

Neue alpendurchquerende Bahntunnel in Europa

Gegenüberstellung von bauwerks- und ausrüstungsspezifischen Merkmalen der neuen alpendurchquerenden Bahntunnel in Frankreich, Italien, Österreich und der Schweiz

Von Christoph Rudin und Dr. Peter Reinke

Einleitung

Der Basistunnel Lyon-Turin (BLT) der Strecke Lyon-Turin, der Brenner Basistunnel (BBT) der Strecke München-Verona, der Gotthard Basistunnel (GBT) der Strecke Zürich-Mailand und der Lötschberg Basistunnel (LBT) der Bern-Lötschberg-Simplon-Linie sind Tunnelgrossprojekte, die wesentlich zur Verbesserung des europäischen Eisenbahnverkehrs in Nord-Süd-Richtung beitragen. Sie sollen eine Verlagerung des Schwerlastverkehrs von der Strasse auf die Schiene und eine Beschleunigung des Personenverkehrs bewirken.



Abbildung 1: Neue europäische Eisenbahntransitverkehrsleitungen in Nord-Süd-Richtung.

Die Basistunnel weisen je nach geologischen und umweltpolitischen Randbedingungen sowie verkehrstechnischen und politischen Vorgaben

bauwerks- und ausrüstungsspezifische Merkmale auf. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden im folgenden Artikel insbesondere hinsichtlich der Tunnelsysteme, der Tunnelkonfigurationen, der Lüftung und der Sicherheit ausführlich beschrieben und erläutert.

Systemübersicht

Basistunnel Lyon - Turin

Der 53.1 km lange Basistunnel besteht aus einem System mit zwei eingleisigen Tunnelröhren, die mit Querschlägen verbunden sind.

Eine Rettungsstation befindet sich bei Modane-bis. Interventionsstellen befinden sich bei Saint Jean-de-Maurienne, la Praz und Venus.

Die Rettungsstation und die Interventionsstellen beinhalten Nothaltestellen für die Rettung der Passagiere von havarierten Zügen. Die Rettungsstation und die Interventionsstellen sind jeweils durch einen befahrbaren Zufahrtstunnel erschlossen. Die Rettungsstation Modane-bis ist speziell für die Rettung von Passagieren eines havarierten Reisezuges ausgestattet und wird zusätzlich mit zwei Überholgleisen ergänzt.

New Railway Base Tunnels through the European Alps

In France, Italy, Austria and Switzerland new efficient railway lines are designed, under construction or in operation. The new railway lines are intended to shift passenger and freight traffic from road to rail. Moreover, the travel time by train between the cities along the lines may be reduced significantly. The main elements of the new lines are the long base tunnels. The construction and the technical installation of the tunnels may be influenced by different boundary conditions in the field of geology, politics, traffic and safety. The structure and technical configuration of the tunnels, as well as the ventilation and the safety concept of the tunnels are described. The most significant differences between the tunnel projects are described and explained in detail.

Zur Verlagerung des Gütertransportes von der Strasse auf die Schiene und zur Verkürzung von Reisezeiten werden in Frankreich, Italien, Österreich und der Schweiz leistungsfähige Eisenbahnverbindungen geplant, gebaut oder schon genutzt. Das Kernstück dieser Verbindungen sind die langen alpendurchquerenden Basistunnel. Die Tunnel weisen je nach geologischen und umweltpolitischen Randbedingungen sowie verkehrstechnischen und sicherheitstechnischen Vorgaben bauwerks- und ausrüstungsrelevante Unterschiede auf. Die wesentlichen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Tunnel bezüglich der Systemwahl, der Trassierung, der baulichen und technischen Systemkonfiguration, der Tunnellüftung und des Sicherheitskonzepts werden im Folgenden beschrieben.

