



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben

Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



Galleria di Base del Brennero
Brenner Basistunnel BBT SE

AUSBAU EISENBAHNACHSE MÜNCHEN-VERONA

BRENNER BASISTUNNEL

AUSFÜHRUNGSPLANUNG
D0700: BAULOS MAULS 2-3

POTENZIAMENTO ASSE FERROVIARIO MONACO-VERONA

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA
D0700: LOTTO MULES 2-3

TEILNEHMER: Zeitweilige Bietergemeinschaft
CONCORRENTE: Raggruppamento temporaneo di imprese



ASTALDI

(Mandataria/Federführendes Unternehmen)
ASTALDI S.p.A.
Via Giulio Vincenzo Bona, 65
00156 Roma



(Mandante/Auftragnehmer)



(Mandante/Auftragnehmer)



(Mandanti Cooptate/kooptierte Auftragnehmer)

AP209-A.1.3.0-R-01-00-00-B

A.1.2



SICUREZZA /
RIDUZIONE RISCHI

A.1.3



VENTILAZIONE /
QUALITÀ ARIA

A.2.1



SCAVI MECCANIZZATI

A.2.3



OTTIMIZZAZIONE
LOGISTICA

A.2.2



SICUREZZA
SCAVI MECCANIZZATI

A.2.4



GESTIONE
MATERIALI

Inhalt

1.	Gegenstand	1
1.1.	Bauprogramm	5
1.2.	Lüftungsziele	5
2.	Definitionen und Verweise zu Normen	5
3.	Analyse des Lüftungskonzepts gemäss Ausschreibung	6
3.1.	Beschreibung	6
3.2.	Bewertung	6
3.3.	Vorhandenes Lüftungssystem	7
4.	Grundlagen für die Dimensionierung der Lüftungssysteme	10
4.1.	Normalbetrieb	10
4.2.	Ereignisfall	13
5.	Das Lüftungssystem	14
5.1.	Auswahlkriterien	14
5.2.	Gewähltes Lüftungssystem	14
6.	Dimensionierung des Lüftungssystems	20
6.1.	Dimensionierung Haupttunnel Nord	20
6.2.	Dimensionierung Haupttunnel Süd	20
6.3.	Dimensionierung Erkundungsstollen	20
6.4.	Dimensionierung Zugangsstollen TRENS	21
6.5.	Dimensionierung Abluft Mauls	21
6.6.	Dimensionierung Abluft im Erkundungsstollen	21
6.7.	Dimensionierung Zuluft Mauls	21
6.8.	Verwendung der Komponenten des bestehenden Systems	21
6.9.	Elektrischer Leistungsbedarf	22
7.	Steuerung und Betrieb der Lüftungsanlage	23
7.1.	Komponenten der Steuerung	23
7.2.	Steuerung im Normalbetrieb	23
7.3.	Steuerung im Ereignisfall	24
8.	Bauliche Einrichtungen	33
8.1.	Schleusen	33
8.2.	Einfache Wetterwände	33
8.3.	Tore und Türen	33
9.	Lüftungstechnische Komponenten	34
9.1.	Allgemeines	34
9.2.	Ventilatoren	34
9.3.	Klappen	37
9.4.	Luftkanäle	39
9.5.	Lutten	39
9.6.	Entstauber	39
9.7.	Steuerung und Instrumentierung	40
10.	Quellenverzeichnis	41
11.	Abkürzungen	42

1. GEGENSTAND

Der vorliegende Bericht basiert auf den Angaben aus den Ausschreibungsunterlagen. Er beschreibt die vorgeschlagenen Verbesserungen am Lüftungssystem, mit denen eine bessere Lüftungsqualität an den Arbeitsplätzen bei gleichzeitiger Minimierung der Umweltauswirkungen erzielt werden kann. Die lüftungsspezifischen Fragestellungen aus der Ausschreibungsdokumentation können wie folgt zusammengefasst werden:

- Kohärenz der Konfiguration der Lüftungsanlage, auf Annahmen betreffend die Organisation und die Produktion;
- Effizienz der Methoden zur Steuerung der Anlage im Normalbetrieb und im Notfall;
- Verbesserung der Luftqualität während der Arbeitsphasen, mit besonderem Augenmerk auf die Vortriebsphasen;
- Verwendung der Anlage, die von der BBT-SE unentgeltlich zum leihweisen Gebrauch

Die in den folgenden Kapiteln beschriebene technische Lösung erfüllt vollumfänglich die Fragestellungen der Ausschreibungs-dokumentation.

Insbesondere wurde das Lüftungssystem vollkommen neu geplant, um eine bessere Lüftungseffizienz an den Vortrieben zu erhalten und verbesserte Steuerungsmöglichkeiten zu schaffen.

Das vorgeschlagene System basiert auf der direkten Zufuhr unverbrauchter Frischluft an der jeweiligen Ortsbrust mit Hilfe von Lutten. Es nutzt den Querschnitt über der Zwischendecke im Fensterstollen Mauls für die zentrale Luftzufuhr in das Tunnelsystem. Der Einbau der Zwischendecke wird zu diesem Zweck in die ersten Phasen des Bauablaufes vorgezogen.

Die Abluft wird über die Verkehrsflächen des Zugangstunnels Aicha und des Fensterstollens Mauls, sowie über einen Abluftkanal aus Stahlblech im Fensterstollen Mauls abgeführt.

Im Einklang mit der Ausschreibungsdokumentation werden alle Elemente des existierenden Lüftungssystems im neuen System weiterverwendet.

Die neue Konfiguration erlaubt eine Frischluftzufuhr direkt an der jeweiligen Ortsbrust (wo die Mehrheit der Mitarbeiter sich konzentriert) ohne dass die Zuluft durch die im Tunnel fahrenden und arbeitenden Maschinen kontaminiert ist, wie dies im Amtsvorschlag der Fall ist.

Die vorgeschlagene Lösung erlaubt weiterhin eine Erhöhung der Frischluftzufuhr im Tunnelsystem (bis ca. 450 m³/s gegenüber den 320 m³/s aus dem Amtsvorschlag). Dies bedeutet einerseits eine bessere Luftqualität und erlaubt andererseits mehr gleichzeitige Tätigkeiten.

Das vorgeschlagene Lüftungssystem erfordert im Normalbetrieb keine Schleusen, deren Tore ständig zu bedienen sind. Vorhandene Schleusen bleiben während des normalen Baubetriebs offen und werden nur im Ereignisfall situativ geschlossen.

Der Amtsvorschlag sieht im Gegensatz dazu den Einsatz von auch im Normalbetrieb geschlossenen Schleusen in den Hauptverkehrswegen vor, was den Bauablaufs erheblich stört.

Die Luftqualität wird zudem indirekt dadurch verbessert, dass vermehrt elektrische Fahrzeuge sowohl für das Personal als auch für einen Teil des Materialtransportes eingesetzt werden.

Im Ereignisfall wird der betroffene Ereignisabschnitt aerodynamisch durch das Schliessen von Toren isoliert, so dass das restliche Tunnelsystem grundsätzlich mit Frischluft weiter versorgt werden kann.

Somit kann das Personal das Tunnelsystem durch den belüfteten Tunnel verlassen.

Die Brandabluft wird in den Tunnel zurückgedrängt, in dem sich der Brand ereignet hat. Daraufhin wird sie durch das Lüftungssystem abgesaugt und mit Hilfe der Luft, die im oberen Teil des Fensterstollens Mauls gewonnen wird, von unter Tage hinausgedrückt.

Die Steuerung des Lüftungssystems greift unter anderem auch auf die Signale aus Brandmeldekabeln zurück. Dies erlaubt eine rasche Identifizierung eines Brandes im Tunnelsystem und somit eine schnelle und gezielte Aktivierung der erforderlichen Massnahmen der Ereignislüftung.

In der folgenden Tabelle werden das Lüftungssystem des Amtsvorschlages mit dem des angebotenes Projekt verglichen.

Subkriterien	Beschreibung	Amtsvorschlag	Angebotenes Projekt
A.1.3 "Verbesserung der im Ausschreibungsprojekt vorgesehenen Lüftungsanlage zur Verbesserung der Luftqualität in den Arbeitsbereichen bei den Untertagebauarbeiten sowie der Umweltauswirkungen, in Anbetracht der in Bezug auf das Kriterium A.2) getroffenen Entscheidungen, und unter Berücksichtigung der Möglichkeit, die bestehende, von der BBT SE kostenlos bereit gestellte Anlage zu benutzen."	Kohärenz der vom Bieter vorgeschlagenen Konfiguration der Lüftungsanlage, auf Grundlage der im Angebot des Bieters enthaltenen Annahmen betreffend die Organisation und die Produktion	Die Konfiguration des Amtsvorschlags erscheint kohärent. Die Luftmengen und die Luftverteilung in den einzelnen Abschnitten in den verschiedenen Bauphasen sind detailliert nachgewiesen. Nicht ganz klar ist jedoch, welche Bedeutung es hat, dass weite Teile mit bereits belasteter Abluft belüftet werden.	Das Lüftungssystem ist so bemessen, dass in allen Bauphasen in allen Tunnelabschnitten der notwendige Frischluftbedarf großzügig abgedeckt wird. Für jeden Abschnitt und jede Bauphase wird der Frischluftbedarf im Bericht detailliert nachgewiesen. Damit wird die im Ausschreibungsprojekt vorgesehenen Lüftungsanlage erheblich verbessert.

Subkriterien	Beschreibung	Amtsvorschlag	Angebotenes Projekt
	Qualität der vorgeschlagenen Lösungen zur Verbesserung der Luftqualität während der Arbeitsphasen, mit besonderem Augenmerk auf die Vortriebsphasen, sowohl beim maschinellen als auch beim bergmännischen Vortrieb;	<p>Umluftsystem im Haupttunnel.</p> <p>Die an den Vortrieben benötigte Luft strömt über die Verkehrswege im Fensterstollen bzw. in den Haupttunnelröhren, bevor sie in die, zu den Vortriebsbaustellen führenden Lutten gefördert wird.</p> <p>Der Fensterstollen und der Haupttunnel, in denen viele Fahrzeugemissionen anfallen, müssen überlüftet werden, damit am Vortrieb noch ausreichend frische Luft ankommt.</p> <p>Die Gegenröhre des Haupttunnels, in welcher die Abluft zurückströmt, liegt im Abluftstrom von zwei Vortrieben und der Verkehrsfläche der Nebenröhre. Um eine ausreichende Luftqualität für dort stattfindende rückwärtige Arbeiten zu erreichen, müsste die Luftmenge deutlich erhöht werden.</p> <p>Die Leckage der Lutten, welche am Ende der Gegenröhre die Abluft absaugen, kontaminiert die Zuluft zusätzlich.</p>	<p>Zuluftsystem im Haupttunnel.</p> <p>Alle Vortriebsbaustellen erhalten unkontaminierte Frischluft, welche auf direktem Weg von außen durch Lutten herangeführt wird.</p> <p>Die auf Grund der Leckage der Lutten und über Verluste an Ventilatorstationen austretende Luft ist Frischluft und führt in den Stollen zu einer Art Halbquerlüftung.</p>

Subkriterien	Beschreibung	Amtsvorschlag	Angebotenes Projekt
	Effizienz der Methoden zur Steuerung der Anlage im Normalbetrieb und im Notfall	Die Steuerung der Lüftungsanlage ist sehr kompliziert auf Grund der komplizierten Luftführung.	Die Steuerung der Anlage ist deutlich vereinfacht auf Grund der Vereinheitlichung der Prinzipien für die einzelnen Vortriebsbereiche. Im Ereignisfall lässt sich der betroffene Bereich durch einfache Maßnahmen isolieren, während alle anderen Bereiche weiter belüftet werden können.
	Art und Weise der Verwendung der Anlage, die von der BBT-SE unentgeltlich zum leihweisen Gebrauch, für die gesamte Auftragsdauer oder für einen eingeschränkten Zeitraum, auf der Grundlage ihrer Erfordernisse, zur Verfügung gestellt wurde.	- nicht berücksichtigt	Die bereits vorhandenen Ventilatoren werden im konzipierten Lüftungssystem eingesetzt, ebenso die bereits vorhandenen Lutten. Die Details der Verwendung sind im Bericht beschrieben.
	Vollständigkeit und Effizienz der vorgeschlagenen Lösungen	Die beschriebene Lösung ist mit offenen Fragen behaftet. Durch das Umluftsystem entstehen im Normalbetrieb in der Röhre, in der die Abluft zurückströmt, lufthygienisch unzureichende Bedingungen für rückwertige Arbeiten. Dies schränkt einen effizienten Bauablauf ein. der permanente Einsatz von Schleuse /Tore in einigen Tunnelbereiche schränkt die Baulogistik ein. Es resultiert zudem eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Störungen	Die Lösung ist vollständig beschrieben. Konzept und Luftmengen für den Normalbetrieb sind so bemessen, dass in allen Tunnelbereichen einschließlich des Fensterstollens gute Arbeitsbedingungen hinsichtlich der Luftqualität sichergestellt werden können, inklusive Reserven. Schleuse und Tore werden nur in Ereignisfälle geschlossen. Alle die Fahrwege Tunnel sind in Normalbetrieb frei.

1.1. Bauprogramm

Die Luftmengen, welche zur Versorgung der Baustelle in den verschiedenen Bauphasen erforderlich sind, beziehen sich auf das angebotene Bauprogramm [1].

Ein wesentlicher Teil dieses Dokuments ist daher die Darstellung des Luftbedarfs zu den verschiedenen Zeiten in den verschiedenen Abschnitten der Baustelle, welcher erforderlich ist um die nachfolgend genannten Ziele zu erreichen. Dies ist in Kap. 4.1 beschrieben.

Für die Berechnung der Luftmengen werden bewusst die leistungsspezifischen Emissionsfaktoren gemäß Amtsvorschlag aus der Ausschreibung verwendet. Mit den in der Ausschreibung vorgeschriebenen Schadstoffklassen für die Baumaschinen sind allerdings um ca. 20 – 35% geringere Emissionen zu erwarten, siehe Kap. 4.1.1. Dadurch ergibt sich eine großzügige Reserve in der Luftqualität und ein erhebliches Optimierungspotential in der Realisierung.

1.2. Lüftungsziele

Das primäre Ziel der Baulüftung ist es, die erforderlichen elementaren Luftmengen für das Personal bereitzustellen und die Schadstoffe aus der Verbrennung von Dieselmotoren in Transportfahrzeugen und Baumaschinen soweit zu verdünnen, dass die maximal erlaubten Schadstoffkonzentrationen an den Arbeitsplätzen unterschritten werden. Im Detail sind diese Lüftungsziele in Kap. 4.1.1 beschrieben.

Ein weiteres Ziel der Baulüftung ist die Unterstützung der Selbstrettung des Personals bei einem Ereignis im Tunnel. Dazu müssen in geeigneter Weise rauchfreie Bereiche in Abhängigkeit vom Brandort bereitgestellt werden können. Weitere Erklärungen hierzu finden sich in Kap. 4.2, 5.2.2 und 7.3.

Darüber hinaus trägt die Lüftung auch mit bei zur Abfuhr von Wärme aus dem Tunnel und zur Einhaltung der maximal erlaubten Temperaturen an den Arbeitsplätzen. Dies geschieht in Zusammenhang mit der Baukühlung, die nicht Gegenstand dieses Dokumentes ist.

2. Definitionen und Verweise zu Normen

Die zu Grunde gelegten Normen und herangezogene Literatur ist im Kapitel 10 aufgelistet.

Es gelten vorrangig die Bestimmungen der italienischen Gesetzgebung für die Lüftung bei Arbeiten untertage [10] für die Arbeitssicherheit [12] und die Bestimmungen für Ausbruchsarbeiten in Erdgas führenden Böden [13].

