortriebs für den Bau eines HAA-Lagerstollens.....	31
Fig. 3-4:	Lüftungs- und Kühlungskonzept für den Umladebereich vor dem HAA-Lagerstollen während der Einlagerung.....	32
Fig. 3-5:	Lüftungs- und Kühlungskonzept der Lagerkavernen SMA während der Einlagerung.....	34
Fig. 4-1:	Kühlungskonzept in der Einlagerungsphase HAA (12).....	38
Fig. 4-2:	Prinzipschema der Kühlung der UTA mit Anlagenkomponenten übertag und untertag	40
Fig. 5-1:	Entlüftung des Überwachungsbereiches der UTA über die OFA im Regelbetrieb und im Störfallbetrieb über zuschaltbare Filter.....	44
Fig. 5-2:	Frischluftzufuhr der UTA über NZA-L und Ableitung der Abluft aus der konventionellen Zone über NZA-B im Einlagerungsbetrieb.....	46
Fig. 5-3:	Wärme-/Kälteversorgungssystem des gTL als Gesamtsystem.....	48

Abkürzungsverzeichnis

ABL	Abluft
ArGV	Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung)
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AUL	Aussenluft
AZT	Abzweigertunnel
AZT-H	Abzweigertunnel HAA-Lagerstollen
AZT-S	Abzweigertunnel SMA-Lagerkaverne
BAT	Bautunnel
BauAV	Bauarbeitenverordnung
BS	Betriebsschacht
BET	Betriebstunnel
BET-H	Betriebstunnel HAA
BET-S	Betriebstunnel SMA
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Nennweite, Nenndurchmesser
ELB	Einlagerungsbehälter
EKAS	Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP21	Entsorgungsprogramm 2021
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag
FREI	Flucht, Rettung, Evakuierung, Intervention
FOL	Fortluft
gTL	Geologisches Tiefenlager
HAA	hochaktive Abfälle
HD/ND	Hochdruck/Niederdruck
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (Teil der KSA)
KSA	Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
JO	Jura Ost
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KZGW	Kurzzeitgrenzwert
LaK	Lagerkaverne

LaS	Lagerstollen
LS	Lüftungsschacht
LT	Lüftungstunnel
LT-H	Lüftungstunnel HAA
LT-S	Lüftungstunnel SMA
LW	Luftwechsel
MAK	maximale Arbeitsplatzkonzentration
NL	Nördlich Lägern
NZA	Nebenzugangsanlage
NZA-B	Nebenzugangsanlage Betrieb
NZA-L	Nebenzugangsanlage Lüftung
OFA	Oberflächenanlage
OFI	Oberflächeninfrastruktur
PN	Nenndruck, Druck in bar bei 20° Temperatur
QV	Querverbindung
r.F.	Relative Feuchtigkeit
SECO	Schweizerische Eidgenossenschaft Staatssekretariat für Wirtschaft
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	schwach- und mittelaktive Abfälle
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
StSV	Strahlenschutzverordnung
TBM	Tunnelbohrmaschine
ULB-H	Umladebereich Lagerstollen
ULB-S	Umladebereich Lagerkaverne
UML	Umluft
UTA	Untertaganlagen
VKF	Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen
VUV	Verordnung über die Unfallverhütung
WBG	Wet bulb globe temperature
ZB	Zentraler Bereich
ZNO	Zürich Nord-Ost
ZS	Zugangsschacht
ZUL	Zuluft

1 Einleitung

1.1 Einordnung und Ziele dieses Berichts

Das Kernenergiegesetz schreibt die Entsorgung aller radioaktiven Abfälle der Schweiz in geologischen Tiefenlagern vor (KEG 2003). Die Realisierung erfolgt in einem mehrstufigen Bewilligungsverfahren, beginnend mit der Rahmenbewilligung (Art. 12 KEG 2003). Mit ihr werden Standort, Zweck der Anlage und Grundzüge des Projekts festgelegt. Weitergehende Festlegungen erfolgen stufengerecht in späteren Bewilligungsschritten. Das Auswahlverfahren für die Bezeichnung von Lagerstandorten erfolgt vorgängig zum Rahmenbewilligungsverfahren gemäss dem vom Bundesrat verabschiedeten Sachplan geologische Tiefenlager SGT (BFE 2018). In der laufenden Etappe 3 hat die Nagra die drei Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost vertieft untersucht und bereitet ein Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für ein Kombilager in Nördlich Lägern mit den Oberflächenanlagen am Standort Haberstal vor. Die Verpackung der Abfälle in Endlagerbehälter soll am Standort Zwiilag erfolgen.

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

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

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

1.2 Umfang und Abgrenzung dieses Berichts

Der vorliegende Bericht stellt das für den Bau und Betrieb eines Kombilagers¹ vorgesehene Lüftungs- und Kühlungskonzept des geologischen Tiefenlagers (gTL) vor. Der Bericht zeigt auf konzeptioneller Ebene auf, wie die Bewetterung und Kühlung der Untertaganlagen (UTA) eines Kombilagers in den massgebenden Bau- und Betriebsphasen funktioniert. Störfälle werden im vorliegenden Bericht nicht systematisch analysiert. Dafür wird auf Nagra (2014) verwiesen. Er geht auch auf die dafür erforderlichen Anlagenkomponenten übertag zur Fassung der notwendigen Zuluft und zur Abgabe der Abluft sowie zur Deckung des untertag erforderlichen Wärme- und Kältebedarfs ein. Da sich der Bericht auf die Lüftung und Kühlung der Untertaganlage beschränkt, werden Aspekte der Lüftung/Kühlung der diversen Gebäude einer Oberflächenanlage (OFA) und einer Nebenzugangsanlage (NZA) nicht behandelt.

¹ Das Lüftungs- und Kühlungskonzept wird in diesem Bericht für ein Kombilager mit drei Zugängen in Form von Schächten beschrieben. Diese Lagerarchitektur trifft auf die Standorte Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) zu. Am Standort Jura Ost (JO) werden die drei Zugänge eines Kombilager aufgrund der Situation an der Oberfläche über einen Lüftungsschacht und einen Tunnel (Rampe) realisiert. Der Tunnel wird durch eine Trennwand in ein Zugangsabteil und ein Betriebsabteil unterteilt, so dass sich ebenfalls drei Zugänge ergeben. Generell lässt sich das Lüftungs- und Kühlungskonzept auch auf Einzellager anwenden (siehe Kap. 2.3.1) und ist damit für alle Standortregionen und alle Lagertypen anwendbar.

Das Lüftungs- und Kühlungskonzept wird in den weiteren Projektierungsphasen bis zu den jeweiligen Ausführungsprojekten weiterentwickelt und konkretisiert.

Eine mögliche Anordnung der untertägigen Anlageelemente und Bauten für ein Kombilager ist in Fig. 1-1 dargestellt.

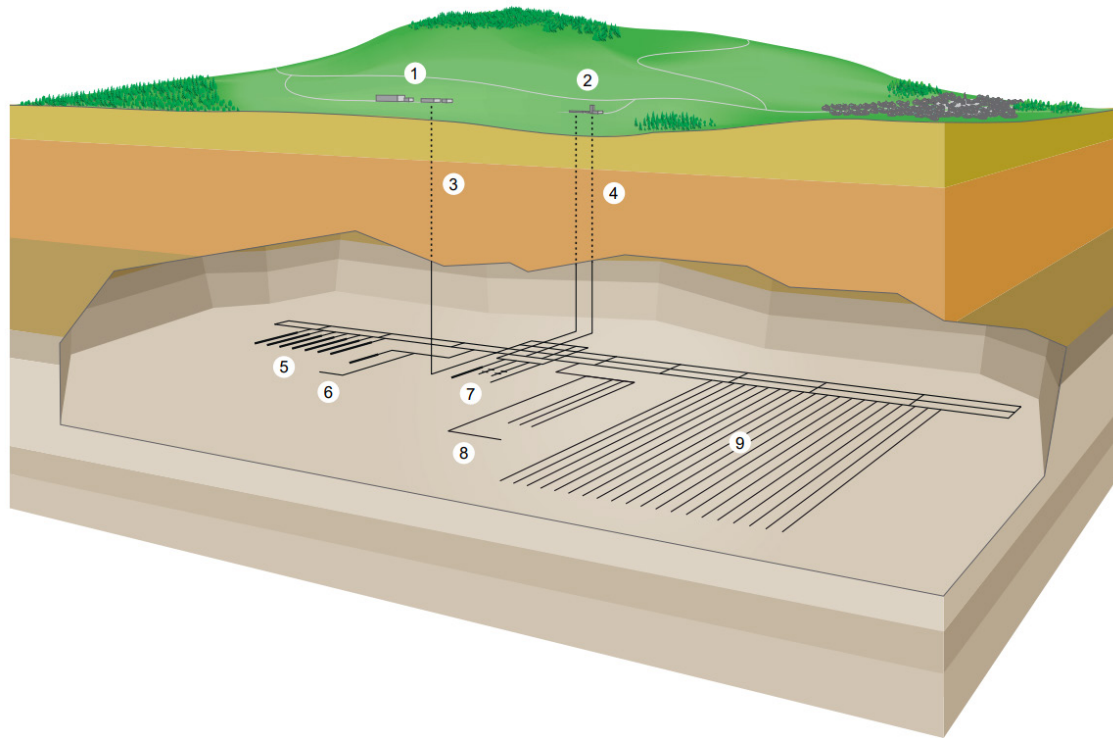


Fig. 1-1: Mögliche Anordnung der verschiedenen Anlageelemente und Bauten für ein Kombilager

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

1.3 Inhalt und Aufbau

Nach der Einleitung im Kapitel 1 nennt Kapitel 2 die wichtigsten normativen Grundlagen mit Relevanz für die Funktionalität der entsprechenden Konzepte und bezeichnet die wichtigsten Anforderungen an die Lüftung sowie die wichtigsten lüftungstechnischen Vorgaben und Randbedingungen.

Kapitel 3 beschreibt das übergeordnete Lüftungskonzept eines Kombilagere im Regelbetrieb in der Phase der Einlagerung nuklearer Abfälle sowie lokale Lüftungskonzepte in der Phase Bau und Betrieb. Das Kapitel 3.4 zeigt auf, wie mit dem Lüftungskonzept einem Brand- bzw. Störfall in der UTA begegnet wird.

Kapitel 4 beschreibt das eng mit dem Lüftungskonzept verflochtene Kühlungskonzept eines Kombilagers im Regelbetrieb in der Phase der Einlagerung nuklearer Abfälle, mit welchem die unter Kapitel 2 genannten Anforderungen, Randbedingungen und Auslegungsgrundsätze umgesetzt werden können.

Kapitel 5 beschreibt die auf den Arealen an der Oberfläche erforderlichen Anlagen für die eigentliche Untertaglüftung und geht auf ausgewählte Themen in Bezug auf die Abluft der UTA ein.

Kapitel 6 zieht ein Fazit und zeigt weitere Schritte zur Konkretisierung der Lüftungs- und Kühlungskonzepte auf.

In der Anlage A finden sich die Lüftungs- und Kühlungsschemata pro Betriebsphase, in welchen die Lüftungs- und Kühlungskonzepte in den relevanten Bau- und Betriebsphasen des gTL – wie in den Kapiteln 3 und 4 beschrieben – abgebildet sind.

Die verwendeten Abkürzungen sind im Abkürzungsverzeichnis definiert.

2 Grundlagen

Das Lüftungs- und Kühlungskonzept betrifft alle Bauten und Phasen, in denen sich Menschen in der Untertaganlage (UTA) aufhalten und muss daher Anforderungen aus verschiedenen Themenbereichen erfüllen:

- Strahlenschutz
- nukleare Betriebssicherheit
- Brand- und Explosionsschutz
- Personensicherheit
- Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz

Im Folgenden wird detaillierter auf diese Themenbereiche eingegangen.

Die Langzeitsicherheit stellt keine Anforderungen an das Lüftungs- und Kühlungskonzept. Allfällige Klimavorgaben aus der weiteren Projektkonkretisierung werden auf der Basis der aktuellen Konzepte geprüft, und bei Bedarf wird die Auslegung angepasst.

2.1 Normen und Gesetze

Normative Grundlagen zu den genannten Themen sind in Gesetzen und Verordnungen des Bundes sowie in Normen, Richtlinien und Empfehlungen der Ämter, Versicherungen, Kommissionen und Fachverbände enthalten.

Insbesondere gelten die Gesetze und Verordnungen des Bundes zum Arbeits-, Gesundheits- und Strahlenschutz sowie diejenigen zur Kerntechnik (z.B. ArGV, BauAV, KEG, KEV, StSV, VUV).

Berücksichtigt werden die wichtigsten Normen, Richtlinien und Empfehlungen der Ämter, Versicherungen, Kommissionen und Fachverbände zur Lüftung/Kühlung (z.B. ASTRA, EKAS, ENSI, KTA, SECO, SIA, SUVA, VKF).

Darüber hinaus gibt es weitere schweizerische Normen, insbesondere zum Thema thermische Behaglichkeit, und auch ausländische Regelwerke zum Thema Untertagbaustellen, welche zusammen mit den oben erwähnten Regelwerken für ein funktionierendes Lüftungs- und Kühlungskonzept durch Auslegung der Bauten und Betriebsmittel Berücksichtigung finden.

Das nachfolgende Kapitel gibt eine Übersicht der wichtigsten Anforderungen mit Relevanz auf das in diesem Bericht vorgestellte Lüftungs- und Kühlungskonzept des gTL.

2.2 Anforderungen

Die Anforderungen werden mehrheitlich aus den im vorherigen Kapitel und im Kapitel 7.2 genannten normativen Grundlagen abgeleitet. Sie bestimmen massgeblich die Auslegung der Lüftung und Kühlung bis hin zu den technisch erforderlichen Komponenten für die Bewetterung und Kühlung der Anlage. Sie beeinflussen dabei auch die Wahl des Layouts des Tiefenlagers und der für dessen Bau und Betrieb erforderlichen Querschnitte der Stollen, Tunnel und Kavernen.

2.2.1 Strahlenschutz

Grundsätzlich wird das Tiefenlager im Untergrund während der Einlagerung in zwei Bereiche eingeteilt: einen Überwachungsbereich² in dem die in Endlagerbehältern verpackten radioaktiven Abfälle transportiert und eingelagert werden, und einen konventionellen Bereich, in dem zu keiner Zeit radioaktive Abfälle gehandhabt werden. Beim Kombilager wird zudem zwischen dem Lagerteil zur Einlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle (SMA) und dem Lagerteil zur Einlagerung hochaktiver Abfälle (HAA) unterschieden. Aus Sicht des Strahlenschutzes sind folgende Anforderungen für das untertägige Anlagenlayout und die Anordnung der Zu- und Abluftbauwerke an der Oberfläche relevant:

- Unterdruckstaffelung untertag: Es gilt vorsorglich der Grundsatz, dass der Überwachungsbereich gegenüber dem konventionellen Bereich stets im Unterdruck gehalten werden soll.
- Über eine zentrale Frischluftansaugung und einen gemeinsam benutzten Frischluftschacht soll der konventionelle Bereich und der Überwachungsbereich mit Frischluft versorgt werden. Die Abluft aus dem konventionellen Bereich und dem Überwachungsbereich soll anschliessend über unabhängige Abluftwege über separate Abluftbauwerke an die Umwelt zurückgeführt werden. Es soll dabei keine Abluft aus Überwachungsbereichen in konventionelle Bereiche des gTL abgeführt werden. Ausnahmen der Lüftungsführung in einem geschlossenen System (z.B. Kanal) sind durch entsprechende Auslegung möglich, wenn sich dadurch Luftmassen nicht vermischen können.
- Trennung der Luftströme: Die Abluft aus den Bauwerken des SMA-Lagerteils soll nicht in bzw. durch die Bauwerke des HAA-Lagerteils geführt werden. Das gleiche gilt in umgekehrter Richtung.
- Eindeutige Führung der Abluft aus Überwachungsbereichen: Die Abluft aus Überwachungsbereichen des geologischen Tiefenlagers soll über ein einziges Abluftbauwerk über das OFA-Areal abgeführt werden.
- Keine Rezirkulation von Abluft übertag: Die Anlagen zur Fassung der Zuluft und zur Abfuhr der Abluft der UTA übertag sind derart zu gestalten, dass kein Strömungskurzschluss zwischen Abluft und Zuluft eintreten kann. Diese Forderung wird primär durch die Wahl der Platzierung der Ansaug- und Abströmbauwerke und deren Ausgestaltung in Kombination mit der für den Betrieb erforderlichen Ventilatorleistung auf den entsprechenden OFI-Arealen erfüllt.

Weiter muss aus Sicht Strahlenschutz die (Ab-)luft in den Überwachungsbereichen überwacht und gemessen (ggf. bilanziert) werden. Die Abluft aus den Überwachungsbereichen muss auf der OFA (Bedarfsfilter, d.h. keine permanente Filterung nötig) gefiltert werden können. Bei Bedarf ist die Möglichkeit zur Filterung der Abluft auch vor den Lagerkavernen vorzusehen. Im Filterbetrieb muss der Personenzugang zu den UTA weiter möglich sein, d.h., es ist der dazu erforderliche Luftdurchsatz zu gewährleisten.

Obige Anforderungen zusammen bedingen, dass die Abluft aus dem konventionellen Bereich und aus dem Überwachungsbereich auf Lagerebene sowohl im Regel- als auch im Störfallbetrieb über je einen getrennten Abluftweg bis an die Oberfläche geführt wird.

² Überwachungsbereiche sind Bereiche, die zum Schutz vor Expositionen durch ionisierende Strahlung durch den Betrieb von Anlagen oder durch die Handhabung von geschlossenen radioaktiven Quellen besonderen Anforderungen unterliegen. Überwachungsbereiche sind Bereiche ohne Kontaminations-/Inkorporationsgefährdung.

2.2.2 Nukleare Betriebssicherheit

Aus der nuklearen Betriebssicherheit leiten sich folgende Anforderungen an die Lüftung der UTA ab:

- Inhärent sicheres Anlagenverhalten: Abweichungen vom Normalbetrieb sollen, soweit möglich, durch ein selbstregulierendes und fehlertolerantes Anlagenverhalten aufgefangen werden.
- Vermeidung von Gasansammlungen untertag und im speziellen in Lagerkaverne und -stollen: Mittels geeigneter Massnahmen ist zu verhindern, dass sich bei Gasproduktion durch Abfallgebinde oder Gaszutritten aus der Geologie zündfähige und/oder toxische Gasgemische bilden.

Aus obigen Anforderungen folgt, dass sämtliche Arbeitsstellen untertag in allen Bau- und Betriebsphasen, insbesondere auch im Einlagerungsbetrieb, aktiv belüftet werden. Die dafür zur Anwendung kommenden Lüftungswege werden für das Lagerprojekt entsprechend ausgelegt, um in Kombination mit Ventilatoren ein möglichst inhärent sicheres Lüftungsverhalten (z.B. auch bei Stromunterbrüchen und im Brandfall untertag) sicherzustellen.

2.2.3 Brand- und Explosionsschutz

Aus dem Brand- und Explosionsschutz leiten sich folgende Anforderungen an die Lüftung/Kühlung der UTA ab:

- Einbindung des Lüftungssystems in die Störfallbewältigung mit entsprechender Dimensionierung: Das Lüftungssystem muss bei Brandereignissen entsprechend der Brandfallplanung kontrolliert hochgefahren bzw. reagieren können (Störfallbewältigung und -beherrschung; bspw. Rauch- und Wärmeabzüge), um allfällige Auswirkungen und Konsequenzen für Mensch und Umwelt zu begrenzen bzw. übergeordnete Sicherheitsfunktionen für den Betrieb des gTL einzuhalten.
- Die Lüftung der UTA muss die manuelle Brandbekämpfung vor Ort ermöglichen und unterstützen, wie auch die Selbstrettung von Personen in sichere Bereiche jederzeit erlauben.
- Das Lüftungssystem muss dem Stand der Technik (für Bau und Betrieb) entsprechen und so beschaffen, bemessen, ausgeführt und instandgehalten werden, dass es wirksam den erwarteten Beanspruchungen standhält und jederzeit betriebsbereit ist.
- Im Brandfall sowie bei einem unwahrscheinlichen Störfall³ ist eine Rauch- und Aktivitätsverschleppung in nicht betroffene Bereiche der Untertaganlage zu vermeiden bzw. in Bauten und Einrichtungen für die Sicherheit und Personenschutz durch Auslegung zu verhindern.
- Rauch- und Wärmeableitung an die Umgebung sowohl aus dem Überwachungsbereich als auch aus dem konventionellen Bereich ist grundsätzlich zulässig, wenn sie zur Brandbekämpfung und zur Personenrettung erforderlich und über die Abgabepfade des bestimmungsgemässen Betriebs für radioaktive Stoffe möglich ist.
- Kältemittel untertag zur Kühlung von Arbeitsstellen usw. sind zu vermeiden, da die geläufigen Kältemittel entweder giftig sind oder mit Luft explosive Gemische bilden könnten.

³ Gemäss provisorischer Störfallanalyse wird aktuell nicht davon ausgegangen, dass es bei einem Auslegungstörfall zu einer bedeutenden, d.h. sicherheitsrelevanten, Freisetzung von Radioaktivität kommen kann. Insbesondere bei einem Brand soll eine Freisetzung aufgrund der Vermeidung von Brandlasten und/oder bereitgestellter Brandbekämpfung vermieden werden (Anforderung).

- Im Störfallbetrieb mit oder ohne Brand in einem Überwachungsbereich soll die Abluft über den gleichen Luftweg ausgestossen werden wie im Regelbetrieb. Damit wird gewährleistet, dass die Abluft auch im Störfall von etwaigen Radionukliden durch den Einsatz von zuschaltbaren Filtern oder Vorfiltern auf der OFA an einer zentralen Stelle gereinigt und bilanziert werden kann.

2.2.4 Personensicherheit

Ein Flucht- und Rettungskonzept verfolgt das Ziel der Aufrechterhaltung der Personensicherheit beim Bau und Betrieb. Die Flucht, Rettung und Evakuierung (Selbst- und Fremddrettung) aus Gefahrensituationen und Gefahrenbereichen ist durch zuverlässige Alarmierung und Kommunikation allfälliger Gefahrensituationen sicherzustellen. Zudem soll die Zugänglichkeit auch für Interventionen ab der Oberfläche zu einem Ereignisort im gTL in allen Bau- und Betriebsphasen gewährleistet werden. Daraus abgeleitet, ergeben sich die folgenden Anforderungen an das Lüftungs- und Kühlungskonzept der UTA, welches in Kombination mit dem Anlagenlayout sicherstellt, dass

- ausreichende und sichere FREI⁴-Wege zur Selbst- und Fremddrettung im Bau und Betrieb zur Verfügung stehen und bewettert werden können
- nicht verrauchbare Fluchtendpunkte für die Selbst- und Fremddrettung im Bau und Betrieb zur Verfügung stehen
- die Zugänglichkeit für Intervention im Brand und Störfall über nicht vom Ereignis betroffene Wege möglich ist
- Schutz der FREI-Wege vor Gefahren & Einwirkungen: Die FREI-Wege müssen so vor Gefahren (bspw. Brandeinwirkungen sowie deren sekundären Effekte) geschützt werden, dass sie ausreichend lange genutzt werden können, um die Selbstrettung, die Fremddrettung von Personen, die Gefahrenbewältigung (bspw. Brandbekämpfung) sowie sicherheitstechnisch erforderliche Personenhandlungen zu ermöglichen. FREI-Wege sollen möglichst rauchfrei (rauchfreie Zone) und frei von Brandlasten gehalten werden. Die Ausbreitung und Verschleppung von Rauchschwaden soll verhindert werden.
- Begrenzung der FREI-Weglänge: Alle FREI-Wege in den untertägigen Anlagen sollen in ihrer Länge zu einem sicheren Fluchtendpunkt begrenzt sein (d.h. ausserhalb des Gefahrenbereichs und in einem mit Frischluft versorgten Tunnel/Bereich sein).

Aus diesen Anforderungen resultiert eine Planungsannahme in Anlehnung an den Betrieb von Untertaganlagen (z. B. Strassen-/Eisenbahntunnel, Bergwerke zum Abbau von Rohstoffen, grosse unterirdische Führungsanlagen der Armee): Je nach Personenanzahl, Gefahrenpotenzial und Steigung von Fluchtwegen und Strömungsgeschwindigkeiten der Luft im jeweiligen Profil werden maximale Weglängen der FREI-Wege von 500 m angestrebt.

2.2.5 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz

Die Lüftung soll die UTA mit Frischluft versorgen unter Einhaltung für Menschen geeigneter klimatischer Bedingungen (Sauerstoffkonzentration, Entstaubung, Temperatur und Luftfeuchtigkeit). Die Ansammlung explosionsgefährdender bzw. toxischer Konzentrationen von Gasen ist mit geeigneten Lüftungsmassnahmen zu vermeiden. Zudem soll die Lüftung so gestaltet werden, dass ein Eingreifen bei Abweichungen und Störfällen (bspw. Isolation von Bränden durch Brandabschnitte, kontrollierte Entrauchung, Unterdruckluftstaffelung für die Über-

⁴ Abschnitt/Weg im Tiefenlager, welcher als Flucht; Rettung, Evakuierung und/oder Interventionsweg für Bau- und Betriebspersonal sowie für Rettungsdienste und Feuerwehr (verrauchungsfrei) benutzt werden kann.

wachungsbereiche) möglich ist, sodass die Flucht- und Interventionswege möglichst immer rauchfrei sind und mit Frischluft versorgt werden können. Aus diesen Funktionen leiten sich die folgenden Anforderungen an die Lüftung/Kühlung der UTA ab:

- zuverlässige und bedarfsgerechte Versorgung und Verteilung von Frischluft im Normalbetrieb und bei Abweichungen vom Normalbetrieb
- Einhaltung der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) am Arbeitsplatz gemäss SUVA 1903
- Lüftung in der Bauphase im Baubereich nach SIA 198 und SIA 196 mit Klimavorgaben nach SUVA 2869
- Lüftung im Einlagerungsbetrieb in den dafür benötigten Abschnitten/Räumen nach Konzepten der Raumluftechnik SIA 382/1 und SIA 2024 mit Klimavorgaben nach SN 7730, SECO (2020a, 2020b) sowie ASTRA 23001
- Die Lüftung muss für die Bau- und Einlagerungsphase immer die Versorgung mit Frischluft bei Einhaltung geeigneter Luftqualität und klimatischer Bedingungen sicherstellen. Die Ansammlung von gesundheitsgefährdenden, explosiven sowie radioaktiven Stoffen⁵, Gasen und Stäuben entsprechend den Bedingungen für den Bau bzw. Einlagerungsbetrieb ist mit entsprechenden Lüftungsmassnahmen zu gewährleisten. Anforderungen von ENSI und KTA sind einzuhalten. Für den Baubetrieb und im Allgemeinen beim Einsatz dieselbetriebener Geräte sind die MAK-Werte nach SUVA 1903 und die einschlägigen Lüftungs- und Klimaziele an den entsprechenden Arbeitsstellen einzuhalten.
- Kontrollierte Rauchausbreitung im Brandfall, rauchfreie Fluchtwege: Das Anlagenlayout des gTL im Zusammenspiel mit dem Lüftungskonzept bzw. Betrieb der für die Lüftung erforderlichen Ventilatoren soll im Brandfall eine effiziente und kontrollierte Ableitung von Rauch und Gasen (gezielte Entlüftung und Entrauchung einzelner Kompartimente) sowie Wärme und Feuchtigkeit sicherstellen. Bei einem Brand darf es nicht zu unkontrollierter Umkehrung des Lüftungsstroms im freien Querschnitt kommen. Die Lüftung muss sicherstellen, dass die Flucht-, Rettungs- und Evakuierungswege immer rauchfrei sind und mit Frischluft versorgt werden, wobei eine kontrollierte Entrauchung über die Flucht-, Rettungs- und Evakuierungswege bei Bedarf erfolgen kann.

2.3 Vorgaben und Randbedingungen

2.3.1 Lagerarchitektur

Das in diesem Bericht vorgestellte Lüftungs- und Kühlungskonzept basiert auf einem Kombilager mit drei Schachtzugängen, wie in Fig. 2-1 und dem EP21 (Nagra 2021a) generisch dargestellt.

Die Lagerarchitektur widerspiegelt die Umsetzung von Anforderungen an das Lüftungs- und Kühlungskonzept. So sind z.B. barrierefreie und immer mit Frischluft versorgte Lüftungstunnel sowohl im SMA- (10) als auch HAA-Lagerteil (16) zur Verkürzung der FREI-Wege vorgesehen. Die Lüftungstunnel erlauben zudem die Zufuhr bzw. Aufteilung der Frischluft zum konventionellen Baubereich bzw. Einlagerungsbereich (Überwachungsbereiche).

Ein generisches Lagerprojekt (Kombilager) besteht aus den Anlagen untertag auf Lagerebene, den eigentlichen Zugängen (vgl. Fig. 2-1) und den Anlagen übertag, welche für verschiedenste Betriebsfunktionen und für die Bewetterung der untertägigen Anlagen benötigt werden.

⁵ Unter radioaktiven Stoffen werden Radionuklide verstanden, welche durch den Vortrieb, falls im Gestein vorhanden, freigesetzt und über die Abluft im allg. nach dem Verdünnungsprinzip abgeführt werden.