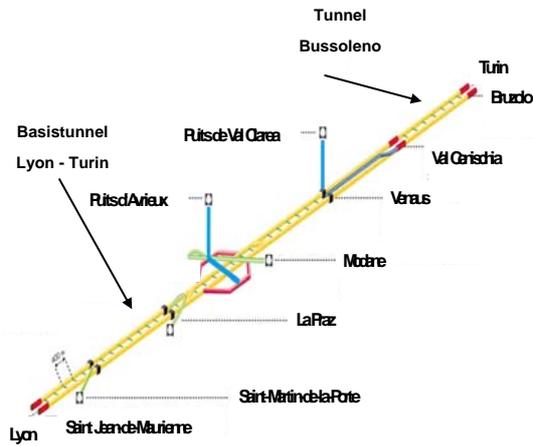


Abbildung 2: Basistunnel Lyon-Turin

Der Haupttunnel befindet sich zurzeit in Planung. Das Vorprojekt für die Hauptbaumaßnahmen wurde 2006 fertig gestellt. Mit den Bauarbeiten des Haupttunnels wird voraussichtlich frühestens 2010 begonnen. Mit den Bauarbeiten an den Zugangsstollen La Praz, Modane und Saint-Martin-de-la-Porte wurde bereits begonnen. Nach der geplanten Eröffnung des Tunnels im Jahr 2020 verkehren pro Tag 183 Züge (Reisezüge, Huckerpackzüge und Güterzüge) durch den Tunnel. Die Kosten für den Bau des Basistunnels inkl. des Tunnels Bussoleno werden voraussichtlich ca. 7.6 Mia. Euro betragen.

Brenner Basistunnel

Der 57 km lange Brenner Basistunnel besteht aus einem System mit zwei eingleisigen Tunnelröhren, die mit Querschlägen verbunden sind, sowie aus einem um ca. 10 m tiefer liegenden in der Mitte der beiden Haupttunnelröhren verlaufenden Entwässerungstollen.

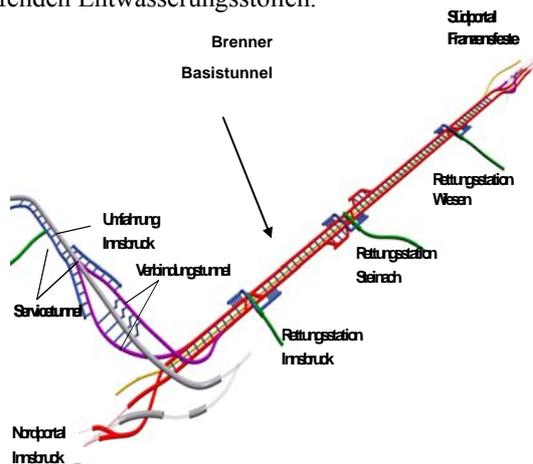


Abbildung 3: Brenner Basistunnel

Es sind drei Rettungsstationen geplant und zwar Umfahrung Innsbruck, Steinach und Wiesen,

Im Bereich der Rettungsstation südlich von Innsbruck befinden sich die Abzweigbereiche der Verbindungstunnel zur zweigleisigen Umfahrung Innsbruck, die seit den 90-er Jahren in Betrieb ist.

Die Rettungsstationen beinhalten Nothaltestellen für die Rettung der Passagiere von havarierten Zügen sowie Einrichtungen für den Betrieb und die Wartung. Die Rettungsstationen sind jeweils durch einen befahrbaren Zufahrtstunnel erschlossen. Die Rettungsstation Steinach wird zusätzlich mit zwei Überholgleisen ausgestattet.

Der Tunnel befindet sich zurzeit in Planung. Die Erstellung der Einreichoperatte für die Erwirkung der erforderlichen Genehmigungen für die Bauausführung in Italien und Österreich wurden 2006 abgeschlossen. Mit ersten Vorbereitungsarbeiten zur Baustellenerschliessung und zum Bau des Erkundungstollens wurde begonnen. Mit den Bauarbeiten des Haupttunnels kann frühestens 2009 begonnen werden. Nach der geplanten Eröffnung des Tunnels im Jahr 2018 verkehren pro Tag 264 Züge (Reisezüge, Huckerpackzüge und Güterzüge) durch den Tunnel. Die Kosten für den Bau des Tunnels betragen voraussichtlich ca. 5 Mia. Euro.

Gotthard Basistunnel

Der 57.1 km lange Gotthard Basistunnel besteht ähnlich wie der Brenner Basistunnel aus einem System mit zwei eingleisigen Tunnelröhren, die mit Querschlägen verbunden sind.

