

The ventilation and tunnel safety concept for the New Semmering Base Tunnel

Das Lüftungs- und Sicherheitskonzept für den Semmering-Basistunnel neu

For the conception of the emergency ventilation and the design of the ventilation system for the New Semmering Base Tunnel, particular demands apply, which are based on specific protection objectives and defined in the Tunnel Safety Concept. The main objective is to keep the safe areas (the refuge room at the emergency station, opposite tube, portals) free of smoke. This paper deals with the Safety Concept and the tunnel ventilation. A methodical approach was applied to prevent single critical scenarios being weighted too heavily in the design of the ventilation equipment. This achieved an optimisation of the entire system instead of designing the ventilation system for isolated extreme scenarios.

1 Tunnel system

The New Semmering Base Tunnel consists of two single-track tubes with a length of approx. 27 km and a standard cross-section of approx. 42 m². The tubes are connected by cross passages at a maximum spacing of 500 m. The tunnel has a maximum gradient of 8.4‰ (climbing from east to west). Approximately in the centre of the tunnel is the intermediate starting point in the Fröschtitz Graben (trough). This consists of a shaft about 400 m deep and will serve in the construction phase for driving the central section of the tunnel. The emergency station will also be constructed at the base of the shaft. After completion, the shaft will be used for emergency ventilation.

2 Key points of the Safety Concept

2.1 Rescue concept

In the European guideline TSI "Safety in Railway Tunnels" [1], the railway risks are reduced to tunnel-specific incidents for the purpose of determining measures (Figure 1). Incidents are divided into three characteristic types:

- "Hot" incidents: fire, explosion with fire, emission of toxic smoke or gases
- "Cold" incidents: collision, derailment
- Prolonged stop: unexpected stop in the tunnel for more than 10 minutes

The Tunnel Safety Concept is based on the regulations for Austrian rail tunnels, which are being designed at the moment or have been in recent years. The Safety Concept is intended to be as uniform as possible, particularly in comparison with the Koralm Tunnel on the route to Klagenfurt.

Für die Konzeption der Ereignisfalllüftung und für die Bemessung der Lüftungsanlagen für den Semmering-Basistunnel neu gelten besondere Anforderungen, die auf spezifischen Schutzziele basieren, die im Tunnelsicherheitskonzept definiert sind. Im Vordergrund steht dabei das Ziel, die sicheren Bereiche (Warteraum der Nothaltestelle, Gegenröhre, Portale) rauchfrei zu halten. Der Beitrag behandelt das Sicherheitskonzept und die Tunnellüftung. Durch einen methodischen Ansatz wird verhindert, dass bei der Bemessung der Lüftungsanlagen einzelne kritische Szenarien zu stark gewichtet werden. Anstatt das Lüftungssystem auf einzelne Extremszenarien zu bemessen wird so eine Optimierung des Gesamtsystems erreicht.

1 Tunnelsystem

Der Semmering-Basistunnel neu besteht aus zwei eingleisigen Röhren mit einer Länge von ca. 27 km und einem Regelquerschnitt von ca. 42 m². Die Röhren sind mit einem maximalen Abstand von 500 m durch Querschläge verbunden. Der Tunnel weist eine gleichmäßige Längsneigung von 8.4‰ (Steigung von Ost nach West) auf. Etwa in Tunnelmitte befindet sich der Zwischenangriff Fröschtitzgraben. Dieser dient in der Bauphase dem Auffahren des zentralen Tunnelabschnitts und besteht aus einem rd. 400 m tiefen Schacht, an dessen Fuß die Nothaltestelle angeordnet ist. Im Endzustand wird der Schacht für die Ereignisfalllüftung genutzt.

2 Eckpunkte des Sicherheitskonzepts

2.1 Rettungskonzept

In der europäischen Richtlinie TSI „Sicherheit in Eisenbahntunnel“ [1] werden zur Maßnahmenfestlegung die Eisenbahnrisiken auf die tunnelspezifischen Ereignisse reduziert (Bild 1). Die Ereignisse werden in drei charakteristische Arten eingeteilt:

- „Heiße“ Ereignisse: Brand Explosion mit Brand, Freisetzung von giftigen Rauch oder Gasen
- „Kalte“ Ereignisse: Zusammenstoß, Entgleisung
- Längerer Halt: unerwarteter Halt ohne Brand für länger als 10 Minuten

Das Tunnelsicherheitskonzept basiert auf den Festlegungen für österreichische Eisenbahntunnel, die derzeit oder in den letzten Jahren geplant wurden. Besonders im Zusammenhang mit dem auf der Strecke nach Klagenfurt lie-

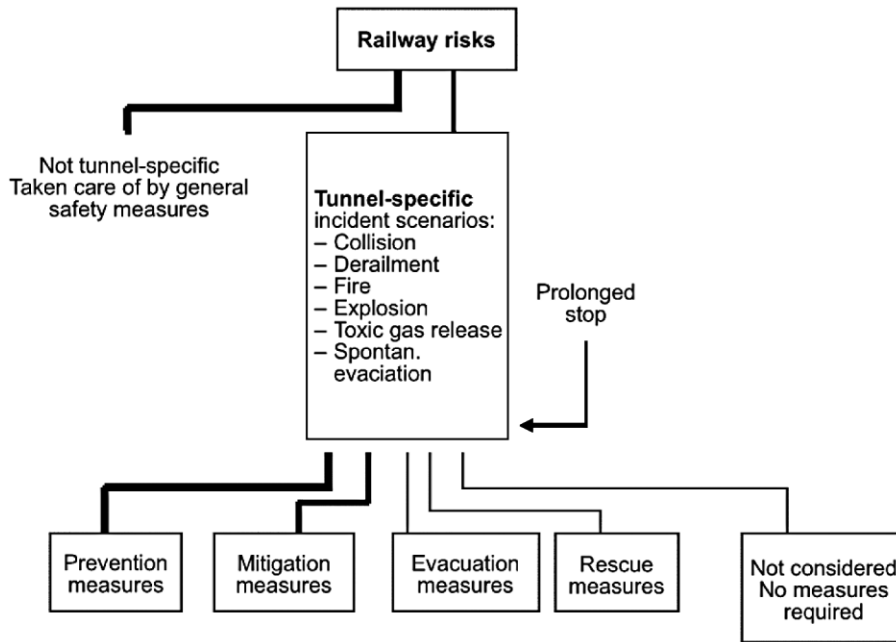


Fig. 1. Tunnel risks and diagram of measures [1]
Bild 1. Tunnelrisiken und Einteilung der Maßnahmen [1]

First operational measures

When a fire is discovered in a train in the tunnel, the most important objective is that the train should leave the tunnel. Passenger trains are equipped for this purpose with fire barriers, emergency brake overrides and defined emergency running properties with the intention that passenger trains can keep running for 15 minutes, even if fully on fire [1]. Because the defined emergency running properties will not always suffice to enable the train to reach the open air, an emergency station is planned in the middle of the tunnel, which will create an area with more favourable conditions than average for escape in case of fire.

When irregularities are noticed, which could point to a derailment, the first measure is to stop the incident train as quickly as possible.

For all other trains, the following applies:

- Further trains should be prevented from entering the tunnel in case of an emergency,
- All other trains, which are in the tunnel should leave the tunnel if possible,
- Trains in the safe tube should create no hazard for the escaping passengers through the coordination of organisational and operational measures,
- Passenger trains in the safe tube should be used if possible for the evacuation of escaping passengers.

Self-rescue, evacuation

In case of an emergency, in which a train stops in the tunnel and cannot travel farther and there is danger to persons, the passengers will rescue themselves. Self-rescue in the tunnel is through cross passages into the opposite tube. At the emergency station, the escaping passengers will enter the refuge room.