Ferner sind im vorliegenden Fall auch die Bestimmungen der Provinz Bozen-Südtirol für die Lärmbelastung [14] durch die Lüftungsanlage relevant.

Im Weiteren wurden darüber hinaus die Empfehlungen der schweizerischen Norm SIA 196 [16], der österreichischen BauV [17] und die den Arbeitsschutz betreffenden Empfehlungen der Schweizerischen SUVA [18], [19] zu Grunde gelegt.

3. ANALYSE DES LÜFTUNGSKONZEPTS GEMÄSS AUSSCHREIBUNG

3.1. Beschreibung

Das Lüftungskonzept gemäß dem der Ausschreibung zu Grunde liegenden Amtsvorschlag sieht vor, in wesentlichen Abschnitten der Röhren des Haupttunnels das Lüftungssystem von dem derzeit auf der Baustelle verwendeten und im Normalbetrieb weitgehend schleusenfreien Zuluft-System auf ein Umluft-System mit Schleusen umzubauen.

In den ersten Bauphasen soll dieses Umluftsystem zunächst in den beiden Röhren des Haupttunnels Nord installiert werden. In den späteren Phasen während des Sprengvortriebs ist dann auch für die beiden Röhren des Haupttunnels Süd ein Umluftsystem vorgesehen. Zu Anfang wird hier noch mit direkter Zuluft gearbeitet.

Wesentliche Elemente des vorgesehenen Umluftsystems sind die auch im Normalbetrieb dauernd geschlossenen Schleusen, welche die Weströhren der Haupttunnel an deren Fußpunkten aerodynamisch vom Fensterstollen Mails trennen.

Jeweils ein offener Querschlag unmittelbar vor den Vortriebsbereichen erlaubt ein Überströmen

der Luft aus der jeweiligen Oströhre in die korrespondierende Weströhre. Alle anderen Querschläge müssen verschlossen sein.

Die Abluft aus den westlichen Haupttunneln wird am Ort der genannten Schleusen durch Ventilatoren abgesaugt und über Lutten im Gewölbe des Fensterstollens Mails bis zum Kamin in der Lüftungskaverne gedrückt.

Durch den in den Weströhren entstehenden Unterdruck angetrieben, strömt Außenluft in das Portal des Fensterstollens Mails und von dort an deren Fußpunkten in die Oströhren der Haupttunnel. An geeigneten Stellen wird dann dort die Zuluft zur Versorgung der Ausbruchsbaustellen mit Ventilatoren aus dem Tunnel angesaugt und per Lutte zur Ortsbrust geführt.

3.2. Bewertung

Der grundsätzliche Unterschied der oben genannten Systeme ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Im freien Querschnitt des Fensterstollens strömt entweder Zuluft (Umluftsystem) oder Abluft (Zuluftsystem).

Eine Bewertung der Systeme wird im Hinblick auf die Luftqualität für das Personal, die Sicherheit des Personals, den Energieverbrauch und die Investitionskosten vorgenommen.

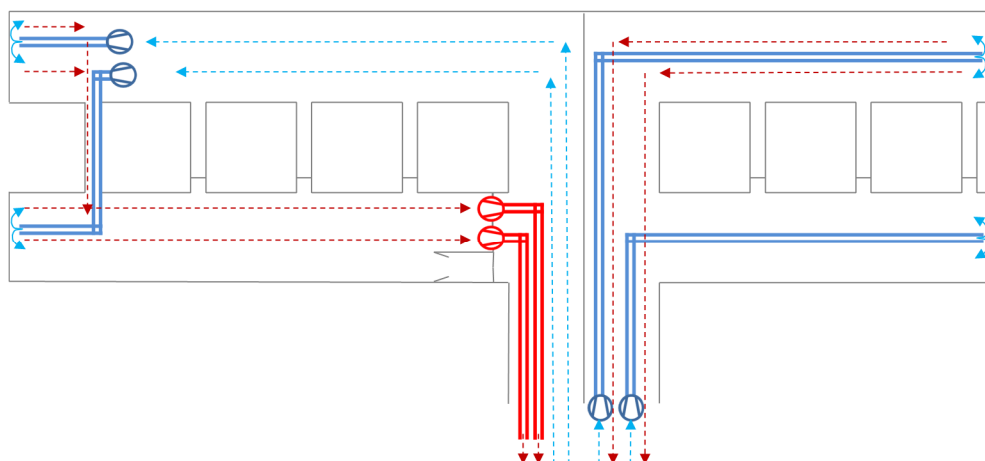


Abbildung 1: Vergleich der Prinzipien, links Umluftsystem mit Schleuse, rechts schleusenfreies Zuluftsystem, blau: Zuluft, rot: Abluft.

3.2.1. Bewertung des Umluftsystems

Luftqualität:

Betrachtet man lediglich die Verdünnung der Emissionen aus den Vortriebsbereichen, so unterscheiden sich die beiden Systeme hinsichtlich der dortigen Luftqualität nicht, soweit mit den gleichen Luftvolumenströmen gearbeitet wird und keine Emissionen im rückwärtigen Bereich auftreten.

Bezieht man jedoch die rückwertigen Arbeiten im Tunnel ein, so ergibt sich ein differenziertes Bild.

Beim Umluftsystem kommt die Zuluft bereits vorbelastet durch die auf Tunnelbaustellen besonders heiklen Dieselabgase der verschiedenen Transportmittel an der Baustelle des Vortriebs an. Am Ort der Schleuse, wo die Abluft schließlich abgesaugt wird, ist die Luft durch die Abgase der sich in beiden Röhren bewegendes Fahrzeuge bereits deutlich belastet. Um an dieser Stelle immer noch eine ausreichende Luftqualität entsprechend der Arbeitsschutzvorschriften bereitstellen zu können, muss von Anfang an mit relativ großen Luftvolumenströmen gearbeitet, bzw. eine der beiden Tunnelröhren wird deutlich überlüftet. Im Fensterstollen wird die Abluft in Lutten geführt. Da Lutten immer eine Leckage aufweisen, wird die im gleichen Querschnitt einströmende Außenluft unvermeidlich kontaminiert.

Sicherheit:

In der gegebenen Konfiguration des Normalbetriebs erlaubt das Umluftsystem bei einem Ereignis in einer der beiden Tunnelröhren bereits eine Abfuhr von Rauch, ohne dass dieser in die Verkehrsflächen des Fensterstollens eindringt. Auf der anderen Seite bilden im Normalbetrieb die beiden benachbarten Tunnelröhren des Haupttunnels einen aerodynamisch zusammenhängenden Luftraum, so dass sich Rauch ohne weitere Maßnahmen und Einrichtungen schnell in beiden Röhren ausbreiten kann.

Logistik:

Der Eingang zur Weströhre des Haupttunnels wird während des Vortriebs und Ausbaus stark durch die verschiedensten Fahrzeuge frequentiert, welche die Baustellen versorgen und sich in beide Richtungen bewegen. Die an dieser Stelle platzierte Schleuse bedeutet eine Einschränkung der Baustellenlogistik.

3.2.2. Bewertung des Zuluftsystems

Luftqualität:

Die im Ausbruchsbereich erzielbare Luftqualität ist auf Grund des direkten Einblasens unverbrauchter Frischluft bei dieser Methode der Lüftung maximal. Auf dem Weg der Abluft zurück durch den Tunnelquerschnitt erfolgt dann eine Vermischung mit den Abgasen der dort arbeitenden, dieselgetriebenen Transportfahrzeuge und Baumaschinen. Durch die unvermeidliche Leckage ergibt sich auf der ganzen Länge der im Tunnel verlegten Lutten ein Austritt von Frischluft. Dadurch werden die Dieselabgase weiter verdünnt in der Art einer Halbquerlüftung, wie man sie aus Straßentunneln kennt.

Sicherheit:

Das System beruht auf einer vollständigen aerodynamischen Trennung benachbarter Tunnelröhren. Rauch aus einer Röhre kann sich im Normalbetrieb nicht rasch in beide Röhren ausbreiten, so dass dem Personal die Gegenröhre stets als ‚safe haven‘ zur Verfügung steht.

Logistik:

Das vorgestellte System kommt auf den wichtigen Verkehrswegen im Normalbetrieb ohne geschlossene Schleusen aus.

3.3. Vorhandenes Lüftungssystem

Derzeit ist die Baustelle bereits mit einem leistungsfähigen Lüftungssystem ausgerüstet.

Die Abbildung 2 zeigt schematisch das verwendete System, wie es von Seiten des Auslobers beschrieben ist.

Die frische Außenluft wird am Portal über zwei große Axialventilatoren angesaugt und über zwei Lutten in den Fensterstollen gefördert.

Im Stollen befindet sich ein Verteiler, an welchem die Lutten für die einzelnen Vortriebe über dedizierte Ventilatoren angeschlossen sind.

Über die Lutten wird die Zuluft direkt zu den Ausbruchbaustellen gefördert und strömt von dort über den freien Querschnitt zurück zunächst in den Fensterstollen und über diesen zurück ins Freie.

Entsprechend der zur Verfügung gestellten Unterlagen stehen derzeit bauseitig zur Verfügung:

- 2 Axialventilatoren einstufig, 250 kW, Ø 1600 mm
- 2 Axialventilatoren einstufig, 220 kW, Ø 1400 mm
- 2 Axialventilatoren einstufig, 110 kW, Ø 1600 mm
- 2 Axialventilatoren zweistufig, 2 x 160 kW, Ø 1600 mm
- ca. 4 km Lutte Ø 2200 mm, max. 4.5 kPa
- ca. 3 km Lutte Ø 2400 mm, max. 4.1 kPa
- ca. 1.3 km Lutte Ø 1600 mm, max. 6.2 kPa
- ca. 1.4 km Lutte Ø 1200 mm, max. 7.1 kPa

- ca. 1.2 km Lutte Ø 1000 mm, max. 8.3 kPa

Bei den Lutten handelt es sich offensichtlich um Material der Qualität Y, woraus sich die oben angegebenen Druckfestigkeiten ergeben. Der Grad der Leckage ist nicht bekannt, da es sich um gebrauchtes Material handelt. Man wird jedoch vermutlich von Werten entsprechend der Kategorie A nach SIA 196 ausgehen dürfen.

Es ist naheliegend, die bereits vorhandenen Komponenten in das neue System für die Baulüftung einzubinden. Soweit damit eine sinnvolle Auslegung erreicht werden kann, wird dies in der vorliegenden Planung umgesetzt, siehe dazu Kap. 6.8.

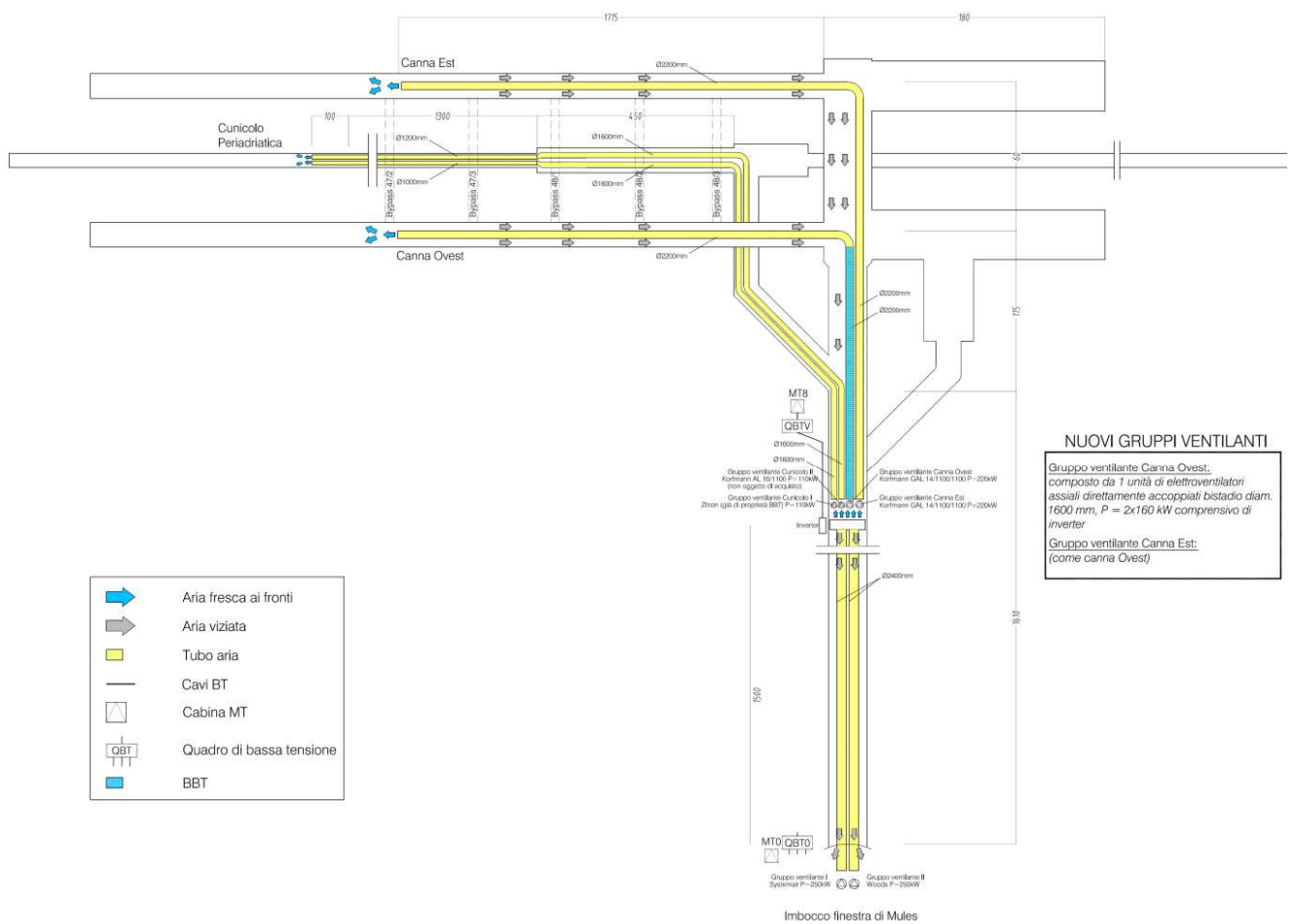


Abbildung 2: Bestehende Baulüftung (Quelle BBT)

4. GRUNDLAGEN FÜR DIE DIMENSIONIERUNG DER LÜFTUNGSSYSTEME

4.1. Normalbetrieb

Um die erforderliche Frischluftmenge im Normalbetrieb zu bestimmen, sind Planungsgrenzwerte für gas- und partikelförmige Schadstoffe festzulegen.

4.1.1. Lüftungsziele

Die Lüftungsziele im Normalbetrieb bestehen grundsätzlich darin, der Belegschaft jederzeit und an jedem Arbeitsort gute Luftbedingungen zu bieten. Das bedeutet konkret:

- Sicherstellung des normalen Sauerstoffgehalts der Atemluft;
- Unterschreitung der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte, vgl. Richtlinie [19]) bzgl. gasförmigen Schadstoffen aus dem Berg (Methan, Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid, Radon);

- Unterschreitung der MAK-Werte bzgl. gas- und partikelförmigen Schadstoffen der Baumaschinen und Betriebsmittel, z.B. Dieselmotoremissionen (DME), Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Stickoxide;
- Unterschreitung der MAK-Werte bzgl. inerte Stäube: Betonstäube infolge Spritzbetonauftrag und weiterer Betonarbeiten, Felsstäube infolge Ausbruchs und Schutterung;
- Schutz des Personals vor den toxischen Sprengschwaden;
- Verhinderung der Ansammlung und Schichtung von explosiven oder toxischen Gasen in Senken und Gewölben (z.B. Methan, Kohlendioxid und Radon);
- Sicherstellung eines erträglichen Arbeitsklimas bzgl. Feuchtigkeit und Temperatur.