Je eine Rettungsstation ist in Sedrun und Faido geplant, die jeweils mit Überleitstellen ausgestattet werden.

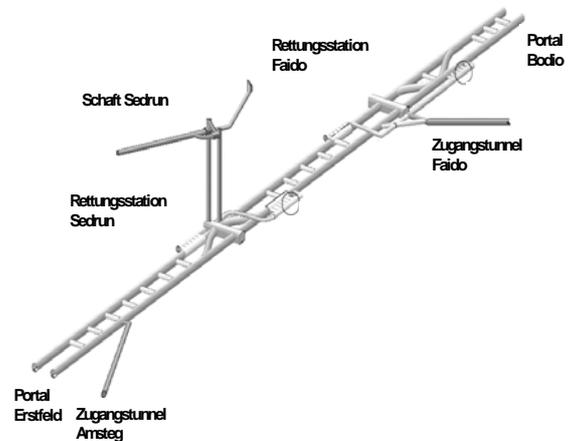


Abbildung 4: Gotthard Basistunnel

Die Rettungsstationen beinhalten Nothaltestellen für die Rettung der Passagiere von havarierten Zügen sowie Einrichtungen für den Betrieb. Je ein befahrbarer Zugangsstollen zum Tunnel befindet sich in Amsteg und Faido. Die Rettungsstation Sedrun ist über zwei vertikale Schächte erschlossen.

Der Basistunnel befindet sich zurzeit in der Bauphase. Zwei Drittel des Basistunnels sind ausgebrochen, und mit der Ausführung der ersten bahntechnischen Einrichtungen wird demnächst begonnen. Die Eröffnung des Tunnels ist im Jahr 2017 geplant. Nach der Eröffnung des Tunnels

verkehren pro Tag 322 Züge (Reisezüge, Huckepackzüge und Güterzüge) durch den Tunnel. Die Kosten für den Bau des Tunnels betragen voraussichtlich ca. 5.4 Mia. Euro.

Lötschberg Basistunnel

Das im Endausbau als zweiröhriger Tunnel geplante Projekt wurde im Rahmen von Einsparungen und einer verringerten Verkehrsprognose nur zum Teil realisiert. Der aktuelle Ausbauzustand des 34.6 km langen Lötschberg Basistunnels umfasst im Wesentlichen einen befahrbaren Einspurtunnel von Frutigen bis Ferden und auf 1/3 der Gesamtlänge, von Ferden bis Raron, zwei befahrbare Einspurtunnel. Der Lötschberg Basistunnel soll zu einem späteren Zeitpunkt zu einem durchgängig, mit zwei Einspurröhren, betriebenen Tunnelsystem ausgebaut werden.

Zwischen Frutigen und dem Fusspunkt des Zugangsstollens Mitholz verläuft nur eine Tunnelröhre. Der parallel dazu verlaufende Dienststollen Kandertal (ursprünglicher Sondierstollen) dient als Sicherheitsstollen und der Wasserableitung aus der Haupttunnelröhre. Die beiden Röhren sind durch Querschläge verbunden.

Vom Fusspunkt Mitholz bis zum Fusspunkt des Zugangsstollens Ferden werden zwei Tunnelröhren erstellt, jedoch wird nur die östliche für den Bahnbetrieb ausgerüstet. Da beide Tunnel im gleichen Querschnitt erstellt werden, ist eine nachträgliche bahntechnische Ausrüstung der westlichen Röhre möglich. Vom Fusspunkt des Zugangsstollens Ferden aus bis zum Portal Raron wird der Basistunnel als System mit zwei richtungsgetreten Einspurröhren gebaut und betrieben.

Die beiden Bahnröhren sind ebenfalls durch Querschläge verbunden.

Der Fensterstollen Steg dient in einer späteren Ausbauphase als Verbindungstunnel zur Autoverladestelle in Steg (Wallis).