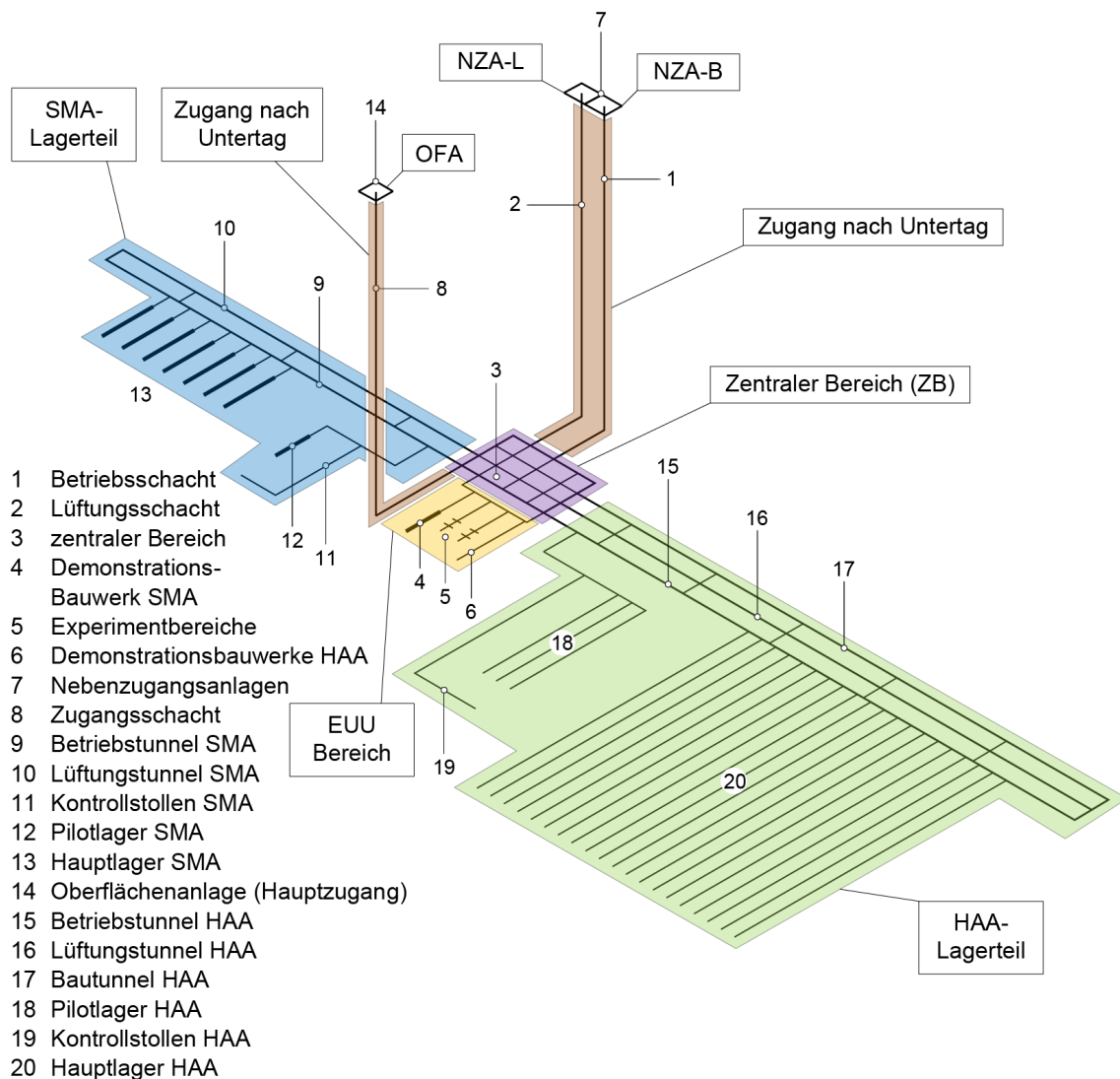


Fig. 2-1: Systemskizze für die untertägigen Bauten und Anlagen eines Kombilagers
Siehe auch Nagra (2022)

Anlagen übertag

Folgende Anlagen übertag haben einen Bezug zur untertägigen Lüftung:

- Die Oberflächenanlage (OFA) stellt das Kernstück der Infrastruktur an der Oberfläche dar. Die radioaktiven Abfälle werden von dort – endlagerfähig verpackt für die Einlagerung – bereitgestellt. Von der OFA werden die verpackten Endlagerbehälter über den Hauptzugang in die untertägige Anlage transportiert. Über das Areal der Oberflächenanlage wird ab Einlagerungsbeginn der SMA und HAA die Abluft aus dem Einlagerungsbereich an die Umwelt abgegeben.
- Über die Nebenzugangsanlagen (NZA-B und NZA-L) erfolgen schwerpunktmässig der Bau und Betrieb (konventioneller Betrieb wie Bau- und Unterhaltsbetrieb sowie der EUU-Betrieb) des Tiefenlagers (über den Betriebszugang) sowie die Frischluftversorgung (über den Lüftungsschacht) aller Anlagenelemente und Bauten auf Lagerebene.

Anlagen untertag

Die untertägigen Anlagen auf Lagerebene bestehen gemäss Fig. 2-1 aus den folgenden Bereichen und Teilen:

- Der Zentrale Bereich (ZB) stellt ein System von untertägigen Bauwerken und Verbindungen dar, an welches die Zugangsbauwerke (Zugangs-, Betriebs- und Lüftungsschacht) und die Lagerfeldzugänge (Betriebs-, Bau- und Lüftungstunnel) anschliessen. Vom ZB her werden die weiteren Bauwerke und Anlagen auf Lagerebene aufgefahren und erschlossen.
- Der Bereich für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) wird vom ZB heraus erschlossen und beherbergt Experimentierbereiche, Demonstrationskaverne und -stollen (Nagra 2021d).
- Der SMA-Lagerteil schliesst über die Zugangstunnel (Betriebs- und den Lüftungstunnel) an den ZB an und besteht aus den Lagerkavernen des Hauptlagers und einem Pilotlager mit Kontrollstollen. Der Betriebs- und der Lüftungstunnel sind durch Querverbindungen in regelmässigen Abständen verbunden. Die Querverbindungen sind im Einlagerungsbetrieb gegen den Betriebstunnel mit Schleusen versehen.
- Der HAA-Lagerteil schliesst über die Zugangstunnel (Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel) an den ZB an und besteht aus den Lagerstollen des Hauptlagers und einem Pilotlager mit einem Kontrollstollen. Der Lüftungstunnel ist mit Querverbindungen mit dem Betriebs- und Bautunnel verbunden. Die Querverbindungen sind im Einlagerungsbetrieb gegen den Betriebstunnel hin mit Schleusen und gegen den Bautunnel hin mit Türen ausgestattet.

Die Bauten der Oberflächeninfrastruktur sind mit dem zentralen Bereich der UTA über drei Zugänge verbunden. Dazu zählen:

- ein Hauptzugang (ZS, Nr. 8), über den die Abfälle und die für die Einlagerung erforderlichen Verschluss- und Versiegelungsmaterialien in die untertägige Anlage gefördert werden
- ein Betriebszugang (BS, Nr. 1), über den fast alle Bauaktivitäten für den Bau aller auf Lagerebene benötigten Hohlräume abgewickelt werden und über welcher auch der gesamte EUU-Betrieb erfolgt
- ein Lüftungsschacht (LS, Nr. 2), über den im Einlagerungsbetrieb Frischluft in die untertägige Anlage gelangt

Die Lagerteile HAA und SMA sind gemäss Fig. 2-1 vorgegeben. Sie können dabei zu drei Lagertypen kombiniert werden: einem HAA-Einzellager, einem SMA-Einzellager oder einem Kombilager mit einem HAA-Lagerteil und einem SMA-Lagerteil. Allen drei Lagertypen gemein sind der ZB, die Oberflächenanlagen und ein Zugangssystem. Ein Kombilager und ein HAA-Lager haben immer drei Zugangswege von der Oberfläche zur Lagerebene, ein SMA-Lager benötigt nur zwei: den Hauptzugang und den Lüftungsschacht. Die Ver- und Entsorgung der Arbeitsstellen für den Bau und Betrieb untertag ist bei allen Lagertypen ab ZB ähnlich und unabhängig vom Zugangssystem. Damit sind die Überlegungen zur Auslegung von Lüftung/Kühlung eines Kombilagers ohne Weiteres auf die zwei Einzellager übertragbar.

2.3.2 Realisierungsplan und Bau- und Betriebsphasen mit Relevanz für Lüftung und Kühlung eines gTL

Der Bau, Betrieb und Verschluss eines Kombilagers erfolgt gemäss dem in Fig. 2-2 dargestellten Realisierungsplan (Nagra 2021a). Für weitergehende Informationen wird auf das EP21 (Nagra 2021a, Kapitel 5.4) und das Betriebskonzept (Nagra 2021c) verwiesen.

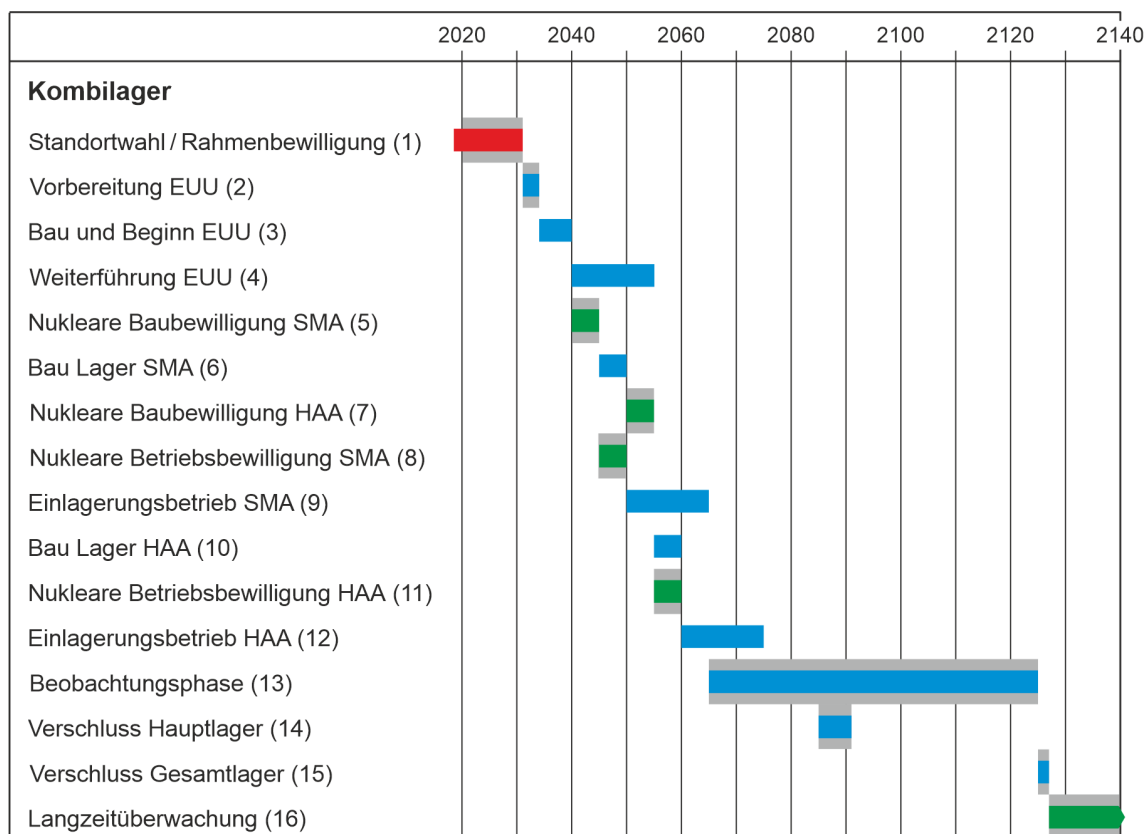


Fig. 2-2: Realisierungsplan für das Kombilager

Phasen mit Bau- oder Betriebsaktivitäten sind blau dargestellt.

Phasen ohne Relevanz auf die Ausgestaltung eines Lüftungs- und Kühlungskonzept (Erarbeitung von Bewilligungsunterlagen) oder mit reduzierten Anforderungen an ein Lüftungs- und Kühlungssystem (Realisierungsphasen nach Einlagerungsende) sind grau ummantelt dargestellt.

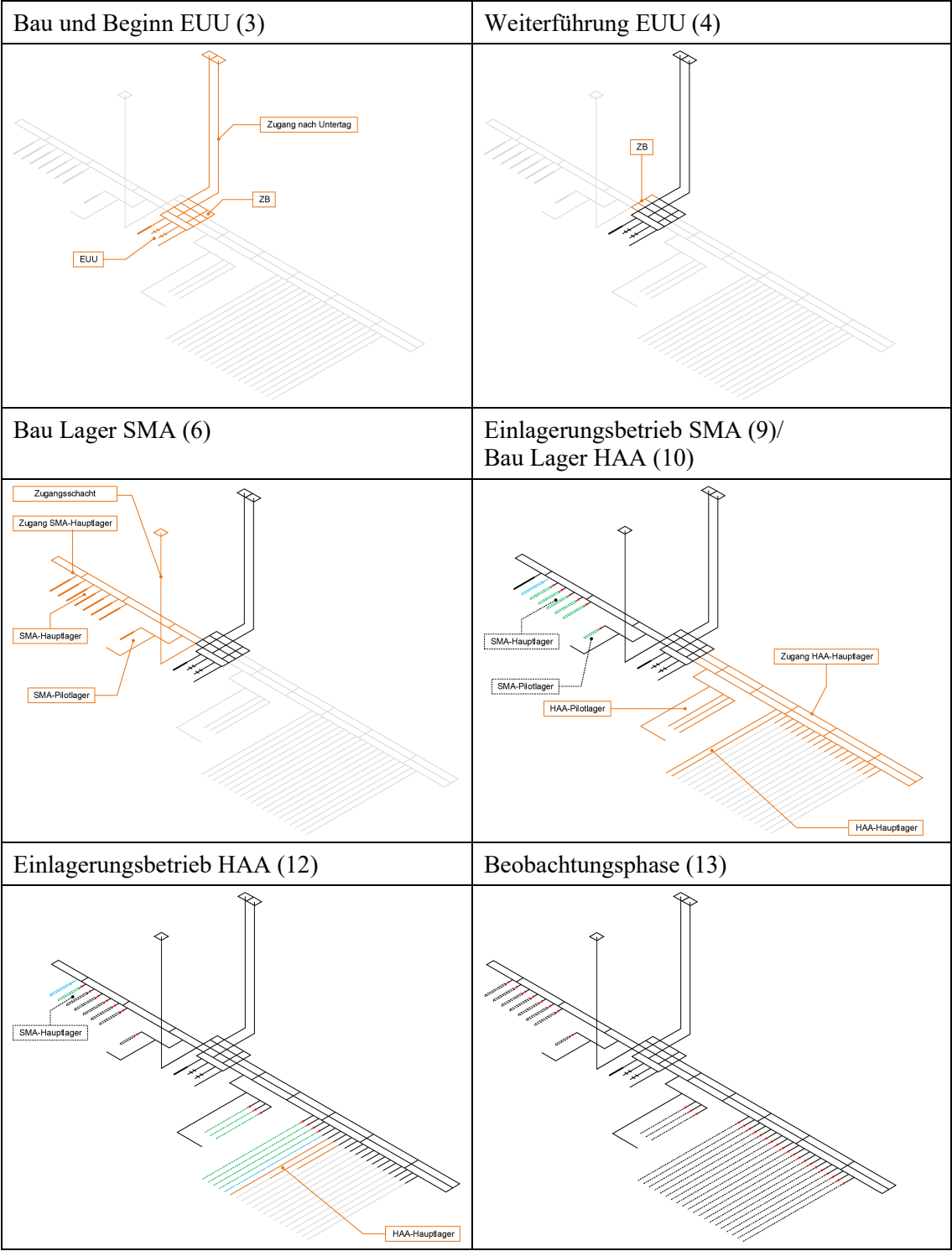
In den folgenden nach Fig. 2-2 beschriebenen Phasen finden massgebende Bau- und Betriebsaktivitäten auf der Lagerebene statt, welche Frischluft und Kühlleistungen benötigen und zu welchen es entsprechende Konzepte bedarf.

Die Realisierungsphasen des gTL sind in Tab. 2-1 schematisch dargestellt. Die zu betrachtenden Phasen sind:

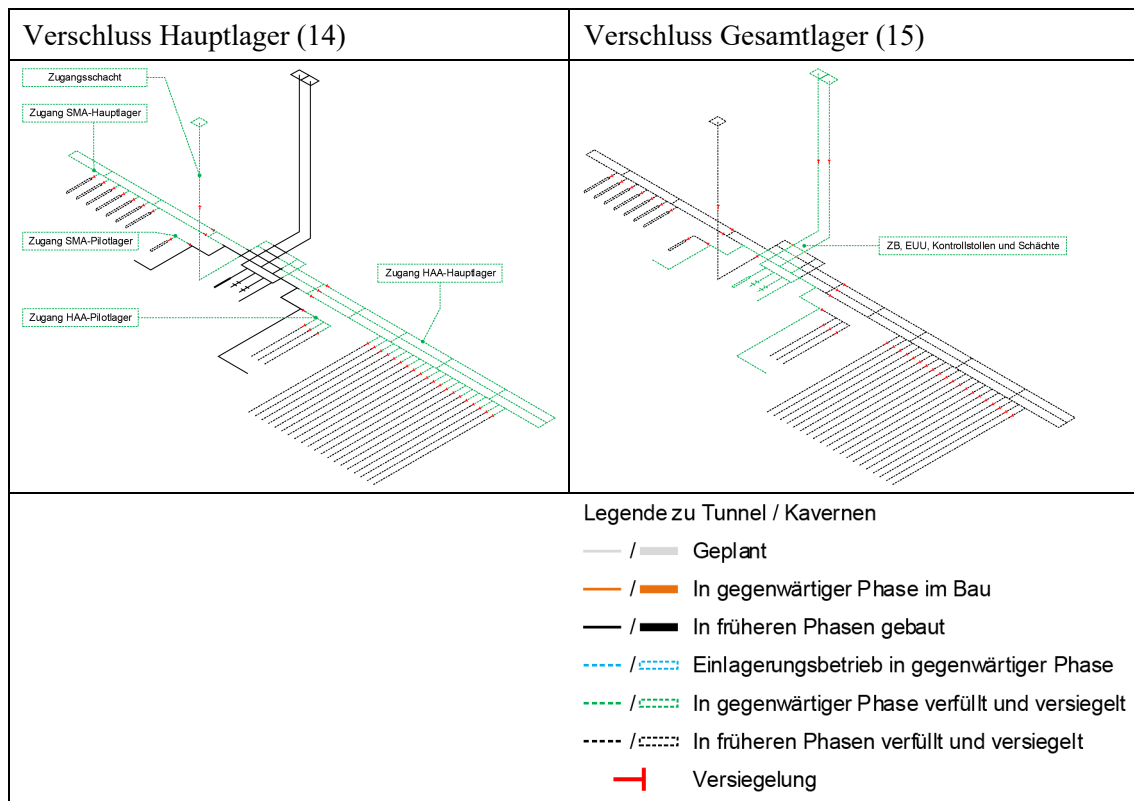
- Bau und Beginn der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) (3):
In dieser Phase erfolgt der Bau der Zugangsbauwerke EUU bis auf Lagerebene, von wo aus die Erkundung der Lagerzone erfolgt. Diese Phase umfasst nebst dem Ausbruch der Zugangsbauwerke auch den Ausbruch eines Grossteils der Bauten im Zentralen Bereich und der ersten Bauten für EUU im EUU-Bereich nach Fig. 2-1.
- Weiterführung EUU (4):
Der Fokus in dieser Phase liegt auf der Durchführung der erdwissenschaftlichen Untersuchungen zur Überprüfung der Lagerzone und Bestätigung sicherheitsrelevanter Eigenschaften sowie auf der Optimierung der Auslegung der Bauten auf Lagerebene. In dieser Phase erfolgen weitere Ausbrüche für EUU-Arbeiten im EUU-Bereich und auch erste kleinere Ausbrüche im zentralen Bereich für den anschliessenden unverzüglichen Bau des SMA-Lagerteils.
- Bau Lager SMA (6):
Im Anschluss an die Baubewilligung werden die für die Aufnahme des Einlagerungsbetriebs SMA (9) notwendigen Anlagen für den SMA-Lagerteil erstellt. In dieser Phase werden der Zugangsschacht abgeteuft sowie der ganze SMA-Lagerteil inkl. SMA-Pilotlager aufgefahren.
- Einlagerungsbetrieb SMA (9) und Bau Lager HAA (10):
In dieser Phase startet die Einlagerung der nuklearen Abfälle im Pilotlager SMA, gefolgt von der Einlagerung im Hauptlager SMA. Parallel zur SMA-Einlagerung startet nach der Erteilung der Nuklearen Baubewilligung HAA (7) auch der Bau des HAA-Lagerteils (Bau Lager HAA (10)). Dazu erfolgt auf Lagerebene der Bau der drei Zugänge in Form eines Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnels zum HAA-Hauptlager und der komplette Bau des HAA-Pilotlagers, gefolgt vom Auffahren der ersten zwei Stollen des eigentlichen HAA-Lagers.
- Einlagerungsbetrieb HAA (12):
In dieser Phase startet die Einlagerung der HAA-Abfälle im Pilotlager, gefolgt von der Einlagerung der Abfälle im Hauptlager. Parallel zur Einlagerung der HAA werden jährlich weitere HAA-Lagerstollen gebaut, sodass diese im Folgejahr für die Einlagerung zur Verfügung stehen.
- Beobachtungsphase (13):
In dieser Phase werden die beiden Pilotlager SMA und HAA via der Kontrollstollen überwacht. Es finden keine Bautätigkeiten statt und die Personenzahl untertags ist deutlich reduziert verglichen mit den vorhergehenden Phasen.
- Verschluss Hauptlager (14) und Verschluss Gesamtlager (15):
In diesen Phasen werden zunächst die beiden Hauptlager SMA und HAA verfüllt und versiegelt. Nach Abschluss der parallel weiterlaufenden Beobachtungsphase wird das Gesamtlager inklusive Monitorstollen, ZB und Zugangsbauwerken verfüllt und versiegelt (Nagra 2021e).

Der Bericht konzentriert sich auf das Lüftungs- und Kühlungskonzept zur Abdeckung der in der Tab. 2-1 blau skizzierten massgebenden Bau- und Betriebsphasen mit Relevanz auf die Ausgestaltung der entsprechenden Konzepte bis Einlagerungsende SMA/HAA.

Tab. 2-1: Beispielhafte Systemskizze für den Stand der Realisierung des Kombilagers in den jeweiligen Realisierungsphasen nach EP21
Nagra (2021a) und Fig. 2-2



Tab. 2-1: Fortsetzung



2.3.3 Betriebskonzept

Die Prozesse des Einlagerungsbetriebs sind im Betriebskonzept (Nagra 2021c) beschrieben. Im Folgenden wird eine Auswahl von Prozessen in den UTA beschrieben, die während des parallelen Einlagerungs- und Baubetriebs in den Bau- und Betriebsphasen 9, 10 und 12 nach Fig. 2-2 stattfinden. Diese sind für das Lüftungs- und Kühlungskonzept und die Auslegung deren Anlagen massgebend.

- Transport und Einlagerung radioaktiver Abfälle SMA und HAA in Endlagerbehältern von der Erdoberfläche (ab der OFA über den Hauptzugang) in die unterirdischen Lagerkammern
- Transport von Verfüll- und Versiegelungsmaterialien von der Erdoberfläche (ab der OFA über den Hauptzugang) in die unterirdischen Lagerkammern/Stollen und Lagerkammerzugänge eines SMA und HAA Lagerteils
- Verfüllung und Versiegelung der Lagerkammern und Stollen zu Einlagerungsende
- Ver- und Entsorgung verschiedener Verbrauchs- und Betriebsmittel (insbesondere Zuluft für und Abluft aus Bau und Betriebsbereichen) über das Stollensystem des gTL und der Zugangsbauwerke
- Bereitstellung von Materialien aus den Bauwerken und Anlagen auf Lagerebene und Transport zur Erdoberfläche (z.B. Rückschub interner Transportbehälter, Ausbruchmaterial vom Bau neuer Kavernen und Lagerstollen)

- Personentransport (z.B. Betriebspersonal, Baupersonal, Besucherinnen und Besucher und Personal von internen und externen Rettungskräften) von der Erdoberfläche in die Bauwerke und Anlagen auf Lagerebene und zurück
- Bau HAA-Lagerteil, gefolgt vom Bau von HAA-Lagerstollen

Diese Prozesse sind in der Regel mit Aktivitäten ab der OFA resp. NZA verbunden.

2.3.4 Weitere Randbedingungen

Weitere Randbedingungen beeinflussen die Entwicklung und Auslegung des Lüftungs- und Kühlungskonzepts der UTA. Diese Randbedingungen sind unter anderem die Gebirgstemperatur, die Anzahl untertag tätige Personen, der Typ und die Anzahl eingesetzter Bau- und Betriebsgeräte, Bauszenarien sowie möglicher Brandlasten. Sie wirken sich sowohl auf die Lüftungs- und Kühlungskonzepte als auch auf den eigentlichen Frischluftbedarf und die benötigte Kühlleistung UTA aus. Viele dieser Randbedingungen sind Planungsannahmen, die im Zuge der weiteren Projektierung stufengerecht laufend detailliert und verfeinert werden.

2.3.4.1 Gebirgstemperatur

Der einzige zu berücksichtigende Einfluss des Erdreichs auf die Lüftung/Kühlung ist die Erdwärme: Die Temperatur des Erdreichs beträgt an der Oberfläche im Jahresmittel ca. 15 °C und nimmt in dem für das Projekt relevanten Bereich linear mit der Tiefe zu. In 500 m kann diese ca. 32 °C und in 1'000 m Tiefe ca. 48 °C betragen.

Die Gebirgstemperatur ist ein massgebender Parameter für den Kühlbedarf UTA. Dieser nimmt mit der Tiefenlage eines gTL zu und zieht somit vereinfacht höhere Ventilatorenleistungen und höhere benötigte Kühlleistungen nach sich.

Es werden keine Feuchtigkeitsbeiträge aus dem Erdreich berücksichtigt, da die Schächte abgedichtet werden und das Wirtgestein auf Lagerebene kein Wasser führt. Nach geologischer Prognose werden auch keine Erdgas- oder Schwefelwasserstoffausgasungen erwartet.

2.3.4.2 Baubetrieb

Auf die Abteufung der Schächte (Einzelbaustellen) eines gTL wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da deren Baulüftung und ggf. Baukühlung keine Relevanz auf das spätere Lüftungs- und Kühlungskonzept der UTA hat.

Der Baubetrieb auf Lagerebene kennt nach aktueller Planung folgende Prozesse mit Bezug auf den erforderlichen Frischluft- und Kühlungsbedarf bzw. die Abfuhr von Abluft und Prozessabwärme:

- Konventioneller Vortrieb: Der ZB, der EUU-Teil, die Querverbindungen, die Lagerkavernen SMA und alle Tunnel (Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel) werden nach heutiger Planung konventionell vorgetrieben. Ein Sprengvortrieb stellt für das Lüftungskonzept höhere Anforderungen dar und kann damit auch bei Nutzung einer anderen Ausbruchsmethode als abdeckendes Konzept betrachtet werden. Im Sinne einer robusten Planung für das Lüftungskonzept wird darum im Weiteren von einem Sprengvortrieb ausgegangen. Dies erfordert eine gesonderte Führung für mit Sprengschwaden belastete Abluft. Die meisten Bauwerke werden mit einer Spritzbetonschale und einer Betonsohle versehen.

- Maschineller Vortrieb: Die HAA- Lagerstollen werden voraussichtlich mit einer Schild-TBM aufgeföhren und mit Tübbingen ausgekleidet.
- Einbringung von Innenbeton: Die SMA-Lagerkavernen sowie einige andere Bauwerke werden zusätzlich zur Spritzbetonschale mit einer Ortbetonschale ausgekleidet.

Bau- und Transportgeräte für den Bau des gTL werden nach aktuellem Stand der Technik grösstenteils mit Diesel, jedoch in Zukunft immer mehr elektrisch betrieben werden.

Da in der Realisierungsphase 10 (Bau Lager HAA) Vortrieb und Einlagerungsbetrieb gleichzeitig stattfinden, ist für die Führung der Abluft (Sprengschwaden) aus den Vortrieben im Betriebs-schacht ein gesondertes Abluftabteil vorgesehen. Dieses kann im Brandfall auch für die Abfuhr von Brandgasen genutzt werden.

2.3.4.3 Einlagerungsbetrieb

Die Prozesse für die Verbringung der SMA-ELB und der HAA-ELB (2021c) an deren end-gültigen Standort in den Lagerkavernen und -stollen setzen Wärme durch Motoren (Einlagerungs- und Unterhaltsfahrzeuge), Hydraulikaggregate und Abbindewärme (z.B. durch Mörtel) frei. Diese Abwärme muss über die Luftwege und/oder die Kühlung abgeführt werden.

2.3.4.4 Weitere Wärmequellen

Weitere Wärmequellen beeinflussen den Bedarf an Frischluft und Kühlleistung zusätzlich. Diese sind je nach Tiefe des gTL in Kombination mit den oben erwähnten Wärmelasten bei der Auslegung der Stollen (Normalprofile) und der Ventilatoren und Kühlleistungen zu berücksichtigen. Die weiteren Wärmequellen sind:

- Die Abwärme und Kompressionswärme der Ventilatoren wärmen die Luft je nach Förderdruck des Ventilators um einige Grad auf.
- Die Abwärme des Schutts der Sprengvortriebe (Abwärme des Ausbruchmaterials) und des Bohrkleins der TBM-Vortriebe nimmt mit der Tiefe des Lagers zu.
- Die Autokompression der Luft in den Schächten bezeichnet den Effekt, dass sich in einem Schacht abwärts strömende Luft infolge der Druckzunahme aufwärmt. Diese Erwärmung ist auch mitverantwortlich dafür, dass eine Vorkonditionierung der Zuluft am einziehenden Schachtkopf vorgesehen wird.

2.3.4.5 Brandquellen aus Baubetrieb

Die auf einer Untertag- bzw. Tunnelbaustelle vorhandenen Brandlasten sind hauptsächlich die Bereifung, der Treibstoff und das Hydrauliköl der Baumaschinen. Massgebend für die Auslegung der Lüftung ist die Spitzenleistung eines Brandes. Diese wird für den Brand von Baumaschinen zwischen 5 und 30 MW angesetzt. Diesbezügliche Planungsannahmen werden auch durch entsprechende Brandversuche bestätigt (vgl. Ingason et al. 2015). In Analogie zu Verkehrsinfrastrukturbauten wird im aktuellen Planungsstand davon ausgegangen, dass jeweils nur ein Fahrzeug mit der grössten Brandlast gleichzeitig brennt.

2.3.4.6 Brandquellen aus Einlagerungsbetrieb

Brandleistungen der Fahrzeuge für den Einlagerungsbetrieb werden zwischen 2.5 und 5 MW erwartet. Planungsannahme ist, dass Elektrofahrzeuge mit nicht brennbaren Akkumulatoren ausgestattet sind. Nach heutigem Stand der Technik sind das Bleiakkumulatoren, welche nur das Gehäuse als mögliche Brandlast haben. Im Betrieb kann es vorkommen, dass mehrere Fahrzeuge am gleichen Ort, insbesondere im ZB, zusammenkommen. Die bei einem solchen Szenario resultierenden Brandleistungen müssen lüftungstechnisch (Abfuhr von Wärme und Brandgasen) beherrscht werden.

2.3.5 Übergeordnetes Lüftungs- und Kühlungskonzept

Die gegenseitigen Wechselwirkungen des Lüftungs-, Flucht-, Rettungs- und Brandschutzkonzepts erfordern die Vorgabe eines übergeordneten Lüftungskonzepts. Im Folgenden wird der Beschrieb des übergeordneten Lüftungskonzeptes beschrieben, welches anschliessend im Kapitel 3 konkretisiert wird.

Die Realisierungsphase für ein Kombilager, bei welcher die höchsten Anforderungen an die Lüftung und Kühlung gestellt werden, ist die des parallelen Einlagerungs- und Baubetriebs untertag. Im HAA-Lager werden in dieser Phase gleichzeitig neue Lagerstollen aufgefahren und bestehende Lagerstollen mit Abfällen gefüllt (vgl. Realisierungsphase 12 in Tab. 2-1). Zudem findet alternierend mit dem HAA-Einlagerungsbetrieb auch noch der Einlagerungsbetrieb im SMA-Lagerteil statt. Da radioaktive Abfälle eingelagert werden, wird das Bauwerk lüftungstechnisch in einen Überwachungsbereich mit Einlagerungsbetrieb und einen konventionellen Bereich mit Baubetrieb aufgeteilt. Fig. 2-3 zeigt das grundsätzliche Lüftungskonzept eines Kombilagars in dieser intensivsten Realisierungsphase auf. Die Frischluft wird dabei durch den Lüftungsschacht angesaugt und ab Schachtfuss in den Überwachungsbereich und den konventionellen Bereich geleitet. Die Abluft aus diesen zwei Bereichen wird dann über den Hauptzugang und den Betriebszugang abgesaugt und über die Anlagen an der Oberfläche ausgestossen. Die dafür erforderlichen Lüftungsanlagen befinden sich in Gebäuden an der Oberfläche auf dem OFA und dem NZA-B-Areal, sodass das gTL im Unterdruck belüftet wird. Dieses System verhindert durch Auslegung, dass Luft unkontrolliert, z.B. über Leckagen, an die Umwelt abgegeben wird, wie dies bei einem Überdrucksystem der Fall sein könnte. Im Störfall oder Brandereignis auf Lagerebene kann das System zusätzlich durch das Zuschalten eines Ventilators in der NZA-L auf dem gesamten Lüftungsweg (vor der Abgabe der Luft in den Einlagerungs- und Baubereich) im Überdruck betrieben werden, wodurch der Lüftungstunnel SMA und HAA immer als unverrauchter Interventions- und Fluchtweg benutzt werden kann.