Für die Auslegung der Lüftung zur Erreichung dieser Ziele ist es zweckmäßig und üblich, mit elementaren Luftmengen pro Person und pro Leistungseinheit der Dieselmotoren und mit einfachen Geschwindigkeitsgrenzen der Luftströmungen zu rechnen. Diese sind in der Tabelle 1 dokumentiert. Sie stammen aus dem Technischen Bericht Baulüftung/-kühlung BBT [4].

Situation	Berechnungsansatz
Frischluftezufuhr pro Arbeiter	$\geq 3 \text{ m}^3/\text{min}/\text{Arbeiter}$
Frischluftezufuhr zur Verdünnung der Dieselschadstoffe	$\geq 3.18 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{kW})$ $\geq 3.18 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{kW})$ [kW: Nennleistung]
Luftgeschwindigkeit im freien Tunnelquerschnitt	$\geq 0.2 \text{ m/s}$ $\leq 5.0 \text{ m/s}$
Luftgeschwindigkeit im Regelquerschnitt bei Methanbefund (Vermeidung der Erdgasschichtbildung)	$\geq 0.5 \text{ m/s}$

Tabelle 1: Ansatz für Luftmengenberechnung

Der Frischluftbedarf der Arbeitenden und derjenige zur Verdünnung der Dieselschadstoffe sind nicht kumulativ: Es gilt jeweils das Maximum der beiden Werte.

Zum Ansatz für die Berechnung der Frischluftezufuhr zur Verdünnung der Dieselschadstoffe sei auf folgendes hingewiesen:

Die elementare Frischluftezufuhr zur Verdünnung der Dieselschadstoffe wird in $\text{m}^3/(\text{min}, \text{kW})$ ausgedrückt. Der Grenzwert aus der italienischen Gesetzgebung von $4 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{PS})$, entspricht

$5.44 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{kW})$, stammt aus dem Jahr 1956. Er berücksichtigt weder die massiven Fortschritte der Motorentechnik seither noch die ständige Verschärfung der Gesetzgebung zu den motorischen Emissionen und den maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen.

In [4] wird deshalb ein um 42% verminderter Wert von $3.18 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{kW})$ angesetzt, der auch hier weiter zu Grunde gelegt wird.

Die projektbezogenen technischen Vertragsbedingungen [2] verlangen den Einsatz von LKW's der Klasse EURO 4 und 5

entsprechend Richtlinie 99/96/EG oder mit Ausrüstung mit entsprechenden Partikelfiltern sowie dieselbetriebene Maschinen mit einer Leistung von über 37 kW, die die in Anlage I, 4.2.3 §9, Abs. 3 der Richtlinie 97/68/EG (Zulassung nach dem 31.12.2000) angeführten Emissionsmaximalwerte einhalten. D.h. Maschinen mit Emissionsstandard Stufe II und besser.

Unter Ansatz der Emissionen aus LKW EURO 4 und 5 sowie den MAK-Werten für A-Staub (3 mg/m^3) sowie CO (35 mg/m^3) würden auch ca. $2 \text{ m}^3/(\text{min kW})$ für eine grenzwertgerechte Verdünnung ausreichen. Bei den Maschinen Stufe II und besser wären das ca. $2.5 \text{ m}^3/(\text{min kW})$.

In der vorliegenden Lüftungsberechnung wird dennoch konservativ von dem in [4] verwendeten Wert von $3.18 \text{ m}^3/(\text{min kW})$ ausgegangen, was einer Reserve in den notwendigen Luftvolumenströmen von mehr als 20% bei den Baumaschinen und mehr als 35% bei den LKWs entspricht.

Der Einsatz der in der Ausschreibung geforderten schadstoffarmen Fahrzeuge wird zu einer besseren Luftqualität in der Tunnelbaustelle führen bzw. beinhaltet so die entsprechenden Reserven z.B. bei ggf. auftretenden, kurzzeitigen Emissionsspitzen.

Informativ werden deshalb die mit diesem realistischen Ansatz berechenbaren Luftmengen bei der Luftmengenberechnung der einzelnen Prozesse (Anhang 1.3) zum Vergleich mit angegeben.

Erfahrungsgemäß reichen die Luftmengen, die zur Verdünnung der Dieselmotoremissionen angesetzt werden aus, um den Sauerstoffgehalt der Luft zu halten.

4.1.2. Luftmengenberechnung

Um die unter Kapitel 4.1.1 genannten Planungswerte einzuhalten, ist eine Berechnung der dafür notwendigen Frischluftmenge

erforderlich. Diese basiert auf dem Emissionsverhalten der Fahrzeuge sowie dem gewählten Bauablauf.

Der Maschinenpark, der dieser Planung zugrunde gelegt wird, ist in Anhang 1.1 dokumentiert. Er basiert auf den logistischen Hypothesen des technischen Vorschlages, sowie der Detaillierung zu Kriterium A.2. Die Anforderungen an die Maschinen sind im Bericht [2], Kap. 6.2 spezifiziert.

Für den Normalbetrieb errechnet sich die notwendige Frischluftmenge aus dem Maximum des Frischluftbedarfs:

- der Belegschaft,
- des gesamten Mittel- u. Maschineneinsatzes
- und zur Verdünnung der natürlichen Gasvorkommen.

Dabei werden die in Tabelle 1 angesetzten erforderlichen spezifisch Luftmengen und Mindestluftgeschwindigkeiten sowie die Maschinen nach der Maschinenliste in Anhang 1.1 angesetzt.

Die berechneten Frischluftmengen pro Bauphase sind im Anhang 1.3 aufgeführt.

Der Maschinen- und Personaleinsatz pro Bauphase, der zu Grunde gelegte Tunnelquerschnitt sowie die daraus berechneten notwendigen Frischluftmengen sind in den Tabellen des Anhangs 1.3 für die betrachteten Bauphasen aufgeführt. Sie basieren auf den Grundlagen aus [4] mit den Präzisierungen des Bauablaufes und Maschineneinsatzes seitens der Anbieter.

Die gesamte angegebene Frischluftmenge muss im Lüftungsabschnitt der jeweiligen Baustelle zur Verfügung gestellt werden. Auch der Frischluftbedarf der Transportfahrzeuge tritt hier auf. Die Emissionen der Transportfahrzeuge werden trotzdem direkt am Emissionsort verdünnt, da alle Fahrzeuge im Luftstrom verkehren.

Frischlufbedarf/ fabbisogno aria fresca

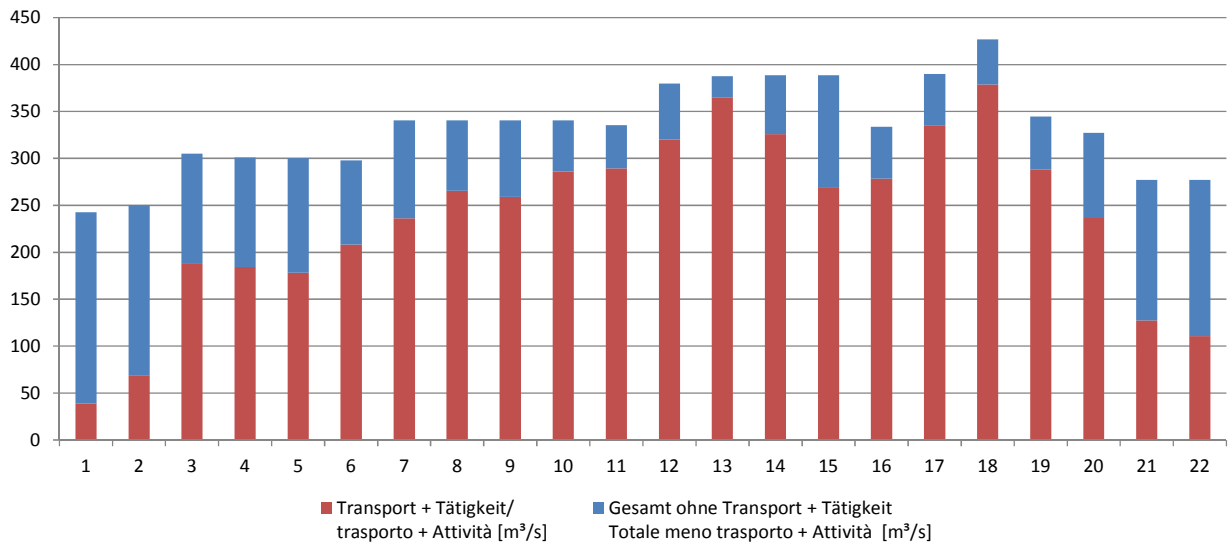


Abbildung 3: Der Frischluftbedarf im Gesamtsystem für die verschiedenen Bauphasen

4.1.3. Entstaubung der Vortriebe

Bei TBM-Vortrieb, umfangreichen Spritzbetonarbeiten und sprengvortrieben fallen große Mengen an Mineralstäuben an. In diesen Fällen ist eine geeignete Stauberfassung und Staubausscheidung mittels Entstauber notwendig. Die Stauberfassung erfolgt bei blasender Lüftung im Vortriebs- oder Schildbereich mit einem Lüfter, der die zurückströmende Luft erfasst und durch den Entstauber drückt, bevor sie im freien Stollenquerschnitt abströmt.

4.1.4. Entstaubung bei Schutterung

Bei Schutterung an der Ortsbrust kann alternativ zur Entstaubung per Entstauber der Staub durch versprühen von Wasser gebunden und niedergehalten werden.

Erfahrungsgemäß kann bei Schutterung mit dem Förderband und mit Stollenbahnen viel Staub anfallen. Diese Stauffreisetzung kann eingedämmt werden, wenn die Zug- oder Bandladung in regelmäßigen Abständen durch Wasservorhänge geführt wird.

4.1.5. Sprengschwaden

Die Förderleistung der Lüftung ist so zu bemessen, dass die Strömungsgeschwindigkeit im größten ausgebrochenen Tunnel oder Stollenprofil im Minimum 0.3 m/s beträgt (vgl. SIA 196 [16]).

Dieser Wert gilt bei einer Sprengpause von 15 Minuten und setzt voraus, dass die Belegschaft vor den Sprengschwaden geschützt ist.

Diese Anforderung ist mit der vorliegenden Berechnung des Frischluftbedarfs erfüllt.

4.2. Ereignisfall

Für den Ereignisfall ergeben sich die folgenden grundsätzlichen Anforderungen an die Baulüftung:

- Mit Hilfe der Baulüftung sind sichere, rauchfrei Bereiche zur Selbstrettung zu gewährleisten,
- die Fluchtwege sollen rauchfrei bleiben.
- die Zufahrt von Lösch- und Rettungsfahrzeugen zum Brandort soll möglichst unterstützt werden,
- benachbarte Baustellenbereiche sollen rauchfrei bleiben und der Rauch soll auf einem kontrolliertem Pfad abströmen,
- die Wiederherstellung der normalen Arbeitsbedingung (insbesondere die Abfuhr von Rauch) nach dem Brandende soll unterstützt werden.

Die Lüftungsanforderungen im Ereignisfall werden mit folgenden Anlagen erfüllt:

- Die gleichen Komponenten der Lüftungsanlage, wie für den Normalbetrieb.
- Zusätzlichen Schleusen und Tore und Wände. Sie dienen der aerodynamischen Trennung zwischen den verschiedenen Lüftungsabschnitten. Damit sie ihre Funktionalität auch bei einem nahegelegenen Brand erfüllen können, bestehen sie aus nichtbrennbarem Material.
- Zwischen dem Verbindungstunnel HT-ES und dem Ast A im Erkundungsstollen ist eine Schleuse mit Abluftventilatoren eingebaut, sie wird hauptsächlich bei einem Ereignis im Erkundungsstollen eingesetzt.

Für das Personal im Tunnel sind zusätzlich zu den Lüftungsanlagen die folgenden spezifischen Sicherheitselemente vorgesehen und das Gesamtsicherheitskonzept auf der Baustelle ist zu beachten:

- Jede Person im Tunnel verfügt über einen Selbstretter und ist in seine Benutzung eingewiesen.
- Das Personal für das Verhalten im Ereignisfall ausgebildet
- Entlang der Tunnel, insbesondere an den Ortsbrüsten, sind Rettungscontainer installiert.

5. DAS LÜFTUNGSSYSTEM

Das im Angebot enthaltene Lüftungssystem unterscheidet sich von dem des Amtsvorschlags und wird auf Grund der nachfolgenden Kriterien als besser geeignet betrachtet.

5.1. Auswahlkriterien

Zur Bewertung wurden die Kriterien (genannt in der Reihenfolge ihrer Gewichtung) Sicherheit, Luftqualität, Umweltauswirkungen, logistische Effizienz und Wirtschaftlichkeit herangezogen.

5.1.1. Kriterium Sicherheit

Die eindeutige Trennung der Lufträume der einzelnen Tunnelröhren wird als Vorteil gewertet. Der Nachteil, welcher sich aus der Führung der Abluft in der Verkehrsflächen ergibt, kann durch geeignete Maßnahmen (siehe Kap. 5.2.1) kompensiert werden.

5.1.2. Kriterium Luftqualität

Der Luftqualität im Bereich der Ortsbrust wird die höchste Priorität eingeräumt. Diese ist bei Verwendung des Zuluftsystems am höchsten. Eine Analyse unter Berücksichtigung der Bauabläufe ergibt, dass sich für die rückwärtigen Arbeiten im Tunnel zumindest in weiten Teilen einer Röhre eine bessere Luftqualität einstellt, wenn auf das Umluftsystem verzichtet wird.

5.1.3. Kriterium Umweltsituation

Die Abluft im Tunnel erfüllt in allen Bereichen hinsichtlich der Konzentrationen von Schadstoffen die Anforderungen der Arbeitssicherheit. Daraus ergibt sich, dass keine Belastung der Umgebungsluft auftritt. Dies trifft

für beide Systeme gleichermaßen zu. Hinsichtlich der Lärmbelastung trifft auf beide Varianten zu, dass ab der Bauphase 4 alle im Normalbetrieb aktiven Ventilatoren im Inneren des Tunnels angeordnet sind und so die Umgebung weitestgehend vom Geräusch der Ventilatoren verschont bleibt.

5.1.4. Kriterium logistische Effizienz

Durch die gleichzeitige Ausführung von Ausbruch und rückwärtigen Arbeiten in allen Tunnelröhren lässt sich der Bauablauf deutlich effizienter gestalten. Dies kann bei dem Umluftsystem nur durch den Einsatz großer Luftmengen erreicht werden, wobei man jedoch bald an die Grenzen stößt, welche sich aus den begrenzten Querschnitten für den Außenlufteintritt und den Fortluftaustritt ins Freie ergeben, da auf diesen Verkehrsflächen ein Grenzwert für die maximale Luftgeschwindigkeit gilt. Hier erlaubt das Zuluftsystem eine deutlich effizientere Bauablaufplanung.

5.2. Gewähltes Lüftungssystem

Es wurde ein System entworfen, welches im Normalbetrieb (abweichend von der aus der in der Ausschreibung vorgeschlagenen Lösung) weitestgehend auf dauernd geschlossene Tore oder Schleusen auf den viel befahrenen Transportwegen verzichtet.

Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich auf das voll ausgebaute System. Vorübergehende Zustände des Systems werden in Anhang 2 dargestellt.

Priorität hat im Normalbetrieb (neben der in jedem Fall vorrangigen Sicherheit) die Versorgung der Ausbruchsbaustellen mit unbelasteter Frischluft.

5.2.1. Konfiguration für Normalbetrieb

Außenluft – Zuluft

Die für die Lüftung benötigte Außenluft wird an der oberen Öffnung des Kamins gefasst.