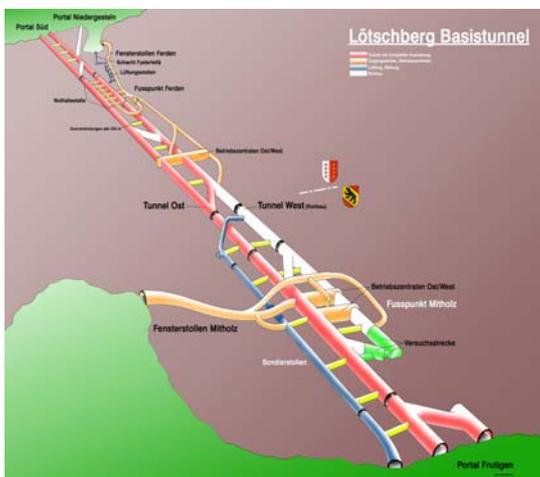


Abbildung 5: Lötschberg Basistunnel

Eine Rettungsstation bestehend aus Nothaltestellen für die Rettung der Passagiere von havarierten Zügen befindet sich im Bereich der Überleitstelle Ferden.

Die Bauarbeiten, der Einbau der bahntechnischen Einrichtungen und die Inbetriebnahme des Tunnels sind bereits erfolgt. Ab Mitte 2007 beginnt der reduzierte kommerzielle Betrieb. Die Aufnahme des fahrplanmässigen Betriebs ist im Dezember 2007 geplant. Nach der Aufnahme des fahrplanmässigen Betriebs des Tunnels verkehren pro Tag 110 Züge (Reisezüge, Huckepackzüge und Güterzüge) durch den Tunnel. Die Kosten für den Bau des Basistunnels betragen voraussichtlich ca. 2.6 Mia. Euro.

Systembeschreibungen der Tunnel

Systemwahl

Für alle Tunnel wurde ein aus zwei Einspurtunneln bestehendes, durch Rettungsstationen ergänztes Tunnelsystem gewählt. Dieses System entspricht den wirtschaftlichen, sicherheitstechnischen, betrieblichen und ökologischen Anforderungen. Der Doppelspurtunnel wurde aus Sicherheitsgründen (Erhaltungsarbeiten, Ereignisfall) in allen Projekten ausgeschlossen.

Trassierung

Die Trassierung aller Tunnel erfolgte nach den folgenden Grundsätzen:

- Entwurfsgeschwindigkeit von maximal 250 km/h
- Der durch eine europäische Richtlinie ("TSI" - technische Spezifikationen für Interoperabilität) im grenzüberschreitenden Hochgeschwindigkeitsverkehr spezifizierte Wert von maximal 12,5‰ Steigung
- Zulassung von Mischverkehr (Reise- und Güterzüge)

Die Linienführung der Tunnel wird weiter durch geologische, hydrologische, baubetriebliche, sicherheitstechnische, umwelttechnische und wirtschaftliche Erfordernisse, sowie durch die Erfordernisse der Lüftung und Instandhaltung bestimmt.

Beschreibung der Linienführung

Basistunnel Lyon-Turin

Das Nordportal bei Saint Jean-de-Maurienne liegt auf einer Höhe von 541 m.ü.M. Das Südportal bei Val Cenischia liegt auf einer Höhe von 570 m.ü.M. Der Scheitelpunkt liegt auf einer Höhe von 750 m.ü.M. Die Nordrampe hat eine maximale Neigung von 6.5 ‰ und die Südrampe hat eine maximale Neigung von 8.4 ‰. Der Abstand der

Längsachse der Einspurröhren beträgt im Regelfall 30 m.

Ungefähr 1 km nach dem Südportal erstreckt sich mit einer Länge von 12.2 km der aus zwei Einspurtunnel bestehende Tunnel Bussoleno mit einer maximalen Neigung von 12.4 ‰.

Brenner Basistunnel

Das Nordportal des Basistunnels, auf österreichischer Seite, liegt auf einer Höhe von 585 m.ü. M. Das Südportal, auf italienischer Seite, liegt auf einer Höhe von 748 m.ü.M. Der Scheitelpunkt liegt auf einer Höhe von 840 m.ü.M. Die Staatsgrenze Österreich – Italien verläuft im Tunnel. Ca. 60 % des Tunnels verlaufen auf österreichischem Staatsgebiet. Die Nordrampe hat eine maximale Neigung von 7.4 ‰ und die Südrampe hat eine maximale Neigung von 5 ‰. Der Abstand der Einspurröhren beträgt im Regelfall 65 m.