Einhergehend mit den benötigten Frischluftmengen für den Bau und Betrieb müssen mit der Frischluft auch Klimagrenzwerte betreffend Temperatur und Feuchte an ausgewählten Arbeitsstellen eingehalten werden. Dies kann bei der Tiefenlage des gTL und dem Maschinenpark für Bau und Betrieb nur mit aktiver Kühlung der Frischluft und der Abfuhr von Prozesswärme über die Luft und Wärmetauscher bewerkstelligt werden. Die Kühlung der untertägigen Arbeitsbereiche erfolgt über die zuzuführende Frischluft. Diese muss je nach Jahreszeit bereits an der Oberfläche vorgekühlt und im Bereich der eigentlichen Arbeitsstelle über Wärmetauscher nochmals nachgekühlt werden. Diese Kühlung erfolgt mit einer Trockenkühlung, welche im Kapitel 4 im Detail vorgestellt wird.

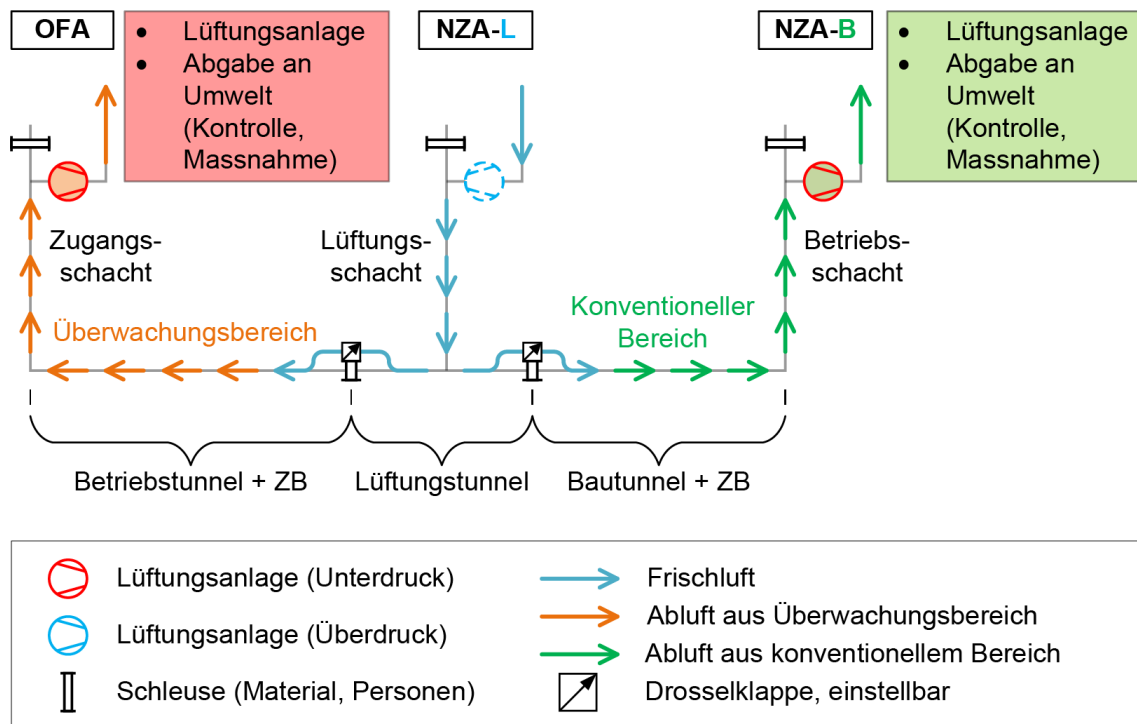


Fig. 2-3: Saugendes Lüftungskonzept eines Kombilagers im Unterdruck mit zuschaltbarer Überdrucklüftung für die Interventions- und Fluchtwege über die Lüftungstunnel SMA und HAA. Dargestellt ist das Konzept im Einlagerungsbetrieb.

Rote Lüftungsanlagen auf OFA und NZA-B, blaue Lüftungsanlage auf NZA-L

Das in Fig. 2-3 eingeführte Konzept und die dahinter liegenden Grundätze werden im Kapitel 3.2 detailliert auf Basis von Fig. 2-1 für die Einlagerungsphase SMA/HAA beschrieben.

2.3.6 Flucht- und Rettungskonzept

Die im Kapitel 2.2 aufgeführten Anforderungen mit Bezug zur Personensicherheit werden für den Bau und Betrieb des gTL nach den folgenden Grundsätzen umgesetzt:

Der Lüftungstunnel HAA (LT-H) und der Lüftungstunnel SMA (LT-S) werden für den eigentlichen Einlagerungsbetrieb als sichere Bereiche ausgelegt und nach deren Fertigstellung auch als solche betrieben. Diese Zuluftwege sind ab Einlagerungsbeginn konsequent von Brandlasten (z.B. Fahrzeuge, Materialdepots, brennbare Materialien im Allgemeinen) freizuhalten.

Die Lüftungstunnel werden über die NZA-L mit Frischluft versorgt. Aus den Lüftungstunneln wird die Frischluft für die Einlagerungs- und Baubereiche abgesaugt. Sowohl der Lüftungsschacht als auch die Lüftungstunnel können durch zuschaltbare Ventilatoren auf der Nebenzugungsanlage im Überdruck gegenüber den anderen Untertagobjekten betrieben werden.

Der Lüftungstunnel ist dabei über Querverbindungen mit dem Betriebstunnel und im HAA-Lagerteil auch mit dem Bautunnel (BAT) verbunden. Der Abstand der Querverbindungen beträgt maximal 500 m. Im Ereignisfall können damit Personen aus dem eigentlichen Bau- und Einlagerungsbereich in den Lüftungstunnel fliehen.

Eine zentrale Rettungskaverne liegt möglichst zentral im ZB, nahe am Schachtfuss des Lüftungsschachts/Betriebsschachts. Sie ist direkt an den Lüftungstunnel angebunden.

Während des Baus der Lagerzugänge sind Rettungscontainer vorgesehen, welche, dem Vortrieb folgend, mitgezogen werden. Bei parallel vorgetriebenen Tunneln werden die Querverbindungen im Abstand von maximal 500m jeweils gleichzeitig mit den Vortrieben der Lagerzugänge erstellt.

In allen Phasen, während derer die Frischluft über den Lüftungsschacht in die untertägige Anlage geführt wird, kann der Lüftungsschacht im Notfall mit entsprechender Notförderanlage für Personentransporte auch für Rettung und Evakuierung genutzt werden.

Die gleichen Konzepte sind im Einlagerungsbetrieb anwendbar. Rettungscontainer bei den Abzweigern zu den Lagerkammern kommen jedoch nur zum Einsatz, wenn keine kurzen Fluchtwege zum Lüftungstunnel vorliegen.

Ein detailliertes Flucht- und Rettungskonzept wird dereinst nach den geltenden Bau- und Betriebsvorschriften mit allen dannzumal bestehenden und zum Einsatz kommenden betrieblichen Mitteln für den Bau und Betrieb eines Tiefenlagers erarbeitet. Ein solches Konzept muss u.a. der SUVA und den Versicherern des Bauunternehmers und des Betreibers der Anlage vorgelegt werden. In der aktuellen Projektphase wird die stufengerechte, konzeptionelle Basis dafür gelegt und nachgewiesen, dass das Anlagenlayout in Kombination mit dem späteren Lüftungsbetrieb eine detaillierte Ausarbeitung eines solchen Konzepts zulässt.

2.3.7 Brandschutzkonzept

Die im Kapitel 2.2.3 und 2.2.4 aufgeführten Anforderungen mit Bezug zum präventiven Brand- und Explosionsschutz in der Schnittstelle zur Personensicherheit werden in Anlehnung an das Flucht- und Rettungskonzept wie folgt umgesetzt:

- **Baulicher und betrieblicher Brandschutz:** Sowohl der SMA- als auch der HAA-Lagerteil werden über einen unverrauchbaren Lüftungstunnel belüftet, welcher ab Fertigstellung als Fluchtweg und sicherer Bereich betrieben wird und als solches Bauwerk ausgebildet wird. Seine Zugänge über die Querverbindungen werden mit Türen und Schleusen mit entsprechenden Brandschutzwiderständen gegenüber den übrigen Anlagenteile untertags ausgerüstet. Zudem kommen Rettungscontainer zum Einsatz sowie eine an den Lüftungstunnel angebundene zentrale Rettungskaverne, welche alle direkt mit Pressluft belüftet werden können.
- **Anlagentechnischer Brandschutz:** In jeder Realisierungsphase bleibt die für den Regelbetrieb definierte Lüftungsrichtung im Ereignisbetrieb unverändert. Dies gilt sowohl für den Überwachungsbereich als auch für den konventionellen Bereich. Folglich wird der Rauch im Ereignisbetrieb über die gleichen Entlüftungsbauwerke auf der OFA und den NZA wie im Regelbetrieb abgeführt. Der Lüftungstunnel wird stets mit Frischluft über den Lüftungsschacht (LS) versorgt und kann mit einem Ventilator am Kopf des LS im Ereignisfall auch mittels Überdrucks bewettert werden.
- **Organisatorischer Brandschutz:** Im Lüftungstunnel werden keine brennbaren Materialien gelagert.
- **Betrieblicher Brandschutz:** Das Lüftungssystem mit den installierten Ventilatoren an den OFI-Standorten sorgt dafür, dass im Ereignisfall keine Umkehr der Lüftungsrichtung stattfindet und Interventionskräfte (inkl. Betriebspersonal vor Ort) über unverrauchbare Wege rasch zum Brandherd vordringen und so ggf. einen Vollbrand vermeiden können.

- Auf weitere Gesichtspunkte des betrieblichen Brandschutzes zur Minimierung von Brandlasten und Auswirkungen eines Brandes mit Bezug zu Brandbekämpfung, Schulung, fixe und mobile Löschmittel, Löschfahrzeuge etc. wird an dieser Stelle nicht eingegangen.
- Der Bedarf an Bereiche, welche speziell gegen Hitze isoliert werden müssen (z.B. spezielle Tragstrukturen, Betankungsanlagen usw.), wird in späteren Projektierungs- und Realisierungsphasen auf Basis der weiteren Projektkonkretisierung, wie z.B. der Festlegung der zum Einsatz kommenden Bau- und Betriebsinstallationen und der für deren Betrieb erforderlichen Treibstoffe bzw. Energieversorgung, geplant.

3 Lüftungskonzept UTA

3.1 Aktivitäten mit Lüftungs- und Kühlungsbedarf

Für die Entwicklung und die Auslegung des Lüftungs- und Kühlungskonzepts UTA unter Berücksichtigung des Anlagenlayouts nach Fig. 2-1 sind die in Kap. 2.3.2 beschriebenen Realisierungsphasen und deren Aktivitäten massgebend. Tab. 3-1 zeigt zusammenfassend die in jeder Phase erforderlichen Aktivitäten mit Lüftungs- und Kühlungsbedarf, vgl. dazu Kapitel 2.3.4.

Tab. 3-1: Realisierungsphasen und Aktivitäten mit Relevanz⁶ für die Auslegung der Lüftungs- und Kühlungskonzepte

Realisierungsphase nach Fig. 2-2	Aktivitäten mit Lüftungs- und Kühlungsbedarf	
	Bau	Betrieb
Bau und Beginn EUU (3)	Vortriebs und Bauarbeiten bis zum eigentlichen EUU-Bereich, beinhaltend auch Ausbruch des EUU-Bereichs	Vorbereitung EUU-Betrieb
Weiterführung EUU (4)	Weitere Vortriebs- und Bauarbeiten im ZB	Betrieb EUU im EUU-Bereich
Bau Lager SMA (6)	Vortriebs und Bauarbeiten Betriebs- und Lüftungstunnel SMA und Querverbindungen/Abzweiger	Betrieb EUU im EUU-Bereich
	Ausbruch und Innenbeton Lagerkavernen SMA	Betrieb EUU im EUU-Bereich
Einlagerungsbetrieb SMA (9)/ Bau Lager HAA (10)	Vortriebs und Bauarbeiten Betriebs- und Lüftungstunnel HAA und Querverbindungen	Einlagerung SMA, Betrieb EUU
	Vortriebs und Bauarbeiten Bautunnel und Abzweiger/Umladebereich HAA	Einlagerung SMA, Betrieb EUU
Einlagerungsbetrieb HAA (12)	Bau Lagerstollen HAA	Einlagerung SMA, Einlagerung HAA
Beobachtungsphase (13)	Keine Bauaktivitäten	Minimale Betriebstätigkeit (Kontrollstollen)
Verschluss Hauptlager (14) und Verschluss Gesamtlager (15)	Verfüllung und Versiegelung der Hauptlager respektive des Gesamtlagers	Minimale Betriebstätigkeit (Kontrollstollen)

⁶ Relevanz bedeutet, dass für die Gestaltung bzw. Auslegung des Lüftungs- und Kühlungssystems nur die in der Tabelle aufgelisteten Realisierungsphasen massgebend sind. Die nicht aufgeführten Phasen enthalten die Erarbeitung der Bau- und Betriebsbewilligungen.

Die in Tab. 3-1 nicht enthaltenen Phasen 5, 7, 8 und 11 des Realisierungsplans gemäss Fig. 2-2 enthalten die Erarbeitung der verschiedenen Bau- und Betriebsbewilligungen, welche keine Relevanz für die Lüftung oder Kühlung des Tiefenlagers haben.

3.2 Übergeordnete Lüftungskonzepte im Regelbetrieb

Ein Kombilager hat drei Zugänge ab der Oberfläche bis zu den Bauten im ZB und je einen Lüftungstunnel zum SMA- und HAA-Lagerteil (siehe Kapitel 2.3.1). Durch diese Konstellation wird u.a. eine lüftungstechnische Trennung des Überwachungsbereichs und des konventionellen Bereichs zur Sicherstellung des Strahlenschutzes während des gleichzeitigen Bau- und Einlagerungsbetriebs sichergestellt. In den Phasen der Einlagerung (Phasen 9 und 12 gemäss Tab. 3-1) gibt es dadurch per Auslegung für die gesamten UTA einen zentralen Frischluftweg und zwei Abluftwege, je einen für den Überwachungsbereich und einen für die konventionellen Bereiche. Daher befinden sich beide Bereiche stromabwärts der zentralen Frischluftzufuhr in zwei getrennten Ästen des untertägigen Tunnelsystems. Die geforderte Trennung der Luftströme ist gewährleistet. Zudem wird das gTL am Ende beider Abluftwege aus nuklearer Vorgabe saugend belüftet (vgl. Kapitel 2.3.5). Dieser Sachverhalt ist in Fig. 3-1 für die Einlagerungsphase detailliert mit den Luftrichtungen dargestellt. In dieser Figur sind zusätzliche, für die Lüftung erforderliche Lüftungsanlagen (Ventilatorstationen) an den jeweiligen Schachtköpfen bezeichnet. Es handelt sich dabei um die Lüftungszentrale der OFA und der NZA-B, in welcher die Hauptventilatoren stehen. Diese werden im Kapitel 5 als Ergänzung zu den untertägigen Lüftungs- und Kühlungskonzepten beschrieben.

Die Fig. 3-1 zeigt exemplarisch eine Momentaufnahme des Tiefenlagerbetriebs, wo:

- die SMA Einlagerung im SMA-Lagerteil in der letzten SMA Kaverne noch nicht komplett beendet ist
- im HAA Lagerteil die drei Pilotlagerstollen HAA schon komplett verfüllt sind
- die HAA Einlagerung im ersten HAA-Lagerstollen im Gange ist
- der zweite HAA-Lagerstollen fertig ausgebrochen ist und für die Einlagerung vorbereitet wird
- der dritte HAA-Lagerstollen parallel zur HAA Einlagerung im ersten HAA-Lagerstollen mit einer TBM (getrennt durch eine Schleuse vom HAA Einlagerungsbereich) über den Bautunnel aufgefahren wird

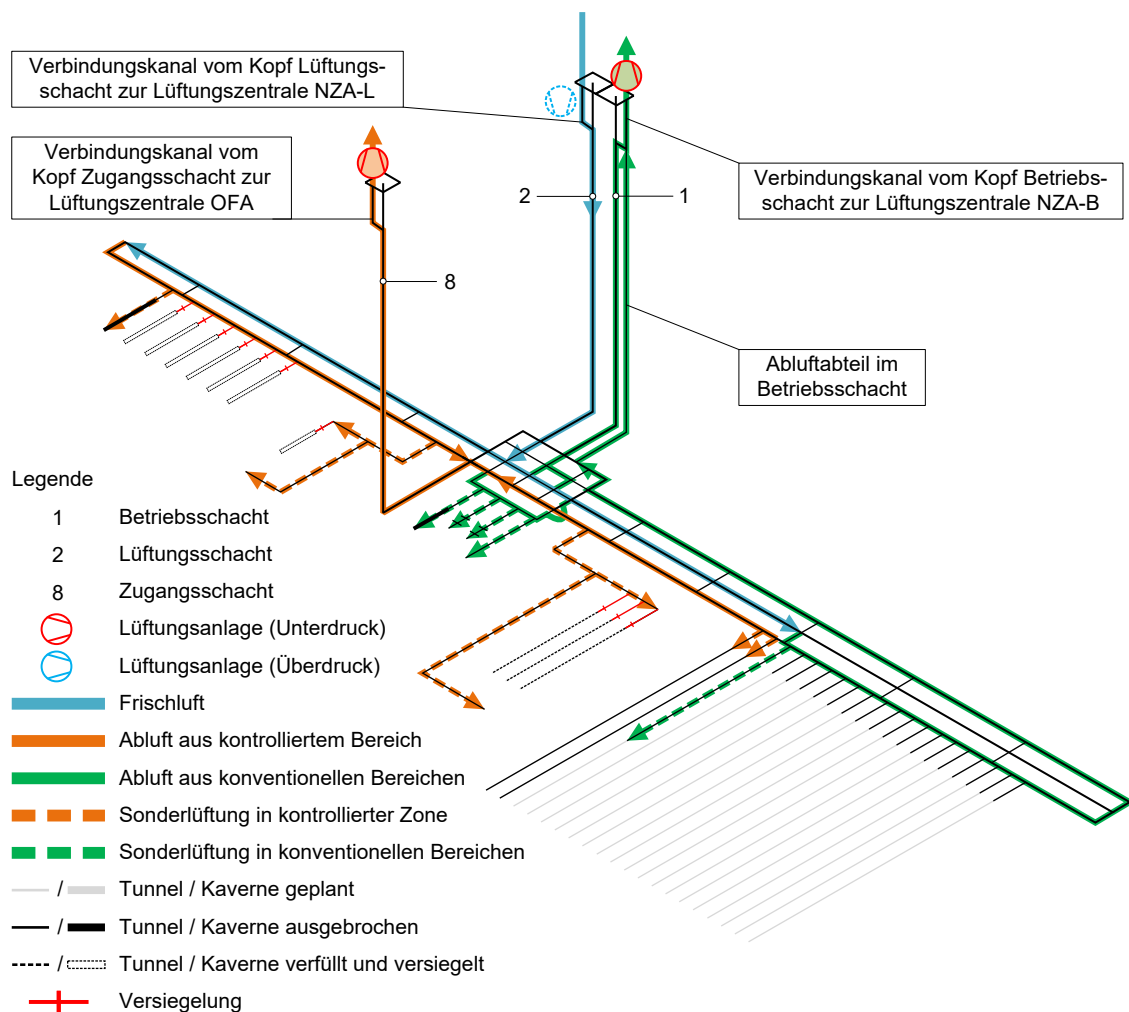


Fig. 3-1: Lüftungskonzept in der Phase Einlagerungsbetrieb HAA mit parallelem Einlagerungsbetrieb (im SMA- und HAA-Lagerteil) und gleichzeitigen Bau von HAA-Lagerstollen im HAA-Lagerteil

Grundsätzlich zirkuliert die Frischluft bzw. die Abluft im freien Schacht- bzw. Tunnelquerschnitt (Wetterströme dargestellt als ausgezogene Linien). Nur gefangene Vortriebe/ Kavernen/Arbeitsstellen werden "sonderbelüftet" (gestrichelte Linien). Das heisst, Frischluft wird für eine Sonderbelüftung über Ventilatoren und ein Luttensystem aus dem jeweiligen Lüftungstunnel angesogen und über die Lutte zu der Arbeitsstelle geblasen, ab welcher sie dann im freien Tunnelquerschnitt wieder über den Betriebstunnel oder den Bautunnel zur jeweiligen Lüftungsanlage auf der OFA oder NZA-B strömt.

Im Folgenden werden die übergeordneten Lüftungskonzepte der UTA, mit welchen die im Kapitel 2 thematisierten Anforderungen und Grundsätze erfüllt werden, in der Abfolge der Realisierungsphasen nach Tab. 3-1 für den Regelbetrieb beschrieben. Dabei wird gezeigt, wie die Anforderungen und Randbedingungen in der jeweiligen Phase für die Belüftung des ZB, des EUU-Bereichs, des SMA-Lagerteils und des HAA-Lagerteils umgesetzt werden (vgl. Anhang A.1, zugehörige Lüftungsschemata UTA pro Phase).

Die Belüftung von ausgewählten Arbeitsstellen für den Bau bzw. Betrieb wird gesondert im Kapitel 3.3 beschrieben.

Bau und Beginn EUU (3): Es bestehen erst zwei Schächte, der BS und der LS, und auf Lagerebene der ZB, Teil Bau. Ausgehend vom ZB, wird der EUU-Bereich vorgetrieben. Die Frischluft wird dabei über den BS¹ angesaugt und durch den ZB-Teil Bau zirkuliert. Die Abluft wird am Kopf des LS abgesaugt. Die Lutten-Lüftungen der Vortriebe des EUU-Bereichs tauchen in diese Zirkulation ein.

Weiterführung EUU (4): Es bestehen nach wie vor erst zwei Schächte, der BS und der LS, und auf Lagerebene der ZB (davon der Teil Bau) sowie der EUU-Bereich. Der EUU-Bereich wird zu Beginn dieser Phase in Betrieb genommen. Ausgehend vom ZB Teil Bau, wird der ZB Teil Betrieb vorgetrieben. Die Frischluft wird über den BS¹ angesaugt und durch den ZB Teil Bau zirkuliert. Die Abluft wird am Kopf des LS abgesaugt. Die Belüftung des EUU-Bereichs und die Bewetterung der Vortriebe des ZB Teil Betrieb tauchen in diese Zirkulation ein.

Bau Lager SMA (6): Zu Beginn dieser Realisierungsphase bestehen die zwei Schächte BS und LS, auf Lagerebene der komplette ZB sowie der EUU-Bereich. Der Betrieb im EUU-Bereich wird fortgesetzt. Ausgehend vom ZB Teil Bau, werden der Betriebs- und Lüftungstunnel SMA vorgetrieben. Zugleich wird auch der ZS als eigenständiges Bauwerk abgeteuft (separate Baulüftung, nicht Teil des Lüftungskonzepts UTA). Die Frischluft für den Bau auf Lagerebene wird über den BS¹ angesaugt und durch den ZB Teil Bau und die bereits bestehenden Abschnitte der Betriebs- und Lüftungstunnel SMA zirkuliert. Die Abluft wird am Kopf des LS abgesaugt. Die Belüftung des EUU-Bereichs und die Bewetterung der eigentlichen Vortriebe sowie des ZB Teil Betrieb tauchen in diese Zirkulationsströme ein. Nach Fertigstellung des Zugangsschachts besteht das Tiefenlager aus drei Schächten. Auf Lagerebene gibt es den kompletten ZB, den EUU-Bereich und die vollständig realisierten Betriebs- und Lüftungstunnel SMA. Der Betrieb des EUU-Bereichs wird weitergeführt. Über den Betriebs- und Lüftungstunnel SMA werden nun die Lagerkavernen SMA sowie das gesamte Pilotlager SMA ausgebrochen. Die Frischluft wird weiterhin durch den BS⁷ angesaugt und durch den ZB Teil Bau und den Lüftungs- und Betriebs-tunnel SMA zirkuliert. Ein Teilstrom wird durch den EUU-Bereich und den ZB-Teil Betrieb zum ZS abgezweigt. Die Abluft wird an den Köpfen des LS und ZS abgesaugt. Die Belüftung des Pilotlagers und des Kontrollstollens SMA und die Bewetterung der Kavernenbaustellen tauchen in diese Zirkulation ein.

Einlagerungsbetrieb SMA (9), Bau Lager HAA (10) und Einlagerungsbetrieb HAA (12): In diesen Realisierungsphasen startet die Einlagerung im SMA-Lagerteil des Kombilagers. Mit dem Vorliegen der nuklearen Baubewilligung für den HAA-Lagerteil erfolgt parallel zum Einlagerungsbetrieb SMA der Vortrieb des Betriebs- und Lüftungstunnels HAA und anschliessend der Vortrieb des Bautunnels HAA, gefolgt vom Bau des Pilotlagers HAA und schliesslich der ersten zwei eigentlichen Lagerstollen HAA. Nach wie vor läuft der EUU-Betrieb. Spätestens mit dem Vortrieb des dritten Lagerstollens HAA startet auch die Einlagerung von HAA im Pilotlager HAA und anschliessend in den Lagerstollen. Die Lüftungsrichtung im Betriebs- und Lüftungsschacht wird zu Beginn dieser Realisierungsphasen gedreht und dem eingangs vorgestellten Schema (Fig. 3-1) für die Einlagerung angepasst. Die Frischluft wird über den LS angesaugt und über die Lüftungstunnel SMA und HAA im Lager verteilt. Sie strömt dort über Querverbindungen in den jeweiligen Überwachungsbereich und den konventionellen Bereich. Die Abluft aus dem SMA-Lagerteil und später auch aus dem HAA-Lagerteil (Einlagerungsbetrieb) fliesst dabei über den jeweiligen Betriebstunnel SMA und HAA zum ZB Teil Betrieb. Dort wird sie gemeinsam über den ZS abgesaugt, gemessen/bilanziert und kann im Ereignisfall auch über Filteranlagen auf der OFA geführt werden, bevor sie in die Umgebung ausgestossen wird. Schleusen im Tunnel- und Stollensystem trennen dabei den Lüftungstunnel SMA und HAA von allen Bauwerken, über

⁷ In den Realisierungsphasen vor Beginn der Einlagerung wird die Frischluft über den Betriebsschacht in die untertägige Anlage und die Abluft aus dem Bau- und EUU-Betrieb über den Lüftungsschacht zurück zur Oberfläche geführt, womit sich die Belegschaft auf dem Weg zur Arbeit immer im Frischluftstrom bewegt.

welchen Einlagerungsprozesse erfolgen. Die konventionelle Abluft aus den Vortrieben des HAA-Lagerteils strömt über den Betriebstunnel HAA zum ZB Teil Bau zurück. Unter Annahme eines Sprengvortriebs wird die Abluft, weil potenziell mit Sprengschwaden belastet, auf Lagerebene gesondert in einer Lutte gefasst und über ein separates Abluftabteil im Betriebsschacht an die Oberfläche abgeführt. Über das separate Abluftteil des BS können im Brandfall auch Brandgase aus dem ZB abgeführt werden. Dies erlaubt der Belegschaft auch bei Nutzung des BA als ausziehender Schacht die uneingeschränkte Nutzung des Schachts. Die nicht in gleichem Masse belastete Abluft aus dem ZB Teil Bau wird über den freien Querschnitt des Betriebsschachts abgeführt. Die Lüftungszentralen befinden sich in der OFA und der NZA-B und arbeiten saugend. Die Belüftung der Pilotlager SMA und HAA samt Kontrollstollen und die Bewetterung der Tunnel- und Lagerstollenvortriebe tauchen in diese Zirkulation ein. Die Belüftung des EUU-Bereichs wird aus dem Frischluftstrom abgezweigt und dessen Abluft dem nuklearen Abluftstrom zugeführt. Im Kapitel 5 finden sich weitere Informationen zu den für diesen Lüftungsbetrieb UTA erforderlichen Installationen auf den Arealen der OFA und NZA.

Beobachtungsphase (13): Ab der Beobachtungsphase sind sämtliche Lagerkavernen und Lagerstollen der Pilot- und Hauptlager verfüllt und versiegelt, und somit ist der Überwachungsbereich aufgelöst und die gesamte Lagerebene konventioneller Bereich. Auf Lagerebene müssen lediglich noch Teile des ZB (Teile Bau und Betrieb), und evtl. auch noch Teile des ehemaligen EUU-Bereichs sowie die Kontrollstollen SMA/HAA und Teilabschnitte der Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel bewettert werden. Infolge des Wegfalls von Bautätigkeiten (mit Ausnahme von Unterhaltsarbeiten) und einer reduzierten Personenanzahl in den UTA werden in der Beobachtungsphase geringere Frischluft- und Kühlleistungen benötigt. Grundsätzlich können in dieser Phase die gleichen Lüftungskonzepte, wie in den Einlagerungsphasen beschrieben, weitergeführt werden. Die für die Bewetterung erforderlichen Luftmengen und Kühlleistungen reduzieren sich jedoch deutlich. Wie und ob die Lüftungsrichtung ab der Beobachtungsphase für den Verschluss der UTA-Bauten auf Lagerebene dereinst wieder in den Nebenzugangsbauwerken gekehrt werden soll, wird zudem erst in einer späteren Planungsphase zu fixieren sein.

Verschluss Hauptlager (14) und Verschluss Gesamtlager (15): Die Bewetterung und Kühlung kann wie in der Beobachtungsphase vorgesehen erfolgen. Die Arbeiten zur Verfüllung und Versiegelung können mit Lüftungskonzepten analog der Bauphasen abgedeckt werden (eintauchende Lüftung). Spätestens nach dem Rückbau der OFA und des ZS erfolgt die ganze Bewetterung des gTL nur noch über den einziehenden Lüftungsschacht und den ausziehenden Betriebsschacht, sodass, je nach betrieblichen Anforderungen für den späteren Verschluss der Anlage, die Lüftung auch wieder gekehrt werden könnte. Die Lüftungs- und Kühlungskonzepte können bis zum endgültigen Verschluss der Anlage jederzeit über das Anlagenlayout UTA und die zu diesem Zeitpunkt noch nicht zurückgebauten Primär- und Sekundärkühlkreise der UTA-Kühlung betrieben werden. Die detaillierteren Lüftungskonzepte dieser Realisierungsphase sind für die Auslegung des gTL aktuell nicht von Relevanz und werden deshalb in späteren Planungsphasen konkretisiert.