The decision concerning self-rescue will generally be taken by the train driver or the driver of the powered car of the train. The emergency centre is to be informed about an evacuation as soon as possible in order to organise the necessary protection measures (prevention of endangering trains, switching on the ventilation). The evacuation of

genden Koralmtunnel wird ein möglichst einheitliches Sicherheitskonzept angestrebt.

Betriebliche Erstmaßnahmen

Bei Feststellen eines Brandes an einem Zug im Tunnel ist das oberste Ziel, dass der Zug den Tunnel verlassen soll. Personenzüge sind für diesen Fall mit Brandschutzwänden, Notbremsüberbrückungen und definierte Notlaufeigenschaften ausgerüstet, damit ein Reisezugwagen auch bei Vollbrand noch 15 Minuten lauffähig bleibt [1]. Da die definierten Notlaufeigenschaften nicht immer ausreichen, um ins Freie zu fahren, ist etwa in Tunnelmitte eine Not Haltestelle geplant, die einen Bereich mit überdurchschnittlich günstigen Bedingungen für die Selbstrettung im Brandfall schafft.

Bei Feststellen von Unregelmäßigkeiten, die auf eine Entgleisung hindeuten, ist als Erstmaßnahme der Ereigniszug möglichst rasch anzuhalten.

Für alle weiteren Züge gilt:

- Das Einfahren weiterer Züge in den Tunnel soll bei einem Notfall im Tunnel verhindert werden,
- Alle Züge, die sich zusätzlich zum Ereigniszug im Tunnel befinden, sollen möglichst den Tunnel verlassen,
- Züge in der sicheren Röhre sollen durch Abstimmung der organisatorischen und betrieblichen Maßnahmen möglichst keine Gefährdung für Flüchtende darstellen,
- Reisezüge in der sicheren Röhre sollen möglichst zur Evakuierung der Flüchtenden herangezogen werden.

Selbstrettung, Evakuierung

Bei einem Notfall, bei dem ein Zug im Tunnel zum Stillstand kommt, ein Weiterfahren nicht möglich ist und Personengefährdung besteht, erfolgt eine Selbstrettung. Im Tunnelbereich erfolgt die Selbstrettung über Querschläge in die zweite Tunnelröhre. In der Nothaltestelle begeben sich die Flüchtenden in den Rettungsraum.

Die Entscheidung zur Selbstrettung trifft grundsätzlich der Zugführer bzw. der Triebfahrzeugführer am Zug. Die für den Notfall zuständige Stelle ist möglichst vor einer Räumung zu informieren, um die notwendigen



Fig. 2. Rescue train for use in the rail tunnel
Bild 2. Rettungszug für den Einsatz im Eisenbahntunnel

persons to the open air will be undertaken primarily by passenger trains, which are on the line.

External rescue, rescue train

The emergency crew for external rescue should consist of a crew, who knows the tunnel well. At the moment, this is planned to be an ÖBB core team supported by the local fire service. Rescue trains are stationed at the nearest stations for transport to the accident location. It is intended that rescue operations can be carried out from both sides (Figure 2).

2.2 Layout of the cross passages and the emergency station

Cross passages

Cross passages are arranged at a spacing of max. 500 m. These serve as the connection structure from the incident tube to the opposite tube, which represents the safe area. The escape area of the cross passages has a cross-section of 2.25 m × 2.25 m. Technical equipment is installed in rooms separated from the escape route by walls.

Emergency station

The emergency station in the middle of the tunnel consists of a platform 400 m long in each tunnel tube. The footpaths situated at the side of the entire tunnel are raised and widened in this area. The location of the side footpaths and the emergency exits thus remain uniform along the entire tunnel on the side nearest the other tunnel tube.

Between the two tunnel tubes at the emergency station there is a refuge room, which is connected to the platforms every 50 m by escape passages. As can be seen in Figure 3, the platforms are staggered along the tunnel so that the refuge room is about 800 m long.

The refuge room is divided into two in the middle by a transition area. Doors with a width of 2 m are provided for each emergency exit from the platform to the escape passage, and these are opened automatically in the event of an incident. It is intended that the passengers escaping in an emergency should take themselves to the farther section of the refuge room and wait there for evacuation into the open air. The ventilation system prevents the penetration of smoke into the safe area and provides fresh air for the refuge room.

Schutzmaßnahmen (z.B. Verhinderung von gefährdenden Fahrten, Einschalten der Lüftung) einzuleiten. Die Evakuierung der Personen ins Freie wird vorrangig mit Reisezügen, die auf der Strecke unterwegs sind, durchgeführt.

Fremdrettung, Rettungszug

Die Einsatzmannschaft für die Fremdrettung soll sich aus einer Mannschaft, die den Tunnel sehr gut kennt, zusammensetzen. Derzeit geht man von einer ÖBB-Kerntruppe aus, die von den örtlichen Feuerwehren unterstützt wird. Für den Transport zur Unfallstelle sind in den nächstliegenden Bahnhöfen Rettungszüge stationiert. Es ist vorgesehen, dass der Einsatz von beiden Seiten erfolgen kann (Bild 2).

2.2 Ausgestaltung der Querschläge und der Nothaltestelle

Querschläge

Querschläge sind in einem Abstand von max. 500 m angeordnet. Diese dienen als Verbindungsbauwerk von der Ereignisröhre zur zweiten Röhre, die den sicheren Bereich darstellt. Der Fluchtbereich der Querschläge wird mit einem lichten Querschnitt von 2,25 m × 2,25 m ausgestattet. Technische Anlagen werden in eigenen Räumen eingerichtet, die vom Fluchtbereich durch Wände getrennt sind.

Nothaltestelle

Die Nothaltestelle in Tunnelmitte besteht aus 400 m langen Bahnsteigen in jeder Tunnelröhre. Der im gesamten Tunnel vorhandene, seitliche Randweg wird in diesem Bereich auf die Höhe des Bahnsteigs angehoben und verbreitert. Die Lage des Randwegs und die der Notausgänge bleiben somit im gesamten Tunnel einheitlich auf der zur zweiten Tunnelröhre zugewandten Seite.

Zwischen den beiden Tunnelröhren befindet sich im Bereich der Nothaltestelle ein Rettungsraum, der mit Fluchtstollen alle 50 m mit den Bahnsteigen verbunden ist. Wie im Bild 3 dargestellt, sind die Bahnsteige längs zueinander versetzt, wodurch der Rettungsraum ca. 800 m lang ist.

Der Rettungsraum ist in der Mitte durch einen Übergangsbereich in zwei Teile getrennt. Bei den Notausgängen vom Bahnsteig zu den Fluchtstollen sind Türen mit einer Breite von jeweils 2 m geplant, die im Ereignisfall automatisch geöffnet werden. Es ist vorgesehen, dass sich im Ereignisfall die flüchtenden Personen bis in den weiter entfernten Abschnitt des Rettungsraums (Wartebereich) begeben und dort auf die Evakuierung ins Freie warten. Die Lüftungsanlage verhindert das Eindringen von Rauch in die sicheren Bereiche und stellt eine Frischluftversorgung des Rettungsraums zur Verfügung.

Diese Konfiguration der Nothaltestelle bietet folgende Vorteile:

- Der Wartebereich ist brandschutztechnisch vom Bahnsteig klar getrennt,
- Durch den kurzen Abstand der Fluchtstollen, den erhöhten Bahnsteig und die Lüftungsanlage werden günstige Bedingungen für Selbst- und Fremdrettung geschaffen,
- Personen legen nach Verlassen des Zuges eine Wegstrecke von ca. 400 m hinter sich (vgl. Bild 3), wodurch ein Verlassen des unmittelbaren Gefahrenbereichs eindeutlich ist.