Es sind die notwendigen Maßnahmen zu treffen, damit die Luft bei allen Wetterbedingungen ungehindert einströmen kann.

Am unteren Ende des Kamins wird ein Plenum errichtet, aus welchem drei Zuluft-Ventilatoren die Luft über drei Blechkanäle mit einem Durchmesser von 2.5 m zum Fensterstollen fördern, siehe Plan.

Diese Ventilatoren sind reversierbar, um im Bedarfsfall abgesaugten Rauch über den Kamin ausblasen zu können.

Die Blechkanäle sind an dem Luftkanal über der Zwischendecke im Fensterstollen Mals angeschlossen. Der Einbau der Zwischendecke im Fensterstollen erfolgt in der Bauphase 3.

Durch eine temporäre Konstruktion, wird diese Zwischendecke bis zum Haupttunnel verlängert, so dass sich ein durchgehender Luftkanal ergibt.

Am Ende dieses Luftkanals wird ein weiteres Plenum ('Verteiler') installiert, an welchem weitere vier Luftkanäle aus Stahlblech bis zu den Fußpunkten der beiden Haupttunnel Nord und der beiden Haupttunnel Süd und ein Blechkanal zur Logistikkaverne montiert werden, siehe Plan. Weitere Luftkanäle sind in den Abgängen zum Erkundungsstollen sowie zum Stollen Trens vorgesehen.

Mit dieser Einrichtung lassen sich alle sechs Stollen, in welchen Vortrieb stattfindet, sowie die Logistikkaverne mit Frischluft versorgen, wie nachfolgend beschrieben.

Für den Fall eines Brandes mit Rauchentwicklung bietet dieses System die Möglichkeit, die Ventilatoren zu reversieren und Luft an gezielten Orten abzusaugen, wie näher in Kap.5.2.1 beschrieben.

Versorgung der Haupttunnelröhren

Eingangs jeder Haupttunnelröhre, am Ort der Wetterwand, befindet sich oberhalb des

Transportweges im Tunnelgewölbe ein Blechkasten, welcher mit dem vom Verteiler kommenden Blechkanal verbunden ist, siehe Plan.

In diesem Kasten befinden sich zwei fernsteuerbare Klappen.

Die eine Klappe (vertikal) steuert den Durchfluss von Zuluft in die Lutte der Tunnelröhre im Normalbetrieb, die andere (horizontal an der Unterseite angebracht) erlaubt bei Bedarf ein Absaugen von Rauch oder das Einblasen von Zuluft auf den vollen Querschnitt der Tunnelröhre, wie in Kap.5.2.1 beschrieben.

Im Normalbetrieb ist die vertikale Klappe geöffnet, während die horizontale Klappe geschlossen ist.

Dahinter ist ein Ventilator angeflanscht, welcher unmittelbar an eine Lutte mit dem Durchmesser von 3.0 m angeschlossen ist.

Diese Lutte führt entlang des Stollens bis zur Ausbruchsbaustelle.

Da der Druckverlust über eine Länge von 17 km zu unzulässigen Überdrücken in den Lutten führen würde, sind im Haupttunnel Nord in jeder Röhre zwei zusätzliche Ventilatorstationen (siehe Plan) erforderlich.

Die Entfernungen zwischen den Stationen werden unterschiedlich gewählt, und zwar genau so, dass man mit einheitlichen Ventilatoren (gleiche Durchmesser, gleiche Motorenleistung) auskommt.

Versorgung der Logistikkaverne

Die Logistikkaverne befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Plenum des Luftverteilers.

Ein Blechkanal mit dem Durchmesser 1.5 m wird vom Verteiler bis in den Bereich der Anlagen geführt und dort die Luft frei ausgeblasen.

Eine fernsteuerbare Klappe am Ende des Kanals erlaubt die Dosierung der Zuluft. Bei Bedarf lässt sich Rauch absaugen.

Versorgung des Erkundungsstollens

Bevor der Fensterstollen den Haupttunnel erreicht, zweigt nach Norden der Ast A ab, der zum Erkundungsstollen führt.

An dieser Stelle wird die Zuluft für den Erkundungsstollen aus der Zwischendecke abgezweigt.

Ein gleichartiger Kasten, wie er auch für die Haupttunnel verwendet wird, ist am Ort der Wetterwand angebracht und erlaubt durch Steuerung der Klappen wahlweise das Einblasen der Zuluft in die Lutte, ein Einblasen in den vollen Querschnitt der Tunnelröhre oder das Absaugen von Rauch aus dem Ast A, wie unten in Kap.5.2.1 beschrieben.

Als Antrieb werden zwei 110 kW Ventilatoren verwendet, welche bereits auf der Baustelle vorhanden sind. Anschließend an die Ventilatoren werden zwei Lutten mit einem Durchmesser von 1.6 m zunächst durch den Ast A bis zum Erkundungsstollen und dort bis zur Ausbruchsbaustelle geführt.

Auf Grund der, verglichen mit den Haupttunneln, kleineren Luftmengen kommt man im Erkundungsstollen ohne zusätzliche Ventilatorstationen aus, wenn Lutten der Qualität Y und S verwendet werden und diese ständig geprüft und gewartet werden.

Versorgung des Zugangstollens TRENS

Die Zuluft für den Verbindungstunnel zur Nothaltestelle, wird ebenfalls aus dem Luftkanal über der Zwischendecke abgezweigt.

Eingangs des Zugangstollens, am Ort der Wetterwand, befindet sich oberhalb des Transportweges im Tunnelgewölbe ein Blechkasten, welcher mit der Luftkanal über der Zwischendecke verbunden ist, siehe Plan.

In diesem Kasten befinden sich zwei fernsteuerbare Klappen.

Die eine Klappe (vertikal) steuert den Durchfluss von Zuluft in die Lutte der Tunnelröhre im Normalbetrieb, die andere (horizontal an der Unterseite angebracht) erlaubt bei Bedarf ein Absaugen von Rauch oder das Einblasen von Zuluft in den vollen Querschnitt der Tunnelröhre, wie in Kap.5.2.1 beschrieben.

Dahinter sind zwei bereits vorhandene Axialventilatoren mit je 250 kW Leistung angeflanscht, welche unmittelbar an bereits auf der Baustelle vorhandene Lutten mit den

Durchmessern 2.4 m und 2.2 m angeschlossen werden.

Behandlung der Ausbruchsbaustelle

Die Tunnelbohrmaschinen sind mit Entstaubern und Kühlern ausgerüstet. Sie erfordern lediglich die Bereitstellung der Zuluft in geeigneter Menge, wozu ein direkter Anschluss der Lutte an die TBM erfolgt.

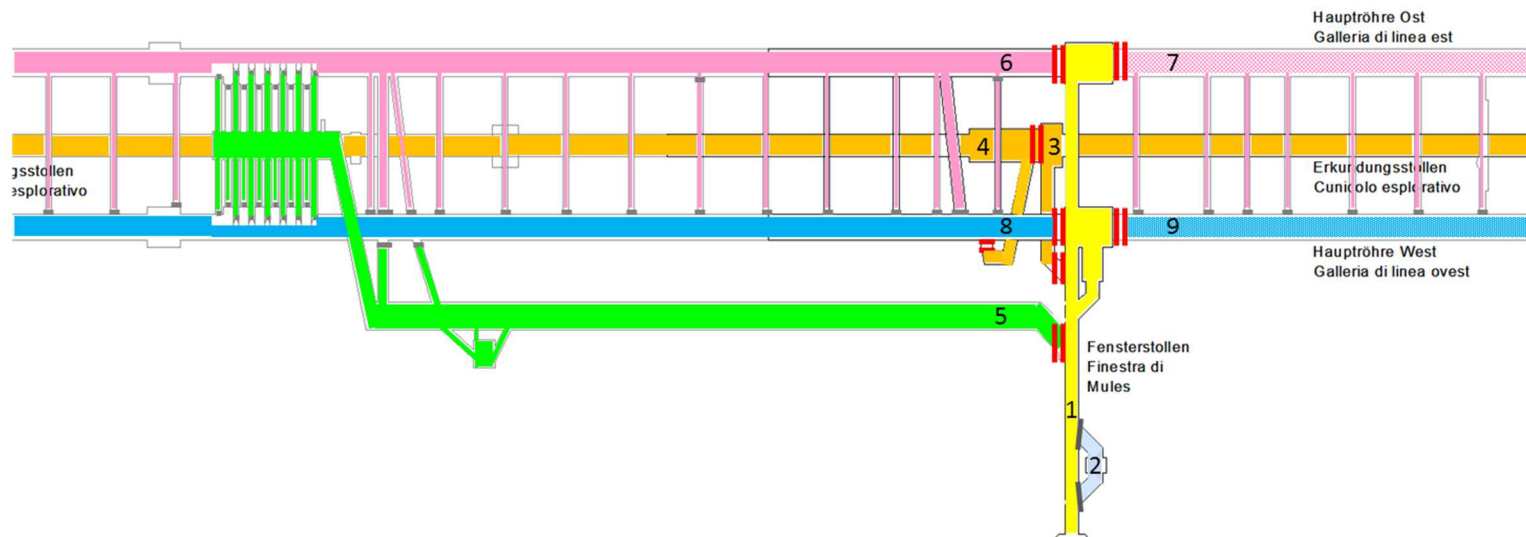
In den Bereichen, in denen auf konventionelle Weise vorgetrieben wird, werden Entstauber aufgestellt und die Zuluft über ein am Kühlsystem angeschlossenes Kühlregister geführt. Der Entstauber saugt über einen integrierten Ventilator die staubige Abluft im Baustellenbereich ab und befreit sie von einem großen Teil des Staubes. Eine Beschreibung der genannten Komponenten findet sich in Kap. 9.6.

Abluft

Der Abluftmassenstrom ergibt sich aus der Summe der Zuluftmassenströme. Die gewählten Wege der frei abströmenden Abluft sind der Fensterstollen Mauls / Portal Mauls und der Zugangstollen / Portal Aicha.

Damit in den Verkehrsflächen dieser beiden Stollen die Luftgeschwindigkeit nicht den vorgeschriebenen Maximalwert von 5 m/s überschreitet, wird ein Teil der Abluft abgezweigt und über einen Blechkanal in der Zwischendecke am Portal Mauls ausgeblasen. Dafür werden zwei, in der Nähe des Zuluftverteilers installierte Axialventilatoren eingesetzt, welche bedarfsgerecht gesteuert werden.

Zwei weitere Ventilatoren überbrücken die Schleuse im ES zwischen dem Verbindungstunnel HT-ES und dem Ast A. Bei normalen Bedingungen ist diese Schleuse im Normalbetrieb geöffnet und die Abluft strömt frei ab. Bei sehr ungünstigen Wetterbedingungen kann es allerdings zu solch starkem Auftrieb im Zugangstollen kommen, dass sich der Abluftstrom dort zu stark vermindert und es dadurch im Fensterstollen zu ungewollt hohen Luftgeschwindigkeiten kommt. In diesen Fällen wird die Schleuse geschlossen und die Abluft über die zwei Ventilatoren in dem geforderten Maß ausgeblasen.



Lüftungsabschnitte /settori di ventilazione

- 1** Fensterstollen Muls e Montagekaverne TBM
Finestra Mules e Camerone di montaggio TBM G.L.
- 2** Lüftungskaverne
Camerone di ventilazione
- 3** ES Süd (Aicha) e Ast A
C.E. Sud (Aicha) e Ramo A
- 4** ES Nord e Verbindungstunnel HT-ES
C.E. Nord e Galleria collegamento G.L. – C.E.

- 5** ZS Trens & NH-Stollen
Galleria di accesso Trens & cunicoli F.d.E.
- 6** HT Nord Ost
G.L. Nord Est
- 7** HT Süd Ost
G.L. Sud Est
- 8** HT Nord West
G.L. Nord Ovest
- 9** HT Süd Ost
G.L. Sud Est

|| Schleuse
chiusa
| Wetterwand
Paratia

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Lüftungsabschnitte

5.2.2. Konfiguration Ereignisbetrieb

Zur Erfüllung der Anforderungen an die Baulüftung (siehe Kap. 4.2) sind 9 Lüftungsabschnitte vorgesehen, siehe Abbildung 5

Im Ereignisfall kann jeder Lüftungsabschnitt vom restlichen Tunnelsystem aerodynamisch entkoppelt werden. Die Rauchausbreitung in benachbarte Tunnelabschnitte kann somit verhindert werden und die benachbarten Tunnelabschnitte können als sichere Bereiche betrachtet werden. Für die aerodynamische Trennung sind Schleusen, Wände und Tore sowie unabhängige Frischluftzufuhr vorgesehen.

Ereignisphasen

Im Wesentlichen werden bei einem Ereignis die folgenden Phasen unterschieden:

- **1. Selbstrettung:** Durch Schließen der entsprechenden Schleusen/Tore wird eine aerodynamische Trennung des betroffenen Tunnelabschnittes vorgenommen. Um die Brandausbreitung nicht zu unterstützen, wird die Frischluftzufuhr im Ereignisabschnitt unterbrochen. Falls möglich, wird bereits ein Überdruck in den nicht betroffenen Lüftungsabschnitten erzeugt, um eine Rauchausbreitung dort zu verhindern und um sichere Bereiche zu kreieren.
- **2. Fremdrettung:** Durch Überdruck in nicht betroffenen Bereichen wird eine Ausbreitung von Rauch auf Fluchtwege verhindert.
- **3. Brandbekämpfung:** In Abstimmung mit Rettungs-/ Löschkräften wird die Baulüftung so gesteuert, dass die Brandbekämpfung unterstützt wird.
- **4. Entrauchung:** Nach der Evakuierung des des Personals aus dem Tunnelsystem und nach dem Löschen des Brandes durch die Einsatzkräfte, wird das Baulüftungssystem so eingestellt, dass der Rauch nach Außen (über die Portale Mails oder Aicha) abströmen kann.

Für die Ereignislüftung werden die gleichen Ventilatoren und Blechkanäle wie auch im Normalbetrieb eingesetzt. Die im Normalbetrieb

offenen Schleuse und Tore werden je nach Ereignisort geschlossen.

Lüftungskonfiguration

Beim eine Ereignis auf der Baustelle gilt grundsätzlich der folgende Ablauf für die Lüftungskonfiguration im Ereignisbetrieb:

- Unterbrechung der Frischluftzufuhr im ganzen Tunnelsystem (um die Brandausbreitung mit Frischluft nicht zu unterstützen).
- Aerodynamische Trennung des betroffenen Tunnelabschnitts durch Schließung der entsprechenden Schleuse/Tore.
- Aktivierung der Ereignislüftung für den spezifischen Ereignisfall
- Minimale Frischluftzufuhr in den nicht betroffenen Tunnelabschnitten mit dem Standard Baulüftungssystem.
- Einstellung der Baulüftung im Absprache mit der Einsatzkräften zur Unterstützung der Brandbekämpfung.
- Nach der Evakuierung des Personals aus dem Tunnelsystem und nach Abschluss der Brandbekämpfung durch die Einsatzkräfte wird in dem betroffenen Tunnelabschnitt der Rauch abgesaugt und über den Kamin nach Außen gefördert. Dazu wird durch Steuerung der entsprechenden Klappen und Reversieren der Laufrichtung der Haupt-Zuluft-Ventilatoren in der Lüftungskaverne der Luftweg über die Blechkanäle, die Zwischendecke und den Kamin temporär als Abluftweg benutzt.

zweistufigen Ventilator (1.6m/2x160kW) zu ersetzen.