3.3 Lokale Lüftungskonzepte im Regelbetrieb

In diesem Kapitel werden ausgewählte lokale Lüftungskonzepte für ausgewählte Bauwerke vorgestellt. Die folgenden vier Lüftungskonzepte sind auslegungsbestimmend:

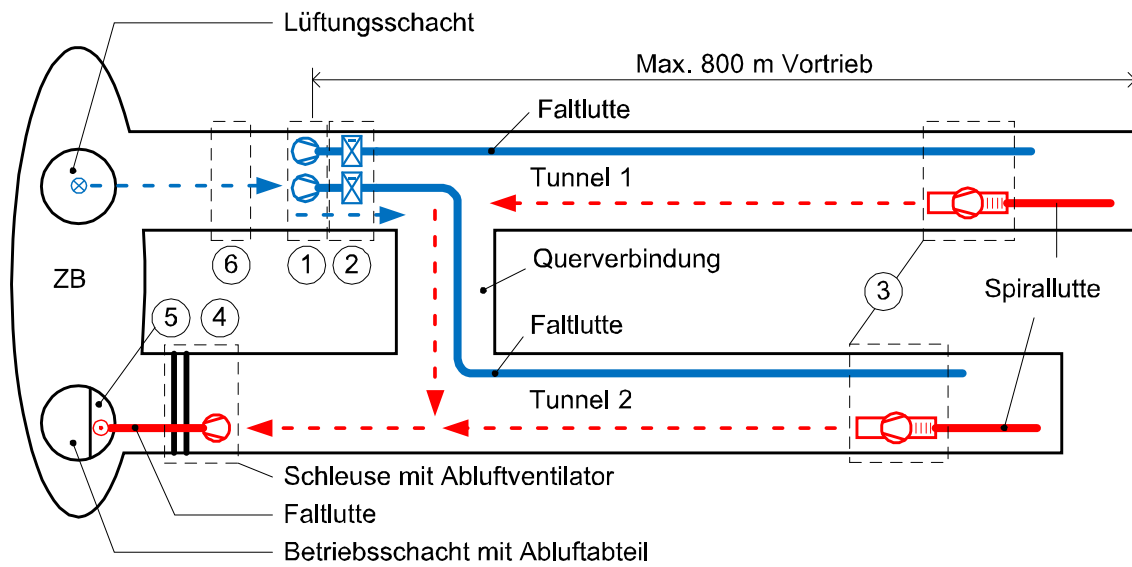
- Bewetterung konventioneller Vortriebe in der Bauphase
- Bewetterung eines TBM-Vortriebs für den Bau eines HAA-Lagerstollens
- Bewetterung einer SMA-Lagerkaverne während der Einlagerung
- Bewetterung eines HAA Lagerstollens während der Einlagerung

Diese Konzepte sind repräsentativ für weitere Bewetterungskonzepte wie sämtliche weitere Vortriebe, Betrieb von Kontrollstollen und für die Temperierung (Kühlung) sämtlicher Räume im ZB und dem EUU-Bereich, die auf ähnlichen Lüftungs- und Kühlungsgrundsätzen basieren.

3.3.1 Bewetterung konventioneller Vortriebe in der Bauphase

Die Bewetterung der Vortriebe im Bau erfolgt generell nach konventionellen und in der Praxis anerkannten Konzepten der Baulüftung nach SIA 196. Der Vortrieb von parallel vorzutreibenden Tunneln, wie z.B. eines Lüftungs- und Betriebstunnel HAA, erfolgt nach dem Prinzip der eintauchenden Lüftung. Bis zur letzten ausgebrochenen Querverbindung zwischen beiden Tunneln wird ein Umluftsystem betrieben und die Vortriebe werden von dort aus mit eintauchenden Lutten versorgt. Die Fig. 3-2 veranschaulicht dieses Konzept beispielhaft für die Phase 4a (Einlagerungsbetrieb SMA, Bau Betriebs- und Lüftungstunnel HAA).

Die Umluft für den fortschreitenden Bau dieser beiden Tunnel wird über offene Querverbindungen durch einen Abluftventilator an der Oberfläche in Gang gehalten. In diese Umluft taucht die Bewetterung der Vortriebe ein (blau). Sie besteht je Vortrieb aus einem Luttenlüfter und einer Faltlutte. Je Vortrieb kommt zusätzlich ein Wetterkühler zum Einsatz, welcher die Frischluft so tief herunterkühlt, dass der Arbeitsbereich für die im Vortrieb tätige Belegschaft auf der zulässigen Temperatur zur Einhaltung der Arbeitsbedingungen gehalten werden kann. Die Faltlutte führt die Frischluft an die Ortsbrust. Die rückströmende Abluft aus dem Vortriebsbereich wird über einen Trockenentstauber geführt, damit auch weitere Arbeiten im Abluftstrom ausgeführt werden können. Die im Falle eines Sprengvortriebs mit Sprengschwaden belastete Abluft wird von der Schleuse direkt hinter dem Vortrieb über eine Lutte zum Betriebsschacht geführt. In dieser Phase ist der Betriebsschacht in zwei Abteile geteilt, ein Abluftabteil und ein Betriebsabteil. Die Abluft aus den Vortriebsbereichen wird über das Abluftabteil des Betriebsschachts zur Oberfläche abgeführt und dort gemeinsam mit der Abluft aus dem Betriebsabteil über ein Abluftbauwerk auf dem NZA-B-Areal ausgeblasen.



- ① 1 Luttenlüfter je Frischluftlütte
- ② 1 Wetterkühler je Frischluftlütte .
- ③ 1 Trockenentstauber samt Ventilator
- ④ Schleuse mit 1 Ventilator
- ⑤ Abluftabteil im Betriebsschacht .
- ⑥ Kaltwasserleitungen , Vorlauf+Rücklauf, beide isoliert (nicht dargestellt).

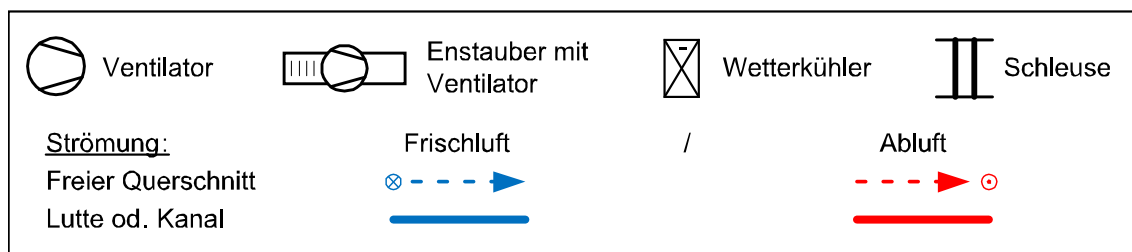


Fig. 3-2: Lüftungs- und Kühlungskonzept von zwei parallel im Bau befindlichen Tunnelvortrieben (z.B. Lüftungstunnel HAA und Betriebstunnel HAA), welche vom zentralen Bereich aus gebaut werden

3.3.2 Bewetterung eines TBM-Vortriebs für den Bau eines HAA-Lagerstollens

Die Bewetterung des TBM-Vortriebs für den Bau eines HAA-Lagerstollens beruht auf ähnlichen Konzepten der Baulüftung wie diejenige der Tunnelvortriebe nach Kapitel 3.3.1. Die Ventilatoren für die Bewetterung des TBM-Vortriebs der Lagerstollen werden dabei in einer Querverbindung im Bereich der Verzweigung zum Betriebstunnel betrieben. Die TBM bzw. der Vortrieb sind von dort max. ca. 1'200 m entfernt (TBM-Vortrieb das Ende des Lagerstollens erreicht). Mit einer wärmeisolierten Lutte und der maximal zulässigen Luftgeschwindigkeit im Arbeitsbereich kann die für die Bewetterung erforderliche Frischluftmenge bis zur TBM gefördert werden (vgl. Fig. 3-3). Ein Teil der Luftmenge wird zusätzlich gekühlt und gelangt bis zum Schild der TBM, von wo die Luft wieder abgesaugt und gefiltert wird.

Der Bereich des Abzweigers und des Umladebereichs wird mit einem zusätzlichen Wetterstrom versorgt, der über eine separate Faltlutte eingebracht wird. Dieser Wetterstrom ist erforderlich, um auch bei Tiefen der Lagerebene von bis zu 900 m an allen Arbeitsstellen die arbeitsmedizinischen Klimaziele zu erreichen. Der dazu erforderliche Wetterkühler steht in der Querverbindung.

Die Kühlung im Vortriebsbereich erfolgt über einen Wetterkühler (integriert im Luttenstrang auf der TBM selbst), welcher mit der TBM mitfährt. Das Kaltwasser zu seiner Versorgung wird über eine isolierte Rohrleitung im Lagerstollen bis zur TBM gebracht (in der Figur nicht dargestellt). Diese Leitung speist auch die TBM mit der notwendigen Kälte zur Kühlung deren Motoren und Werkzeuge. In der Querverbindung wird die zur TBM zu blasende Frischluft zusätzlich über einen Wetterkühler so weit vorgekühlt, dass der auf der TBM installierte Wetterkühler ausreicht, um den Arbeitsbereich auf der Maschine entsprechend mit genügend gekühlter Frischluft versorgen zu können.

Die aus dem Vortrieb über Entstauber geführte Abluft strömt anschliessend im freien Querschnitt zurück in den Umladebereich und via Abzweiger zum Betriebstunnel HAA. Im Umladebereich wird die Luft mit weiterer zugeführter und vorgekühlter Frischluft versetzt, sodass die dort auszuführenden Arbeiten ausführbar sind.

Im Regelbetrieb strömt die Fortluft aus dem Bau der HAA-Lagerstollen über den HAA-Bautunnel ab, wo sie dann den Weg nach dem übergeordneten Lüftungskonzept via ZB und einem separaten Abteil im Betriebsschacht zur Lüftungsanlage auf dem Areal der NZA-B nimmt.

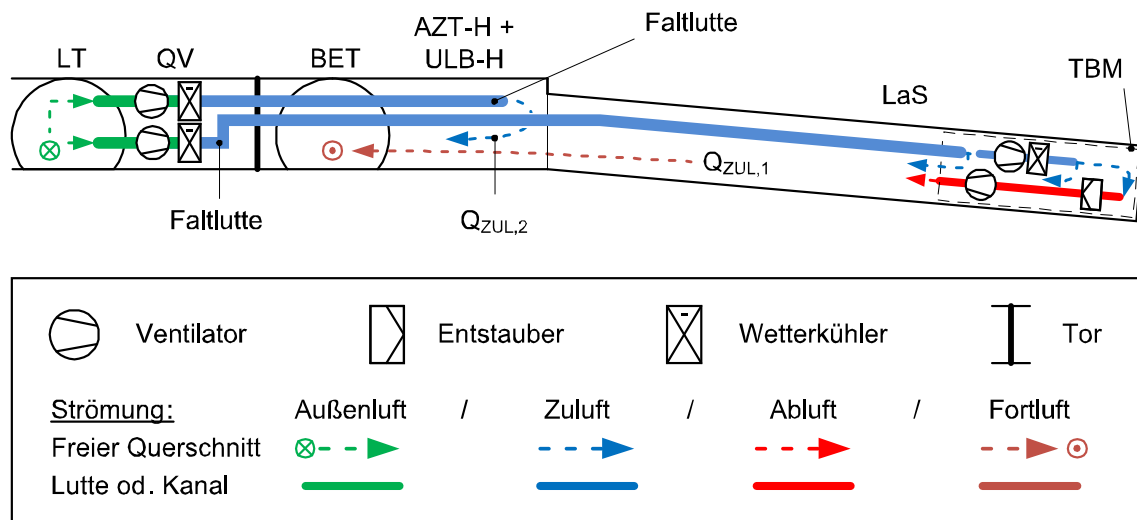


Fig. 3-3: Lüftungs- und Kühlungskonzept eines TBM-Vortriebs für den Bau eines HAA-Lagerstollens

Dargestellt ist, wie die Frischluft ab den Lüftungstunnel (LT) über einen Blechkanal angesogen und über die Querverbindung (QV) und den Betriebstunnel (BET) via Abzweigertunnel (AZT-H) und Umladebereich (ULB-H) bis in den Vortriebsbereich einer TBM im Lagerstollen (LaS) über eine Faltlutter gelangt und von dort im freien Querschnitt zurück via Betriebstunnel wieder abgeführt wird.

3.3.3 Bewetterung der HAA-Lagerstollen während der Einlagerung

Für die Einlagerung wird der HAA-Lagerstollen nicht belüftet. Die automatisierten Einlagerungsgeräte werden für die zu erwartenden Temperaturen ausgelegt. Autonome Entstauber werden für das Einbringen des Bentonitgranulates auf den automatisierten Einbringungsfahrzeugen mitgeführt.

Der Bereich des Abzweigertunnels (AZT-H) und der Umladebereich (ULB-H) werden jedoch belüftet. Dies geschieht in Anlehnung an die Konzepte der Raumlufttechnik gemäss den Richtlinien SIA 382/1 und SIA 2024, wie in Fig. 3-4 dargestellt: Das Herzstück bildet ein Monoblock, platziert hinter dem Tor im Abzweigertunnel vor dem eigentlichen Umladebereich. Die Luft im Umladebereich wird in diesem Monoblock im Umluftbetrieb zirkuliert (Zuluft (ZUL) – Abluft (ABL) – Umluft (UML) und nur ein kleiner Anteil ausgetauscht (Aussenluft (AUL) – Fortluft (FOL), siehe Fig. 3-4). Die laufend benötigte Frischluft wird als Aussenluft ab Lüftungstunnel gefasst und über einen Blechkanal via Monoblock dem Umladebereich zugeführt. Im Monoblock wird die Frischluft dem Umluftstrom zugeführt. Der Monoblock ist zur Umsetzung der je nach Tiefe des Lagerfeldes benötigten Kälteleistung im Umladebereich mit einem Kühlregister ausgerüstet. Dieses Kühlregister ist über eine Stichleitung an einen Kaltwasserkreislauf im Lüftungstunnel angeschlossen. Die Zuluft wird im Kühlregister gekühlt und ggf. getrocknet, um das Klimaziel in der Zuluft zum Umladebereich einzuhalten. Vom Monoblock wird die Zuluft in den Umladebereich in einem Blechkanal bis zum Eingang zum Lagerstollen geführt. Von dort strömt sie im freien Querschnitt zurück bis zum Monoblock, wo sie als Abluft gefasst wird. Die Fortluft wird nach Filterung über einen Blechkanal in den Betriebstunnel ausgestossen.

Im Regelbetrieb strömt die Fortluft aus dem Umladebereich zurück in den Betriebstunnel, wo sie den Weg nach dem übergeordneten Lüftungskonzept zur OFA nimmt. Die Abluft aus dem Umladebereich und dem Lagerstollen muss nicht über einen Nuklidfilter geführt werden.

Es ist davon auszugehen, dass ein geringer Luft- und Wärmeaustausch durch Konvektionszellen zwischen dem unbelüfteten Lagerstollen in den Umladebereich stattfindet, wie in Fig. 3-4 dargestellt.

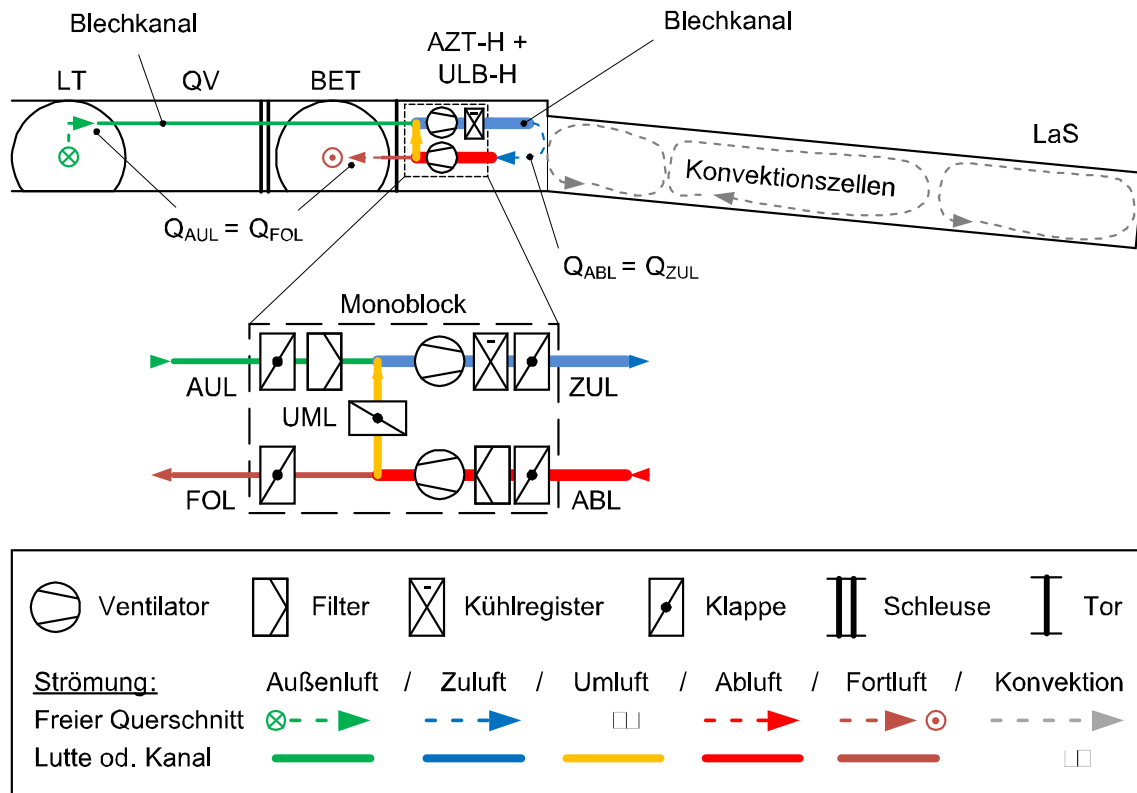


Fig. 3-4: Lüftungs- und Kühlungskonzept für den Umladebereich vor dem HAA-Lagerstollen während der Einlagerung

Für den eigentlichen Einlagerungsbetrieb von ELB, welcher keinen Personenzutritt zum Lagerstollen HAA erfordert, erfolgt keine Bewetterung des Lagerstollens. Mit Frischluft wird lediglich der Umladebereich permanent versorgt. Dargestellt ist, wie die Frischluft ab den Lüftungstunnel (LT) über einen Blechkanal angesogen und über die Querverbindung (QV) und den Betriebstunnel (BET) zum mit einem Tor abgeschotteten Umladebereich (ULB) gelangt und in diesem Bereich über einen Monoblock - platziert im Abzweigertunnel (AZT) - geführt wird. Die Fortluft aus dem Monoblock wird dann als Abluft zurück über den Betriebstunnel dem Abluftstrom aus dem Einlagerungsbereich zugeführt, welcher Richtung OFA abgesogen wird. Der Monoblock beinhaltet keinen Nuklidfilter.

Bei einem Ereignis oder Störfall in einem Lagerstollen während des Einlagerungsbetriebs kann die Lüftung des Umladebereichs komplett abgestellt und der Stollen durch Schliessung der Lüftungsklappen am Monoblock und des Tors lüftungstechnisch vom restlichen Bauwerk getrennt werden.

3.3.4 Bewetterung der SMA-Lagerkavernen während der Einlagerung

Die Lüftung der Lagerkavernen SMA wird in Anlehnung an die Konzepte der Raumlüftungstechnik gemäss den Richtlinien SIA 382/1 und SIA 2024 geplant, wie in Fig. 3-5 dargestellt: Das Herzstück bildet ein Monoblock, platziert bei einem Tor im Abzweigertunnel zur Lagerkaverne. Die Luft in der Lagerkaverne wird im Umluftbetrieb zirkuliert (ZUL – ABL – UML, siehe Fig. 3-5) und nur ein kleiner Anteil ausgetauscht (AUL – FOL, siehe Fig. 3-5). Die laufend benötigte Frischluft wird als Aussenluft ab Lüftungstunnel gefasst und über einen Blechkanal via Monoblock der Kaverne zugeführt. Im Monoblock wird die Frischluft der Kavernenumluft zugeführt. Der Monoblock ist mit einem Kühlregister ausgerüstet zur Umsetzung der je nach Tiefe der Lagerkaverne benötigten Kälteleistung. Dieses Kühlregister ist über eine Stichleitung an einen Kaltwasserkreislauf im Lüftungstunnel angeschlossen. Die Zuluft wird im Kühlregister gekühlt und ggf. getrocknet, um das Klimaziel einzuhalten. Vom Monoblock wird die Zuluft in der Lagerkaverne in einer Faltlutte bis zur Wandscheibe am Ende der Kaverne geführt. Von dort strömt sie im freien Querschnitt zurück bis zum Monoblock, wo sie als Abluft gefasst wird. Die Fortluft, welche auch laufend messtechnisch überwacht wird, wird nach Filterung und Kontrollmessung über einen Blechkanal in den Betriebstunnel ausgestossen.

Im Regelbetrieb strömt die Fortluft aus den Kavernen nach dem Passieren eines Nuklidfilters zurück in den Betriebstunnel, wo sie den Weg nach dem übergeordneten Lüftungskonzept zur OFA nimmt.

Bei einem Ereignis oder Störfall in einer Kaverne während des Einlagerungsbetriebs kann die Lüftung der Kaverne zudem komplett abgestellt und die Kaverne durch Schliessung der Lüftungsklappen am Monoblock und der Schleuse lüftungstechnisch vom restlichen Bauwerk getrennt werden.

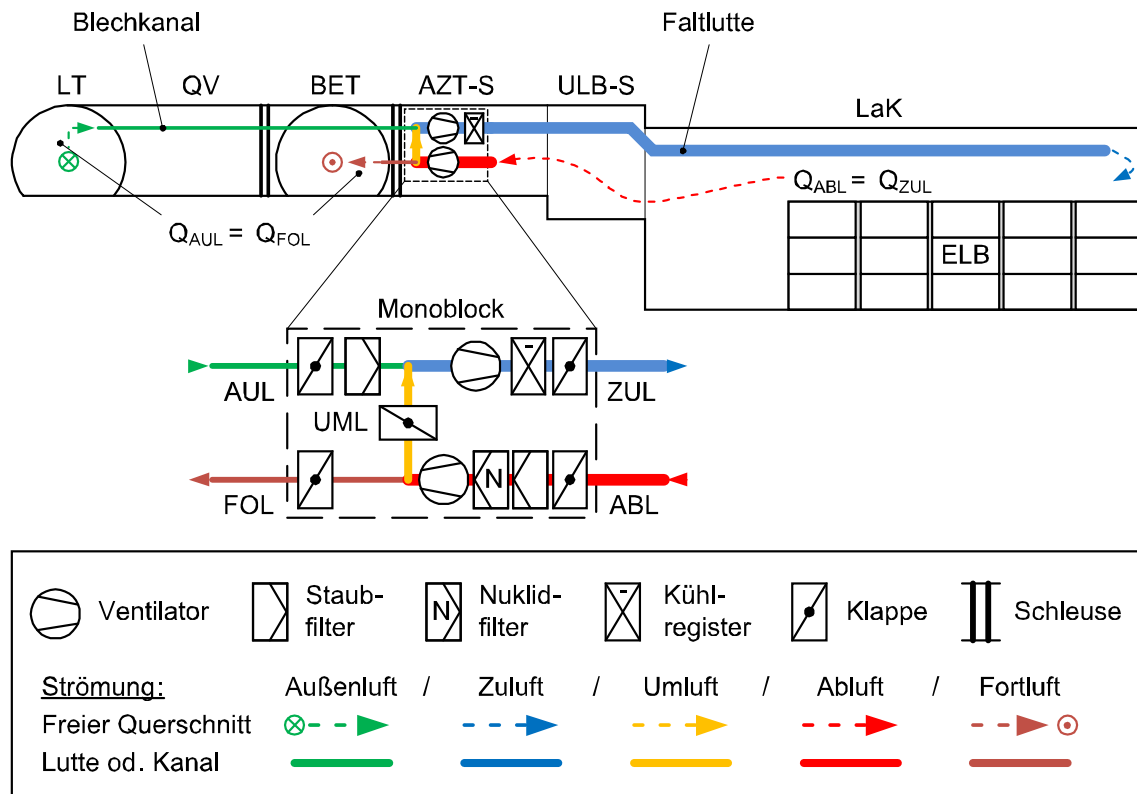


Fig. 3-5: Lüftungs- und Kühlungskonzept der Lagerkavernen SMA während der Einlagerung

Dargestellt ist, wie die Frischluft ab den Lüftungstunnel (LT) über einen Blechkanal angesogen und über die Querverbindung (QV) und den Betriebstunnel (BET) zum mit einem Tor abgeschotteten Umladebereich (ULB) gelangt und in diesem Bereich über einen Monoblock platziert im Abzweigertunnel (AZT) geführt wird. Die Fortluft aus dem Monoblock wird dann als Abluft zurück über den Betriebstunnel dem Abluftstrom aus dem Einlagerungsbereich zugeführt, welcher Richtung OFA abgesogen wird. Der Monoblock beinhaltet zudem noch einen Nuklidfilter.

3.4 Lüftungskonzepte im Brand- bzw. Störfallbetrieb (Ereignisfall)

Die in Tab. 3-1 aufgeführten Realisierungsphasen können im Störfallbetrieb in zwei Gruppen eingeteilt werden. Im Folgenden wird das zu den beiden Gruppen zugehörige Lüftungskonzept im Brand- bzw. Störfallbetrieb (Ereignisfall) vorgestellt. Im Kapitel 2.3.6 wurde das allgemeingültige Flucht- und Rettungskonzept und im Kapitel 2.3.5 und 2.3.7 die saugende Bewetterung und das Brandschutzkonzept für die UTA vorgestellt, welche mit Bezug zur Lüftung im Brand und Störfall zusammen wie folgt funktionieren:

- Realisierungsphasen vor Beginn Einlagerung (3, 4, 6): Im Falle eines Brandes in dieser Betriebsphase wird die Luftzirkulation in allen Stollen in die gleiche Richtung wie im Regelbetrieb weiterbetrieben, um eine zum Entlüftungsbauwerk (Lüftungsschacht) gerichtete Strömung aufrechtzuerhalten. Die Bauten in der UTA sind in dieser Phase mit Rettungscontainern ausgerüstet, sodass jeder Arbeitspunkt höchstens 500 m von einem solchen entfernt liegt. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet, sodass sie auch im Brandfall über Querverbindungen usw. zu einem sicheren Fluchtendpunkt und/oder bis zum nächsten Rettungscontainer flüchten kann. Selbstrettung/Intervention von aussen erfolgt in dieser Phase über den Betriebsschacht, welcher als einziehender Wetterweg genutzt wird.
- Realisierungsphasen ab Einlagerung (9, 10, 12): Die Lüftungstunnel SMA und HAA sind nach deren Fertigstellung über Querverbindungen gegen den Betriebstunnel mit Schleusen und gegen den Bautunnel mit Türen/Toren abgetrennt und werden als sichere Bereiche betrieben. Sie werden direkt mit Frischluft ab dem Lüftungsschacht versorgt und stehen gegenüber den anderen Untertagobjekten unter Überdruck. Jeder Aufenthaltsort, an dem sich Bau- und oder Betriebspersonal untertag aufhalten kann, ist dabei maximal 500 m von einem Lüftungstunnel oder einem anderen sicheren Fluchtendpunkt im Bereich der Bauten des ZB entfernt. Sollte in den konventionellen Bereichen der Anlage diese Fluchtdistanz an einigen Stellen dennoch grösser ausfallen, werden an geeigneten Orten Rettungscontainer aufgestellt. Im ZB ist zudem eine Rettungskaverne mit Anbindung an den Lüftungstunnel vorhanden, sodass diese ebenfalls als sicherer Fluchtendpunkt dienen kann. Die ortskundige Belegschaft ist zudem mit Selbstrettern ausgerüstet, sodass diese bei einem Brand bis zum Lüftungstunnel oder zum nächsten Rettungscontainer flüchten kann. Sowohl im Brandfall als auch in einem extrem unwahrscheinlichen Störfall wird die Luftzirkulation in den UTA immer in der gleichen Richtung wie im Regelbetrieb weiterbetrieben, um eine zu den Entlüftungsbauwerken (OFA und NZA-B) gerichtete Strömung und immer sichere Fluchtwege aufrechtzuerhalten.

Generell gilt im Ereignis-/Störfallbetrieb, dass allfällige in der UTA freigesetzte Radioaktivität auf der OFA über installierte zuschaltbare Filter aus dem Abluftstrom herausgefiltert werden kann. Der Lüftungstunnel kann zudem im Brandfall und/oder bei einem Störfall mit einem Überdruckventilator am Kopf des LS zusätzlich unter Druck gesetzt werden, um die Funktion eines unverrauchbaren Fluchtendpunktes sicherzustellen und damit auch Gewähr zu bieten, dass die Abluft aus dem Einlagerungsbereich immer kontrolliert in Richtung OFA abzieht.

Im Zuge der weiteren Projektkonkretisierung bis zur Einreichung der entsprechenden Bau- und Betriebsbewilligungen werden die vorliegenden Lüftungskonzepte, inkl. der mögliche Umluftbetrieb der SMA-Kavernenbelüftung (wo ebenfalls Filter im Abluftstrom vorgesehen sind), mit Bezug auf eine Ereignislüftung/Isolation/Abschottung von Brandherden auf Basis der vorliegenden Konzepte noch weiterentwickelt.

4 Kühlungskonzept UTA

4.1 Konzeptwahl auf Basis Trockenkühlung

Die Temperatur des Erdreichs, ausschlaggebend für die Kühlung eines geologischen Tiefenlager mit einer Tiefe bis zu 1'000 m, liegt immer deutlich höher als die arbeitsmedizinischen Klimagrenzwerte (zulässige Arbeitsplatztemperaturen). Zur natürlichen Wärmequelle des Erdreichs kommen noch technische Quellen aus Bau und Betrieb hinzu, sodass an Arbeitsstellen, an denen Mensch und Technik im Untergrund zum Einsatz kommen, eine aktive Kühlung der dort zuzuführenden Frischluft erforderlich ist.

Bei der vorhandenen natürlichen Wärmequelle des Erdreichs und weiteren Wärmequellen kann die Kühlleistung nicht durch die Bereitstellung von höheren Frischluftmengen sichergestellt werden. Eine adiabatische Kühlung ist aufgrund der Anforderungen an die Arbeitsplatzhygiene ausgeschlossen. Basierend auf den für die Kühlung erforderlichen Kühlleistungen, erfolgt die Kühlung von Arbeitsstellen und Aufenthaltsbereichen von Personen im gTL primär über eine Trockenkühlung.

Der Kälteträger, über welchen die Abwärme aus den UTA abgeführt wird, ist dabei reines Wasser in einem geschlossenen Kaltwasserkreislaufsystem.