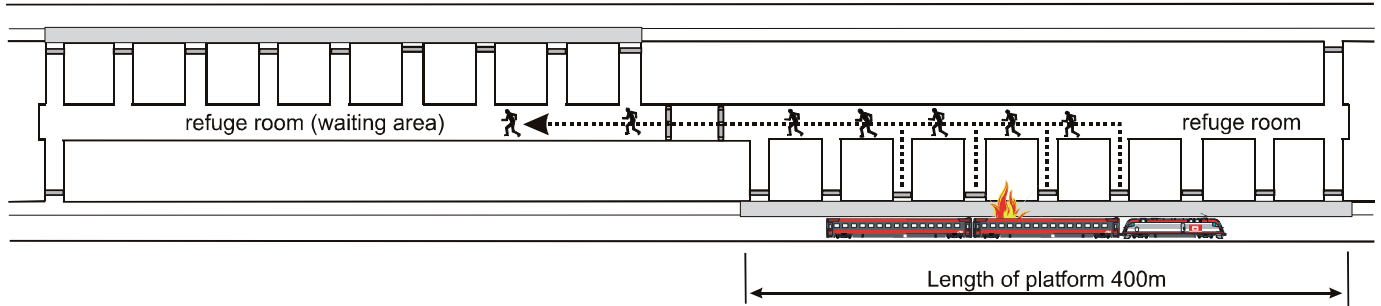


Fig. 3. System diagram of the emergency station
Bild 3. Systemskizze Nothaltestelle

This configuration of the emergency station offers the following advantages:

- The waiting area is clearly separated from the platform for fire protection purposes,
- The close spacing of the rescue passages, the raised platform and the ventilation system create favourable conditions for self-rescue and an assisted rescue campaign,
- Escaping passengers have to walk an escape route of 400 m after leaving the train (see Figure 3), with the point of leaving the immediate danger area being clearly recognisable. If the passengers stayed in the refuge room immediately behind the platform, there would only be a short cross passage between fire and where they were and therefore a feeling of being in the immediate vicinity of the source of danger. This would be seen as problematic as it would realistically be necessary to expect a wait of 90 minutes before transport out of the tunnel.

3 Tunnel ventilation

3.1 Ventilation concept

Protection objectives

One of the safety measures to reduce the extent of a fire in the tunnel is the tunnel ventilation. A range of specific protection goals were considered for the determination of the ventilation concept. For the "hot" incident, both a fire in a train and a fire in a cross passage (equipment room) were considered.

The protection goals in case of fire include the creation in the middle of the tunnel of an area with more favourable conditions than average for self-rescue or rescue from outside, keeping the safe area (emergency station, the other tube, portals) free of smoke for at least 180 minutes, certainty that the emergency ventilation in case of fire will be effective within 5 minutes of an alarm, the avoidance of additional danger to following trains in the incident tube, and the prevention of the simultaneous entry of smoke into both tubes as a result of a fire in an equipment room.

If a fire breaks out in a train, the following two scenarios are to be differentiated:

- *Train stops at the emergency station:* On account of the first operational measures, a train on fire should leave the tunnel or stop at the emergency station. The conditions for evacuation of the train are relatively good because of the short escape routes.
- *Train stops outside the emergency stop:* If the train stops in the tunnel, the passengers rescue themselves through the cross passages.

tig erkennbar wird. Bei Aufenthalt im Rettungsraum direkt beim Bahnsteig wäre nur ein kurzer Querschlag zwischen Brand und Aufenthaltsstelle und somit das Gefühl der unmittelbaren Nähe zur Gefahrenstelle gegeben. Dies würde für längere Aufenthalte in der Nothaltestelle – bis zum Abtransport ins Freie ist realistischerweise mit einer Zeitspanne von ca. 90 Minuten zu rechnen – als problematisch angesehen.

3 Tunnellüftung

3.1 Lüftungskonzept

Schutzziele

Eine der Sicherheitsmaßnahmen zur Verminderung des Ausmaßes bei einem Brand im Tunnel ist die Tunnellüftung. Zur Festlegung des Lüftungskonzepts im Ereignisfall wurden eine Reihe spezifischer Schutzziele erarbeitet. Dabei wurde für das „heiße“ Ereignis sowohl der Brand eines Zuges als auch das der Brand in einem Querschlag (Technikraum) berücksichtigt.

Die Schutzziele umfassen für den Brandfall die Schaffung eines Bereichs mit überdurchschnittlich günstigen Bedingungen für die Selbst- und Fremddrettung in Tunnelmitte, die Rauchfreihaltung der sicheren Bereiche (Nothaltestelle, Gegenröhre, Portale) über eine Zeitspanne von mindestens 180 Minuten, die Sicherstellung der Wirkung der Brandfalllüftung innerhalb von 5 Minuten ab Alarmierung, die Vermeidung einer zusätzlichen Gefährdung für nachfolgende Züge in der Ereignisröhre und die Verhinderung einer gleichzeitigen Verrauchung beider Tunnelröhren infolge eines Brandes in einem Technikbereich.

Bei einem Brand eines Zuges sind die beiden folgenden Szenarien zu unterscheiden:

- *Zughalt in der Nothaltestelle:* Aufgrund der betrieblichen Erstmaßnahmen wird ein in Brand geratener Zug den Tunnel verlassen oder in der Nothaltestelle anhalten. Dort liegen wegen des geringen Fluchtwegabstands vergleichsweise gute Bedingungen für eine Evakuierung des Zuges vor.
- *Zughalt außerhalb der Nothaltestelle:* Falls der Zug im Tunnel liegen bleibt, erfolgt die Selbstrettung über die Querschläge.

Ereignis mit Zughalt in der Nothaltestelle

Falls aufgrund der Meldung eines Zugführers oder von Unregelmäßigkeiten im Betrieb mit einem Zugbrand gerechnet werden muss, wird die Nothaltestelle für die Eva-

Incident with a train stopping at the emergency station

When a fire is suspected due to a report from the driver or irregularities in operation, the emergency station will be prepared for a train evacuation. This entails the doors in the incident tube into the escape passages being opened and fresh air being fed from the shaft in the Fröschnitz Graben into the escape area, where it flows through the open escape doors towards the emergency platform. The air supply quantity of $100 \text{ m}^3/\text{s}$ is designed to produce a sufficiently high flow speed in all escape passages and thus prevent smoke entering the escape area.

At the same time, air will be extracted from the emergency station through a duct system installed over the escape area (Figure 4), and exhausted into the open air up the Fröschnitz Graben shaft. As soon as the train has come to a stop at the emergency station, hot air and smoke are also extracted to the open air through this system. The extract quantity of $250 \text{ m}^3/\text{s}$ is designed so that the smoke cannot extend farther in the tunnel system. To provide redundancy, air is supplied and extracted by three fans each.

Incident with a train stopping outside the emergency station

In case a burning train comes to a stop outside the emergency station, the extraction in the area of the emergency station remains in operation. The air supply in this case is fed through a special relief passage into the opposite tube and the escape doors in the emergency stop are closed again.