6. DIMENSIONIERUNG DES LÜFTUNGSSYSTEMS

Die gewählten Durchmesser, Festigkeiten und Dichtigkeiten der verwendeten Lutten ergeben sich aus dem jeweils geforderten Volumenstrom und der Länge im jeweiligen Stollen.

Die Dimension und die Leistung der angeschlossenen Ventilatoren ergeben sich im nächsten Schritt.

6.1. Dimensionierung Haupttunnel Nord

Die erforderliche Luftmenge am Luttenende am Hauptvortrieb beträgt im Haupttunnel Nord 32.6 m³/s, die erforderliche Luftmenge für den Vortrieb der Querschläge beträgt 12.4 m³/s, womit sich in Summe im Vortriebsbereich eine erforderliche Luftmenge von 45.0 m³/s ergibt.

Die insgesamt in dem Lüftungsabschnitt zur Verdünnung der Maschinen- und Fahrzeugemissionen erforderliche Luftmenge beträgt bis zu 86 m³/s.

Die maximale Länge der Lutte beträgt 16'825 m.

Aus geometrischen Gründen kann der Durchmesser der Lutte das Maß von 3 m nicht überschreiten.

Gewählt wird eine Lutte der Festigkeitsstufe B nach DIN 21'612 und der Qualitätsklasse S nach SIA 196.

Hierfür ist in der Auslegung ein maximal zulässiger Differenzdruck von 3'333 Pa, eine Rohrreibungszahl von $\lambda=0.015$ und eine Porosität von $f^*=5 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{m}^2$ anzusetzen.

Bei der gegebenen Länge würde der für die Lutte zulässige Differenzdruck beim Einsatz eines einzelnen Ventilators überschritten.

Gewählt wird der Einsatz zweier weiterer Ventilatorstationen zusätzlich zum Ventilator am Luttenanfang.

Die Abstände zwischen den Stationen werden so gewählt, dass an jeder Stelle ein einheitlicher Ventilator (2.0m/200kW) eingesetzt werden kann, was ein Vorteil bei der Vorhaltung von Ersatzventilatoren ist.

Die Dimensionierung erlaubt auch, einen der Ventilatoren durch den bereits vorhandenen

6.2. Dimensionierung Haupttunnel Süd

Die erforderliche Luftmenge am Luttenende am Hauptvortrieb beträgt 54 m³/s.

Die insgesamt in den Tunnel zur Verdünnung der Maschinen- und Fahrzeugemissionen erforderliche Luftmenge beträgt 59 m³/s..

Die maximale Länge der Lutte beträgt 5050 m.

Aus geometrischen Gründen kann der Durchmesser der Lutte das Maß von 3 m nicht überschreiten.

Gewählt wird eine Lutte der Festigkeitsstufe B nach DIN 21612 und der Qualitätsklasse S nach SIA 196 mit dem Durchmesser 3 m.

Hierfür ist in der Auslegung ein maximal zulässiger Differenzdruck von 3'333 Pa, eine Rohrreibungszahl von $\lambda=0.015$ und eine Porosität von $f^*=5 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{m}^2$ anzusetzen.

Die Berechnung ergibt, dass auch hier der 'Einheitsventilator' (2.0m/200kW) eingesetzt werden kann.

6.3. Dimensionierung Erkundungsstollen

Die erforderliche Luftmenge am Luttenende am Hauptvortrieb beträgt 10 m³/s.

Die insgesamt in den Tunnel zur Verdünnung der Maschinen- und Fahrzeugemissionen erforderliche Luftmenge beträgt 40 m³/s.

Die maximale Länge der Lutte beträgt 18'000 m.

Aus geometrischen Gründen werden zwei nebeneinander liegende Lutten des Durchmessers 1.6 m verwendet.

Gewählt wird eine Lutte der Festigkeitsstufe B nach DIN 21612 und der Qualitätsklasse S nach SIA 196.

Hierfür ist in der Auslegung ein maximal zulässiger Differenzdruck von 6'250 Pa, eine Rohrreibungszahl von $\lambda=0.015$ und eine Porosität von $f^*=5 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{m}^2$ anzusetzen.

Die Berechnung ergibt, dass an dieser Stelle die beiden bereits vorhandenen zweistufigen

Ventilatoren (1.4m/2x110kW) eingesetzt werden können.

Zusätzliche Ventilatorstationen sind nicht erforderlich.

6.4. Dimensionierung Zugangsstollen TRENS

Die erforderliche Luftmenge am Luttenende am Hauptvortrieb beträgt 65 m³/s.

Die insgesamt in den Tunnel zur Verdünnung der Maschinen- und Fahrzeugemissionen erforderliche Luftmenge beträgt je nach Bauphase bis zu 98 m³/s.

Die maximale Länge der Lutte beträgt etwa 4'000 m. An dieser Stelle werden bereits vorhandene Lutten eingesetzt.

Gewählt wird eine Kombination von zwei nebeneinander liegenden Lutten des Durchmessers 2.4 m über zwei 2'000 m und daran angeschlossen zwei weitere nebeneinander liegenden Lutten des Durchmessers 2.2 m über die restlichen 2'000 m.

Für die Dimensionierung der Ventilatoren werden die Festigkeitsstufe B nach DIN 21612 und die Qualitätsklasse A nach SIA 196 eingesetzt.

Hierfür ist in der Auslegung ein maximal zulässiger Differenzdruck von 4'545 Pa bzw. 4167 Pa, eine Rohrreibungszahl von $\lambda=0.018$ und eine Porösität von $f^*=1.5 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{m}^2$ anzusetzen.

Die Berechnung ergibt, dass an dieser Stelle der bereits vorhandene Ventilator 1.6m/250kW eingesetzt werden kann.

6.5. Dimensionierung Abluft Mails

Die Abluftventilatoren drücken die Luft durch einen ca. 2.5 km langen Kanal zum Portal Mails.

Der Blechkanal hat den Durchmesser 2.5 m mit einer angesetzten Rohrreibungszahl von $\lambda=0.01$. Die Berechnung ergibt die Erfordernis zweier Ventilatoren (2.0m/450kW)

6.6. Dimensionierung Abluft im Erkundungstollen

Die Ventilatoren haben bei Bedarf den ungünstigen thermischen Auftrieb bei widrigen

Wetterbedingungen und bei dann geschlossener Schleuse zu kompensieren.

Der Höhenunterschied beträgt ca. 200 m. Zugrunde gelegt wird eine maximale Temperaturdifferenz von 20 Grad. Die Berechnung ergibt die Erfordernis zweier Ventilatoren zu je 1.6m/110kW. Hierfür werden bereits vorhandene Ventilatoren eingesetzt.

6.7. Dimensionierung Zuluft Mails

Die drei Zuluftventilatoren drücken die Luft durch drei 200 m lange Blechkanäle zu dem Luftkanal über der Zwischendecke im Fensterstollen Mails.

Die Blechkanäle haben den Durchmesser 2.5 m mit einer angesetzten Rohrreibungszahl von $\lambda=0.018$.

Die Ventilatoren haben neben den Verlusten in den Blechkanälen den Strömungswiderstand in der Zwischendecke bis hin zum Verteilerkasten zu überwinden.

Die Berechnung ergibt die Erfordernis dreier Ventilatoren zu je 2.5m/900kW

6.8. Verwendung der Komponenten des bestehenden Systems

Nach Beendigung der Bauphase 3 steht die Struktur des neuen Lüftungssystems zur Verfügung, so dass das bestehende System rückgebaut werden kann.

Die frei werdenden Komponenten kommen wie folgt zum Einsatz.

Lutten:

Die auf der Baustelle derzeit eingesetzten Lutten werden wie folgt neu eingesetzt:

Die ca. 1.3 km Lutten des Durchmessers 1.6 m kommen weiterhin in allen Phasen beim Vortrieb des Erkundungstollens zur Verwendung.

Die ca. 1.4 km Lutten des Durchmessers 1.2 m werden, ebenso wie die vorhandenen ca. 1.2 km Lutten des Durchmessers 1.0 m in den Bauphasen 4 bis 19 an verschiedenen Einzelvortrieben zum Einsatz, u.a. in den Querstollen der Haupttunnel und der Nothaltestelle.

Ca. 4 km Lutte des Durchmessers 2.2 m, werden beim Vortrieb des Stollens Trens in den Bauphasen 13 bis 19 wieder eingesetzt, ebenso

wie die vorhandenen ca. 3 km Lutte des Durchmessers 2.4 m.

Ventilatoren:

Für die Versorgung der beiden Lutten, welche zum Vortrieb des Erkundungsstollens führen, werden mit Beginn der Bauphase 4 zwei bestehende Ventilatoren, die beiden zweistufigen Axialventilatoren des Laufrads-Durchmessers 1.4 m und der Leistung von jeweils 2 x 110 kW eingesetzt.

Die beiden vorhandenen zweistufigen Axialventilatoren des Laufrads-Durchmessers 1.6 m und der Leistung von jeweils 2 x 160 kW kommen gegen Ende der Bauphase 12 an den beiden letzten Ventilator-Stationen für die großen Lutten im Haupttunnel Nord zum Einsatz.

Zwei Axialventilatoren des Laufrads-Durchmessers 1.6 m und der Leistung von

jeweils 250 kW kommen ab Bauphase 13 zur Versorgung der beiden Lutten für den Vortrieb im Stollen Trens zum Einsatz.

Zwei vorhandene Axialventilatoren des Laufrads-Durchmessers 1.6 m und der Leistung von jeweils 110 kW werden an der Schleuse im Erkundungsstollen Aicha eingesetzt.

6.9. Elektrischer Leistungsbedarf

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Nennleistungen der Motoren der eingesetzten Ventilatoren.

Tabelle 2: Eingesetzte Ventilatoren

<i>Funktion</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Art</i>	<i>Nennleistung jeweils [kW]</i>	<i>Nennleistung gesamt [kW]</i>
Mauls-Zuluft	3	neu	900	2700
Mauls-Abluft	2	neu	450	900
Zuluft HTWS	1	neu	200	200
Zuluft HTOS	1	neu	200	200
Zuluft HTWN	2	neu	200	400
Zuluft HTWN/	1	bestehend	320	320
Zuluft HTON	2	neu	200	400
Zuluft HTON	1	bestehend	320	320
Zuluft ES	2	bestehend	220	440
Zuluft Trens	1	bestehend	250	250
Schleuse ES-Aicha	2	bestehend	110	220
Vent. für Entstauber HTWN	1	neu	150	150
Vent. für Entstauber HTON	1	neu	150	150
Vent. für Entstauber HTWS	1	neu	150	150
	1		110	110
Vent. für Entstauber HTOS	1	neu	150	150
	1		110	110
Vent. für Entstauber HT Querschläge	2	neu	74	148
Vent. für Entstauber ES	1	neu	74	74
Vent. für Entstauber Trens	2	neu	150	300
Vent. für Kühlregister HTWN	1	neu	22	22
Vent. für Kühlregister HTON	1	neu	22	22
Vent. für Kühlregister HTWS	2	neu	22	44
Vent. für Kühlregister HTOS	2	neu	22	44
Vent. für Kühlregister HT in Querschlägen	2	neu	7.5	15
Vent. für Kühlregister ES	1	neu	7.5	7.5
Vent. für Kühlregister Trens	2	neu	22	44

7. STEUERUNG UND BETRIEB DER LÜFTUNGSANLAGE

Die Steuerung und Überwachung der Baulüftung besteht aus vier Bestandteilen: Dem Leitsystem, dem Übertragungssystem, den Sensoren, z.B. den Klima- und Gasmessstationen oder den Statusmeldern der Tore und den Aktoren, z.B. den Ventilatoren oder den Antrieben der Tore und Luftklappen.

Im vorliegenden Dokument werden Sensoren und Aktoren beschrieben, sowie die grundlegende Funktionalität der Steuerung.

7.1. Komponenten der Steuerung

Die Steuerung der Baulüftung verarbeitet die Signale aus den Sensoren und steuert entsprechend die Aktoren.

Dazu stehen zur Überwachung die Signale verschiedener Messgeräte, Status- und Betriebsinformationen von Ventilatoren, Klappen und Toren zur Verfügung.

Nachfolgend sind zunächst die entsprechenden Komponenten aufgelistet.

7.1.1. Mess-und Statusgrößen

Alle sechs konventionellen und maschinellen Vortriebe, die beiden Abluftwege und der Frischluftweg werden mit automatischen Klima- und Gas-Messstationen ausgerüstet. Hinzu kommt jeweils eine Station für die Vortriebe in den Querschlägen. Insgesamt sind elf Stationen vorgesehen. Die Stationen in den Vortrieben wandern mit diesen mit; die in den Zu- und Abluftwegen sind stationär. Die Stationen erfassen die folgenden Messwerte:

- Lufttemperatur, -Feuchtigkeit und -Druck
- Luftgeschwindigkeit und Richtung;
- Konzentrationen der Gase Methan CH_4 , Schwefelwasserstoff H_2S , Kohlenmonoxid CO , Stickoxid NO und Kohlendioxid CO_2

Die Aktoren der Baulüftung geben Informationen über den Status ab und sind mit verschiedenen Messgeräten bestückt. Für das übergeordnete Leitsystem sind die folgenden Daten verfügbar:

- der Volumenstrom und der Differenzdruck an den Axialventilatoren sowie die Wicklungstemperaturen und die Betriebsdaten der Frequenzumrichter,
- die Volumenströme an den Austrittsöffnungen der beiden Lutten im Erkundungsstollen,
- die Statusdaten der Tore und deren Antriebe,
- die Statusdaten der Luftklappen und deren Antriebe,
- die Betriebsdaten der elektrischen Motoren und Frequenzumrichter, welche in der Baulüftung eingesetzt werden, soweit sie in das Datennetz eingebunden sind.

Der Tunnel wird mit automatischen Grubengasmesssystemen ausgerüstet. Die vorderste Messstelle ist nahe der Ortsbrust, im Bereich der zurückströmenden Luft, und besteht aus drei Sensoren: 2 seitlich und 1 im First. Die Messapparatur ist explosionsgeschützt ausgeführt (ATEX Apparate der Gruppe I, Kategorie M2). Die Messwerte werden kontinuierlich aufgenommen und in einem Ort außerhalb des Tunnels abgespeichert.

Zusätzlich müssen regelmäßige Messungen mit Handmessgeräten erfolgen. Diese müssen die Gaskonzentration in der Luft und diejenige des gelösten Gases im Sickerwasser erfassen und dokumentieren.

7.1.2. Steuerbare Größen

Die folgenden Aktoren des Baulüftungssystems sind vom Leitsystem aus steuerbar:

- Die Drehzahlen der Hauptventilatoren u. die Stellung ihrer Abschlussklappen,
- die Stellung der Klappen der Klappenkästen,
- die Stellung der Tore in Wetterwänden und Schleusen,
- die Leistung der Wetterkühlmaschinen.

7.2. Steuerung im Normalbetrieb

Das Grundprinzip der Steuerung im Normalbetrieb besteht zunächst darin, die in den verschiedenen Lüftungsabschnitten jeweils geforderten Volumenströme für die Zuluft einzustellen.

Darüber hinaus hat die Steuerung die Aufgabe, mit Hilfe der Abluftventilatoren die über den Fensterstollen Mauls und den Erkundungsstolle Richtung Portal Aicha abgeführten Abluftströme so einzustellen, dass in allen Verkehrsflächen der

gesetzlich geforderte Maximalwert der Luftgeschwindigkeit nicht überschritten wird.