Das Kaltwassersystem besteht im Wesentlichen aus einer Kältezentrale übertag, in welcher kaltes Wasser aufbereitet und über einen Primärkreislauf mit Schachtleitung auf Lagerebene gebracht wird. Dort wird das Kaltwasser in Sekundärkreisläufen zu den Vortrieben und den Lagerbauwerken verteilt. Die Endabnehmer dieser Kälte, Wetterkühler und Monoblöcke, kühlen vor Ort die Luft entsprechend der vorgegebenen Klimagrenzwerte. Ein Wetterkühler ist ein im Bergbau gebräuchlicher Luft-Kaltwasser-Wärmetauscher mit Ventilator, der allein stehen oder in eine Lutzenlüftung eingebunden werden kann. Die Monoblöcke sind mit Kühlregistern ausgerüstet, die mit dem Kaltwasser betrieben werden. Das Kühlungskonzept wird in den folgenden Kapiteln für die massgebende(n) Betriebsphasen(n) detaillierter vorgestellt.

4.2 Kühlungskonzept

Die für den Bau und den Betrieb erforderlichen Komponenten für eine Trockenkühlung des gTL bestehen im Wesentlichen aus

- einem **Rückkühlwerk und einer Kältezentrale übertag**, wo die Frischluft angesaugt wird (für Details vgl. zusätzlich Kapitel 5)
- einem **primären Kaltwasserkreislauf** zwischen der Kältezentrale und dem Hochdruck-/Niederdruckwärmetauscher (HD/ND-Wärmetauscher) am Schachtfuss im ZB
- **sekundären Kaltwasserkreisläufen** zwischen dem HD/ND-Wärmetauscher im ZB und den Endabnehmern der Kälte (Klimageräte) in den übrigen Bereichen des gTL, wie Vortriebsbereiche, Aufenthaltsräume, technische Räumen und Einlagerungsbereiche

Die Fig. 4-1 zeigt das Kühlungskonzept der UTA beispielhaft in der Einlagerungsphase HAA (12) als grobes Prinzipschema. Die Kühlungskonzepte der übrigen relevanten Phasen sind in Anlage A.2 dargestellt und erläutert.

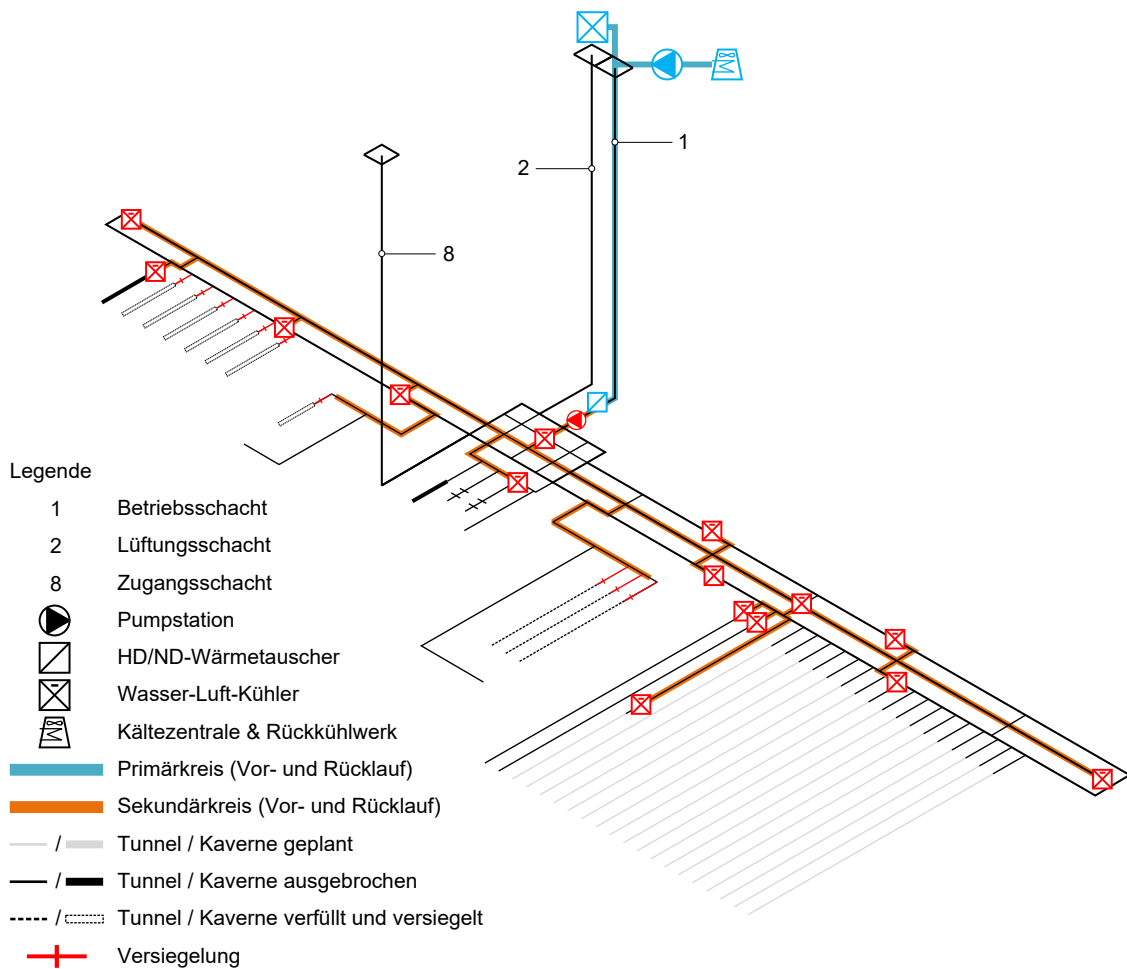


Fig. 4-1: Kühlungskonzept in der Einlagerungsphase HAA (12)

Fig. 4-1 zeigt exemplarisch den Tiefenlagerbetrieb mit parallelem Einlagerungsbetrieb SMA/HAA und dem Bau von HAA-Lagerstollen, wo:

- die SMA-Einlagerung im SMA-Lagerstollen in der letzten SMA-Kaverne noch nicht komplett beendet ist und dort noch Kühlleistung benötigt wird
- im SMA- und HAA-Lagerstollen die Pilotlager komplett verfüllt sind und für den Betrieb der Kontrollstollen keine Wetterkühler mehr benötigt werden
- die HAA-Einlagerung im ersten HAA-Lagerstollen im Gange ist und der zweite Lagerstollen dafür vorbereitet wird, wofür im Abzweiger/Umschlagbereich Monoblöcke betrieben werden
- der dritte HAA-Lagerstollen parallel (getrennt durch eine Schleuse vom HAA Einlagerungsbereich) über den Bautunnel aufgeföhren wird und Wetterkühler auf der TBM mitgeföhrt werden

Die Funktionsweise der Trockenkühlung nach Fig. 4-2 ist dabei die Folgende: Abwärme aus dem Tiefenlager, welche über den Kaltwasserkreislauf zum Rückkühlwerk an der Oberfläche abgeföhrt wird, wird dort an die Umgebung abgegeben. Das Kühlwasser wird in der Kältezentrale übertag aufbereitet und im Primärkreis zum HD/ND-Wärmetauscher am Schachtfuss gepumpt. Von dort strömt es mit höherer Temperatur zur Kältezentrale zurück. Der HD/ND-Wärmetauscher am Schachtfuss trennt den Primärkreis unter Hochdruck von den vier Sekundärkreisen

unter Niederdruck, die den ZB, den EUU-Bereich und die Lagerteile SMA/HAA mit Kälte versorgen. Die Anlagen übertag und der Primärkreis werden zu Beginn der Realisierung der Bauten für den EUU-Betrieb erstellt. Die vier Sekundärkreise werden nach und nach mit dem Bau- und Betriebsfortschritt erstellt und erweitert, bis das Kaltwassersystem seine grösste Ausdehnung in der Phase 5 erreicht. Die Sekundärkreise zum SMA- und HAA-Lagerteil werden in dem jeweiligen Lüftungstunnel verlegt. Alle Wasserleitungen sind isoliert, um Kälteleistung zu sparen. An dieses System werden die Wetterkühler und die Monoblöcke der Lüftungen einzelner Tunnel, Vortriebe, Räume, Lagerkavernen und Lagerstollen angeschlossen, welche die Luft vor Ort kühlen (vgl. auch lokale Kühlungskonzepte im Kapitel 3.3).

In Ergänzung zu dieser untertag benötigten Kühlleistung wird die in das Tiefenlager einziehende Frischluft am Schachtkopf des Lüftungsschachts über einen Wärmetauscher vorkonditioniert (geköhlt und getrocknet respektive geheizt), um die in die untertägige Anlage zu pumpende Kühlleistung zu reduzieren.

Da sich der Kühlbedarf der UTA je nach Region bzw. Lagertiefe ändert, ändern entsprechend auch die zu fördernden Wassermengen und folglich auch die Bemessung der Rohrleitungen der Primär- und Sekundärkreise.

Die Fig. 4-2 stellt die Anlagen der Wärme-/Kälteversorgung übertag vereinfacht dar (für Details zu den übertag erforderlichen Komponenten wird auf Kapitel 5 verwiesen).

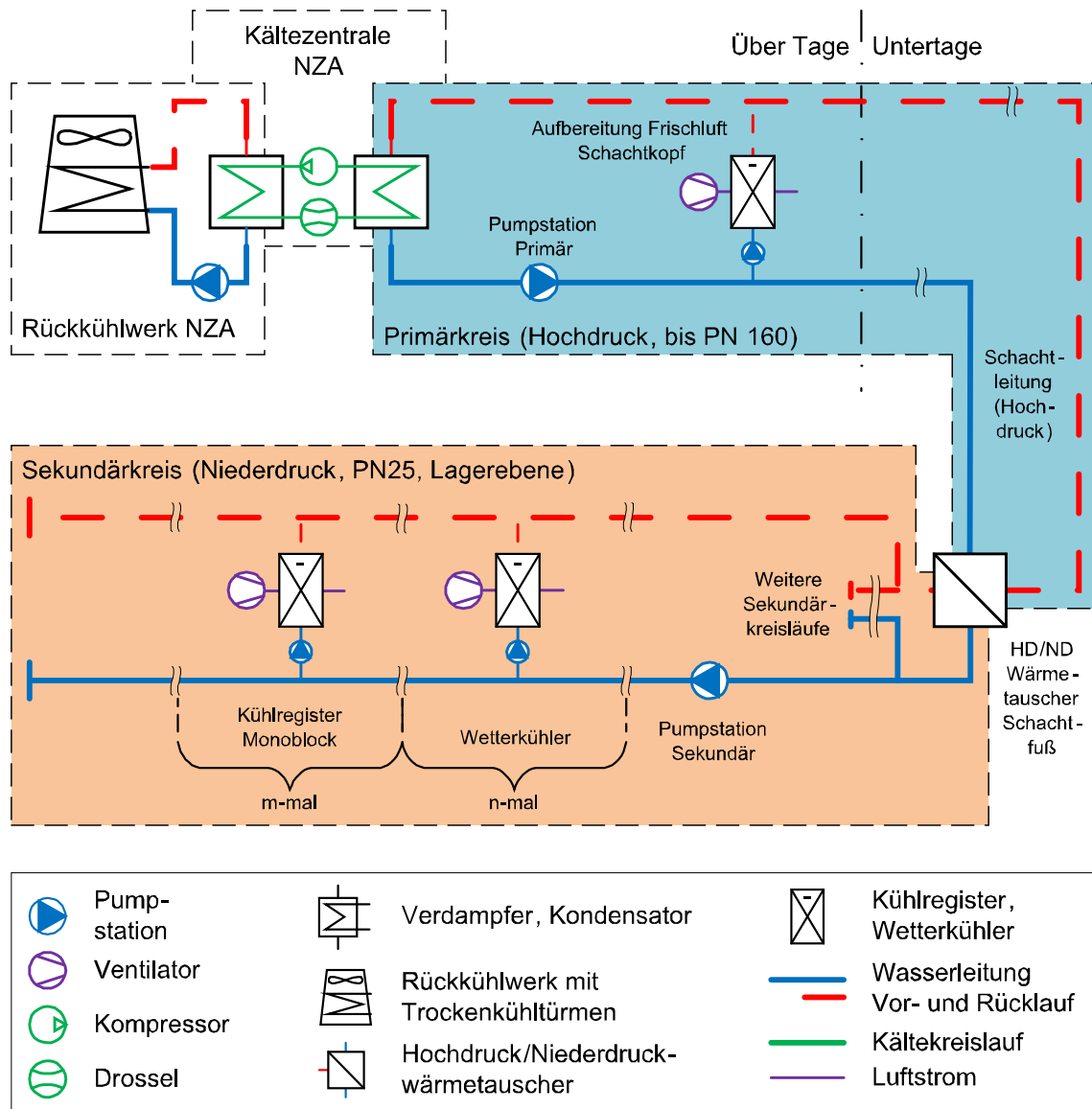


Fig. 4-2: Prinzipschema der Kühlung der UTA mit Anlagenkomponenten übertag und untertag

4.3 Kühlbedarf

Der Kühlbedarf der UTA setzt sich aus dem Bedarf für die Vorkonditionierung der Zuluft am einziehenden Schachtkopf übertag und aus dem Kühlbedarf für den Betrieb der erforderlichen Anzahl von Wetterkühler und Monoblöcken untertag zusammen. Zur Ermittlung des Kühlbedarfs sind primär die Witterungsbedingungen übertag, die technischen Wärmequellen untertag, die Wärme des Erdreichs und die zu erreichenden Klimaziele untertag von Relevanz. Der Kühlbedarf für ein Tiefenlager hängt dabei massgebend von dessen Tiefenlage im Untergrund ab.

Der Kühlbedarf der Vorkonditionierung der Frischluft hängt auch von der erforderlichen Luftmenge und der Witterung ab.

Der Kühlbedarf der Anlagen untertag hängt von der Lagertiefe und der Phase ab, d.h. der Ausdehnung der Stollen und den dort zu beherrschenden Bau- und Einlagerungsprozessen. Der höchste Kühlbedarf ist in den Realisierungsphasen mit Einlagerung und gleichzeitigem Bau der HAA-Lagerstollen zu erwarten.

Der Kühlbedarf eines gTL wird in den folgenden Projektphasen stufengerecht konkretisiert.

5 Anlagen übertag

In diesem Kapitel werden die Anlagen der Lüftung/Kühlung UTA beschrieben, die übertag auf den OFA, NZA-B und NZA-L benötigt werden. Insbesondere wird darauf eingegangen, wo in den Phasen der Einlagerung Frischluft in das Tiefenlager gelangt und wo Abwetter wieder an die Umwelt abgegeben werden. Die dafür erforderlichen Bauwerke und Systeme werden grob beschrieben. Am Schluss des Kapitels wird spezifisch auf die Abluftqualität im Regelbetrieb und im Störfall- bzw. Ereignisbetrieb eingegangen.

5.1 Gebäude der Lüftung/Kühlung UTA auf den OFI

Die Lüftung und Kühlung der UTA erfordert auf den Arealen der OFI verschiedene Gebäude. Für den Bau und Einlagerungsbetrieb ab Phase 4a werden auf der OFA benötigt:

- das Schachtkopfgebäude des Zugangsschachts
- das Lüftungsgebäude OFA

Auf den NZA-B sind die folgenden Gebäude erforderlich:

- das Schachtkopfgebäude des Betriebsschachts
- das Lüftungsgebäude der NZA-B
- das Wärme-/Kälteversorgungsgebäude der NZA-B

Auf den NZA-L sind die folgenden Gebäude erforderlich:

- das Schachtkopfgebäude des Lüftungsschachts
- das Lüftungsgebäude der NZA-L

Die NZA-B und NZA-L können je nach Standort des gTL auf einem gemeinsamen NZA-BL-Areal realisiert werden.

5.2 Abluftwege der UTA über die OFA

Der Aufbau der lüftungstechnischen Anlagen im Schachtkopfgebäude des Zugangsschachts und dem zugehörigen Lüftungsgebäude für die Entlüftung der Überwachungsbereiche ist in Fig. 5-1 schematisch dargestellt. Die Figur zeigt den Schachtkopf des Zugangsschachts auf dem OFA-Areal im Übergang zum Lüftungsgebäude in den Betriebszuständen Regelbetrieb und Störfallbetrieb während des Einlagerungsbetriebs.

Das Schema der Fig. 5-1 zeigt folgende Anlagen:

- die redundante Abluftventilatorengruppe fortluftseitig des Luftweges, dargestellt als ein einzelner Ventilator
- Aktivitätsmessungen im Abluftstrom im Schachtfuss, im Schachtkopf und in der Fortluft
- Schalldämpfer saug- und druckseitig der Ventilatoren
- Klappen zur Absperrung der Filtersysteme bzw. Umschaltung vom Regel- in den Störfallbetrieb
- das Filtersystem mit einem Staubfilter (Vorfilter F7) und einem HEPA-Filter H13 als Nuklidfilter

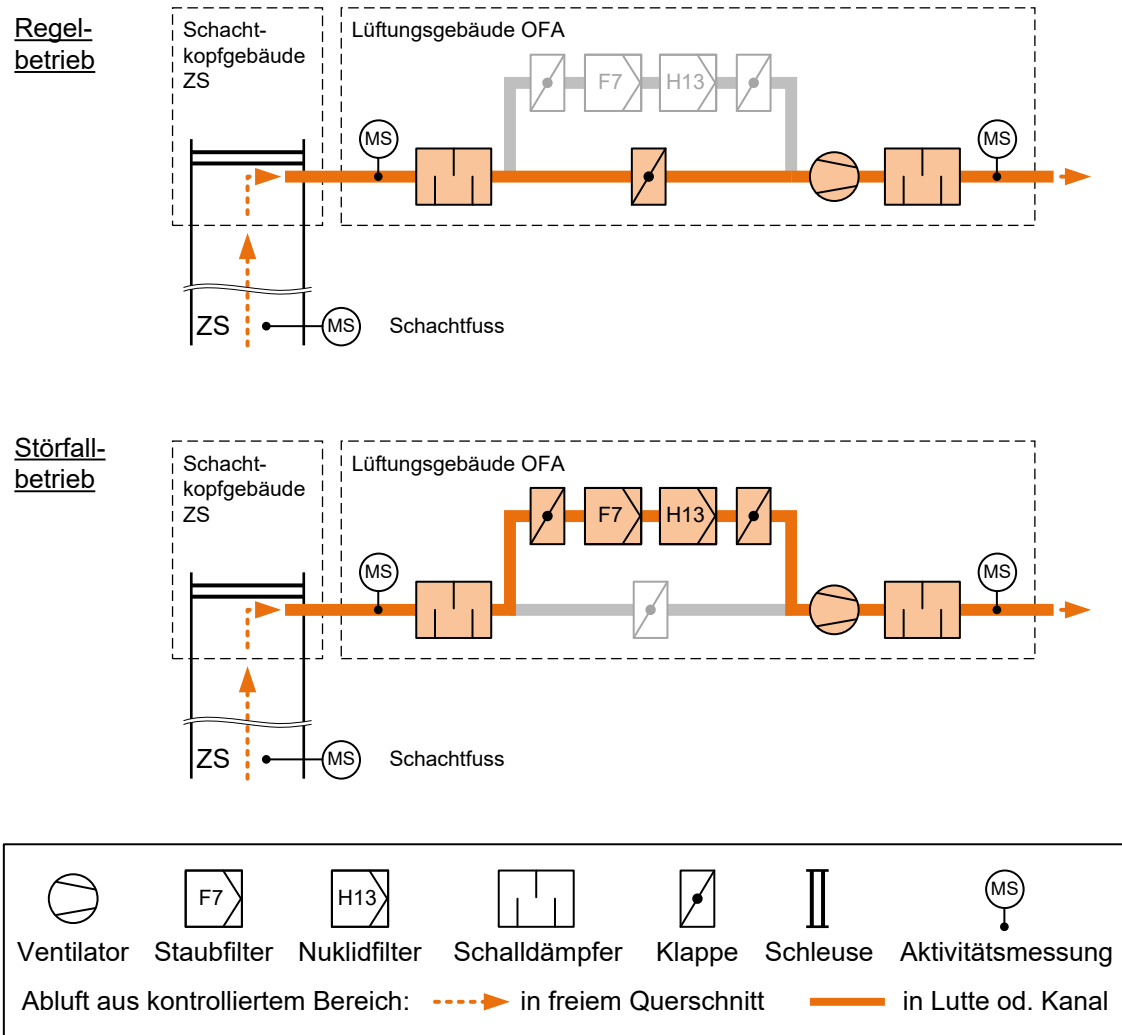


Fig. 5-1: Entlüftung des Überwachungsbereiches der UTA über die OFA im Regelbetrieb und im Störfallbetrieb über zuschaltbare Filter

Die Abluft aus dem Überwachungsbereich der UTA strömt den Zugangsschacht hinauf, wird im Schachtkopfgebäude gefasst und in einem Kanal in das Lüftungsgebäude geführt. Aktivitätsmessungen am Schachtfuss und am Schachtkopf überprüfen die Qualität der Abluft zusätzlich zu Messungen im Umschlags- und Einlagerungsbereiche. Im Regelbetrieb ist die Abluft nuklidfrei und wird ungefiltert in die Umgebung ausgestossen (siehe Fig. 5-1, Regelbetrieb).

Sollte es trotz aller Sicherheitsvorkehrungen beim Transport der Abfälle und im Einlagerungsprozess zu einer Freisetzung von Radionukliden kommen, kann die Abluft aus dem Einlagerungsbetrieb über Nuklidfilter geführt werden: Bei Ansprechen einer Aktivitätsmessung schaltet die Entlüftung des überwachten Bereichs unverzüglich auf Filterbetrieb um: Die Absperrklappen der Filter werden geöffnet, die Absperrklappe des direkten Stranges geschlossen und die Leistung der Ventilatoren hochgefahren (siehe Fig. 5-1, Störfallbetrieb). Die Aktivitätsmessung in der Fortluft, am Austritt der Abluft in die Umgebung, überwacht die Wirksamkeit der Massnahme.

Schalldämpfer saug- und druckseitig der Ventilatoren sorgen dafür, dass die Lärmimmissionen der Ventilatoren im Schachtkopfgebäude und in der Umgebung die Grenzwerte sowohl Regel- als auch im Störfallbetrieb einhalten.

Bei einem Brandereignis im Tiefenlager wird, wo möglich, der Brandherd brandschutztechnisch isoliert, der Brand gelöscht und der Bereich danach wieder an die Abluftanlage angeschlossen. Die belüfteten Tunnel- und Stollenbereiche werden dabei nicht isoliert. Die Ventilatorgruppen auf der OFA können somit zur Entrauchung verwendet werden (vgl. auch Kapitel 2.3.5 und 3.2). Ein detailliertes Ereignis- und Störfallkonzept mit allen relevanten Lüftungsszenarien wird stufengerecht in späteren Planungsphasen erarbeitet.

5.3 Zu- und Abluftwege der UTA über die NZA-L und NZA-B

Der Aufbau der Lüftungstechnischen Anlagen der UTA in den Schachtkopf- und Lüftungsgebäuden auf den NZA-L und den NZA-B sind in Fig. 5-2 schematisch dargestellt. Die Figur zeigt den Regelbetrieb während des Einlagerungsbetriebs. Darin ersichtlich sind die Frischluftzufuhr der gesamten UTA über den Lüftungsschacht und die Ableitung der Abluft aus der konventionellen Zone über den Betriebsschacht.

5.3.1 Zuluftwege der UTA über NZA-L

Im Schema der Fig. 5-2 sind folgende Anlagen der Frischluftzufuhr der UTA auf der NZA-L sichtbar:

- der Filter und der Wärmetauscher der Vorkonditionierung der Frischluft
- die Ventilatorgruppe der für den Ereignisbetrieb zuschaltbaren Überdrucklüftung der UTA, dargestellt als ein einzelner Ventilator
- Schalldämpfer saug- und druckseitig der Ventilatoren
- Klappen zur Absperrung der Ventilatorgruppe bzw. Umschaltung vom Regel- in den Ereignisbetrieb

Die Aussenluft wird am Lüftungsgebäude auf der NZA-L gefasst und gefiltert. Der Wärmetauscher kann sowohl zur Kühlung und Trocknung als auch zur Erwärmung der Aussenluft dienen. Damit wird sichergestellt, dass die Temperatur der in den Schachtkopf einströmenden Zuluft im Winter über dem Gefrierpunkt und im Sommer unter einer oberen Grenze liegt. Zudem kann die Aussenluft im Sommer getrocknet werden, um die Feuchtigkeit UTA kontrollieren zu können. Der Wärmetauscher ist an das Wärme-/Kälteversorgungsgebäude der NZA-B angeschlossen.

Bei einem Brandereignis oder Störfall auf Lagerebene kann die Überdrucklüftung der UTA im Schachtkopfgebäude NZA-L durch Umschalten der entsprechenden Klappen und Einschalten der Ventilatoren zugeschaltet werden. Damit wird in den Lüftungstunnel SMA und HAA ein zusätzlicher Überdruck gegenüber den Bau- und Betriebstunnel erzeugt und sichergestellt, dass die Lüftungstunnel immer als unverrauchter Interventions- und Fluchtweg benutzt werden können.

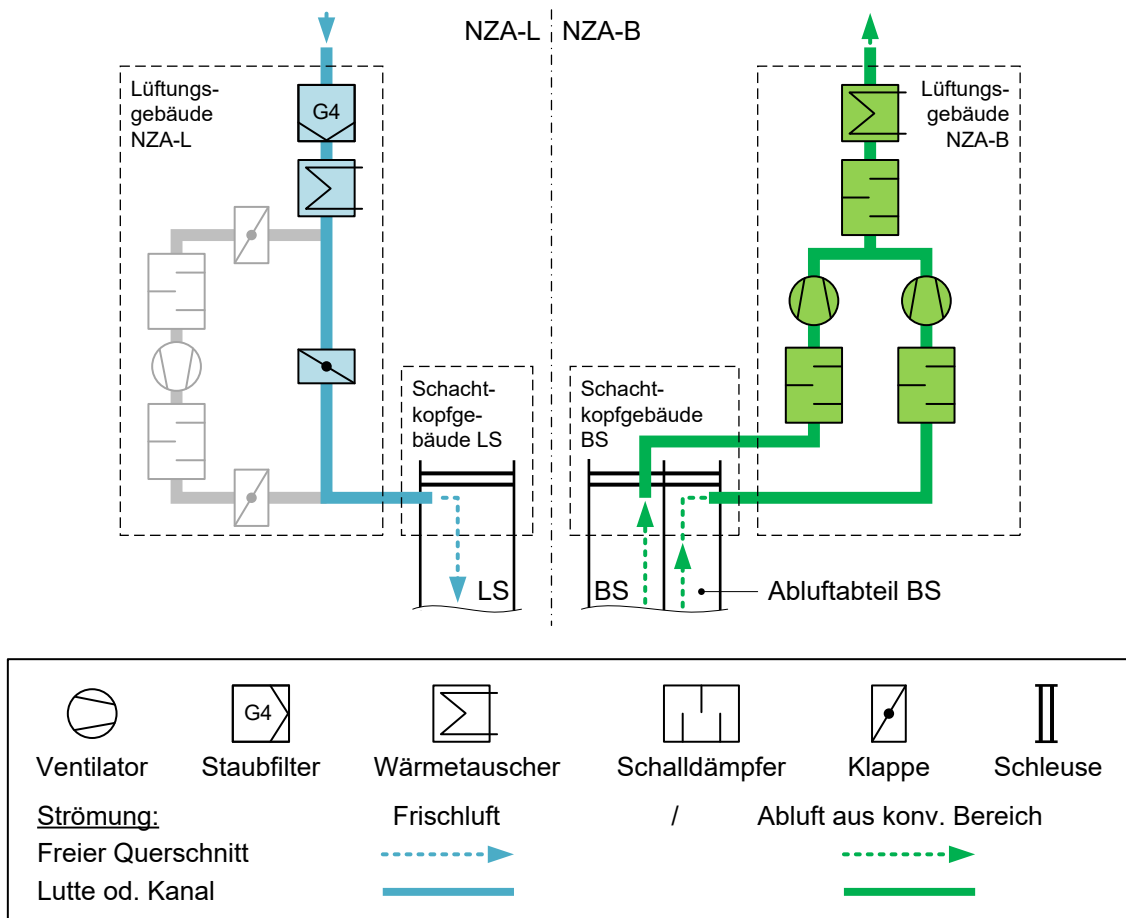


Fig. 5-2: Frischluftzufuhr der UTA über NZA-L und Ableitung der Abluft aus der konventionellen Zone über NZA-B im Einlagerungsbetrieb

5.3.2 Abluftwege der UTA über NZA-B

Im Schema der Fig. 5-2 sind folgende Anlagen der Entlüftung der konventionellen Zone auf der NZA-B sichtbar:

- die getrennten Abluftführungen aus dem Betriebsschacht und ein Abluftabteil zur Ableitung der Abluft aus den Vortriebsbereichen
- die getrennten, redundanten Ventilatorgruppen dieser Luftführungen, dargestellt als ein einzelner Ventilator
- Schalldämpfer saug- und druckseitig der Ventilatoren
- der Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft oder Wärmeabgabe an die Abluft

Während des Einlagerungsbetriebs wird die Abluft der konventionellen Zone immer gleich geführt, unabhängig davon, ob es sich um den Regel-, Störfall oder Ereignisbetrieb mit Brand handelt. Der Betriebsschacht ist dafür in zwei Abteile eingeteilt, eines für die potenziell mit Sprengschwaden belastete Abluft der Vortriebe und eines für die Abluft aus dem ZB. In letzterem fährt auch die Schachtförderanlage. Die Abluft beider Abteile wird am Schachtkopf in getrennten Kanälen gefasst, in das Lüftungsgebäude geführt und durch getrennte Ventilatorgruppen abgesaugt. Die beiden Abluftströme vereinigen sich druckseitig der Ventilatoren und werden gemeinsam ausgestossen.

Schalldämpfer saug- und druckseitig der Ventilatoren sorgen dafür, dass die Lärmimmissionen der Ventilatoren im Schachtkopfgebäude und in der Umgebung die Grenzwerte sowohl Regel- als auch im Störfall- und Ereignisbetrieb einhalten.

Bevor die Abluft in die Umgebung ausgestossen wird, wird sie durch einen Wärmetauscher geführt. Im Winter kann mit dem Wärmetauscher aus der warmen Abluft der UTA Wärme rückgewonnen werden. Im Sommer kann damit die kältere Abluft der UTA als Wärmesenke für die Kältezentrale genutzt werden.

Da die Luft der Vortriebe untertag gefiltert wird, sind übertag keine Filter in der Fortluft vorgesehen.

Bei einem Brandereignis im Tiefenlager wird, wo möglich, das entsprechende Areal brandschutztechnisch isoliert, der Brand gelöscht und der Bereich danach wieder an die Abluftanlage angeschlossen. Die belüfteten Haupttunnel und -stollen werden dabei nicht isoliert. Die Ventilatorgruppen auf der NZA-B können somit zur Entrauchung verwendet werden (vgl. auch Kapitel 2.3.5 und 3.2).

5.4 Das Wärme-/Kälteversorgungssystem des gTL

Der Aufbau des Wärme-/Kälteversorgungssystems des gTL übertag und bis zum Fuss des Betriebsschachts ist in Fig. 5-3 schematisch dargestellt. Die Figur zeigt den Zustand während des Einlagerungsbetriebs.