The combination of the air being extracted at $250 \text{ m}^3/\text{s}$ out of the incident tube and the supply at $100 \text{ m}^3/\text{s}$ into the opposite tube produces a negative pressure differential in the incident tube in comparison to the other tube (Figure 5). When an entire crosscut (2 doors) is opened, the pressure difference causes a flow into the in-

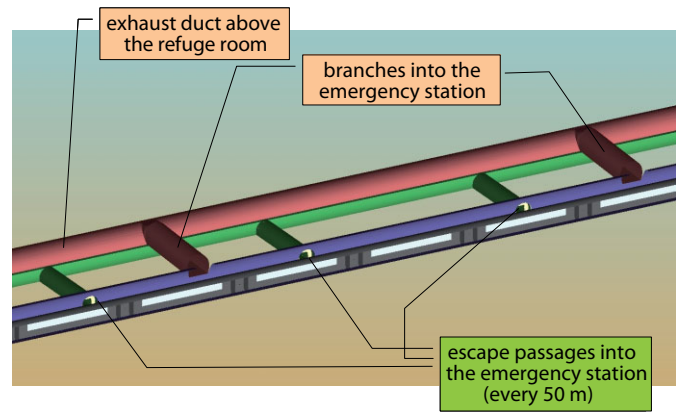


Fig. 4. Duct system for the ventilation in the event of an incident with a train stopping at the emergency station
Bild 4. Kanalsystem für die Lüftung bei einem Ereignis mit Halt in der Nothaltestelle

kuierung eines Zuges vorbereitet. Dazu werden in der betroffenen Röhre die Türen in den Fluchtstollen der Nothaltestelle automatisch geöffnet und über den Schacht Fröschnitzgraben wird Frischluft in den Fluchtbereich geführt, wo sie durch die offenen Fluchttüren in Richtung Nothaltebahnsteig abströmt. Die Zuluftmenge von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ist so bemessen, dass sich in allen Fluchtstollen eine ausreichend hohe Strömungsgeschwindigkeit einstellt, um einen Raucheintritt in den Fluchtbereich zu verhindern.

Gleichzeitig wird über ein Kanalsystem, das über dem Fluchtbereich angeordnet ist (Bild 4), Luft aus der Nothaltestelle abgesaugt und über den Schacht Fröschnitzgraben ins Freie geführt. Sobald der Zug in der Nothaltestelle zum Stehen gekommen ist, wird auch heiße Luft und Rauch über dieses Kanalsystem nach außen befördert. Die Abluftmenge von $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ist so gewählt, dass sich der

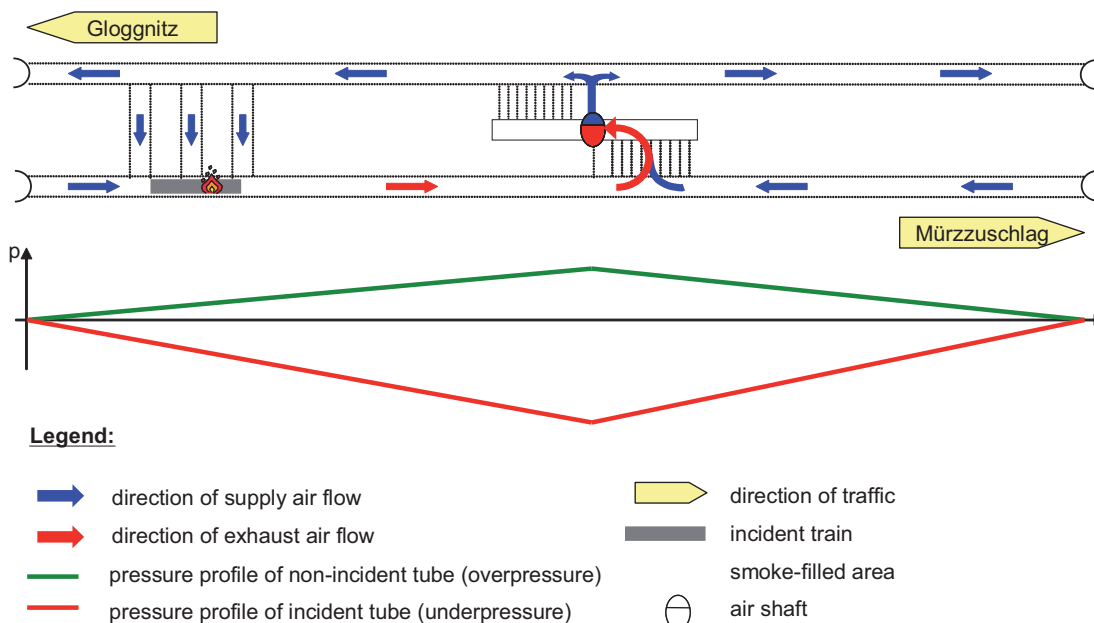


Fig. 5. Ventilation scheme and pressure profile for an incident with a train stopping outside the emergency station (red = incident tube, green = opposite tube)

Bild 5. Lüftungsschema und Druckprofil bei einem Ereignis mit Halt außerhalb der Nothaltestelle (rot = Ereignisröhre, grün = Gegenröhre)

cident tube from the other and prevents smoke from entering the safe area.

Ventilation in normal operation and for maintenance work

In normal operation, no active ventilation is intended in the New Semmering Base Tunnel. The piston effect of the trains will cause a flow of air along the running tunnels and so produce a continuous exchange of air during operation. In comparison to the flow of air induced by the trains, the wind, and also thermal and barometrically caused pressure differences between the two portals, have an insignificant effect on the air flow in the tunnel during operation. This ensures that the waste heat produced in the tunnel can be extracted in sufficient quantities.

For maintenance work, one tunnel tube will be completely closed. Pollutants produced by working machines, e.g. diesel emissions from engines, must be sufficiently thinned and transported out of the tunnel system. This can be done with the same ventilation system, which is available in case of incident. Polluted air can be extracted to the outside at the emergency station.

3.2 Design of ventilation

There must be a sufficient positive pressure in safe area in comparison to the incident tube to ensure that smoke cannot cross over when the cross passages and escape passages are open. The larger the air supply and extract quantities are designed, the larger is the pressure difference between refuge room and emergency station platform, or between the two tubes. The maximum possible air quantities are, however, limited:

- *Supply*: The air flow speed in the escape area cannot be allowed to become so high, even in unfavourable cases, that it impairs the escape procedure or the smoke layering is impaired by high sideways inflows.
- *Extract*: The extract quantity should not lead to too high velocities along the incident tube, so that, in case of an incident with a train stopping outside the emergency station, the smoke does not propagate unnecessarily quickly and the smoke layering is impaired as little as possible. There is also a limitation of the extracted quantity through the available cross-sections in the refuge room (pressure loss).

Air supply quantity in the emergency station

The air supply quantity was designed so that a flow velocity of 2.5 m/s will be produced through the nine escape doors, which each have a cross-sectional area of 4.4 m². This means that a reserve is provided compared to the minimum required flow velocity determined over the cross-section of an escape door.

Higher air supply quantities were not designed, although this would further reduce the danger of smoke entering the escape area. An excessively high sideways flow can unfavourably influence the smoke layering in the emergency station. Because the waiting room is also protected by the door layers of the transition area, a further increase of the air supply quantity would only result in slightly better protection of the safe area, but could in some circumstances markedly worsen the conditions on the platform.

Rauch im Tunnelsystem nicht weiter ausbreiten kann. Aus Redundanzgründen werden die Zuluft und die Abluft von jeweils drei Ventilatoren gefördert.

Ereignis mit Zughalt außerhalb der Nothaltestelle

Falls ein brennender Zug außerhalb der Nothaltestelle zum Stehen kommen sollte, bleibt die Absaugung im Bereich der Nothaltestelle in Betrieb. Die Zuluft wird in diesem Fall über einen speziellen Entlastungsstollen in die Gegenröhre geführt und die Fluchttüren in der Nothaltestelle werden wieder geschlossen.