7.2.1. Steuerung der Haupt-Zuluft-Ventilatoren in der Lüftungskaverne und deren Abschlusklappen

Die Steuerung erfolgt abhängig von der Summe der in den einzelnen Vortriebsbereichen und in der Logistikkaverne angeforderten Luftvolumenströme. Die Drehzahlen der drei Ventilatoren werden so gesteuert, dass der geforderte Volumenstrom sich am Volumenstrommessgerät in der Zwischendecke einstellt. Die jeweilige Abschlusklappe ist bei ausgeschaltetem Ventilator geschlossen und wird geöffnet, sobald eine definierte Minimaldrehzahl des Laufrads erreicht ist. Im Bedarfsfall (bei bestimmten Ereignissen) werden die Ventilatoren gestoppt, die Klappen geschlossen und anschließend mit umgekehrter Drehzahl wieder gestartet und die Klappen wieder geöffnet.

Damit lässt sich gezielt Luft an verschiedenen Orten über die Zwischendecke absaugen und über den Kamin ausblasen.

Die Anzahl der hierbei einzusetzenden Ventilatoren und die einzustellende Drehzahl ergibt sich aus dem jeweiligen Ereignisszenario (siehe Kap. 7.3.2).

7.2.2. Steuerung der Ventilatoren und Klappen in den Zuluftsträngen zu den einzelnen Vortriebsbereichen.

Das Prinzip der Steuerung ist für alle sechs Stollen mit Vortrieben gleich: Im Normalbetrieb ist die vertikale Klappe im Klappenkasten in der Wetterwand geöffnet und gibt den Weg der Zuluft vom Verteiler zu Ventilator und Lutte frei. Bei Bedarf können die Klappen an den Luttenanschlüssen zu allen sechs Vortrieben so gedrosselt werden, dass sich die geforderte Luftverteilung einstellt. Die horizontale Klappe unten am Kasten ist geschlossen. Die Drehzahl des Ventilators wird so gesteuert, dass einerseits die geforderte minimale Luftgeschwindigkeit an der Vortriebsbaustelle (dort gemessen) und der insgesamt in den versorgten Stollen eingebrachte Volumenstrom (gemessen am Ventilator) den in der jeweiligen Bauphase geforderten Wert für die Verdünnung der Emissionen im betrachteten Stollen erreicht.

Bei der Detektion von Gas im Vortriebsbereich wird der Maximalwert eingestellt.

7.2.3. Steuerung der beiden Abluft-ventilatoren im Fensterstollen

Da die Aufgabe dieser Ventilatoren im Normalbetrieb ausschliesslich die Begrenzung der Luftgeschwindigkeit der Abluft im Verkehrsweg unter der Zwischendecke ist, entsteht der Bedarf ihres Einsatzes, sobald ein Gesamt-Zuluftvolumenstrom von etwa 320 m³/s überschritten wird.

Die Drehzahl der Ventilatoren wird dann so eingestellt, dass sie genau so viel Abluft fördern, dass die Luftgeschwindigkeit in den Verkehrswegen von Fensterstollen und Aicha auf unter 5 m/s absinken.

7.2.4. Steuerung der Abluftventilatoren im Erkundungsstollen

Sinkt die Strömungsgeschwindigkeit der Abluft im Erkundungsstollen Richtung Aicha, z.B. durch Auftrieb bedingt, auf einen zu niedrigen Wert, so werden die Schleuse zwischen dem Verbindungstunnel HT-ES und dem Ast A, und die Schleuse zwischen Ast A und dem Fensterstollen geschlossen und die Drehzahl der Abluftventilatoren in der erstgenannten Schleuse so eingestellt, dass sich im Stollen eine vorbestimmte, nach Außen gerichtete Luftgeschwindigkeit von maximal 5 m/s einstellt.

7.3. Steuerung im Ereignisfall

7.3.1. Lüftungsphasen im Ereignisfall

Basierend auf den im Kapitel 5.2.2 definierten vier Ereignisphasen und Lüftungskonfigurationen im Ereignisfall ergeben sich fünf Lüftungsphasen für den Ereignisfall, siehe Tabelle 3.

Die Lüftungstätigkeiten in den Ereignis-Lüftungsphasen 2 und 3 hängen stark von dem Ereignisort ab, die entsprechenden Details sind für beispielhafte Szenarien im Kapitel 7.3.2 erläutert.

Das Lüftungssystem ist flexibel gestaltet, so dass der Brandrauch nach dem Löschen des Brandes aktiv abgeführt werden kann. Je nach Brandort wird das Lüftungssystem spezifisch zum Rauchabfuhr aktiviert. In der Ereignis-Lüftungsphase 5, siehe Tabelle 3, sind die verschiedenen Fälle beispielhaft beschrieben.

Tabelle 3: Lüftungsphasen im Ereignisfall

Lüftungsphase	Lüftungstätigkeiten
1 Selbstrettungsphase 1 => Ereignismeldung => Personen noch in der Nähe des Ereignisortes	<ul style="list-style-type: none"> • Abstellen der Frischluftzufuhr • Schließen der Schleuse, Wetterwände und Tore zu den einzelnen Lüftungsabschnitten • Schließen der horizontalen Klappe im ES unter dem Schutterschacht zum Fensterstollen Mauls/ • Vorbereitung der Frischluftzufuhr in HT auf dem vollen Tunnelquerschnitt und Deaktivierung der Frischluftzufuhr durch den Lutten
2 Selbstrettungsphase 2 => Ereignisort identifiziert Niemand in der Nähe des Ereignisortes	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivierung der Lüftungssystem im Ereignismodus siehe Kap. 7.3.2/ • Überdrucklüftung in den nicht vom Ereignis betroffenen Lüftungsabschnitte • Keine Frischluftzufuhr in den betroffenen Lüftungsabschnitt
3 Fremdrettung / => Evakuierung des Tunnelsystems	<ul style="list-style-type: none"> • Lüftungssystem wie in Lüftungsphase 2
4 Brandbekämpfung / => Intervention der Feuerwehr zur Brandbekämpfung	<ul style="list-style-type: none"> • Einstellung der Lüftungssystem im Absprache mit den Einsatzkräfte zur ihrer Unterstützung
5 Entrauchung / => Niemand mehr im Tunnelsystem /	<ul style="list-style-type: none"> • Abschalteng der Frischluftzufuhr / • Reversierung der Ventilatoren in der Lüftungskaverne zur Absaugung der Rauch aus dem betroffenen Lüftungsabschnitt • Fall a) Brand im Lüftungsabschnitte 1 oder 2 => massive Frischluftzufuhr am Eingang der 4 HT geschlossene Schleuse im Ast A, im Verbindungstunnel HT-ES und im Zugangsstollen Trens und Rauchaustritt am Portal Mauls • Fall b) Brand im Lüftungsabschnitte 3 oder 4 => massive Frischluftzufuhr am Ortsbrust des ESs, geschlossene Schleuse im Ast A und im Verbindungstunnel HT-ES und Rauchaustritt am Portal Aicha • Fall c) Brand im Lüftungsabschnitte 5 => massive Frischluftzufuhr am Ortsbrust des Zugangstollen Trens und Rauchaustritt am Portal Mauls • Fall d) Brand im Lüftungsabschnitte 6,7,8 oder 9 => Rauchabsaugung via Blechkanal aus dem betroffenen Lüftungsabschnitt

7.3.2. Szenarien

Das Lüftungssystem besteht aus zehn Lüftungsabschnitten, welche im Ereignisfall aerodynamisch entkoppelt werden können, siehe Abbildung 5, Kapitel 1.1.1. Basierend auf dieser Struktur wurden entsprechend zehn Ereignisszenarien entwickelt, die in den unterschiedlichen Bauphasen vorkommen können:

1. Ereignis im Fensterstollen Mauis,
2. Ereignis in der Lüftungskaverne
3. Ereignis im ES Richtung Aicha,
4. Ereignis im ES Nord,
5. Ereignis im Zugangsstollen Trens,
6. Ereignis in der Oströhre, HT Nord,

7. Ereignis in der Oströhre, HT Süd,
8. Ereignis in der Weströhre, HT Nord,
9. Ereignis in der Weströhre, HT Süd.

Abbildung zeigt schematisch die Positionen der 9 Ereignisse auf der Baustelle.

Diese Ereignisszenarien sind repräsentativ für die möglichen Ereignisorte in allen Bauphasen ab der Bauphase 4. Bis zu dieser Bauphase ist das existierende BBT-Baulüftungssystem in Betrieb (siehe Abbildung 2), es gelten die dort festgelegten Ereignisszenarien.

In den folgenden Kapiteln sind die Einstellungen des Lüftungssystem im Ereignismodus beschreiben (siehe Lüftungsphase 2 und 3 im Ereignisfall), die entsprechenden Schema sind im Anhang 3 dargestellt.

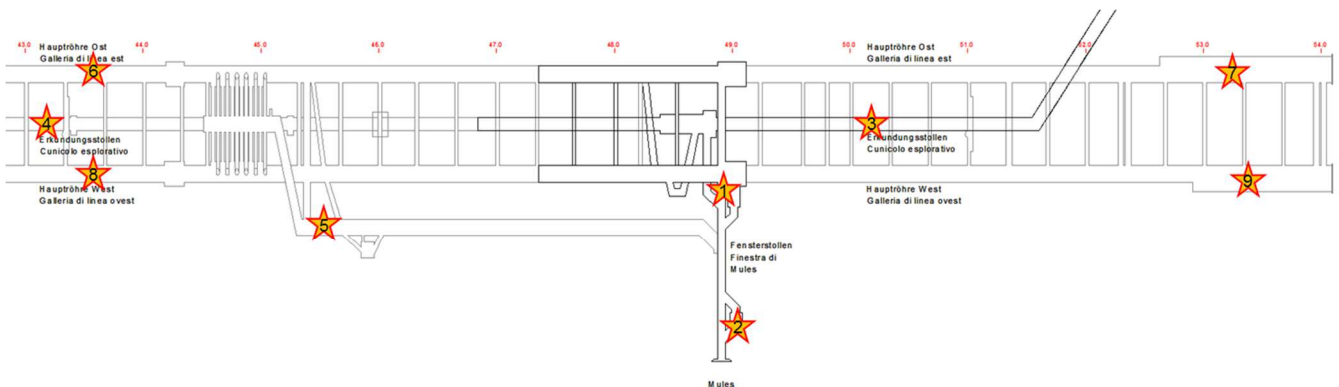


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Ereignisorte für die 9 Szenarien

7.3.2.1 Ereignisort in Fensterstollen Mauls

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleusen zu den HTN und HTS sind geschlossen
- Die Schleusen zur Zugangstolle Trens und zum Ast A Richtung Erkundungstollen sind geschlossen
- Die Tore zur Lüftungskaverne sind geschlossen
- die Klappe im ES unter dem Schutterschacht zum Fensterstollen Mauls ist geschlossen

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne sind ausgeschaltet.
- Die zwei Abluftventilatoren zum Abluftkanal im der Zwischendecke der Fensterstollen Mauls sind ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in nicht betroffenen Lüftungsabschnitten

Die Schleusen im Erkundungstollen und im Verbindungstunnel HT-ES sind geöffnet.

Die zwei Abluftventilatoren neben den Schleuse im Erkundungstollen werden reversiert und im Zuluftmodus betrieben (Luft wird in Richtung Norden gefördert).

Somit strömt die Frischluft vom Portal Aicha über Erkundungstollen und in HTN West und Ost, was einen Überdruckaufbau in den drei Stollen erlaubt.

Fluchtwege

Der Erkundungstollen dient als sicherer Fluchtweg für das Personal im Tunnel.

7.3.2.2 Ereignisort Lüftungskaverne

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Tore zur Lüftungskaverne sind geschlossen.
- Die Schleuse zum Ast A Richtung Erkundungstollen ist geschlossen.
- Die Klappe im ES unter dem Schutterschacht zum Fensterstollen Mauls ist geschlossen/

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne sind ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitten

Alle weiteren Schleusen werden geöffnet:

- Schleuse im Ast A,
- Schleuse im Erkundungstollen
- Schleuse im Zugangstollen Trens,
- Schleuse im Verbindungstunnel HT-ES,
- Schleusen in den HTN und HTS.

Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungstollen werden reversiert und im Zuluftmodus betrieben (Luft wird in Richtung Norden gefördert).

Somit strömt die Frischluft vom Portal Aicha über den Erkundungstollen und von dort im Fensterstollen Mauls in Richtung Portal.

Fluchtwege

Der Fensterstollen kann, zusätzlich zum Erkundungstollen, als Fluchtweg für das Personal eingesetzt werden.

7.3.2.3 Ereignisort Erkundungstollen Aicha

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse des Erkundungsstollens ist geschlossen.
- Die Schleuse zum Ast A Richtung Erkundungsstollen ist geschlossen.
- die Klappe im ES unter dem Schutterschacht zum Fensterstollen Mauls ist geschlossen/

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungsstollen sind ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitten

Alle weiteren Schleusen werden geöffnet:

- Schleuse im Ast A,
- Schleuse im Zugangstollen Trens,
- Schleuse im Verbindungstunnel HT-ES,
- Schleusen in den HTN und HTS.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zu den jeweiligen Vortriebsbaustellen wird reaktiviert. Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die verschiedenen Stollen mit dem in Normalbetrieb existierenden Lüftungssystem, minimal belüftet und stehen als sicherer Fluchtweg für das Personal zur Verfügung.

Fluchtwege

Die verschiedenen Stollen stehen als sicherer Fluchtweg für das Personal zur Verfügung.

7.3.2.4 Ereignisort Erkundungsstollen Nord

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse im Verbindungstunnel HT-ES ist geschlossen.
- Die Schleuse im Erkundungsstollen zwischen Nord und Süd sind geschlossen.

- Die Klappe im ES unter dem Schutterschacht zum Fensterstollen Mauls ist geschlossen/

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Die Luftzufuhr durch die Lutte im Erkundungsstollen Nord ist unterbrochen

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitten

Alle weiteren Schleusen werden geöffnet:

- Schleuse im Ast A.
- Schleuse im Zugangstollen Trens.
- Schleusen in den HTN und HTS.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zum jeweiligen Vortriebsstellen wird in den folgenden Stollen reaktiviert:

- Zugangstollen Trens.
- HTN
- HTS

Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die erwähnten Stollen mit dem in Normalbetrieb existierenden Lüftungssystem, belüftet.

Die zwei Zuluftventilatoren im Ast A zu den Erkundungsstollen werden eingeschaltet

Die zwei Abluftventilatoren neben den Schleuse im Erkundungsstollen werden im Abluftmodus eingeschaltet (Luft wird in Richtung Aicha gefördert).

Fluchtwege

Die Portale des Erkundungsstollens Aicha und des Fensterstollen Mauls dienen als sicherer Fluchtweg für das Personal.

7.3.2.5 Ereignisort Zugangstollen Trens

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse zum Zugangstollen Trens ist geschlossen,

- In den Bauphasen 20 bis einschließlich Bauphase 22 bleiben auch die Türen der Wetterwände in den Stollen zu HTN zu.

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- die Zuluftventilatoren im Zugangstollen Trens sind ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitte

Alle weiteren Schleusen sind geöffnet:

- Schleuse im Ast A.
- Schleuse im Verbindungstunnel HT-ES.
- Schleusen in den HTN
- Schleuse in den HTS.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zu den jeweiligen Vortriebsbaustellen wird in den folgenden Stollen reaktiviert:

- Erkundungstollen Nord.
- HTN
- HTS

Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die erwähnten Stollen mit dem in Normalbetrieb existierenden Lüftungssystem, belüftet.

Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungstollen werden im Abluftmodus eingeschaltet (Luft wird in Richtung Aicha gefördert).

Fluchtwege

Die Portale des Erkundungstollens Aicha und des Fensterstollen Mauls dienen als sicherer Fluchtweg für das Personal.

7.3.2.6 Ereignisort HT Nord Ost

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse zum HTON ist geschlossen.

- Die Türen der Wetterwände in den Querschläge zwischen HTWN und HTON sind geschlossen.