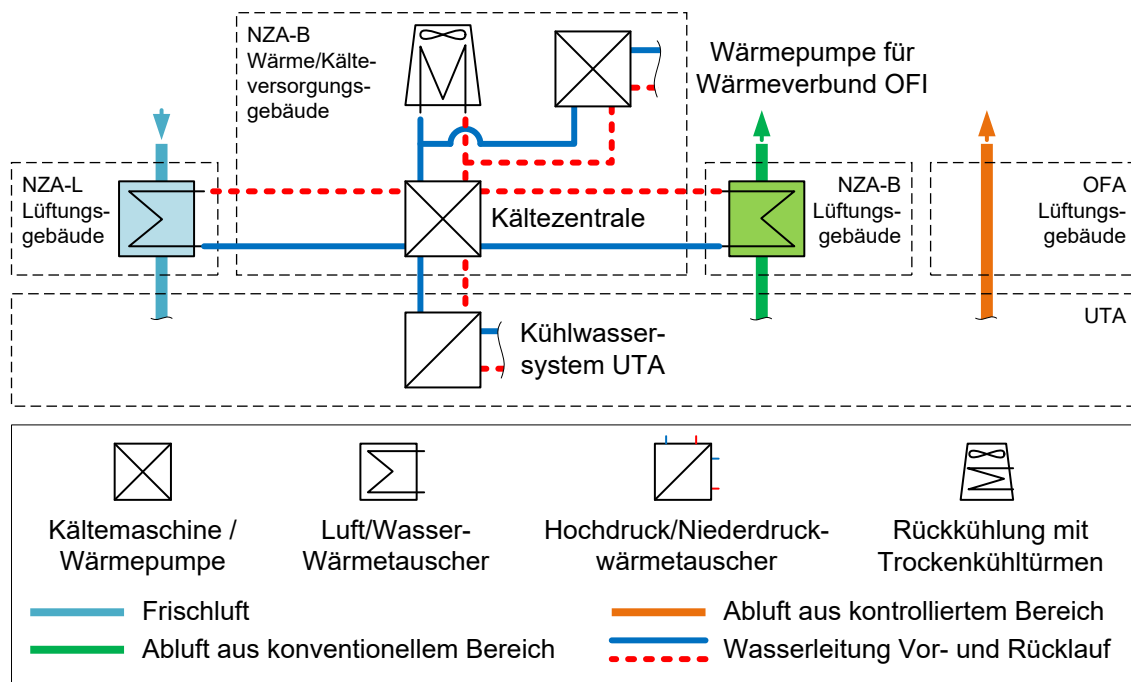


Fig. 5-3 Wärme-/Kälteversorgungssystem des gTL als Gesamtsystem

Das Schema der Fig. 5-3 zeigt folgende Anlagen des Wärme-/Kälteversorgungssystems der UTA und OFI:

- die Kältezentrale mit angeschlossener Rückkühlung und möglicher Wärmepumpe für die Bildung eines Wärmeverbunds für die Versorgung der OFI Bauten mit Wärme und Kälte
- den Hochdruck-/Niederdruckwärmetauscher der Kühlung UTA am Fuss des Betriebsschachts
- den Wasser-/Luftwärmetauscher im Lüftungsgebäude der NZA-L zur Vorkonditionierung der Frischluft der UTA
- den Wasser-/Luftwärmetauscher im Lüftungsgebäude der NZA-B zur thermischen Nutzung der Abluft der UTA
- die verschiedenen Wasserkreisläufe, die die Kältezentrale mit den verschiedenen dargestellten Komponenten verbinden.

Das Wärme-/Kälteversorgungssystem übertag hat keine Schnittstelle zu der Abluft aus dem Überwachungsbereich, wie in der Figur angedeutet ist. Die Kälteversorgung der Überwachungsbereiche erfolgt über Kühlkreisläufe untertag ab Schachtfuss Betriebsschacht.

Die Luft/Wasserwärmetauscher im Frischluftstrom über die NZA-L und im Abluftstrom über die NZA-B können je nach Jahreszeit wechselseitig als Vorkühler, Vorwärmer oder Wärmesenke dienen, wie in den Kapiteln 5.3.1 und 5.3.2 erläutert wird. Insbesondere kann mit dem Wärmetauscher der NZA-B Abwärme aus den UTA rückgewonnen werden oder Abwärme der Kältezentrale abgeführt werden. Weiter kann die Abwärme der Kältezentrale in Trockenkühltürmen auf dem Dach des Wärme-/Kälteversorgungsgebäude an die Umgebung abgeführt, oder mittels Wärmepumpe genutzt werden, um die benötigte Wärme für Heizung und Heisswasser der OFI bereitzustellen.

5.5 Abluftqualität

5.5.1 Abluftqualität im Regelbetrieb

Die gesamte Frischluft der UTA, die an der Luftfassung des Lüftungsgebäudes der NZA-L gefasst wird, wird über den Lüftungsschacht und die Bauten im Zentralen Bereich den zu bewetternden Bereichen der UTA zugeführt. In den Vortrieben der konventionellen Zone und den Kavernen und Stollen der Überwachungsbereiche wird die Abluft gefiltert, um Stäube aus dem Baubetrieb zu binden, bevor diese Abluft wieder an die Umwelt über die NZA-B zurückgeführt wird.

Die Fahrzeuge des Einlagerungsbetriebs werden elektrisch betrieben, diejenigen des Baus entweder elektrisch oder mit Dieselmotoren. Zudem wird die Abluft aus den Überwachungsbereichen laufend auf Radioaktivität geprüft und gegebenenfalls im Lüftungsgebäude der OFA gefiltert (siehe nächstes Kapitel). Es ist nicht zu erwarten, dass die Abluft der UTA im Regelbetrieb höher mit Staub und Schadstoffen belastet sein wird als die Umgebungsluft.

Die Abluft aus der UTA kann in der kalten Jahreshälfte feuchter sein als die der Umgebung. Unter diesen Bedingungen kann die sporadische Bildung einer Wasserdampffahne an den Luftaustritten der Lüftungsgebäude NZA-B und OFA nicht immer ausgeschlossen werden.

5.5.2 Abluftqualität im Störfall- und Ereignisbetrieb

Die derzeitigen Auslegungsstörfälle sehen entweder einen nuklearen Störfall ohne Brand oder ein Brandereignis ohne Freisetzung von Radioaktivität vor.

Für den sehr unwahrscheinlichen Störfall mit Freisetzung von Radioaktivität im Tiefenlager ist nach aktueller Planung im Lüftungsgebäude der OFA ein HEPA-Filterblock vorgesehen (vgl. Kapitel 5.2). Würde Radioaktivität detektiert, so schaltet das Lüftungssystem automatisch diese Filter zu. Es würde in diesem Fall gefilterte Abluft über das Lüftungsgebäude OFA ausgestossen.

Wie im Kapitel 2.3.7 gezeigt, wird ein umfassendes Brandschutzkonzept in der UTA vorgesehen, um Brände möglichst zu verhindern. Sollte trotz dieser Massnahmen ein Brand in den Tunneln der UTA eintreten, wird das Bauwerk mit der beschriebenen Lüftung entraucht.

Tritt ein Brandereignis in einem Überwachungsbereich ein, so wird der Rauch über das Lüftungsgebäude OFA ungefiltert ausgestossen (vgl. Kapitel 5.2).

Tritt das Brandereignis in der konventionellen Zone ein, so wird der Rauch über das Lüftungsgebäude NZA-B ausgestossen (vgl. Kapitel 5.3.2).

Wie und ob Messsysteme und Nuklearfilter dereinst zum Einsatz kommen, wird erst im Zuge detaillierter Störfallanalysen untersucht und entschieden. Das im Kapitel 5.2 modulhaft beschriebene zuschaltbare System stellt eine robuste Planungsannahme dar, deren Notwendigkeit in Abhängigkeit der Resultate der ausstehenden Störfallanalyse geklärt wird.

6 Fazit

Die skizzierten, stufengerechten Lüftungs- und Kühlungskonzepte zeigen, basierend auf ersten Vordimensionierungen, dass ein Tiefenlager als Kombilager in allen für die Auslegung der Lüftung und Kühlung relevanten Bau- und Betriebsphasen so bewettert und gekühlt werden kann, dass den einschlägigen Normen und Vorgaben Rechnung getragen werden kann (siehe auch Anlage A).

Es zeigt sich, dass das Tiefenlager bzw. einzelne Bereiche aufgrund der anstehenden Erdwärme und der eingetragenen Wärme aus Bau und Betrieb immer aktiv gekühlt werden muss, damit Menschen darin arbeiten können. Für den Betrieb der Kühlung kommt dazu ein Kaltwassersystem mit oberirdischer Kältezentrale und isolierten Kühlwasserkreisläufen bis in die Vortriebe bzw. die Einlagerungsbereiche zum Einsatz.

Für die funktionale Trennung von Bau und Einlagerungsbetrieb ist ein separater Lüftungstunnel HAA vorgesehen, der im Zusammenspiel mit dem Layout der Bauten im ZB ein zentrales Element für die Umsetzung eines Flucht- und Rettungskonzepts UTA darstellt. Das Layout aller Bauten im ZB und das Lagerlayout erlauben die Umsetzung eines Flucht- und Rettungskonzept nach gängiger Untertagbaupraxis für alle Bau- und Betriebsphasen. Spezifische Bau-, Brand- und Ereignisszenarien sind durch die gewählte Auslegung (Layout/Lüftung) beherrschbar. Dazu wird im Betriebsschacht ein separates Abluftabteil für die Abluft aus den Vortrieben bzw. die Abfuhr von Brandgasen vorgesehen, welches die Verfügbarkeit der Schachtförderanlage im BS auch im Brandfall für die Selbst- und Fremddrettung sicherstellt.

Das Lüftungs- und das Kühlungskonzept inklusive relevanter Ereignis- und Störfälle werden im Zuge der weiteren Planungsphasen konkretisiert.

7 Literaturverzeichnis

7.1 Nagra Arbeitsberichte und Technische Berichte

Nagra (2014): Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse. Nagra Arbeitsbericht NAB 14-51

Nagra (2020): Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich Bau- und Betriebsabläufe sowie Umwelt. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-15

Nagra (2021a): Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 21-01

Nagra (2021b): Grundlagen des schweizerischen Lagerkonzeptes für die geologische Tiefenlagerung (aus Sicht Langzeitsicherheit). Nagra Arbeitsbericht NAB 21-29 (in Bearbeitung)

Nagra (2021c): Betriebskonzepte eines geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-06 (in Bearbeitung)

Nagra (2021d): Konzept erdwissenschaftliche Untersuchungen untertag (EUU). Nagra Arbeitsbericht NAB 21-14

Nagra (2021e): Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12

Nagra (2022): Module der Lagerarchitektur. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35

7.2 Verzeichnis der normativen Grundlagen

7.2.1 Gesetze, Verordnungen, Richtlinien des Bundes

Die folgenden Gesetze und Verordnungen werden namentlich erwähnt:

ArGV 4: Verordnung 4 zum Arbeitsgesetz (Industrielle Betriebe, Plangenehmigung und Betriebsbewilligung) vom 18. August 1993 (Stand am 1. Mai 2015)

BauAV: Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV) vom 29. Juni 2005 (Stand am 1. November 2011)

KEG: Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (Stand am 1. Januar 2020)

KEV: Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Februar 2019)

StSV: Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 (Stand am 1. Februar 2019)

VUV: Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983 (Stand am 1. Mai 2018)

7.2.2 Ausländische Gesetze und Richtlinien

AB BergV (1995): Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche (Allgemeine Bundesbergverordnung – AB BergV), 23.10.1995

7.2.3 Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden

Es gelten die gültigen Normen, Richtlinien und Empfehlungen von Fachverbänden. Es werden die folgenden Dokumente namentlich erwähnt:

ASTRA 23001: Bundesamt für Strassen ASTRA, Fachhandbuch BSA (Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen), Technischen Merkblatt Bauteile, Nebeneinrichtung, Heizung, Lüftung und Klima Zentralen, 23 001-11820, V1.30, 01.01.2020, Bern

EKAS 6508: Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit EKAS, EKAS Richtlinie Nr. 6508, Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit (ASA-Richtlinie), Ausgabe Januar 2017

EKAS 6514: Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit EKAS, EKAS Richtlinie Nr. 6514, Untertagarbeiten, Ausgabe Oktober 2005

ENSI B12: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Notfallschutz in Kernanlagen, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B12/d, Ausgabe August 2019

ENSI B17: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Betrieb von Zwischenlagern für radioaktive Abfälle, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B17/d, Ausgabe Januar 2020 (ersetzt die ENSI-G04)

ENSI G02: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Auslegungsgrundsätze für in Betrieb stehende Kernkraftwerke, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G02/d, Ausgabe August 2019

ENSI G03: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen G03/d, Ausgabe April 2009

ENSI G04: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G04/d, Ausgabe September 2010 (ersetzt durch ENSI-B17)

HSK R-07: Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA), Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes, Juni 1995

HSK R-50: Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA), Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Richtlinie für schweizerische Kernanlagen, Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen, März 2003

KTA 2101.1: Kerntechnischer Ausschuss (KTA), Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 2101.1, Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 1: Grundsätze des Brandschutzes, Fassung 2015-11

- KTA 3601: Kerntechnischer Ausschuss (KTA), Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 3601, Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken, Fassung 2017-11
- SIA 196: Baulüftung im Untertagebau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 1998.
- SIA 382/1: Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2014.
- SIA 2024: Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2015.
- SN 7730: SN EN ISO 7730:2006-02; Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD- Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)
- SECO (2020a): Schweizerische Eidgenossenschaft, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Wegleitung zu den Verordnungen 3 und 4 zum Arbeitsgesetz, Gesundheitsschutz, Plan- genehmigung. August 2020, Bern.
- SECO (2020b): Schweizerische Eidgenossenschaft, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Merkblatt Büroarbeit bei Hitze, 2020, Bern.
- SUVA 1903: Grenzwerte am Arbeitsplatz. Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Juni 2019, Publikationsnummer 1903.d.
- SUVA 2869: Rast, H., Hofer, L., Jost, M. & Kunz, I. Arbeitsmedizinische Prophylaxe bei Arbeiten im Untertagebau im feucht-warmen Klima. Schweizerische Unfallversicherungs- anstalt, März 2003, Publikationsnummer 2869/26.d.
- VKF 1-15: Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Brandschutznorm, Bern 01.01.2015
- VKF 16-15: Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Brandschutzrichtlinie Flucht- und Rettungswege, Bern 01.01.2017
- VKF 21-15: Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF), Brandschutzrichtlinie Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, Bern 01.01.2017

7.3 Weitere Quellen

- BFE (2018): Sachplan geologische Tiefenlager: Ergebnisbericht zu Etappe 2: Festlegungen und Objektblätter. Bundesamt für Energie BFE, Bern
- ENSI (2018): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eid- genössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg
- Ingason, H., Li, Y.Z. & Lönnemark, A. (2015): Tunnel Fire Dynamics, Springer New York, DOI 10.1007/978-1-4939-2199-7

Anlage A Lüftungs- und Kühlungsschemata pro Phase

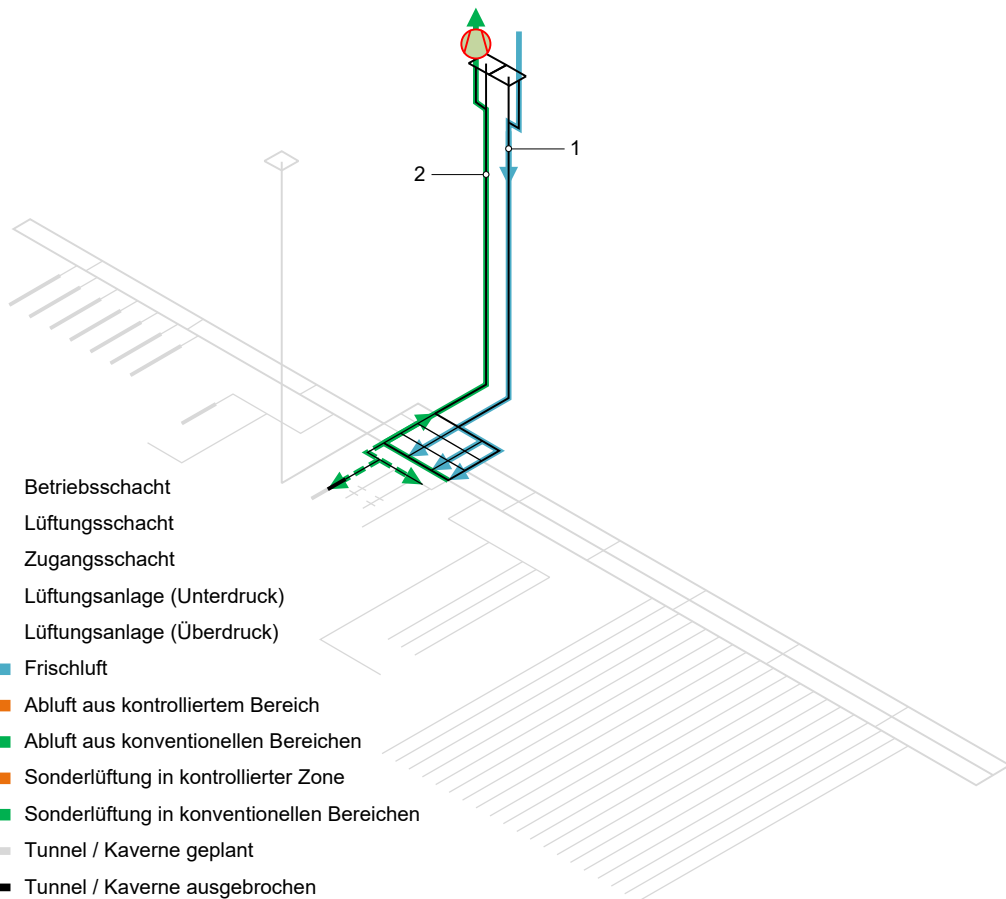
A.1 Lüftungsschemata UTA pro Phase

Phase	Bau und Beginn EUU (3)
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel bis EUU-Bereich, Ausbruch EUU-Bereich und Betriebsräume (2 Vortriebe) Betrieb: Kein Betrieb
Regelbetrieb	Frischlufte durch Betriebsschacht, Abluft durch Lüftungsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich, Abluftventilator am Kopf Lüftungsschacht, eintauchende Lattenlüftungen in den Vortrieben
Störfallbetrieb	Die Luftzirkulation im Zentralen Bereich wird weiterbetrieben. Jeder Punkt ist höchstens 500 m von einem Rettungscontainer entfernt. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Brandgase werden über den Lüftungsschacht abgeführt.

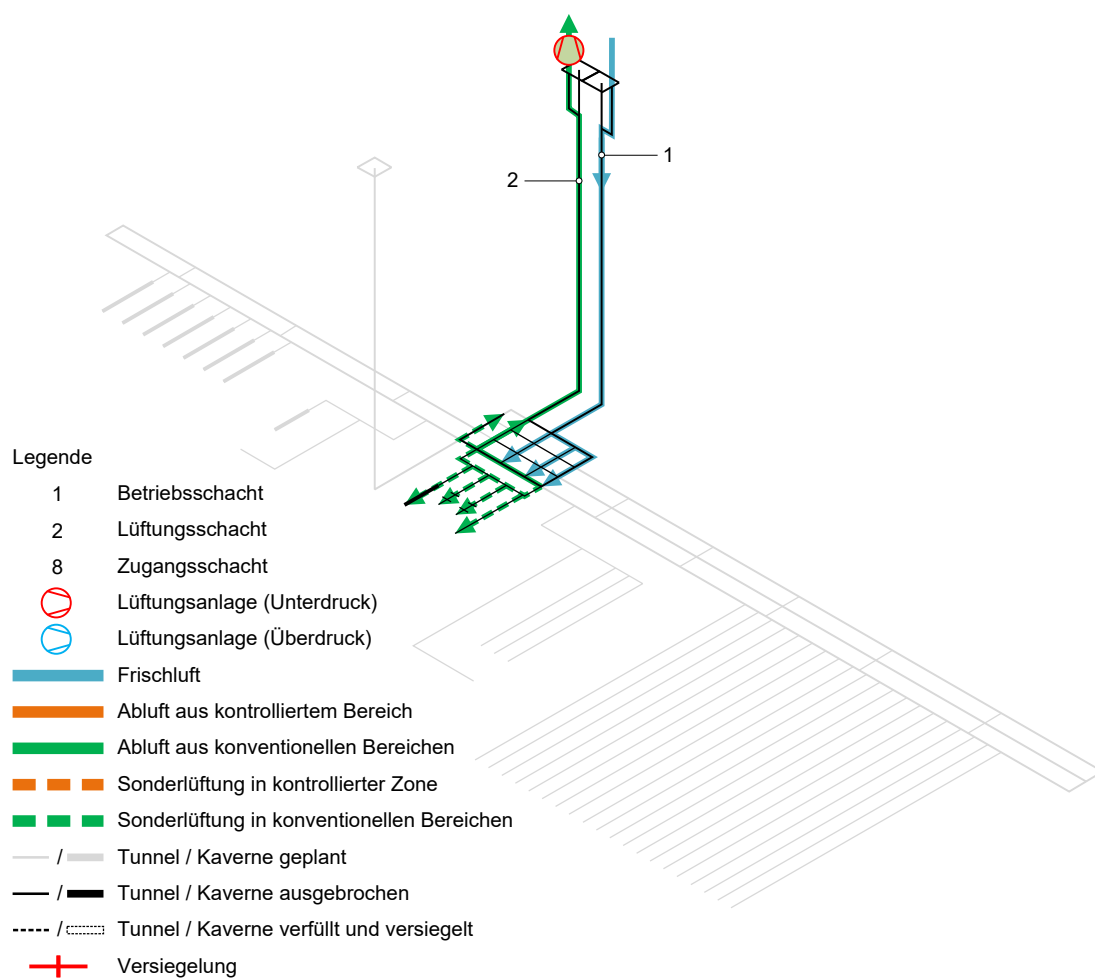
Schema

Legende

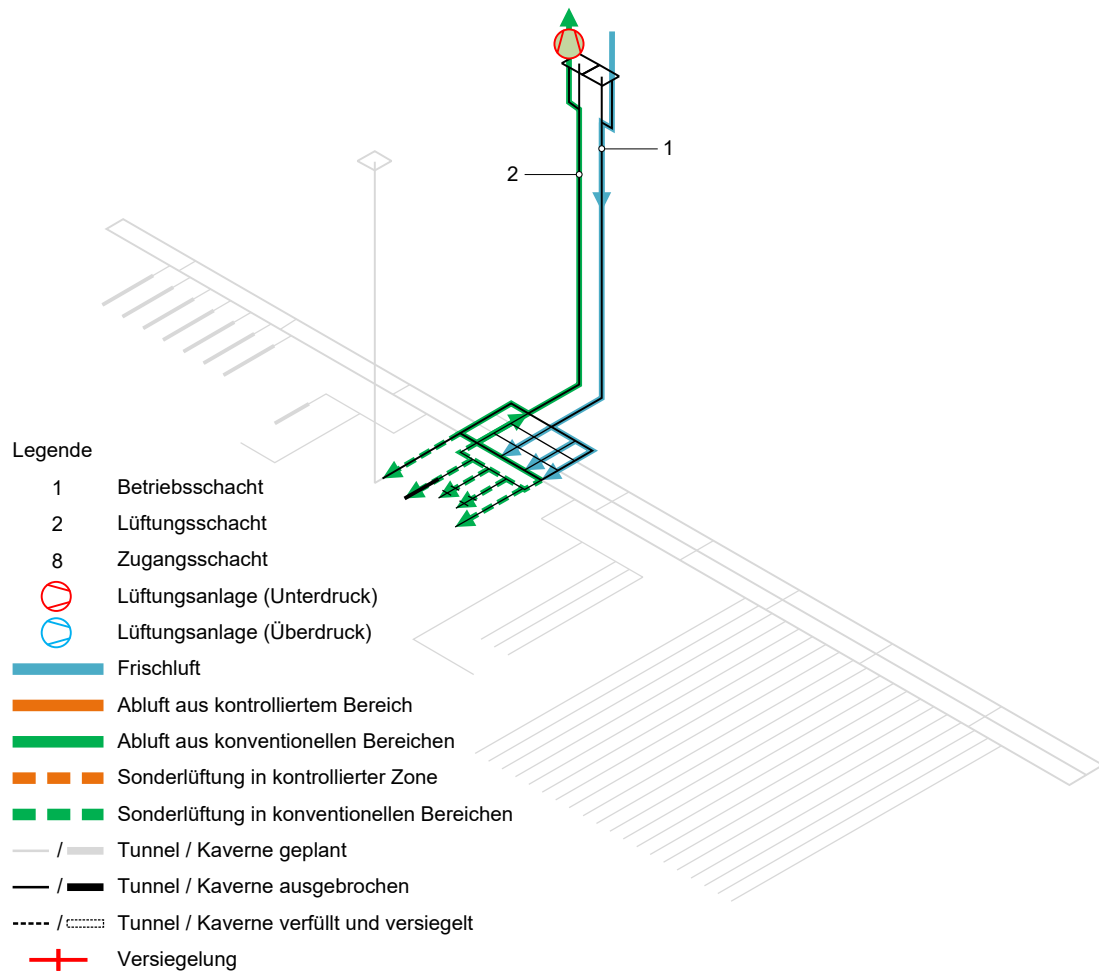
- 1 Betriebsschacht
- 2 Lüftungsschacht
- 8 Zugangsschacht
-  Lüftungsanlage (Unterdruck)
-  Lüftungsanlage (Überdruck)
-  Frischluft
-  Abluft aus kontrolliertem Bereich
-  Abluft aus konventionellen Bereichen
-  Sonderlüftung in kontrollierter Zone
-  Sonderlüftung in konventionellen Bereichen
-  /  Tunnel / Kaverne geplant
-  /  Tunnel / Kaverne ausgebrochen
-  /  Tunnel / Kaverne verfüllt und versiegelt
-  Versiegelung



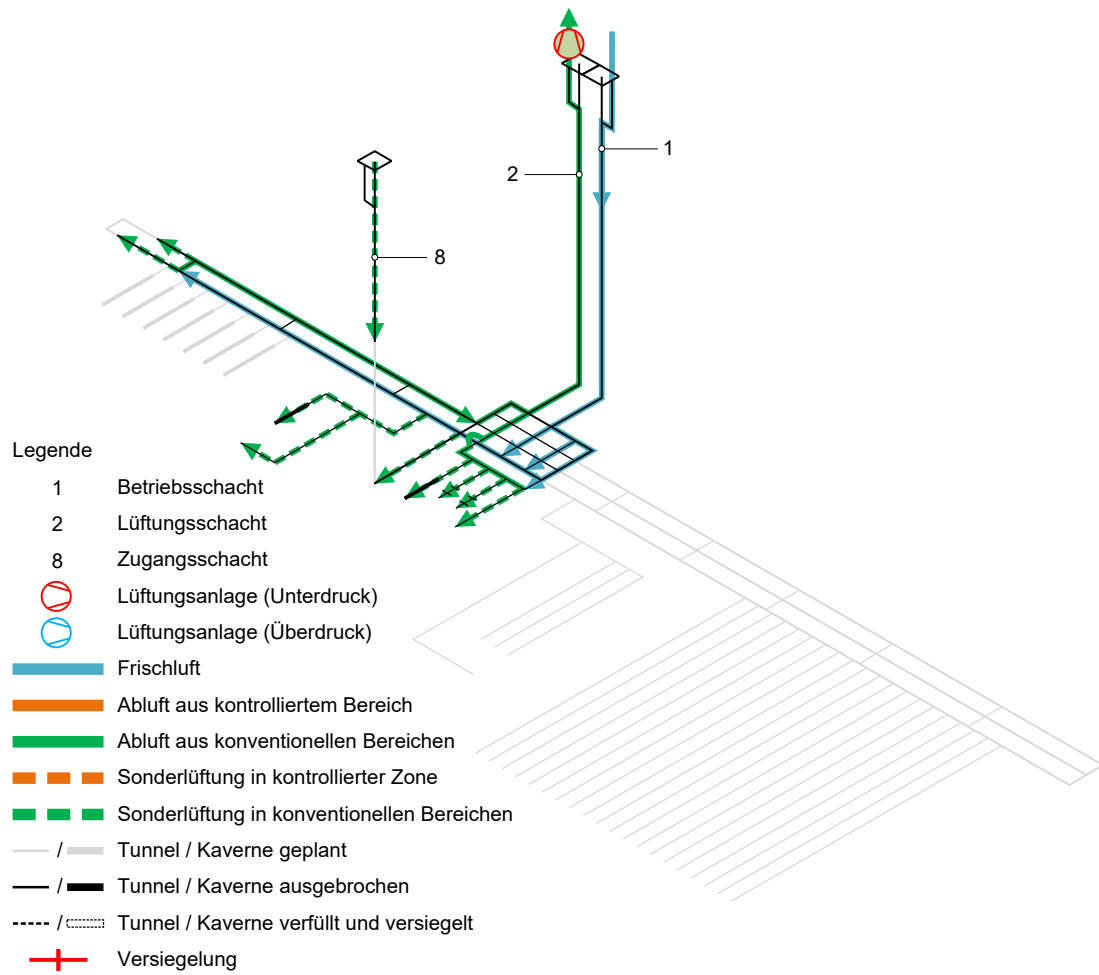
Phase	Weiterführung EUU (4), erste Teilphase
Tätigkeit	Bau: Ausbruch Zentraler Bereich Teil Betrieb (1 Vortrieb) Betrieb: Betrieb EUU
Regelbetrieb	Frischlufte durch Betriebsschacht, Abluft durch Lüftungsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich, Abluftventilator am Kopf Lüftungsschacht, eintauchende Lattenlüftungen in den Vortrieben, Monoblöcke in dem EUU-Bereich und dem Zentralen Bereich
Störfallbetrieb	Die Luftzirkulation im Zentralen Bereich wird weiterbetrieben. Jeder Punkt ist höchstens 500 m von einem Rettungscontainer entfernt. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Brandgase werden über den Lüftungsschacht abgeführt.

Schema

Phase	Weiterführung EUU (4), zweite Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel HAA (BET-H) und Betriebstunnel SMA (BET-S) bis 1. Querverbindung (1 Vortrieb) Betrieb: Betrieb EUU
Regelbetrieb	Frischlufte durch Betriebsschacht, Abluft durch Lüftungsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich, Abluftventilator am Kopf Lüftungsschacht, eintauchende Lattenlüftungen in den Vortrieben und Blindstollen, Monoblöcke in dem EUU-Bereich und dem Zentralen Bereich
Störfallbetrieb	Die Luftzirkulation im Zentralen Bereich wird weiterbetrieben. Jeder Punkt ist höchstens 500 m von einem Rettungscontainer entfernt. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Brandgase werden über den Lüftungsschacht abgeführt.