Durch die Kombination der Abluft von 250 m³/s aus der Ereignisröhre und der Zuluft von 100 m³/s in die Gegenröhre entsteht in der Ereignisröhre ein Unterdruck gegenüber der Gegenröhre (Bild 5). Beim Öffnen einer gesamten Querschlags (2 Türen) stellt sich aufgrund der Druckdifferenz eine Strömung von der Gegenröhre in Richtung Ereignisröhre ein, die einen Rauchübertritt in den sicheren Bereich verhindert.

Lüftung im Normalbetrieb und bei Instandhaltungsarbeiten

Im Normalbetrieb ist für den Semmering-Basistunnel neu keine aktive Lüftung vorgesehen. Durch den Kolbeneffekt der Züge stellt sich in den Fahrtunneln eine Längsströmung ein, die während der Betriebszeiten zu einem kontinuierlichen Luftaustausch führt. Gegenüber der zuginduzierten Strömung haben sowohl Wind als auch thermisch oder barometrisch bedingte Druckdifferenzen zwischen den beiden Portalen nur einen untergeordneten Einfluss auf die Tunnelströmung während des Betriebs. Damit ist sichergestellt, dass die im Tunnel anfallende Abwärme in ausreichendem Maß abtransportiert wird.

Für Instandhaltungsarbeiten wird eine Tunnelröhre komplett gesperrt. Anfallenden Schadstoffe von eingesetzten Arbeitsmaschinen, z.B. Dieselemissionen von Zugfahrzeugen, müssen in ausreichendem Maß verdünnt und aus dem Tunnelsystem abtransportiert werden. Dazu können dieselben Lüftungsanlagen, die für die Ereignisfalllüftung zur Verfügung stehen, genutzt werden. Die belastete Luft kann im Bereich der Nothaltestelle nach Außen abgeführt werden.

3.2 Bemessung der Lüftung

In den sicheren Bereichen muss ein ausreichender Überdruck gegenüber der Ereignisröhre herrschen, damit bei offenen Querschlägen und Fluchtstollen ein Rauchübertritt verhindert wird. Je größer die Zu- und Abluftmengen gewählt werden, desto größer ist auch die Druckdifferenz zwischen Rettungsraum und Nothaltebahnsteig bzw. zwischen den beiden Röhren. Allerdings sind die maximal möglichen Luftmengen begrenzt:

- *Zuluft*: Die Strömungsgeschwindigkeit im Fluchtbereich darf auch in ungünstigen Fällen nicht so hoch werden, dass sich eine Beeinträchtigung des Fluchtvorgangs ergibt oder die Rauchsichtung durch hohe, seitliche Einströmungen in der Nothaltestelle beeinträchtigt wird.
- *Abluft*: Die Abluftmenge sollte zu keinen zu hohen Längsgeschwindigkeiten in der Ereignisröhre führen, damit sich der Rauch bei einem Ereignis mit Halt außer-

Extract quantity in the emergency station

Various aspects also have to be considered for the determination of the extract quantity. In case of an incident where a train stops at the emergency station, there should be no airflow back out of the emergency station, even if the portal pressure difference is high or if a fan stops. The extract quantity must therefore be greater than the supply quantity, because otherwise a flow would be caused from the emergency station towards the portals. The extract quantity is also to be designed to ensure a sufficiently high flow velocity through open cross passages, even near the outermost cross passages, so that smoke transfer can be prevented even under unfavourable conditions.

It is also the case here that if the air quantities are too high, the result is a worsening of the overall situation. The maximum possible extract air quantity must be limited to prevent excessively high flows along the incident tube (rapid smoke propagation, impairment of the smoke layering).

The chosen extract quantity of $250 \text{ m}^3/\text{s}$ is a compromise between these contradictory requirements. The choice of this value was checked with 1D and 3D simulations.

3.3 Event tree analysis for smoke transfer into the farthest cross passages

Minimum required throughflow velocity

It is not possible to rely entirely on the lock effect of the two doors in the cross passages to prevent smoke entering through the cross passages. With the high number of passengers who could be on one train, it must be assumed that both escape doors of a cross passage will be open at the same time for fairly long periods of time and thus lose the effect of a lock in terms of fire protection. A minimal throughflow velocity is therefore necessary through the open escape doors in order to prevent smoke transfer. A throughflow velocity of 2 m/s is normally used for design purposes with a maximum heat release rate of 20 MW [5]. With this value and the chosen ventilation system, very high extract air quantities would result with correspondingly high velocity of flow along the incident tunnel on account of the reducing pressure difference near the portals.

Test criterion

Based on a maximum heat release rate for a train fire of 28 MW , as was assumed for the New Semmering Base Tunnel, a throughflow velocity of at least 1.5 m/s (on the fire side) or at least 1.0 m/s (on the side without smoke), averaged over the cross-section of an escape door with two cross passages open at the same time, was decided as the test criterion. As laid down in comparable rules [6] [7] [8], the minimum throughflow velocities must be reached in at least 95 % of cases. It is therefore knowingly accepted that under unfavourable conditions a certain amount of smoke transfer to the safe area cannot be fully ruled out. In exchange, however, the velocities along the incident tunnel will be in a considerably more favourable range.

The test criterion is based on 3D-CFD simulations, which investigated the smoke ingress at various throughflow velocities and flows along the tunnel. The evaluated factors were the flow velocities, temperatures and the ex-

halb der Nothaltestelle nicht unnötig schnell ausbreitet und damit die Rauchsichtung möglichst nicht beeinträchtigt wird. Weiter ergibt sich eine Beschränkung der Abluftmenge durch die zur Verfügung stehenden Querschnitte im Rettungsraum (Druckverluste).

Zuluftmenge in der Nothaltestelle

Die Zuluftmenge wurde so festgelegt, dass sich durch die neun Fluchttüren, die einen Querschnitt von je $4,4 \text{ m}^2$ aufweisen, eine Strömungsgeschwindigkeit von durchschnittlich $2,5 \text{ m/s}$ einstellt. Damit ist eine Reserve gegenüber der minimal erforderlichen, über den Querschnitt einer Fluchttüre gemittelten Strömungsgeschwindigkeit eingeplant.

Auf höhere Zuluftmengen wurde verzichtet, obwohl damit die Gefahr eines Raucheintrags in den Fluchtbereich weiter vermindert werden könnte. Durch eine zu hohe seitliche Einströmung kann die Rauchsichtung in der Nothaltestelle ungünstig beeinflusst werden. Da der Warteraum zusätzlich noch durch die Türebene des Übergangsbereichs geschützt ist, würde durch eine weitere Erhöhung der Zuluftmenge nur ein geringfügig höherer Schutz des sicheren Bereichs resultieren, die Verhältnisse auf dem Bahnsteig unter Umständen aber markant verschlechtert werden.

Abluftmenge in der Nothaltestelle

Für die Festlegung der Abluftmenge sind ebenfalls verschiedene Aspekte gegeneinander abzuwägen. Bei einem Ereignis mit Halt in der Nothaltestelle soll sich auch bei hohen Portaldruckdifferenzen oder beim Ausfall eines Ventilators keine Rückströmung von Rauch aus der Nothaltestelle ergeben. Die Abluftmenge muss deshalb größer sein als die Zuluftmenge, da sich sonst eine Strömung von der Nothaltestelle in Richtung der Portale einstellen würde. Zudem ist die Abluftmenge so zu wählen, um bei einem Ereignis mit Halt außerhalb der Nothaltestelle auch im Bereich der äußersten Querschläge noch eine ausreichend hohe Strömungsgeschwindigkeit durch offene Querschläge zu gewährleisten, sodass ein Rauchübertritt auch unter ungünstigen Randbedingungen möglichst verhindert wird.