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Der Zuluftventilator zum HTON bleibt aus.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitte

In der Gegenröhre HTWN wird ein Überdruck aufgebaut. Damit wird das Eindringen von Brandrauch beim Öffnen einer Querschlagtüre durch das Personal beim Verlassen des Ereignisabschnitts verhindert. Dafür sind folgenden Maßnahme notwendig:

- Die Schleuse zum HTWN ist geschlossen.
- Die Schleuse im Verbindungstunnel HT-ES ist geschlossen.
- In den Bauphasen 20 bis einschließlich Bauphase 22 bleiben auch die Türen der Wetterwände in den Stollen zu NHS und Zugangstollen Trens geschlossen.

Alle weiteren Schleusen werden geöffnet:

- Schleuse im Ast A.
- Schleuse im Zugangstollen Trens,
- Schleuse im Erkundungstollen Aicha.
- Schleuse in den HTS.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zu den jeweiligen Vortriebsbaustellen wird in den folgenden Stollen reaktiviert:

- Erkundungstollen Nord.
- Zugangstollen Trens
- HTS

Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die erwähnten Stollen mit dem im Normalbetrieb arbeitenden Lüftungssystem, belüftet.

Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungstollen werden im Abluftmodus eingeschaltet (Luft wird in Richtung Aicha gefördert).

Fluchtwege

Die Gegenröhre HTWN und die Portale des Erkundungsstollens Aicha und des Fensterstollen Mauls dienen als sicherer Fluchtweg für das Personal.

7.3.2.7 Ereignisort HT Süd Ost

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse zum HTOS ist geschlossen.
- In den Bauphasen 9 bis einschließlich Bauphase 22 bleiben auch die Türen der Wetterwände in den Querschlägen zwischen HTWS und HTOS geschlossen.

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Der Zuluftventilator zum HTOS ist ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitten

In der Gegenröhre HTWS wird ein Überdruck aufgebaut. Damit wird das Eindringen von Brandrauch beim Öffnen einer Querschlagtüre durch das Personal beim Verlassen des Ereignisabschnitts verhindert. Dafür sind folgenden Maßnahmen notwendig:

- Die Schleuse zum HTWS ist geschlossen.

Alle weiteren Schleusen sind geöffnet:

- Schleuse im Ast A.
- Schleuse im Zugangstollen Trens,
- Schleuse im Erkundungsstollen Aicha.
- Schleuse in den HTN.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zu den jeweiligen Vortriebsstellen wird in den folgenden Stollen reaktiviert:

- Erkundungsstollen Nord.
- Zugangstollen Trens
- HTN

Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die erwähnten

Stollen mit dem im Normalbetrieb arbeitenden Lüftungssystem, belüftet.

Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungsstollen werden in Abluftmodus eingeschaltet (Luft wird in Richtung Aicha gefördert).

Fluchtwege

Die Gegenröhre HTWS und die Portale des Erkundungsstollens Aicha und des Fensterstollen Mauls dienen als sicherer Fluchtweg für das Personal.

7.3.2.8 Ereignisort HT Nord West

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffenen Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse zum HTWN ist geschlossen.
- Die Schleuse im Verbindungstunnel HT-ES ist geschlossen.
- Die Türen der Wetterwände in den Querschlägen zwischen HTON und HTWN sind geschlossen.
- In den Bauphasen 20 bis einschließlich Bauphase 22 bleiben auch die Türen der Wetterwände in den Stollen zu NHS und Zugangstollen Trens geschlossen.

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Der Zuluftventilator zum HTWN ist ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitten

In der Gegenröhre HTON wird ein Überdruck aufgebaut. Damit wird das Eindringen von Brandrauch beim Öffnen einer Querschlagtüre durch das Personal beim Verlassen des Ereignisabschnitts verhindert. Dafür sind folgenden Maßnahmen notwendig:

- Die Schleuse zum HTON ist geschlossen.
- In den Bauphasen 20 bis einschließlich Bauphase 22 bleiben auch die Türen der

Wetterwände in den Stollen zu NHS und Zugangstollen Trens geschlossen.

Alle weiteren Schleusen werden geöffnet:

- Schleuse im Ast A.
- Schleuse im Zugangstollen Trens,
- Schleuse im Erkundungstollen Aicha.
- Schleuse in den HTS.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zu den jeweiligen Vortriebsbaustellen wird in den folgenden Stollen reaktiviert:

- Erkundungstollen Nord.
- Zugangstollen Trens
- HTS

Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die erwähnten Stollen mit dem im Normalbetrieb arbeitenden Lüftungssystem, belüftet.

Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungstollen werden im Abluftmodus eingeschaltet (Luft wird in Richtung Aicha gefördert).

Fluchtwege

Die Gegenröhre HTON und die Portale des Erkundungstollens Aicha und des Fensterstollen Mauls dienen als sicherer Fluchtweg für das Personal.

7.3.2.9 Ereignisort HT Süd West

Die Lüftungselemente werden wie folgt eingestellt.

Isolierung des betroffene Lüftungsabschnitts

Der betroffene Lüftungsabschnitt wird von den anderen getrennt:

- Die Schleuse zum HTWS ist geschlossen.
- In den Bauphasen 9 bis einschließlich Bauphase 22 bleiben auch die Türen der Wetterwände in den Querschlägen zwischen HTOS und HTWS geschlossen.

Keine Frischluftzufuhr am Ereignisort

Der Ereignisort wird nicht belüftet, um eine mögliche Brandentwicklung nicht mit zuströmender Luft zu unterstützen:

- Der Zuluftventilator zum HTWS ist ausgeschaltet.

Frischluftzufuhr in anderen Lüftungsabschnitte

In der Gegenröhre HTOS wird ein Überdruck aufgebaut. Damit wird das Eindringen von Brandrauch beim Öffnen einer Querschlagtüre durch das Personal beim Verlassen des Ereignisabschnitts verhindert. Dafür sind folgenden Maßnahme notwendig:

- Die Schleuse zum HTWS ist geschlossen.

Alle weiteren Schleusen sind geöffnet:

- Schleuse im Ast A.
- Schleuse im Zugangstollen Trens,
- Schleuse im Erkundungstollen Aicha.
- Schleuse in den HTN.

Die Luftzufuhr durch die Lutten bis zu den jeweiligen Vortriebsbaustellen wird in den folgenden Stollen reaktiviert:

- Erkundungstollen Nord.
- Zugangstollen Trens
- HTN

Die Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne werden mit definierter, reduzierter Drehzahl eingeschaltet. Somit werden die erwähnten Stollen mit dem im Normalbetrieb arbeitenden Lüftungssystem belüftet.

Die zwei Abluftventilatoren neben der Schleuse im Erkundungstollen werden in Abluftmodus eingeschaltet (Luft wird in Richtung Aicha gefördert).

Fluchtwege

Die Gegenröhre HTWS und die Portale des Erkundungstollens Aicha und des Fensterstollen Mauls dienen als sicherer Fluchtweg für das Personal.

7.3.3. Steuervorgang

Die Aufgabe der Steuerung und somit des zuständigen Operators in der Sicherheits-Leitstelle ist die bedarfsgerechte Kontrolle der Anlagen der Baulüftung. Im Ereignisfall müssen insbesondere folgenden Prinzipien beachtet werden:

- Der Ereignisfall ist prioritär zu behandeln.
- Der Ereignisfall muss in enger Zusammenarbeit mit dem Verantwortlichen für Sicherheit und Brandschutz behandelt werden.
- Der Steuerungsablauf ist nicht vollständig automatisierbar. In der Regel erfolgt die Meldung durch Personen und die Entscheidungen müssen vom Operator anhand von Checklisten getroffen werden.
- Das System ist laufend an die sich ändernden Bauabläufe anzupassen.

Um die Lüftungstechnischen Maßnahmen zur Unterstützung der Selbstrettung, Fremdrettung, Brandbekämpfung und Entrauchung ergreifen zu können, muss eine genaue Detektion des Brandortes zugrunde liegen. Zu diesem Zweck steht im vorliegenden Fall ein automatisches Branddetektionssystem zur Verfügung, welches als Brandmeldekabel realisiert werden soll. Zusätzlich sind die folgenden Maßnahmen vorzusehen:

- Laufende Überwachung der Überhitzung von im Tunnel eingesetzten Geräte (Motoren der Ventilatoren, Torantriebe, Transformatoren, Betonmischer etc.).
- Alarmierungspflicht beim Ereignis (die notwendigen Mittel müssen zur Verfügung stehen: Funkgeräte, Telefonen, usw.).
- Sichtbare und genaue Ortsbeschilderung für eine effiziente Ereignisortmeldung.

8. BAULICHE EINRICHTUNGEN

8.1. Schleusen

Zur Unterbindung der Luftströmung im Bedarfsfall sind 8 Schleusen, jeweils bestehend aus zwei Wetterwänden, vorgesehen (siehe Schema Abbildung 5)

Die Grösse der Wetterwände ist durch den jeweiligen Tunnelquerschnitt bestimmt (siehe Pläne):

- HTS: 4 x 40 m²
- HTN: 4 x 40 m²
- ES Süd: 2 x 25 m²
- Ast A – ES: 2 x 39 m²
- Verbindungstunnel HT – ES: 2 x 53 m²
- Zugangsstollen Trens: 2 x 40 m²

Die Festigkeit der Wetterwände und Tore in den Schleusen ist auf eine Druckdifferenz von 500 Pa auszulegen, mit Ausnahme der Schleuse im ES Süd (Aicha), welche auf eine Druckdifferenz von 2500 Pa ausgelegt ist.

Die Wetterwände der Schleusen sind in einer einfachen Rahmenkonstruktion aus Stahl oder Holz, abgedichtet mit einer Kunststoffplane, vorgesehen. Die Wände der Schleuse im ES Süd (Aicha) bestehen aus einer verstärkten Stahlrahmenkonstruktion mit Stahlblech verzinkt.

8.2. Einfache Wetterwände

In den Querschlägen zwischen den Haupttunneln, in der NHS Trans, in der TBM Kaverne ES sowie zwischen Fensterstollen Mails und Lüftungskaverne zur Lüftungskaverne sind einfache Wetterwände vorgesehen.

Die Grösse der Wetterwände ist durch den jeweiligen Tunnelquerschnitt bestimmt (siehe Pläne):

- TBM Kaverne ES: 1 x 53 m²
- Querschläge Tunnel klein: 66 x 25 m²
- Querschläge Tunnel gross: 12 x 40 m²
- Querschläge NH Trens: 26 x 20 m²
- Lüftungskaverne: 2 x 40 m²

Die Festigkeit der Wetterwände und Tore in den einfachen Wänden ist auf eine Druckdifferenz von 500 Pa auszulegen.

Die einfachen Wetterwände sind in einer einfachen Rahmenkonstruktion aus Stahl oder Holz, abgedichtet mit einer Kunststoffplane, vorgesehen

8.3. Tore und Türen

Jede Wetterwand in den Schleusen sowie ein Teil der Wetterwände in den Querschlägen ist mit einem automatischen Tor und einer danebenliegenden Türe für den Personendurchgang versehen.

Die übrigen Wetterwände sind mit einfachen Türen für den Personendurchgang versehen.

Die Grösse der Tore wird durch das Lichtraumprofil der grössten durchfahrenden Geräte bestimmt.

16 große Tore:

Grosse Tore sind in den Schleusen vorgesehen, mit Ausnahme der Schleuse im ES Süd. Die lichte Öffnung der großen Tore ist B 5.20 m x H 5.00 m.

17 kleine Tore:

In den einfachen Wetterwänden sowie in der Schleuse zum ES Süd sind kleinere Tore mit Öffnungen B 4.00 m x H 4.00 m vorgesehen.

Alle Tore sind als Rolltore aus Kunststoff ausgeführt, ausgelegt auf eine Druckdifferenz von 500 Pa, mit Ausnahme der Schleusen im Erkundungsstollen ES und im Ast A. Dort sind die Tore als Falttore aus Stahl ausgeführt, ausgelegt auf eine Druckdifferenz von 2500 Pa.

Die Öffnung der Personentüren ist mindestens B 0.90 m x H 2.00 m, total ca. 120 Türen.

Alle Tore sind mit elektromechanischen Torantrieben (Leistung je max. 3 kW) versehen. Sie werden über Zugschalter, Lichtschranken oder von Fern (Leitsystem) bedient. Neben jedem Tor befindet sich ein Steuerschrank.

9. LÜFTUNGSTECHNISCHE KOMPONENTEN

9.1. Allgemeines

Das Lüftungskonzept beruht auf flexibel einsetzbaren lüftungstechnischen Komponenten, welche mit zunehmendem Ausbaufortschritt beschafft werden können, sowie dem bestmöglichen Einsatz der bereits bestehenden Anlagenteile.

Für die Vortriebe im Haupttunnel ist ein Einheitsventilator vorgesehen, welcher an verschiedenen Orten eingesetzt werden kann. Dadurch ergeben sich logistische Vorteile.

9.2. Ventilatoren

Für die Lüftung der Vortriebe und Kavernen sind folgende Ventilatoren vorgesehen (siehe Schema in Abbildung 4.):

- 2 Abluftventilatoren 450 kW, im Verteiler vor der TBM Startkaverne West
- 2 Abluftventilatoren 110 kW in der Schleuse zum Erkundungsstollen Aicha (*bestehend Korfmann AL 16 & Zitron 1600*)
- 3 Zuluftventilatoren, reversibel 900 kW, in der Lüftungskaverne

- 6 Zuluftventilatoren 200 kW, für die Versorgung der Lutten in den Vortrieben des Haupttunnels Nord und Süd ('Einheitsventilator', flexibel einsetzbar)
- 2 zweistufige Zuluftventilatoren 2x160 kW, für die Versorgung der Lutten in den Vortrieben des Haupttunnels Nord (*bestehend Systemair AXC GC1600G2*)
- 2 zweistufige Zuluftventilatoren 2x110 kW, für die Versorgung der Lutten im Vortrieb des Erkundungsstollens Nord (*bestehend Korfmann GAL 14*)
- 2 Zuluftventilator 250 kW, für die Versorgung der Lutte im Vortrieb des Zugangsstollens Trems (*bestehend Systemair AXC1600*)
- 2 Zuluftventilatoren 110 kW, in der Schleuse zum ES Aicha (*bestehend Korfmann / Zitron*)
- 8 Zuluftventilatoren 22 kW für die Kühlregister
- 3 Zuluftventilatoren 7.5 kW für die Kühlregister

Somit werden alle 8 bestehenden Ventilatoren weiter verwendet für die Frischluftversorgung der Lutten und als Abluftventilatoren in der Schleuse zum ES Süd (Aicha) eingesetzt.

Alle Ventilatoren sind mit Einströmdüsen, Diffusoren und Rohrschalldämpfern ausgerüstet, um zu gewährleisten, dass bei Vollastbetrieb der zulässige Schallpegel von 85 dBA im Stollen nicht überschritten wird.