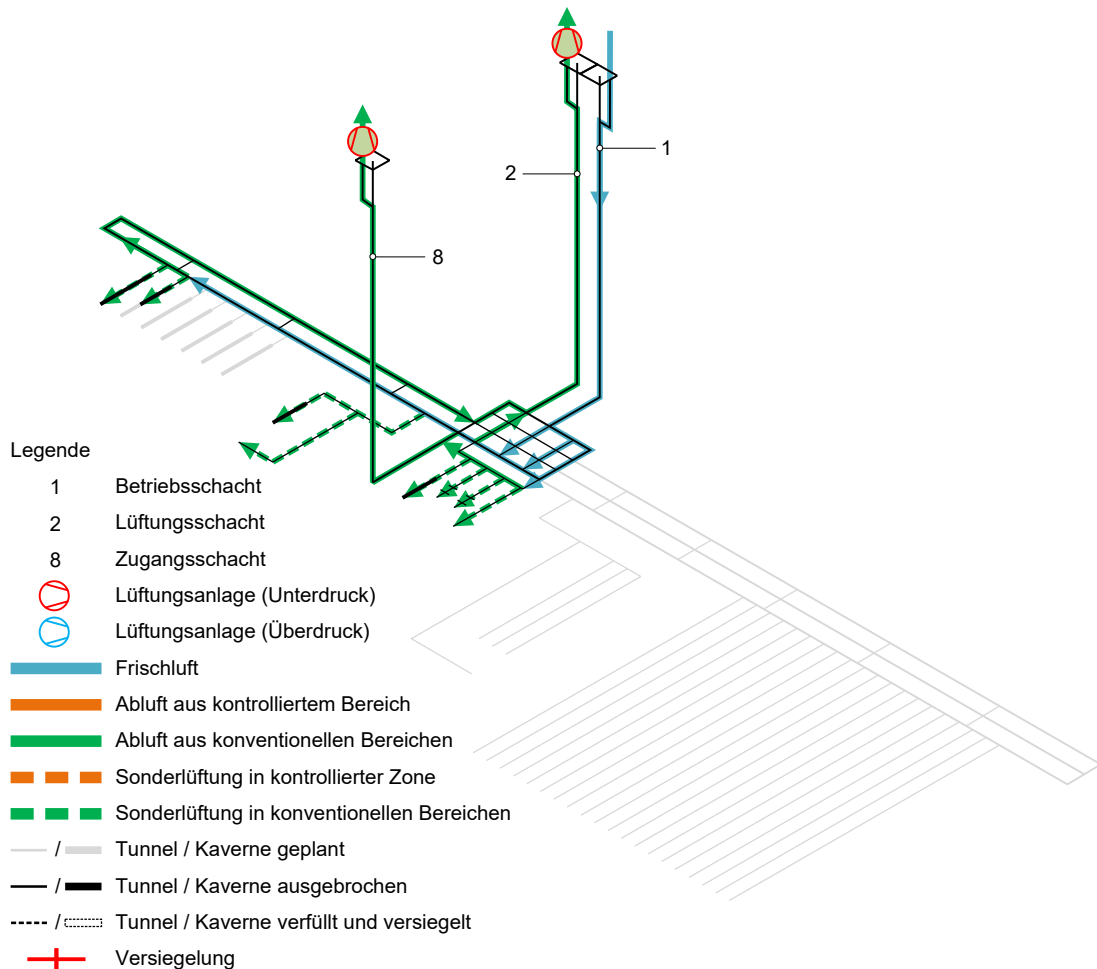
Schema

Phase	Bau Lager SMA (6), erste Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel SMA und Lüftungstunnel SMA (2 Vortriebe), Abteufen Zugangsschacht Betrieb: Betrieb EUU
Regelbetrieb	Frischlufte durch Betriebsschacht, Abluft durch Lüftungsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich und in dem bereits ausgebrochenen SMA-Lagerteil, Abluftventilator am Kopf Lüftungsschacht, eintauchende Luttenlüftungen in den Vortrieben und Blindstollen, Monoblöcke in dem EUU-Bereich und dem Zentralen Bereich
Störfallbetrieb	Die Luftzirkulation im Zentralen Bereich und im SMA-Lagerteil wird weiterbetrieben. Jeder Punkt ist höchstens 500 m von einem Rettungscontainer entfernt. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Brandgase werden über den Lüftungsschacht abgeführt.

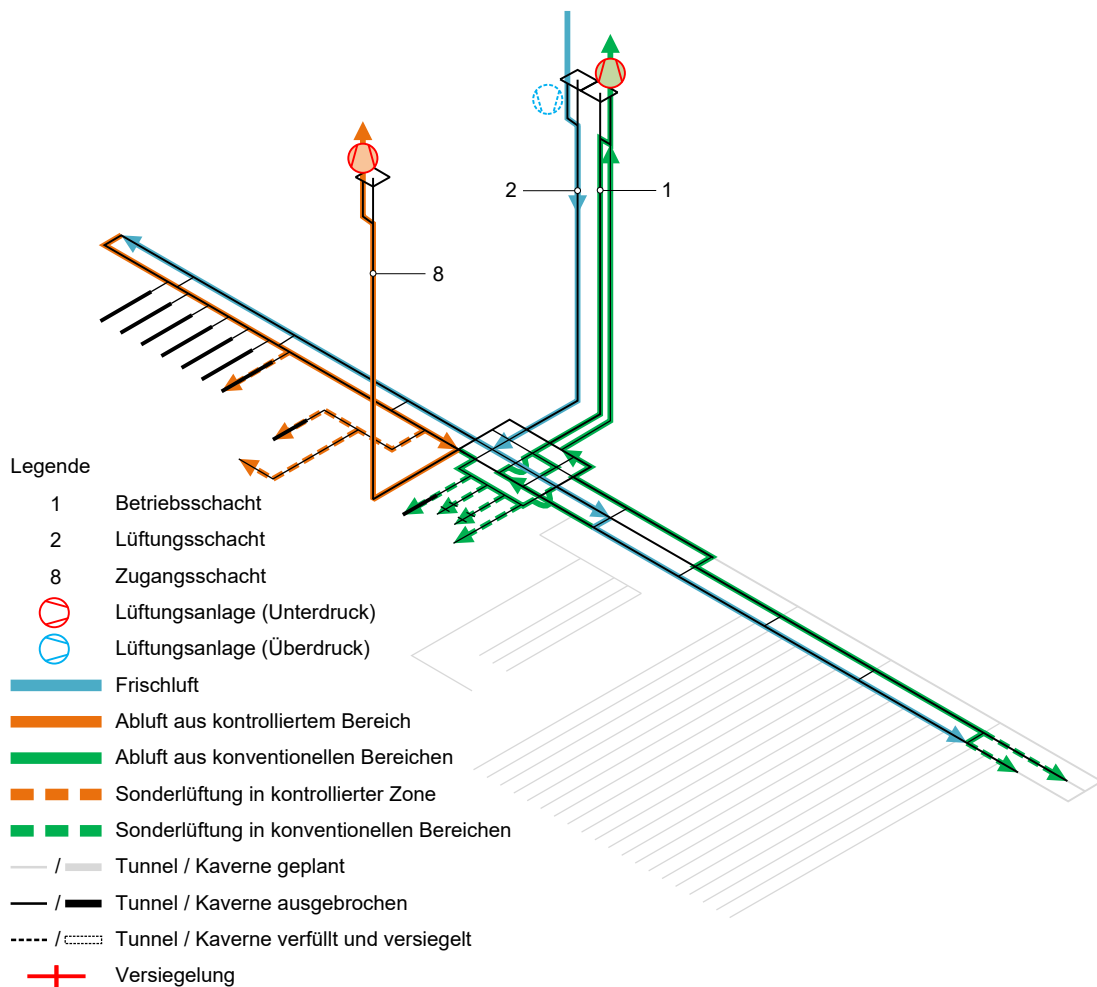
Schema

Phase	Bau Lager SMA (6), zweite Teilphase
Tätigkeit	Bau: Ausbruch und Innenbeton Lagerkavernen SMA (2 Vortriebe) Betrieb: Betrieb EUU
Regelbetrieb	Frischlufte durch Betriebsschacht, Abluft durch Lüftungsschacht und Zugangsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich und in dem bereits ausgebrochenen SMA-Lagerteil, Abluftventilator am Kopf Lüftungsschacht und Zugangsschacht, eintauchende Lattenlüftungen in den Vortrieben, Blindstollen und Kavernen, Monoblöcke in dem EUU-Bereich und dem Zentralen Bereich.
Störfallbetrieb	Die Luftzirkulation im Zentralen Bereich und im SMA-Lagerteil wird weiterbetrieben. Jeder Punkt ist höchstens 500 m von einem Rettungscontainer entfernt. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Brandgase werden über den Lüftungsschacht abgeführt. Ab Fertigstellung Lüftungsanlage auf der OFA kann Abluft Bau auch noch über den Zugangsschacht abgeführt werden.

Schema

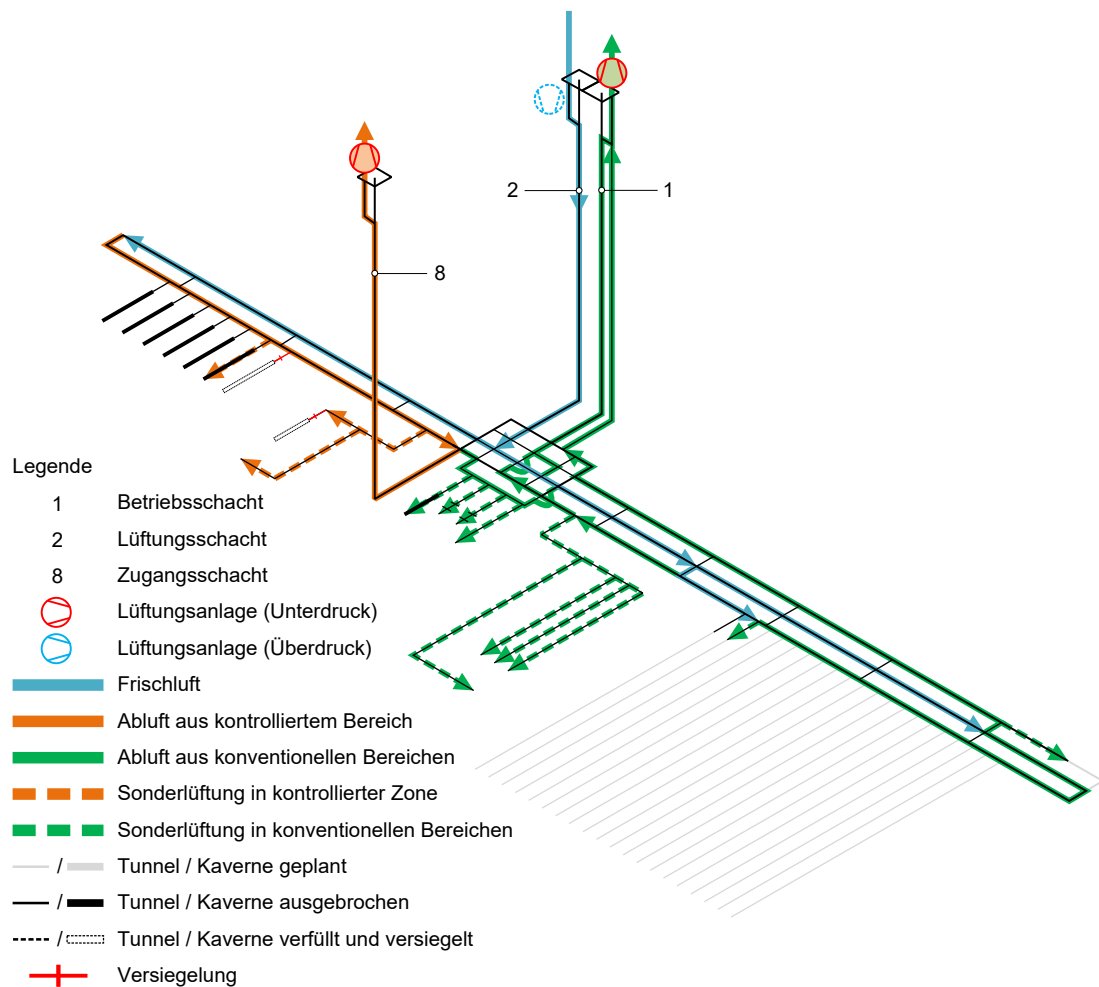


Phase	Einlagerungsbetrieb SMA (9)/Bau Lager HAA (10), erste Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel HAA und Lüftungstunnel HAA (2 Vortriebe) Betrieb: Einlagerung SMA
Regelbetrieb	Frischlufte durch Lüftungsschacht (LS), Abluft Betrieb durch Zugangsschacht (ZS), Abluft Bau durch Betriebsschacht (BS) und Abluftabteil BS (Sprengschwaden), Luftzirkulation im Zentralen Bereich (ZB), im SMA-Lagerteil (Betrieb) und im bereits ausgebrochenen HAA Lagerteil (Bau), Abluftventilator Bau am Kopf BS und Betrieb am Kopf ZS, eintauchende Luttenlüftungen in den Vortrieben und Blindstollen, Monoblöcke in den Lagerkavernen, dem EUU-Bereich und dem ZB, Überdruckventilator für den Störfall im Stand-by am Kopf LS
Störfallbetrieb	Nach Fertigstellung wird der Lüftungstunnel (LT) SMA als sicherer Bereich definiert und frei von brennbaren Materialien gehalten. Im Störfall wird er mit dem Überdruckventilator am Kopf LS mit Frischluft im Überdruck versorgt. Jeder Punkt des Lagers ist höchstens 500 m von dem LT entfernt oder mit einem Rettungscontainer ausgerüstet. Im ZB ist eine Rettungskaverne mit Anbindung an den LT vorhanden. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Die Luftzirkulation im ZB, in den Tunneln und im EUU-Bereich wird weiterbetrieben. Brandgase aus konventionellen Bereichen werden über das Abluftabteil BS abgeführt, Brandgase aus dem Einlagerungsbereich über den ZS via Lüftungsanlage auf der OFA, wo je nach Erfordernis auch Radioaktivität aus der Abluft herausgefiltert werden kann (vgl. Kapitel 5.2).

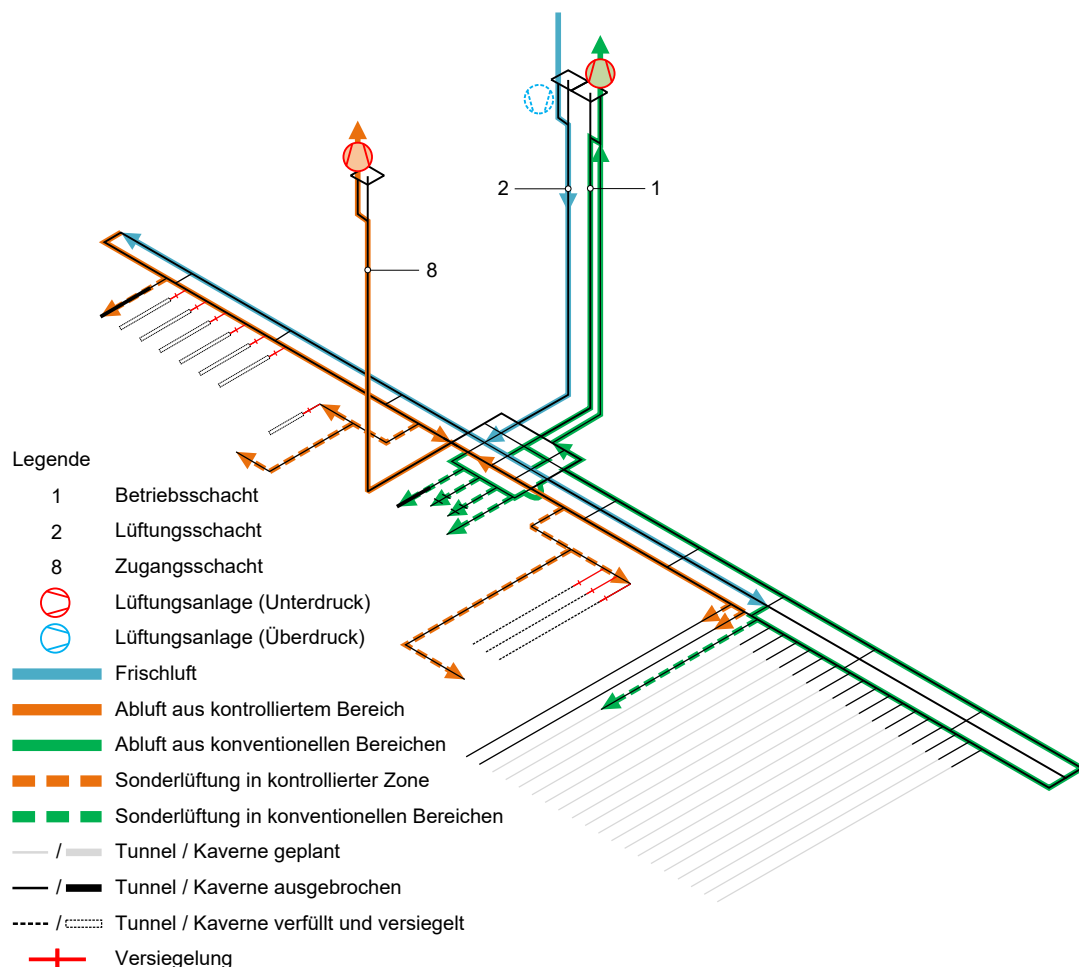
Schema

Phase	Einlagerungsbetrieb SMA (9)/Bau Lager HAA (10), zweite Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Bautunnel und Abzweiger/Umlad HAA (2 Vortriebe) Betrieb: Einlagerung SMA
Regelbetrieb	Frischlufte durch Lüftungsschacht (LS), Abluft Betrieb durch Zugangsschacht (ZS), Abluft Bau durch Betriebsschacht (BS) und Abluftabteil BS (Sprengschwaden), Luftzirkulation im Zentralen Bereich (ZB), im SMA-Lagerteil (Betrieb) und im bereits ausgebrochenen HAA Lagerteil (Bau), Abluftventilator Bau am Kopf BS und Betrieb am Kopf ZS, eintauchende Luttenlüftungen in den Vortrieben und Blindstollen, Monoblöcke in den Lagerkavernen, dem EUU-Bereich und dem ZB. Überdruckventilator für den Störfallbetrieb im Stand-by am Kopf LS
Störfallbetrieb	Nach Fertigstellung wird der Lüftungstunnel (LT) HAA als sicherer Bereich definiert und frei von brennbaren Materialien gehalten. Im Störfall wird er mit dem Überdruckventilator am Kopf LS mit Frischluft im Überdruck versorgt. Jeder Punkt des Lagers ist höchstens 500 m von dem LT entfernt oder mit einem Rettungscontainer ausgerüstet. Im ZB ist eine Rettungskaverne mit Anbindung an den LT vorhanden. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Die Luftzirkulation im ZB, in den Tunneln und im EUU-Bereich wird weiterbetrieben. Brandgase aus konventionellen Bereichen werden über das Abluftabteil BS abgeführt, Brandgase aus dem Einlagerungsbereich über den ZS via Lüftungsanlage auf der OFA, wo je nach Erfordernis auch Radioaktivität aus der Abluft herausgefiltert werden kann (vgl. Kapitel 5.2).

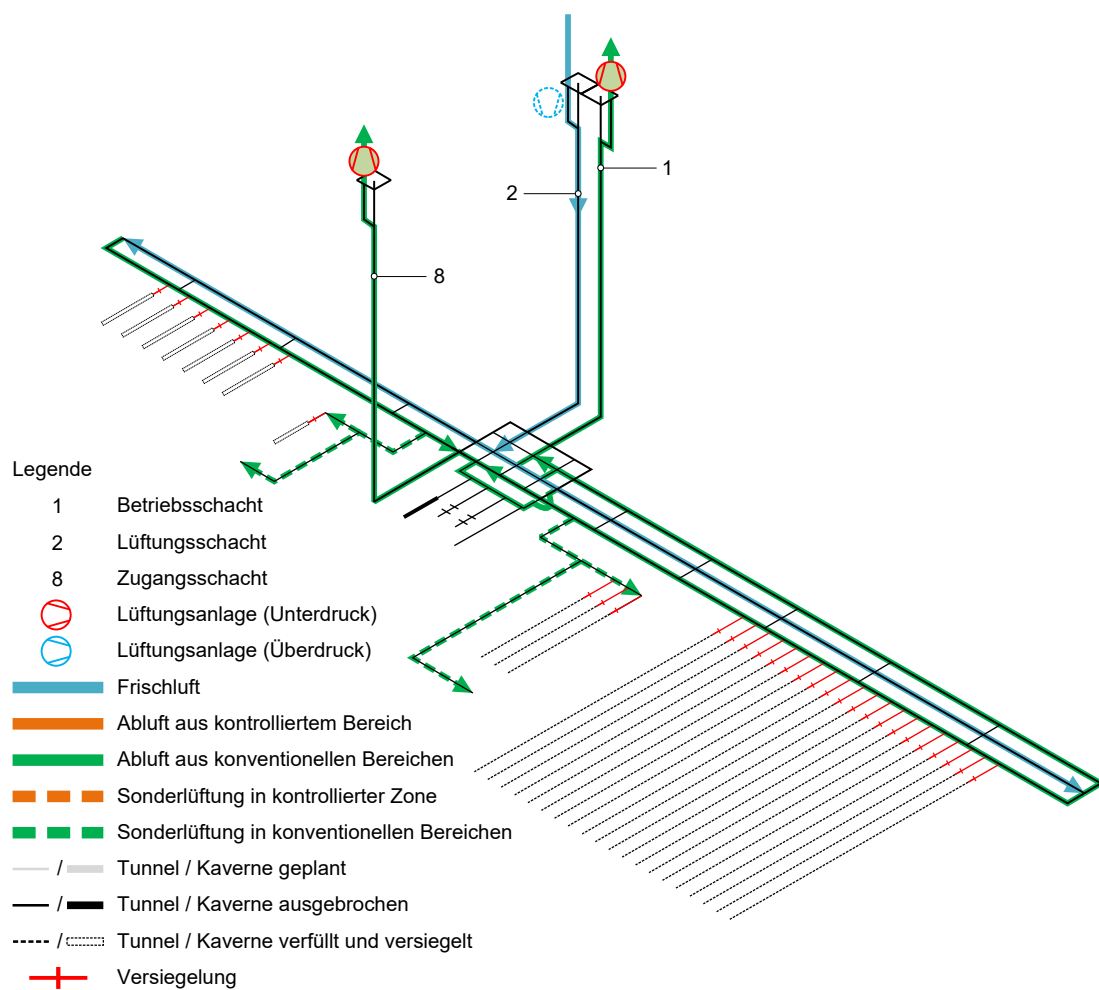
Schema



Phase	Einlagerungsbetrieb HAA (12)
Tätigkeit	Bau: Vortrieb 1 Lagerstollen Betrieb: Einlagerung SMA und HAA
Regelbetrieb	Frischlufte durch Lüftungsschacht, Abluft Betrieb durch Zugangsschacht, Abluft Bau durch Betriebsschacht und Abluftabteil im Betriebsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich, im SMA-Lagerteil (Betrieb) und im HAA Lagerteil (Bau+Betrieb), Abluftventilator Bau am Kopf Betriebsschacht und Betrieb am Kopf Zugangsschacht, eintauchende Lattenlüftungen in den Vortrieben und Blindstollen, Monoblöcke in den Lagerkavernen und Lagerstollen, dem EUU-Bereich und dem Zentralen Bereich. Überdruckventilator für den Störfallbetrieb im Stand-by am Kopf Lüftungsschacht
Störfallbetrieb	Der Lüftungstunnel HAA wird als sicherer Bereich definiert und frei von brennbaren Materialien gehalten. Im Störfall wird er mit dem Überdruckventilator am Kopf Lüftungsschacht mit Frischluft im Überdruck versorgt. Jeder Punkt des Lagers ist höchstens 500 m vom Lüftungstunnel entfernt oder mit einem Rettungscontainer ausgerüstet. Im Zentralen Bereich ist eine Rettungskaverne mit Anbindung an den Lüftungstunnel vorhanden. Die Belegschaft ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Die Luftzirkulation im Zentralen Bereich, in den Tunneln und im EUU-Bereich wird weiterbetrieben. Brandgase aus konventionellen Bereichen werden über das Abluftabteil Betriebsschacht abgeführt, Brandgase aus dem Einlagerungsbereich über den Zugangsschacht via Lüftungsanlage auf der OFA, wo je nach Erfordernis auch Radioaktivität aus der Abluft herausgefiltert werden kann (vgl. Kapitel 5.2).

Schema

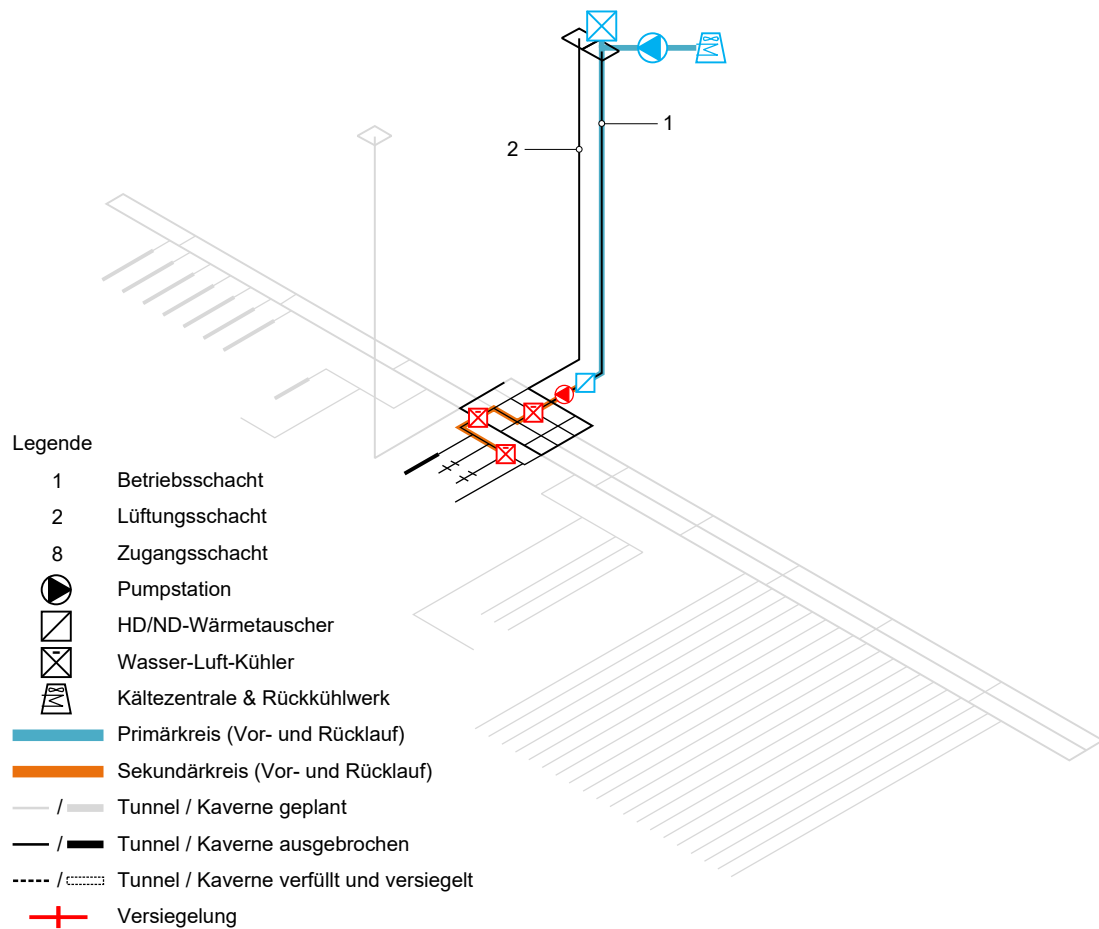
Phase	Beobachtungsphase (13)
Tätigkeit	Bau: keine Tätigkeiten Betrieb: Beobachtung
Regelbetrieb	Frischluft durch Lüftungsschacht, Abluft Betrieb durch Zugangsschacht, Abluft Bau durch Betriebsschacht, Luftzirkulation im Zentralen Bereich, im SMA-Lagerteil (Beobachtung) und im HAA Lagerteil (Beobachtung), Abluftventilator am Kopf Betriebsschacht und Zugangsschacht, eintauchende Luttenlüftungen in den Blindstollen. Überdruckventilator für den Störfallbetrieb im Stand-by am Kopf Lüftungsschacht
Störfallbetrieb	Der Lüftungstunnel wird als sicherer Bereich definiert und frei von brennbaren Materialien gehalten. Im Störfall wird er mit dem Überdruckventilator am Kopf Lüftungsschacht mit Frischluft im Überdruck versorgt. Jeder Punkt des Lagers ist höchstens 500 m vom Lüftungstunnel entfernt oder mit einem Rettungscontainer ausgerüstet. Im Zentralen Bereich ist eine Rettungskaverne mit Anbindung an den Lüftungstunnel vorhanden. Die Belegschaft für Kontrollen ist mit Selbstrettern ausgerüstet. Die Luftzirkulation in den UTA wird weiterbetrieben. Brandgase aus konventionellen Bereichen werden über das Abluftabteil Betriebsschacht abgeführt, Brandgase aus dem ursprünglichen Einlagerungsbereich über den Zugangsschacht via Lüftungsanlage auf der OFA.