Auch hier gilt, dass sich mit zu großen Luftmengen eine Verschlechterung der Gesamtsituation ergibt. Die maximal mögliche Abluftmenge muss beschränkt werden, um zu verhindern, dass sich in der Ereignisröhre zu hohe Längsströmungen ergeben (schnelle Rauchausbreitung, Beeinträchtigung der Rauchsichtung).

Die gewählte Abluftmenge von $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ist ein Kompromiss zwischen diesen widersprüchlichen Anforderungen. Die Wahl dieses Werts wurde mittels 1D- und 3D-Simulationen überprüft.

3.3 Ereignisbaumanalyse zum Rauchübertritt in den äußersten Querschlägen

Minimal erforderliche Durchströmungsgeschwindigkeit

Zur Verhinderung eines Rauchübertritts über die Querschläge kann nicht ausschließlich auf die Schleusenwirkung der beiden Türen in den Querschlägen gesetzt werden. Bei den großen Personenzahlen, die sich in einem Zug befinden können, muss davon ausgegangen werden,

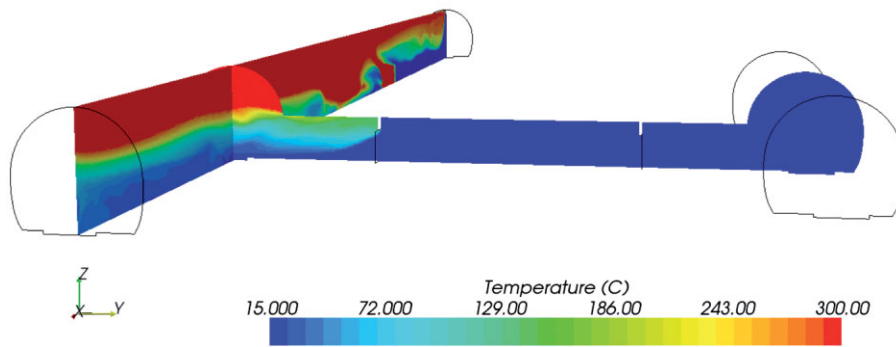


Fig. 6. Example of a case where no smoke transfer occurs into the opposite tube (temperature in the incident tube and in the cross passage for a velocity of the flow along the tunnel and throughflow both 1.5 m/s).

Bild 6. Beispiel für einen Fall bei dem kein Rauchübertritt in die Gegenröhre erfolgt (Temperatur in der Ereignisröhre und im Querschlag für eine Geschwindigkeit der Längsströmung und einer Durchströmungsgeschwindigkeit von je 1,5 m/s).

tion coefficient in the incident tunnel and in the cross-cut. Figure 6 shows an example of the temperature distribution in the tunnel and in the cross passage for a flow along the tunnel at 1.5 m/s and a flow velocity through the cross passage also of 1.5 m/s. At these flow velocities, smoke ingress into the cross passage will be securely prevented under the given conditions.

Event tree analysis

Compliance with the test criterion was tested through an event tree analysis. The settled throughflow velocities in the stationary condition in the open cross passages were calculated using 1D simulations for a wide spectrum of scenarios (extract quantity 250 m³/s and air supply quantity in the opposite tube 100 m³/s). The following influential parameters were varied:

- *Location of the incident train in the tunnel:* On account of the pressure profile, considerably higher throughflow velocities occur during incidents, where a train stops inside the tunnel, than near the portals. Five different locations of the incident train were investigated (entry portal, middle of tunnel, near the exit portal, exit portal). The probability of each stopping place was taken to be proportional to the section length.
- *Heat release rate:* The level of the heat release rate determines the temperature difference between incident tube and the safe opposite tube. The larger this difference is, the more smoke transfer is to be expected. The calculations were carried out for four different heat release rates (5, 10, 20 and 28 MW). Each of these heat release rates was assigned a different probability of occurrence (10%, 40%, 30%, 20%).
- *Portal pressure difference:* The pressure difference between the portals has an effect on the air flow velocities in the tunnel and thus also on the pressure profile in the two tunnel tubes. Five different portal pressure differences were investigated. The probabilities were determined from meteorological data.

The event tree used is shown in Figure 7. The chosen probabilities of occurrence produce the result that the throughflow velocity is higher than 1.5 m/s in practically 100 % of the cases. Even if the individual probabilities of occurrence are varied (parameter study), the picture is not changed significantly. The test criterion is thus complied with.

dass beide Fluchttüren eines Querschlags über einen längeren Zeitraum gleichzeitig geöffnet sind und damit die brandabschnittbildende Wirkung der Schleuse aufgehoben wird. Es ist deshalb eine minimale Durchströmungsgeschwindigkeit durch die offenen Fluchttüren erforderlich, um einen Rauchübertritt zu verhindern. Üblicherweise wird bei einer maximalen Energiefreisetzungsrate von 20 MW eine minimale Durchströmungsgeschwindigkeit von 2 m/s als Bemessungsgröße verwendet [5]. Bei diesem Wert würden sich beim gewählten Lüftungssystem aufgrund der abnehmenden Druckdifferenz im Bereich der Portale sehr hohe Abluftmengen mit entsprechend hohen Längsgeschwindigkeiten im Ereignistunnel ergeben.

Prüfkriterium

Auf der Basis der für den Semmering-Basistunnel neu verwendeten maximalen Energiefreisetzungsrate bei einem Zugbrand von 28 MW (Bemessungsbrand) wurde deshalb als Prüfkriterium eine über den Querschnitt einer Fluchttüre gemittelte Durchströmungsgeschwindigkeit von mindestens 1.5 m/s (auf der Brandseite) bzw. mindestens 1.0 m/s (auf der nicht verrauchten Seite) bei zwei gleichzeitig offenen Querschlägen festgelegt. In Anlehnung an vergleichbare Vorgaben [6] [7] [8] müssen die minimalen Durchströmungsgeschwindigkeiten in mindestens 95 % der Fälle erreicht werden. Es wird also bewusst in Kauf genommen, dass unter ungünstigen Randbedingungen ein gewisser Rauchübertritt in den sicheren Bereich nicht vollständig ausgeschlossen ist. Dafür wird aber erreicht, dass die Längsgeschwindigkeiten im Ereignistunnel in allen Fällen in einem deutlich günstigeren Bereich liegen.

Das Prüfkriterium basiert auf 3D-CFD-Simulationen, mit denen der Raucheintritt bei unterschiedlichen Durchströmungsgeschwindigkeiten und Tunnellängsströmungen untersucht wurde. Ausgewertet wurden dabei die Strömungsgeschwindigkeiten, Temperaturen und der Extinktionskoeffizient in der Ereignisröhre und im Querschlag. In Bild 6 ist ein Beispiel für die Temperaturverteilung im Tunnel und im Querschlag für eine Tunnellängsströmung von 1,5 m/s und eine Durchströmungsgeschwindigkeit durch den Querschlag von ebenfalls 1,5 m/s dargestellt. Bei diesen Strömungsgeschwindigkeiten wird ein Raucheintritt in den Querschlag unter den gegebenen Randbedingungen sicher verhindert.