Tabelle 4: Kenndaten der neuen Ventilatoren

Abluftventilator Kaverne			
Anzahl	n	2	
Lauftraddurchmesser	D	2.00 m	
Nennvolumenstrom	\dot{V}	75 m ³ /s	
Totaldruckerhöhung	Δp_T	ca. 4300 Pa	
Nennleistung Motor	P _M	450 kW	
el. Anschlussleistung	P _{EL}	max. 520 kW	
Außendurchmesser*	D _A	ca. 2.5 m	
Länge über alles*	L	< 8 m	
(*inkl. Einlaufdüse, Rohrschalldämpfer, Diffusor) Temperaturbeständig 400°C / 120 Min. nach EN 12101-3			

Zuluftventilator reversibel			
Anzahl	n	3	
Lauftraddurchmesser	D	2.50 m	
Nennvolumenstrom	\dot{V}	150 m ³ /s	
Totaldruckerhöhung	Δp_T	ca. 4900 Pa	
Nennleistung Motor	P _M	900 kW	
el. Anschlussleistung	P _{EL}	max. 1000 kW	
Außendurchmesser*	D _A	ca. 3 m	
Länge über alles*	L	ca. 10 m	
(*inkl. Einlaufdüse, Rohrschalldämpfer, Diffusor), optimiert für Zuluftbetrieb (Wirkungsgrad im Nennbetriebspunkt min. 80%), Volumenstrom im Reversierbetrieb min. 50% vom Nennvolumenstrom in Hauptblasrichtung			

Zuluftventilator HT			
Anzahl	n	6	
Laufreddurchmesser	D	2.00 m	
Nennvolumenstrom	\dot{V}	ca. 65 - 95 m ³ /s	
Totaldruckerhöhung	Δp_T	ca. 1500 - 2100 Pa	
Nennleistung Motor	P _M	200 kW	
el. Anschlussleistung	P _{EL}	max. 230 kW	
Außendurchmesser*	D _A	ca. 2.5 m	
Länge über alles*	L	< 6 m	
(*inkl. Einlaufdüse, Rohrschalldämpfer), Anschluss an Lutte			

Zuluftventilator Kühlung gross			
Anzahl	n	8	
Laufreddurchmesser	D	0,63 m	
Nennvolumenstrom	\dot{V}	ca. 12 m ³ /s	
Totaldruckerhöhung	Δp_T	ca. 1200 Pa	
Nennleistung Motor	P _M	22 kW	
el. Anschlussleistung	P _{EL}	max. 27 kW	
Außendurchmesser*	D _A	ca. 0,75 m	
Länge über alles*	L	< 2,5 m	
(*inkl. Einlaufdüse, Rohrschalldämpfer) Anschluss an Kühlregister			

Zuluftventilator Kühlung klein			
Anzahl	n	3	
Lauftraddurchmesser	D	0,50 m	
Nennvolumenstrom	\dot{V}	ca. 5 m ³ /s	
Totaldruckerhöhung	Δp_T	ca. 1200 Pa	
Nennleistung Motor	P _M	7.5 kW	
el. Anschlussleistung	P _{EL}	max. 9 kW	
Außendurchmesser*	D _A	ca. 0,6 m	
Länge über alles*	L	< 2,0 m	
(*inkl. Einlaufdüse, Rohrschalldämpfer), Anschluss an Kühlregister explosionsgeschützt nach ATEX Gruppe I, Kategorie M2			

Die Ventilatoren werden über Frequenzumrichter betrieben. In jeder Phase ist nur die tatsächlich benötigte elektrische Leistung bereitzustellen, welche in den meisten Fällen geringer ist als die Motornennleistung.

Neben jedem Ventilator befindet sich ein Steuerschrank mit FU, Sicherungen und Schaltgeräten.

9.3. Klappen

Am Anfang jedes Stollens, vor den Zuluftventilatoren, sowie in der Logistikkaverne Mails sind stufenlos einstellbare Regel- bzw. Absperrklappen vorgesehen (siehe Schema Abbildung 4).

Die parallel arbeitenden 3 Zuluftventilatoren in der Lüftungskaverne sowie die beiden

Abluftventilatoren sind je mit einer Ventilatorabschlussklappe versehen.

Alle erwähnten Klappen sind als rechteckige Gliederklappen mit wartungsfeien Lagerbuchsen, in robuster Industrieausführung (Sirocco HDD oder gleichwertig), mit Schwenkantrieb ausgeführt.

Zusätzlich ist eine horizontale, massive zweiflügelige Klappe im ES unter dem Schutterschacht zum Fensterstollen Mails über der Dosieranlage für das Ausbruchsmaterial vorgesehen. Damit wird die Luftströmung durch den Schacht im Bedarfsfall (Ereignis) unterbunden.

Die Festigkeit aller Klappen ist auf einen Druck von 6'000 Pa ausgelegt.

Tabelle 5: Kenndaten der Klappen

Ventilatorabschlussklappe Zuluft	
3	Anzahl
2.50 x 2.50 m	Bruttomaß
	auf - zu

Ventilatorabschlussklappe Abluft	
2	Anzahl
2.00 x 2.00 m	Bruttomaß
	aperto - chiuso

Abluftklappe Vortrieb	
6	Anzahl
2.50 x 2.50 m	Bruttomaß
	aperto - chiuso

Abschlussklappe Zuluft Vortrieb	
6	Anzahl
2.50 x 2.50 m	Bruttomaß
	aperto - chiuso

Regulierklappe Zuluft Vortrieb	
6	Anzahl
2.50 x 2.50 m	Bruttomaß
	regolazione continua

Regulierklappe Zuluft Logistik-K.	
1	Anzahl
1.50 x 1.50 m	Bruttomaß
	regolazione continua

Abschlussklappe Schutterschacht	
1	Anzahl
3.00 x 3.00 m	Bruttomaß
	aperto - chiuso

Alle Klappen sind mit elektromechanischen Antrieben mit Stellungsrückmeldung zu versehen.

9.4. Luftkanäle

Im Gewölbe des Fensterstollens Maults wird durch die Zwischendecke ein Zuluftkanal mit einer lichten Bruttofläche von ca. 25 m² gebildet.

Dieser erstreckt sich über eine Länge von ca. 1500 m zwischen der Abzweigung zur Lüftungskaverne und der TBM Startkaverne West.

Dort ist ein Verteiler vorgesehen, mit den Abgängen auf 5 Lüftungskanäle zu den einzelnen Haupttunneln und zu der Logistikkaverne Maults.

Zudem zweigen Kanäle zu den Vortrieben der Zugangstollen Trens und der ES ab.

Im Zuluftkanal befindet sich ein Lüftungsrohr für die Abluft. Die Nettofläche des Zuluftkanals beträgt somit nur rund 20 m².

Zwischen Lüftungskaverne und Zuluftkanal befinden sich 3 Lüftungskanäle, abgehend von den Zuluftventilatoren.

Alle beschriebenen Luftkanäle werden ausgeführt als Rohre aus Stahlblech, mit einem Durchmesser von 2.50 m (außer zur Logistikkaverne Maults: D 1.50 m).

Die Länge der Lüftungsrohre beträgt:

Verteiler – HTWN: 20 m

Verteiler – HTON: 80 m

Verteiler – HTWS: 40 m

Verteiler – HTOS: 100 m

Verteiler – Logistikkaverne Mules: 50 m (Ø 1.50 m)

Lüftungskaverne – Zuluftkanal: 3 x 100 m

Abluft: 1600 m

Die Rohre müssen auf einen Innendruck von 6000 Pa ausgelegt sein und die Dichtheitsklasse C nach Eurovent 2/2 erfüllen.

9.5. Lutten

Alle Vortriebe werden mit blasenden Lutten belüftet. Die Luttenlänge wird laufend an den Baufortschritt angepasst. Die maximalen Luttenlängen der neuen Lutten sind wie folgt:

HT: D 3.00 m, L total 44 km

ES Nord: 2 x D 1.60 m, L total 2 x 17 km

Die neuen Lutten müssen die höhere Dichtigkeits- und Festigkeitsklasse Y-S erfüllen. Die Lutten der TBM Vortriebe sind in Einzellängen von 100 m (aus einem Luttenspeicher auf der TBM), diejenigen der Sprengvortriebe in 25 m Einzellängen ausgeführt.

Für die Belüftung des Vortriebs im Zugangstollen Trens und der Nothaltestelle werden jeweils 2 x 2 km bestehende Lutten mit D 2.40 m und 2 x 2 km mit D 2.20 m eingesetzt.

Für die Belüftung der Erstellung der Querschläge werden die bestehenden Lutten mit D 1.60 m eingesetzt.

Die verbleibenden Lutten mit Ø 1.00 m werden als Reserve eingesetzt und für die Belüftung lokalen und unvorhergesehenen Situationen, die in einer Baustelle dieser Dimensionen und Dauer unvermeidbar sind.

9.6. Entstauber

Entstauber sind an jeder Ortsbrust der Vortriebe sowie in den beiden laufenden Querschlagsausbrüchen vorgesehen.

Die Entstauber der TBM-Vortriebe sind jeweils Bestandteil der TBM und fahren mit dieser mit.

Als Entstauber können Wäscher oder Taschenfilter eingesetzt werden. Die staubhaltige Luft wird im Arbeitsbereich abgesaugt und die entstaubte Luft wird wieder in den Querschnitt eingeblasen und als Abluft abgeführt.

Die Auslegung der Entstauber erfolgt ungefähr für die benötigte Zuluftmenge an der Ortsbrust. Damit ergeben sich folgende Leistungen:

- HTN: 2 x 150 kW

- HTS: 2 x 150 kW, 2 x 110 kW

- Querschläge: 2 x 74 kW

- ES: 74 kW

(explosionsgeschützt nach ATEX Gruppe I, Kategorie M2)

- Trens: 2 x 150 kW

Für Nassentstauber sind die Ventilatorleistungen geringer, dafür sind zusätzlich die Pumpenleistungen zu berücksichtigen.

9.7. Steuerung und Instrumentierung

Die Steuerung der Ventilatoren, Klappen und Tore in den Wetterwänden erfolgt durch ein übergeordnetes Leitsystem, und kann lokal übersteuert werden.

Die Steuerung der Ventilatoren an den Entstauber-Einheiten erfolgt lokal nach Bedarf.

In jedem Vortrieb, sowie in den rückwärtigen Luftwegen, sind Luftströmungs- und Gasmessstationen vorgesehen.

Jede Gasmessstation misst an 3 Messstellen (2 seitlich und 1 im First) folgende Größen:

- Lufttemperatur, -feuchte
- Luftdruck absolut
- Konzentration CH₄, H₂S, CO₂, CO, NO

Die Luftströmungsmessung misst die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung. Diese werden im Leitsystem mit den Messwerten Lufttemperatur und -druck auf Massenströme umgerechnet.

Insgesamt sind max. 16 Gasmessstationen vorgesehen:

- 6x an der Ortsbrust der Vortriebe Stollen
- 2x an der Ortsbrust der Vortriebe Querschläge
- 6x im Bereich der abströmenden Luft der Vortriebe vor den TBM Montagekavernen bzw. vor dem Fenstersollen Mails
- 2x vor den Portalen Mails und ES Aicha

Zusätzlich sind max. 14 Luftströmungsmessungen vorgesehen, jeweils abgesetzt von den Gasmessstationen, außer in den Querschlägen. Ein zusätzliches Luftströmungsmessgerät befindet sich im Zuluftkanal.

Die Messgeräte sind explosionsgeschützt ausgeführt (ATEX Gruppe I, Kategorie M2)

Folgende Betriebsmeldungen der Geräte werden auf das Leitsystem geführt:

- Ventilatoren: Rückmeldungen vom FU (Bereit, Störung, Betrieb, Ist-Drehzahl)
- Klappen: Rückmeldungen vom Klappenantrieb (offen - zu - Ist-Stellung, Störung)
- Tore: Stellungsmeldung (offen - zu, Störung)

Anhand der Messwerte wird die Lüftungsanlage sowohl vortriebsweise als auch als Gesamtsystem geregelt. Zudem besteht die Möglichkeit, die Lüftungsanlage manuell vor Ort zu übersteuern.

Für jeden Messwert sind 2 Grenzwerte definiert:

- Warnung
- Alarm

Im Bereich der Vortriebe und der weiteren Arbeitsbereiche sind Brandmelde-Handtaster vorgesehen, durch welche ein Brandalarm ausgelöst wird.

Automatische Rauchmelder sind in besonders gefährdeten Bereichen, z. Bsp. der Logistikkaverne, sowie am Beginn der Vortriebe im Abluftstrom, eingesetzt, ein Brandmeldekabel steht ebenfalls zur Verfügung.

10. QUELLENVERZEICHNIS

- [1] Planungsunterlagen Angebot
- [2] D0700 11100, Projektbezogene technische Vertragsbedingungen
- [3] D0700 12001, Allgemeiner Technischer Bericht Gesamtbauwerke, Brenner Basistunnel, Ausführungsplanung Baulos Mauts 2-3
- [4] D0700 31002, Technischer Bericht Baulüftung/-kühlung, Brenner Basistunnel, Ausführungsplanung Baulos Mauts 2-3
- [5] D0700 31001, Lüftungskonzept - Bauphase, Brenner Basistunnel, Ausführungsplanung Baulos Mauts 2-3
- [6] D0700 31101, Kühlungskonzept - Bauphase, Brenner Basistunnel, Ausführungsplanung Baulos Mauts 2-3
- [7] D0154, Brenner Basistunnel, Phase II, Technische Planung, Basistunnel, Progetto Definitivo, Geothermische, Gas, Gesteinsradioaktivität und Eluate Bericht
- [8] D0616-III-01-TB-3001-25, Regelplanung, Grundlagen für die Planung, Technische Merkmale und Spezifikationen, Technischer Bericht, Projekt- anforderungen, Nutzungsanforderungen
- [9] D0616-III-04-TB-3504-25, Regelplanung, Grundlagen für die Planung, Aerodynamik und Klima, Technischer Bericht, Konzept für die Baulüftung/- kühlung
- [10] D0616-III-04-TB-3508-25, Regelplanung, Grundlagen für die Planung, Aerodynamik - Klima – Lüftung, Technischer Bericht, Grundlagendossier
- [11] DPR 20 marzo 1956, n. 320 „Norme per la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro sotterraneo“
- [12] D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81 - Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro. Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106, Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- [13] Note interregionali Emilia-Toscana-Servizio Sanitario Regionale "Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3.a edizione"
- [14] Autonome Provinz Bozen - Südtirol Landesgesetz vom 5. Dezember 2012, Nr. 20, Bestimmungen zur Lärmbelastung
- [15] Genehmigungsbeschluss Nr. 071/2009 des CIPE vom 31.07.2009, welcher das Einreichprojekt des Brenner Basistunnels - italienischer Teil genehmigt, veröffentlicht im Amtsblatt der Italienischen Republik Nr. 29 am 05.02.2010.
- [16] SIA 196, Baulüftung im Untertagebau, Ausgabe 1998, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
- [17] Bauarbeiterschutzverordnung – BauV, BGBl. Nr. 340/1994 idF BGBl. Nr. 706/1995, BGBl. II. Nr. 121/1998 und BGBl. II Nr. 368/1998
- [18] SUVA, Verhütung von Unfällen durch Brände und Explosionen bei der Erstellung von Untertagebauten in Erdgas führenden Gesteinsschichten. Technisches Merkblatt 66102.d. Luzern, März 2002
- [19] SUVA. Grenzwerte am Arbeitsplatz 2014. MAK- Werte, BAT-Werte, Grenzwerte für physikalische Einwirkungen, Richtlinie 1903.d, Luzern, Januar 2014
- [20]

11. ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Bedeutung
AV	Axialventilator
BM	Baustelle Mauls
ES	Erkundungsstollen
ESN	Erkundungsstollen Nord
FS Mauls	Fensterstollen Mauls
FU	Frequenzumformer
HT	Haupttunnel
HTN	Haupttunnel nördlich des Fensterstollens Mauls
HTO	Haupttunnel Ost
HTON	Haupttunnel Ost, nördlich des Fensterstollens Mauls
HTOS	Haupttunnel Ost, südlich des Fensterstollens Mauls
HTS	Haupttunnel südlich des Fensterstollens Mauls
HTW	Haupttunnel West
HTWN	Haupttunnel West, nördlich des Fensterstollens Mauls
HTWS	Haupttunnel West, südlich des Fensterstollens Mauls
NHS	Nothaltestelle
TBM	Tunnelbohrmaschine
QS	Querschlag
ZS	Zugangsstollen