Schema

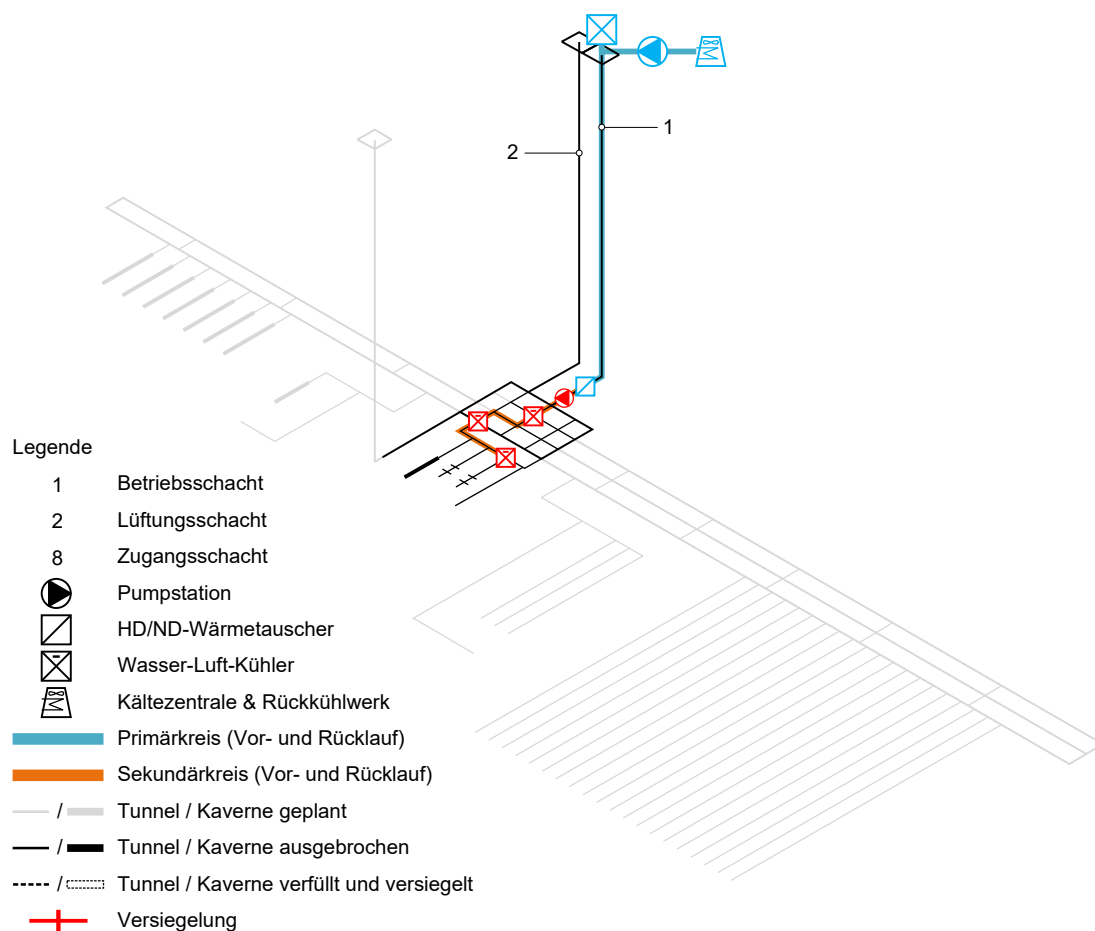
A.2 Kühlungskonzept UTA pro Phase

Phase	Bau und Beginn EUU (3)
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel bis EUU, Ausbruch EUU-Bereich und Betriebsräume (2 Vortriebe) Betrieb: kein Betrieb
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Betriebsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreis am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreis Zentraler Bereich, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen
Schema	Legende 1 Betriebsschacht 2 Lüftungsschacht 8 Zugangsschacht - Pumpstation - HD/ND-Wärmetauscher - Wasser-Luft-Kühler - Kältezentrale & Rückkühlwerk - Primärkreis (Vor- und Rücklauf) - Sekundärkreis (Vor- und Rücklauf) - Tunnel / Kaverne geplant - Tunnel / Kaverne ausgebrochen - Tunnel / Kaverne verfüllt und versiegelt - Versiegelung

Phase	Weiterführung EEU (4), erste Teilphase
Tätigkeit	Bau: Ausbruch Zentraler Bereich Teil Betrieb (1 Vortrieb) Betrieb: Betrieb EEU
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Betriebsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich und EEU-Bereich, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen

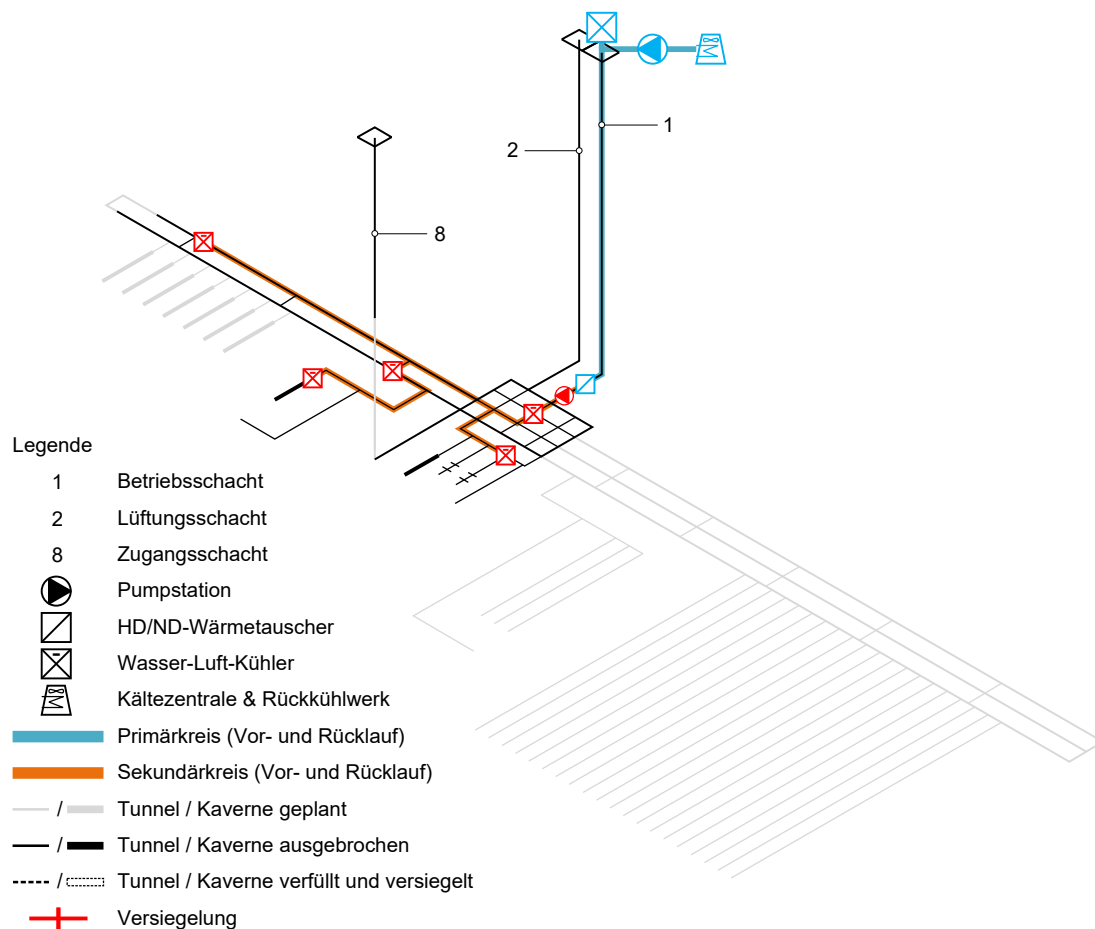
Schema

Phase	Weiterführung EEU (4), zweite Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel HAA und Betriebstunnel SMA bis 1. Querverbindung (1 Vortrieb) Betrieb: Betrieb EEU
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Betriebsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich und EEU-Bereich, Wetterkühler und Monoblocke an geeigneten Stellen

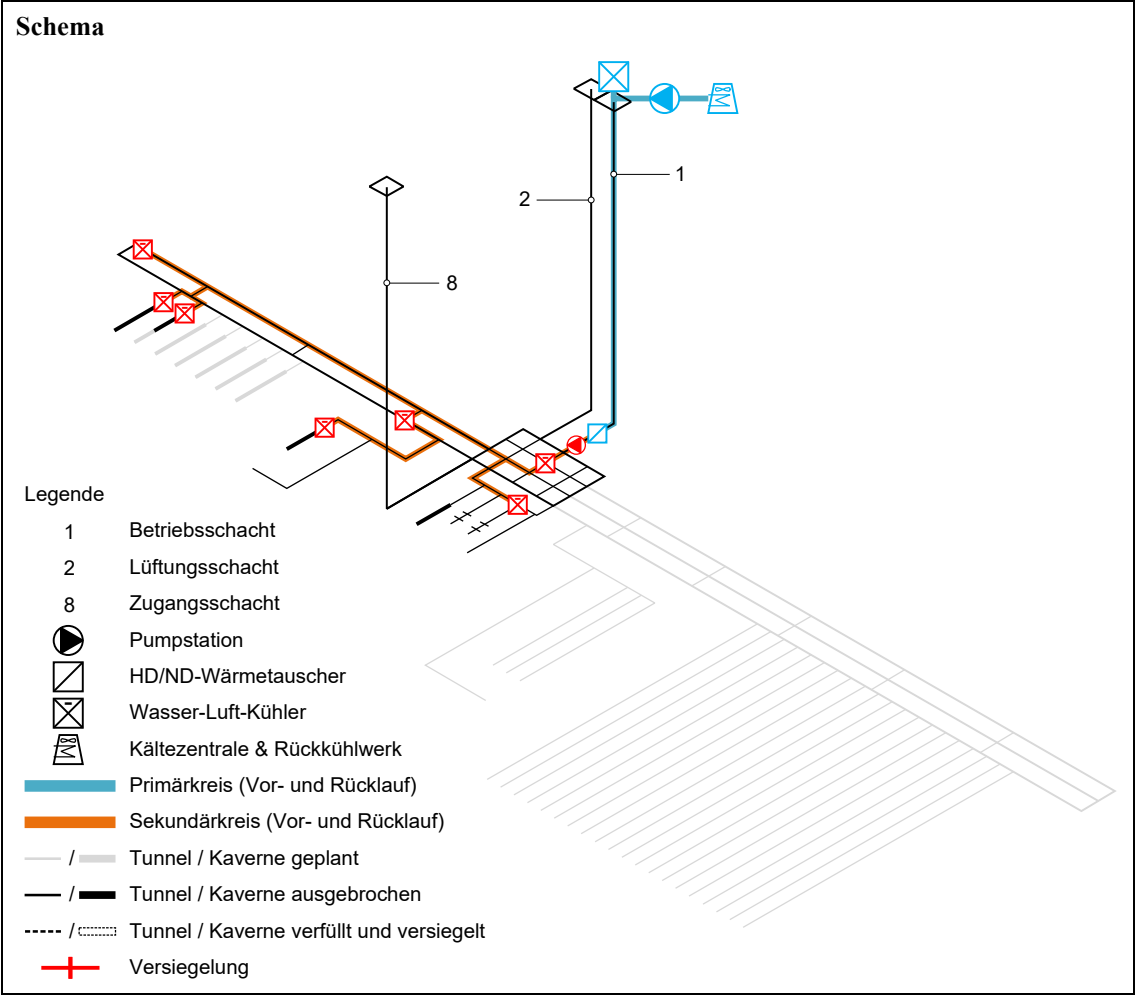
Schema

Phase	Bau Lager SMA (6), erste Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel SMA und Lüftungstunnel SMA (2 Vortriebe), Abteufen Zugangsschacht Betrieb: Betrieb EUU
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Betriebsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich, EUU-Bereich und SMA-Lagerteil, Wetterkühler und Monoblocke an geeigneten Stellen

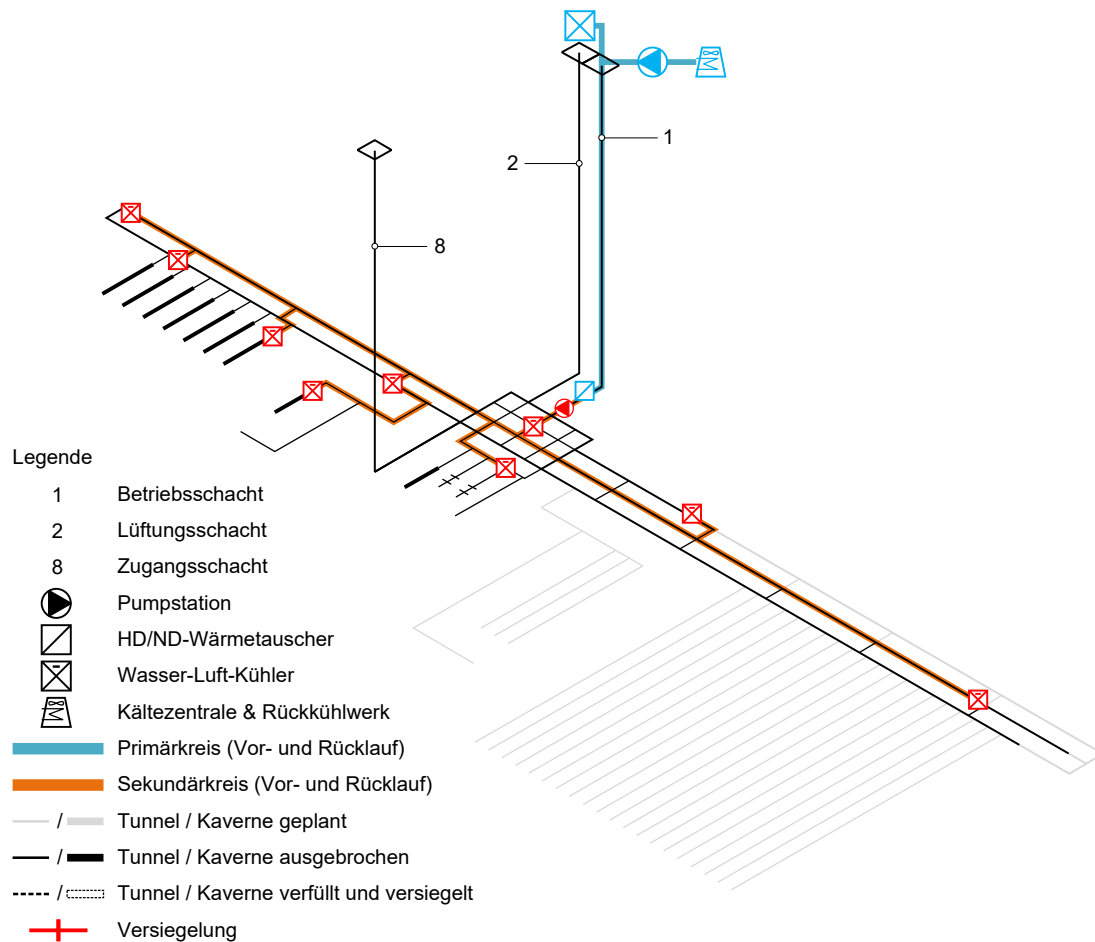
Schema



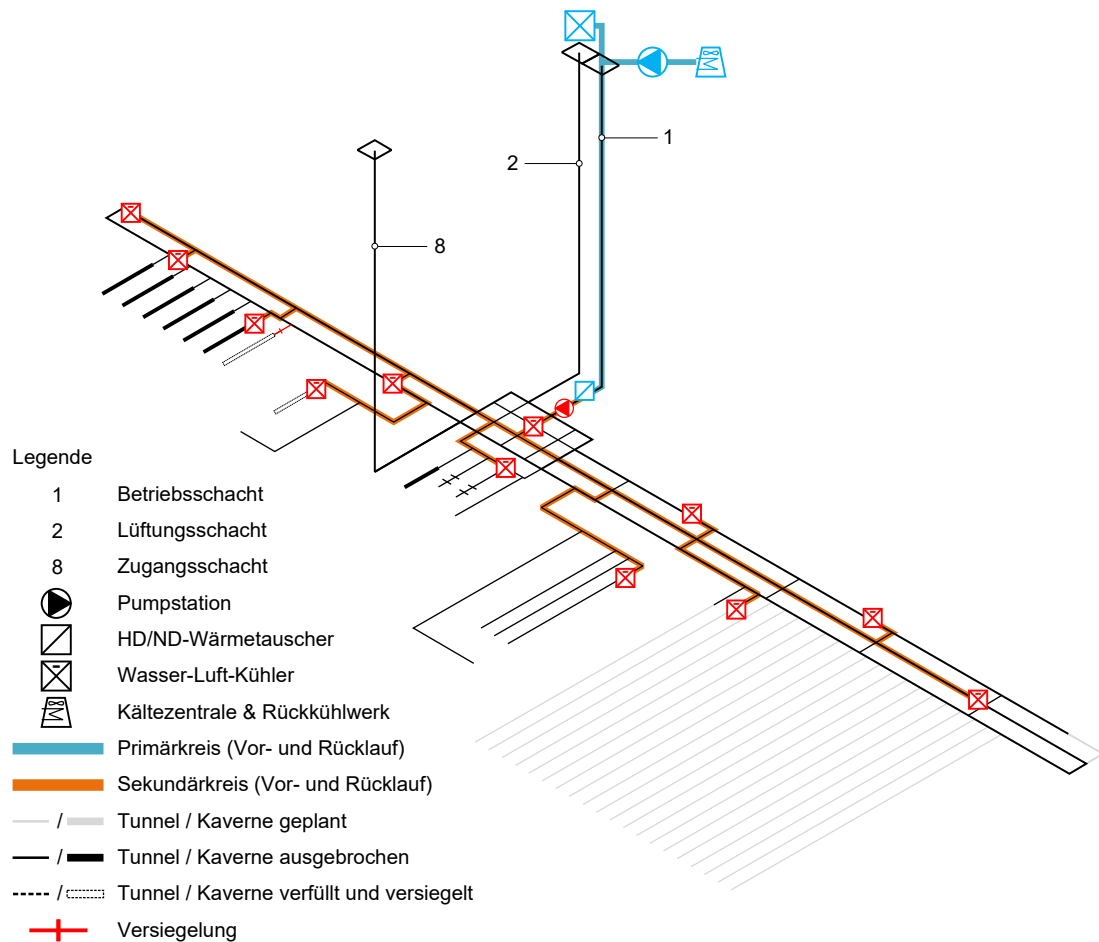
Phase	Bau Lager SMA (6), zweite Teilphase
Tätigkeit	Bau: Ausbruch und Innenbeton Lagerkavernen SMA (2 Vortriebe) Betrieb: Betrieb EUU
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Betriebsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich, EUU-Bereich und SMA-Lagerteil, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen



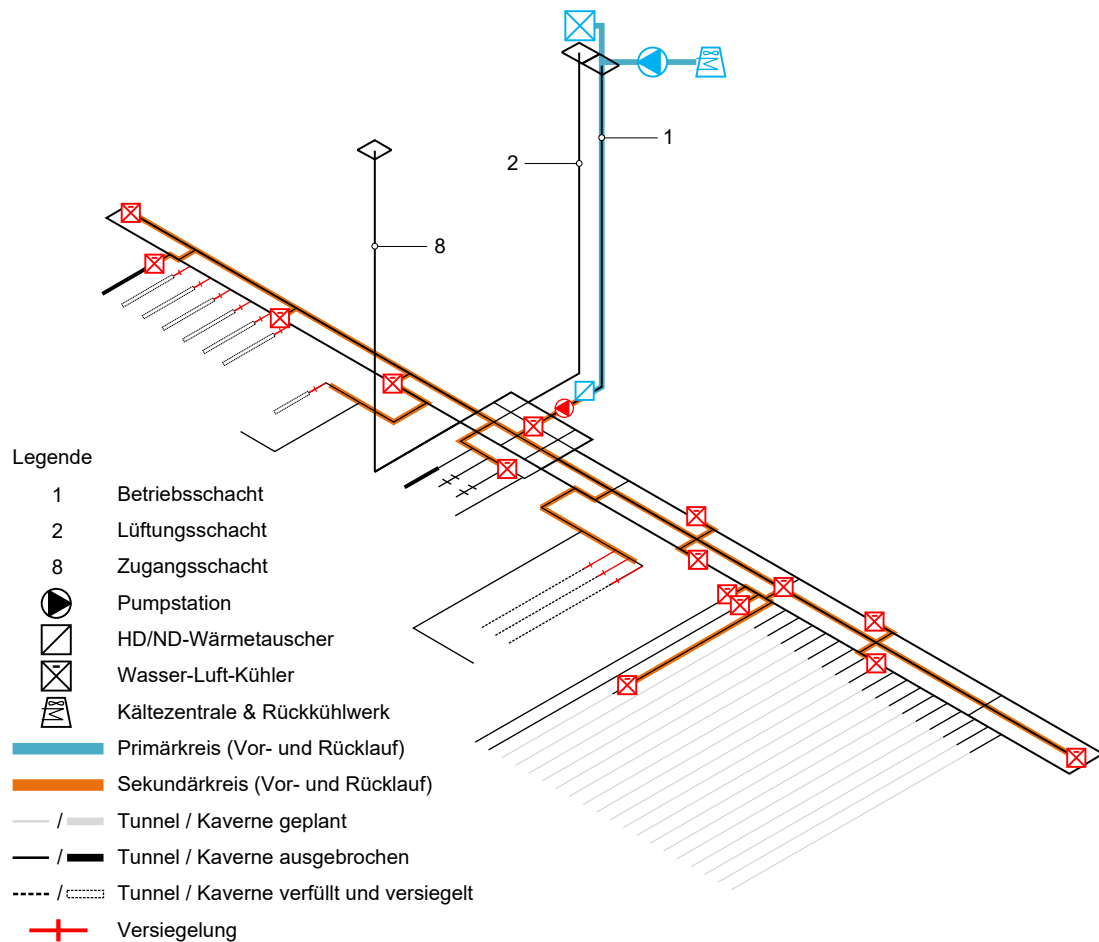
Phase	Einlagerungsbetrieb SMA (9)/Bau Lager HAA (10), erste Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Betriebstunnel HAA und Lüftungstunnel HAA (2 Vortriebe) Betrieb: Einlagerung SMA
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Lüftungsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich, EUU-Bereich, SMA- und HAA-Lagerteile, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen

Schema

Phase	Einlagerungsbetrieb SMA (9)/Bau Lager HAA (10), zweite Teilphase
Tätigkeit	Bau: Vortrieb Bautunnel und Abzweiger/Umlad HAA (2 Vortriebe) Betrieb: Einlagerung SMA
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Lüftungsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich, EUU-Bereich, SMA- und HAA-Lagerteile, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen

Schema

Phase	Einlagerungsbetrieb HAA (12)
Tätigkeit	Bau: Vortrieb 1 Lagerstollen Betrieb: Einlagerung SMA und HAA
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Lüftungsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich, EUU-Bereich, SMA- und HAA-Lagerteile, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen

Schema

Phase	Beobachtungsphase (13)
Tätigkeit	Bau: keine Tätigkeiten Betrieb: Beobachtung
Kühlungs-konzept	Rückkühlwerk, Kältezentrale und Pumpstation Primärkreis auf den Nebenzugangsanlagen Betrieb (NZA-B), Vorkonditionierung der Frischluft am Kopf Lüftungsschacht, Primärkreis im Betriebsschacht, Hochdruck/Niederdruck-Wärmetauscher und Pumpstation Sekundärkreise am Fuss Betriebsschacht, Sekundärkreise Zentraler Bereich, EUU-Bereich, SMA- und HAA-Lagerteile, Wetterkühler und Monoblöcke an geeigneten Stellen.
Schema	Legende 1 Betriebsschacht 2 Lüftungsschacht 8 Zugangsschacht - Pumpstation - HD/ND-Wärmetauscher - Wasser-Luft-Kühler - Kältezentrale & Rückkühlwerk - Primärkreis (Vor- und Rücklauf) - Sekundärkreis (Vor- und Rücklauf) - Tunnel / Kaverne geplant - Tunnel / Kaverne ausgebrochen - Tunnel / Kaverne verfüllt und versiegelt - Versiegelung

Anlage B Umsetzung der Anforderungen und Randbedingungen

Im Kapitel 2.2 und 2.3 wurden Anforderungen sowie Vorgaben und Randbedingungen an bzw. für ein Lüftungs- und Kühlungskonzept eines gTL vorgestellt.

Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch auf, wie massgebenden Anforderungen und Vorgaben aus Kapitel 2.2 unter Berücksichtigung der Randbedingungen aus Bau und Betrieb in das Lüftungs- und Kühlungskonzept (Kapitel 3 und 4) umgesetzt wurden.

Anforderung/Randbedingung	Umsetzung
Strahlenschutz	
Unterdruckstaffelung im Allgemeinen	Saugende Bewetterung über OFI Areale
Getrennte Versorgung des konventionellen und des Überwachungsbereichs des gTL mit Frischluft und der wiederum getrennten Abfuhr der jeweiligen Abwetter	Es gibt einen zentralen Frischluftweg über den Lüftungsschacht mit Auftrennung der Versorgung in zwei Äste und zwei Abluftwege mit zwei getrennten Lüftungszentralen, vgl. Fig. 2-3.
Trennung der Luftströme: Keine Abluft aus dem SMA-Lagerfeld durch das HAA-Lagerfeld und umgekehrt	Die zwei räumlich getrennten Lagerfelder HAA und SMA haben eigene Frischluftzufuhr und Abluftabfuhr. Die Abluft beider Lagerfelder wird ausserhalb der Lagerfelder zusammengeführt und gemeinsam abgeführt, vgl. Fig. 3-1.
Eindeutige Führung der Abluft aus dem Überwachungsbereich über ein einziges Abluftbauwerk	Die Abluft aus dem Überwachungsbereich beider Lagerfelder wird über ein einziges Bauwerk abgeführt, vgl. Kapitel 3.2 und Fig. 3-1. Das gesamte Bauwerk wird im Normalbetrieb saugend, d.h. im Unterdruck belüftet, sodass auch Leckageströme über die Lüftungsanlage der OFA fliessen, vgl. Kapitel 2.3.5.
Filterung der Abluft aus dem Überwachungsbereich	Die Abluft aus dem Überwachungsbereich kann mit einem Bedarfsfilter, d.h. einem zuschaltbaren Filter, von Radionukliden gereinigt werden, vgl. Kapitel 5.2. wie auch die Filterung der Abluft an gezielten Lokation erfolgen kann, vgl. Kapitel 3.3.4
Nukleare Betriebssicherheit	
Inhärent sicheres Anlagenverhalten.	Lüftungstechnisch gibt es keinen Unterschied zwischen dem Lüftungskonzept im Normalbetrieb und dem im Ereignis- bzw. Störfallbetrieb, vgl. Kapitel 0. Zudem werden Redundanzen in das System eingebaut, vgl. Kapitel 5.
Vermeidung von Gasansammlungen in Lagerkaverne und Stollen	Es werden besondere Lüftungen für die Lagerkavernen und -stollen und für alle weitere Hohlräume vorgesehen, vgl. Kapitel 3.3.

Anforderung/Randbedingung	Umsetzung
Brand- und Explosionsschutz	
Einbindung des Lüftungssystems in die Störfallbewältigung mit entsprechender Dimensionierung.	Lüftungstechnisch gibt es keinen Unterschied zwischen dem Lüftungskonzept im Normalbetrieb und dem im Ereignis- bzw. Störfallbetrieb, vgl. Kapitel 0. Zudem werden Redundanzen in das System eingebaut, vgl. Kapitel 5.
Unterstützung der Brandbekämpfung und Selbstrettung von Personen in sichere Bereiche	Durch den durch den Zentralen Bereich und beide Lagerfelder verlaufenden Lüftungstunnel wird ein sicherer, unverrauchbarer Interventions- und Fluchtweg mit direkter Anbindung an den Frischluftschacht geschaffen, vgl. Fig. 3-1 und Kapitel 2.3.6. Die Belegschaft wird geschult und mit Selbstrettern ausgerüstet, vgl. Kapitel 2.3.7.
Vermeidung von Rauch und Aktivitätsverschleppungen	Die Haupttunnel werden im Normal- und Ereignisbetrieb mit einer Längslüftung bewettert. Eine Strömungsumkehr ist nicht vorgesehen, vgl. Kapitel 0. Der Lüftungstunnel kann im Überdruck belüftet werden, vgl. Kapitel 2.3.5. Die Lagerkavernen und -stollen können lüftungstechnisch bei Bedarf abgeschlossen werden, vgl. Kapitel 3.3.3 und 3.3.4.
Kältemittel untertag zur Kühlung von Arbeitsstellen etc. sind zu vermeiden	Die Kälte wird übertag aufbereitet und über ein Kaltwassersystem in die untertägige Anlage gebracht, vgl. Kapitel 4.
Personensicherheit	
Bereitstellung von ausreichenden und sicheren FREI-Wegen zur Selbst- und Fremdrettung im Bau und Betrieb unter Einbezug der Lüftung und deren Betrieb	Durch den durch den Zentralen Bereich und beide Lagerfelder verlaufenden Lüftungstunnel werden ein sicherer, unverrauchbarer Interventions- und Fluchtweg mit direkter Anbindung an den Frischluftschacht und Zugänge in regelmässigen Abständen geschaffen, vgl. Fig. 3-1 und Kapitel 2.3.6.
Bereitstellung von sicheren, nicht verrauchbaren Fluchtendpunkten für die Selbst- und Fremdrettung im Bau und Betrieb	Der Lüftungstunnel selbst gilt als sicherer Fluchtendpunkt. Darüber hinaus gibt es eine Rettungskaverne im Zentralen Bereich. Ist der Lüftungstunnel zu weit entfernt, werden Rettungscontainer aufgestellt, vgl. Kapitel 2.3.6.
Bereitstellung der Zugänglichkeit für Intervention im Störfall	Dies erfolgt über den Lüftungstunnel, vgl. Kapitel 2.3.6.
Schutz der FREI-Wege vor Gefahren und Einwirkungen	Der Lüftungstunnel kann im Überdruck belüftet werden, vgl. Kapitel 2.3.5. Er wird frei von brennbaren Materialien gehalten, vgl. Kapitel 2.3.7.
Begrenzung der FREI-Weglänge	Es wird ein Fluchtendpunkt in höchstens 500 m von jedem Punkt im gTL bereitgestellt, nötigenfalls mit Rettungscontainern, vgl. Kapitel 2.3.6

Anforderung/Randbedingung	Umsetzung
<i>Arbeitsschutz und Gesundheitsschutz</i>	
Zuverlässige und bedarfsgerechte Versorgung und Verteilung von Frischluft im Normalbetrieb und bei Abweichungen vom Normalbetrieb	Durch den durch den Zentralen Bereich und beide Lagerfelder verlaufenden Lüftungstunnel wird eine zentrale Frischluftversorgung für die gesamten UTA im Regel- und Störfallbetrieb geschaffen, vgl. Fig. 3-1 und Kapitel 2.3.6.
Einhaltung der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) am Arbeitsplatz gemäss SUVA 1903 und SIA 196	Die Anforderung wird in der Bemessung der Frischluftmengen und der Kühlung umgesetzt, vgl. Kapitel 3.2, 3.3.1, 3.3.2 und 4.
Baulüftung nach SIA 198 und SIA 196 mit Klimavorgaben nach SUVA 2869	Die Anforderung wird in der Bemessung der Frischluftmengen und der Kühlung umgesetzt, vgl. Kapitel 3.3.1, 3.3.2 und 4.
Lüftung im Einlagerungsbetrieb nach Konzepten der Raumluftechnik SIA 382/1 und SIA 2024 mit Klimavorgaben nach SN 7730, SECO 2020a und 2020b sowie ASTRA 23001	Die Anforderung wird in der Bemessung der Frischluftmengen und der Kühlung umgesetzt, vgl. Kapitel 3.3.3, 3.3.4 und 4.
Kontrollierte Rauchausbreitung im Brandfall, rauchfreie Fluchtwege	Siehe die Umsetzung zum Thema Personensicherheit weiter oben.
Kein unzulässiger Feuchtigkeitseintrag durch die Lüftung	Die Feuchtigkeit in den UTA wird massgebend durch die Vorkonditionierung der Zuluft am einziehenden Schachtkopf kontrolliert, vgl. Kapitel 5.3.1.
<i>Physikalische und betriebliche Randbedingungen</i>	
Hohe Felstemperaturen. Abwärme des Felsens und des Ausbruchsmaterials	Entsprechende Bemessung der Lüftung und Kühlung zur Einhaltung der arbeitsmedizinischen Grenzwerte, vgl. Kapitel 3.2, 3.3.1 und 4.
Wärme- und Schadstoffquellen von Baumaschinen und Baumaterialien aus Arbeiten im konventionellen Bereich der Anlage	Entsprechende Bemessung der Lüftung und Kühlung zur Einhaltung der arbeitsmedizinischen Grenzwerte, vgl. Kapitel 3.2, 3.3.1 und 4.
Wärmequellen von Einlagerungsmaschinen und Baumaterialien aus dem Einlagerungsbetrieb	Entsprechende Bemessung der Lüftung und Kühlung zur Einhaltung der arbeitsmedizinischen Grenzwerte, vgl. Kapitel 3.2, 3.3.1 und 4.
Brandlasten	Bemessung der Lüftung den Brandlasten entsprechend, vgl. Kapitel 0.