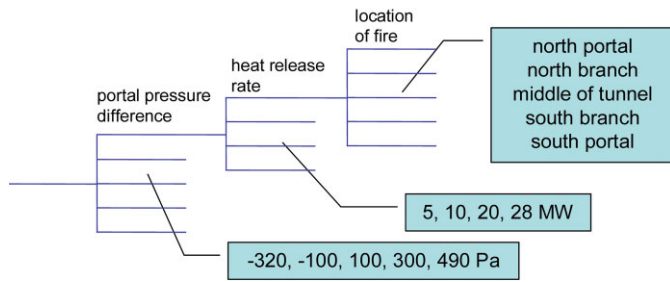


Fig. 7. Schematic diagram of the event tree used
Bild 7. Schematische Darstellung des verwendeten Ereignisbaumes

3.4 Extracting smoke from the emergency station

There is currently no uniform state of the technology for removing smoke from underground emergency stations. Therefore the design of the extraction system has to be decided for each tunnel based on project-specific protection goals and ventilation criteria. The main emphasis is normally the improvement of the visual conditions on the platform of the emergency station in order to support the evacuation of a train. Thus, for the long tunnels crossing the Alps (Lötschberg Base Tunnel, Gotthard Base Tunnel, Brenner Base Tunnel), a number of extract openings have been installed along the length of the emergency station.

Influence of the smoke trail

Basically, two different sources of smoke have to be considered for the design of smoke extraction. The largest smoke production comes directly from the train standing at the emergency station. Because of the high heat release rates to be expected, high temperatures have to be reckoned with. It can therefore be assumed that the smoke gases are layered and can be extracted through ducts in the ceiling. It should also be noted that smoke continues to flow out of the tunnel section having been produced there by the arriving train and being sucked in to the emergency station by the flow caused by the train and by the extract fans. The smoke gases in this smoke trail are very considerably thinned and thus also cooled, so layering of the smoke in this area cannot be expected (Figure 8).

There are thus two different requirements for the design of the smoke extraction in the emergency station:

- Extraction of the layered smoke gases produced in the emergency station,
- Prevention of the unlayered smoke trail entering the emergency station.

Smoke extraction variants

Two possible smoke extraction systems were investigated with the help of 1D simulations based on a variant study,

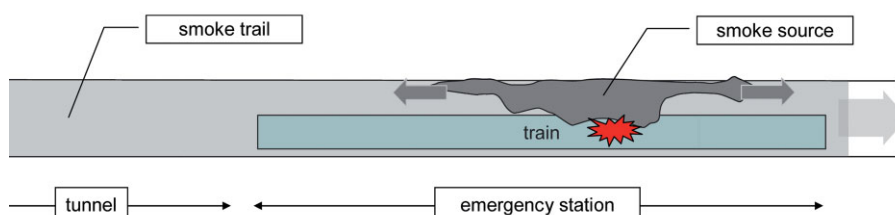


Fig. 8. Sources of smoke propagation in the emergency station
Bild 8. Quellen der Rauchausbreitung in der Nothaltestelle

Ereignisbaumanalyse

Die Einhaltung des Prüfkriteriums wurde mittels einer Ereignisbaumanalyse überprüft. Dabei wurde für ein breites Spektrum an Szenarien die sich im stationären Zustand in den offenen Querschlüssen einstellende Durchströmungsgeschwindigkeit mittels 1D-Simulationen berechnet (Absaugmenge 250 m³/s und Zuluftmenge in die Gegenröhre 100 m³/s). Die folgenden Einflussparameter wurden variiert:

- *Lage des Ereigniszuges im Tunnel:* Aufgrund des Druckprofils treten bei Ereignissen, bei denen der Zug im Innern des Tunnels zum Stehen kommt, deutlich höhere Durchströmungsgeschwindigkeiten auf als im Portalbereich. Es wurden fünf verschiedene Standorte des Ereigniszugs (Einfahrtsportal, portalnaher Bereich beim Einfahrtsportal, Tunnelmitte, portalnaher Bereich beim Ausfahrtsportal, Ausfahrtsportal) untersucht. Die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Halteorte wurde proportional zur Abschnittslänge gewählt.
- *Energiefreisetzungsrates:* Die Höhe der Energiefreisetzungsrates bestimmt die Temperaturdifferenz zwischen Ereignisröhre und der sicheren Gegenröhre. Je größer diese Differenz ist, desto eher muss mit einem Rauchübertritt gerechnet werden. Die Berechnungen wurden für vier verschiedene Energiefreisetzungsrates (5, 10, 20 und 28 MW) durchgeführt. Jeder dieser Energiefreisetzungsrates wurde eine n unterschiedliche Eintretenswahrscheinlichkeit (10%, 40%, 30%, 20%) zugeordnet.
- *Portaldruckdifferenz:* Die Druckdifferenz zwischen den Portalen hat einen Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeiten im Tunnel und damit auch auf die Druckprofile in den beiden Tunnelröhren. Es wurden fünf verschiedene Portaldruckdifferenzen untersucht. Die Wahrscheinlichkeiten wurden aufgrund von meteorologischen Daten bestimmt.

Der verwendete Ereignisbaum ist in Bild 7 dargestellt. Bei den gewählten Eintretenswahrscheinlichkeiten ergibt sich, dass in praktisch 100 % der Fälle die Durchströmungsgeschwindigkeit größer als 1,5 m/s ist. Auch wenn die einzelnen Eintretenswahrscheinlichkeiten variiert werden (Parameterstudie) ergibt sich kein wesentlich anders Bild. Das Prüfkriterium ist damit deutlich erfüllt.

3.4 Entrauchung der Nothaltestelle

Für die Entrauchung von unterirdischen Nothaltestellen in langen Eisenbahntunneln besteht derzeit kein einheitlicher Stand der Technik. Daher muss die Gestaltung der Absaugung für jeden Tunnel auf Grundlage projektspezifischer Schutzziele und Lüftungskriterien festgelegt werden. Dabei steht in der Regel die Verbesserung der Sichtverhältnisse auf dem Bahnsteig der Nothaltestelle im Vordergrund, um die Evakuierung eines Zuges zu unterstützen.

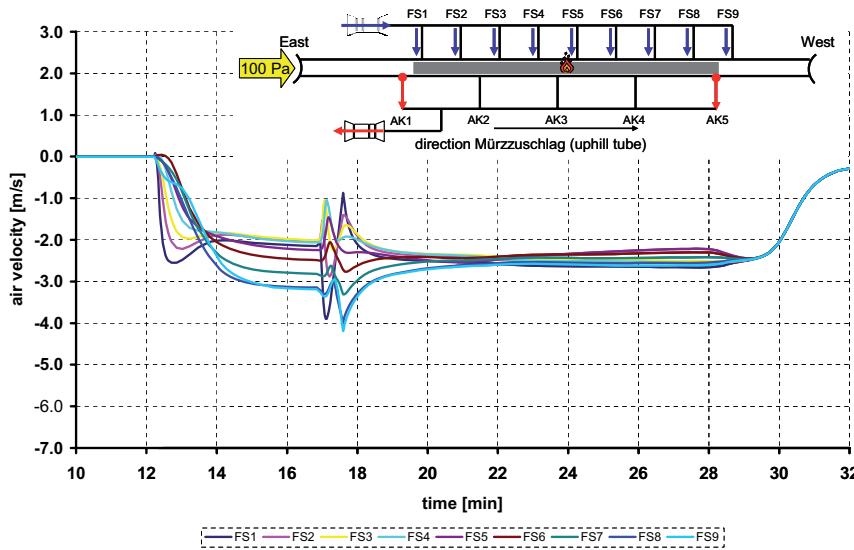


Fig. 9. Flow velocities in the nine escape passages for the variant with two extraction locations

Bild 9. Strömungsgeschwindigkeiten in den neun Fluchtstollen für die Variante mit zwei Absaugstellen

and these are still currently being investigated in more detail.

- *Extraction at the ends of the platform:* Two extract locations at each end of the emergency station (Figure 9),
- *Distributed extraction:* Five extract locations along the emergency station.

The two smoke extraction variants mainly differ in that penetration of smoke from the smoke trail can no longer be prevented with certainty by the distributed variant. With the two-ends variant, in contrast, the entire emergency station can be filled with smoke in some cases (fire in the middle of the emergency station).

4 Conclusions

There are still no guidelines or rules for the ventilation of rail tunnels at the moment. Particular requirements were therefore derived from specific protection goals for the design of the emergency ventilation and the ventilation system, and these were defined in the Tunnel Safety Concept for the New Semmering Base Tunnel. The uppermost goal is to keep the safe areas (waiting area in the emergency station, the other tube, portals) free of smoke.

Investigations are still continuing to find the system best suited for smoke extraction from the emergency station of the New Semmering Base Tunnel. As a result of the work so far, the smoke trail following out of the tunnel is also being taken into account in the evaluation of the two variants.

The methodical approach can prevent single critical scenarios, like smoke being transferred out of the furthest cross passages when a train is on fire near the portal, being weighted too heavily in the design of the ventilation system. Instead of the ventilation system being designed to cope with isolated extreme events, this achieves an optimisation of the entire system.

References

- [1] Technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich „Sicherheit in Eisenbahntunneln“. Entscheidung der Kommission vom 20.12.2007.
- [2] Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen, Hochleistungsstrecken. Stand Mai 2002.

Bei den langen alpenquerenden Tunneln (Lötschberg-Basistunnel, Gotthard-Basistunnel, Brenner-Basistunnel) werden daher mehrere, über die Länge der Nothaltestelle verteilte Absaugöffnungen eingesetzt.

Einfluss der Rauchsleppe

Grundsätzlich sind bei der Konzeption der Entrauchung zwei verschiedene Rauchquellen zu beachten. Der größte Raucheintrag erfolgt direkt durch den in der Nothaltestelle stehenden Zug. Aufgrund der zu erwartenden hohen Energiefreisetzungsrate muss dabei mit entsprechend hohen Temperaturen gerechnet werden. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Rauchgase geschichtet sind und über Kanäle im Deckenbereich abgesaugt werden können. Zusätzlich ist aber auch zu beachten, dass aus dem Tunnel Rauch nachströmt, der dort vom anfahrenen Zug deponiert wurde und durch die zuginduzierte Strömung und die Absaugung weiter in Richtung Nothaltestelle verschleppt wird. Die Rauchgase in dieser Rauchsleppe sind stark verdünnt und damit auch abgekühlt. Von einer Schichtung der Rauchgase in diesem Bereich kann deshalb nicht ausgegangen werden (Bild 8).

Für die Konzeption der Entrauchung in der Nothaltestelle ergeben sich damit zwei unterschiedliche Anforderungen:

- Absaugung der in der Nothaltestelle produzierten und geschichteten Rauchgase,
- Verhindern eines Eindringens der ungeschichteten Rauchsleppe in die Nothaltestelle.

Entrauchungsvarianten

Auf Basis einer Variantenstudie wurden mit Hilfe von 1D-Simulationen zwei mögliche Entrauchungssysteme ausgewählt, die derzeit noch näher untersucht werden.

- *Absaugung an den Kopfenden:* Zwei Absaugstellen an den Enden der Nothaltestelle (Bild 9),
- *Verteilte Absaugung:* Fünf Absaugstellen über die Nothaltestelle.

Die beiden Entrauchungsvarianten unterscheiden sich hauptsächlich darin, dass bei der verteilten Absaugung ein Eindringen von Rauch aus der Rauchsleppe nicht sicher verhindert werden kann. Bei der Variante mit zwei Ab-

- [3] Richtlinie „Bau und Betrieb von neuen Eisenbahntunneln bei Haupt- und Nebenbahnen; Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes“. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, 1. Ausgabe 2000 (Umsetzung in Abstimmung mit den derzeitigen Strategien bei Neubautunneln).
- [4] UIC – Kodex 779-9E, Sicherheit in Eisenbahntunneln. 1. Ausgabe August 2003.
- [5] Tarada, F.: Critical velocity for smoke control in Tunnel cross passages. First International Conference of Major Tunnel and Infrastructure projects, Mai 2000, Taipeh, Taiwan.
- [6] RVS 09.02.31, Tunnelausrüstung, Belüftung, Grundlagen.
- [7] ASTRA Richtlinie 13002: Lüftung der Sicherheitsstollen von Straßentunneln. Bundesamt für Straßen, Ausgabe 2008, V1.00.
- [8] ASTRA Richtlinie 13001: Lüftung der Straßentunnel, Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung. Bundesamt für Straßen, Ausgabe 2008, V2.00.



Dr. Rudolf Bopp
rudolf.bopp@gruner.at



Dipl.-Ing. Verena Langner
verena.langer@gruner.at

Both:
Gruner GmbH Ingenieure und Planer
Brückengasse 11/28
A-1060 Vienna
Austria



Dipl.-Ing. Christof Neumann
ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH
Harrachstraße 26
A-4020 Linz
Austria
christof.neumann@ilf.com



Dipl.-Ing. Oliver K. Wagner
ÖBB-Infrastruktur AG
Griesgasse 11
A-8020 Graz
Austria
oliverkai.wagner@oebb.at

saugstellen kann hingegen in einigen Fällen (Brand in der Mitte der Nothaltestelle) die gesamte Nothaltestelle ver- rauchen.


4 Schlussfolgerungen

Für die Lüftung von Eisenbahntunneln gibt es derzeit noch keine Richtlinien oder Vorgaben. Für die Konzeption der Ereignisfalllüftung und für die Bemessung der Lüftungsanlagen wurden deshalb besondere Anforderungen abgeleitet, die auf spezifischen Schutzziele basieren, die im Tunnelsicherheitskonzept für den Semmering-Basistunnel neu definiert wurden. Im Vordergrund steht dabei das Ziel, die sicheren Bereiche (Warteraum der Nothaltestelle, Gegenröhre, Portale) rauchfrei zu halten.

Das für den Semmering-Basistunnel neu am besten geeignete System zur Entrauchung der Nothaltestelle wird derzeit noch untersucht. Bei der Bewertung der beiden Varianten wird aufgrund der bisherigen Untersuchungen auch die aus dem Tunnel nachströmende Rauchschleppe berücksichtigt werden.

Durch den methodischen Ansatz kann verhindert werden, dass bei der Bemessung der Lüftungsanlagen einzelne kritische Szenarien wie ein Rauchübertritt über die äußersten Querschläge bei einem Brand eines Zuges im Portalbereich zu stark gewichtet werden. Anstatt das Lüftungssystem auf einzelne Extremszenarien zu bemessen wird so eine Optimierung des Gesamtsystems erreicht.

www.ilf.com



ENGINEERING EXCELLENCE

ILF is an international engineering and consulting firm and helps demanding customers successfully execute major industrial and infrastructure projects.

TUNNELLING

Design, Geology, Geotechnics, Safety- and Project Management and Construction Supervision of more than 1000 km of tunnels, adits and caverns

Milestone Railway Projects:

- Semmering Base Tunnel, 37 km, Austria
- Koralm Railway (Untersammelsdorf Tunnel 665 m) using jet grouting method, Austria
- Koralm Tunnel, 33 km, Austria
- Gotthard Base Tunnel, 57 km, Switzerland
- Brenner Base Tunnel, 55 km, Austria / Italy
- Wienerwald Tunnel, 13 km, Austria
- Jubilee Line Extension, Subway, 16 km, United Kingdom
- Union Square / Market Street Station, Muni Metro, San Francisco, USA
- Metro Warsaw Line 2, 7 km, Poland
- Copenhagen Metro, 15 km, Denmark

ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH
 Feldkreuzstrasse 3 Phone 0043 / 512 / 24 12 - 0
 6063 Rum / Innsbruck Fax 0043 / 512 / 24 12 - 5900
 Austria Email info@ilf.com