Zwischen dem Abzweigbereich der Verbindungstunnel und dem Portal Innsbruck befindet sich der Tunnelwechsel von Linksverkehr (Italien) auf Rechtsverkehr (Österreich).

Der nördliche Abschnitt des Brenner Basistunnels teilt sich in eine Anbindung an den Hauptbahnhof Innsbruck und eine Anbindung an die bestehende Umfahrung Innsbruck auf.

Der südliche Abschnitt des Brenner Basistunnels teilt sich in eine Abzweigung Franzensfeste für die Anbindung an die Bestandesstrecke und die Einfahrt in den Bahnhof Franzensfeste auf.

Gotthard Basistunnel

Das Nordportal bei Erstfeld liegt auf einer Höhe von 462 m.ü.M. Das Südportal bei Bodio liegt auf einer Höhe von 313 m.ü.M. Der Scheitelpunkt liegt auf einer Höhe von 550 m.ü.M. Die Nordrampe hat eine maximale Neigung von 4.1 ‰ und die Südrampe hat eine maximale Neigung von 6.8 ‰. Der Abstand der Einspurröhren beträgt im Regelfall 32 m.

Im Anschluss an das Südportal erstreckt sich mit einer Länge von 15.4 km der aus zwei Einspurtunnel bestehende Ceneri Basistunnel mit einer maximalen Neigung von 7 ‰.

Lötschberg Basistunnel

Das Nordportal bei Frutigen liegt auf einer Höhe von 777 m.ü.M. Das Südportal bei Raron liegt auf einer Höhe von 655 m.ü.M. Der Scheitelpunkt liegt auf einer Höhe von 828 m.ü.M. Die Nordrampe hat eine maximale Neigung von 8.3 ‰ und die Südrampe hat eine maximale Neigung von 10.3 ‰. Der Abstand der Einspurröhren beträgt im Regelfall 30 m.

Im Anschluss an das Südportal verläuft mit einer Länge von 19.8 km der aus zwei Einspurtunnel bestehende seit dem Jahr 1921 in Betrieb stehende Simplontunnel mit einer maximalen Neigung von 7 ‰.

Konfiguration des Systems und bautechnische Aspekte

Regelprofil

Die Mindestabmessungen des Regelprofils müssen den Anforderungen der eisenbahntechnischen Lichtraumprofile, der Aerodynamik und des Tunnelklimas entsprechen und den Einbau der technischen Anlagen berücksichtigen.

Aus Gründen der Interoperabilität wird in allen Tunneln das international vereinbarte Lichtraumprofil "UIC GC" vorausgesetzt. Je nach Tunnel gelten zusätzliche spezifische Anforderungen (Siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Lichtraumprofile

Tunnel	Lichtraumprofil
BLT	UIC GC, AF
BBT	UIC GC, RFI, AF, HL
GBT	UIC GC und EBV 4
LBT	UIC GC und Lötschberg Shuttle

Die vorhandenen Einbauten in den Bahntunneln unterscheiden sich je nach technischem Ausbaustandard und tunnelspezifischen Eigenschaften. Die wesentlichen, den Regelquerschnitt bestimmenden technischen Einbauten sind neben der Fahrbahn und der Fahrleitung, die seitlichen Bankette, der Kabelraum und das Entwässerungssystem. Beim Basistunnel Lyon-Turin muss zusätzlich Platz für Kühlrohrleitungen zur Beherrschung des Tunnelklimas, für Luftkanäle zur Belüftung der technischen Einrichtungen in den Querschlägen und beim Basistunnel Lyon-Turin und beim Brenner Basistunnel für eine Wasserleitung für die geplante Feuerlöschanlage entlang des Tunnels berücksichtigt werden. Im Brenner Basistunnel werden Teile des Entwässerungssystems in den parallel zu den Hauptröhren darunter verlaufenden Entwässerungsstollen (ehemaliger Erkundungsstollen) ausgelagert.

Der minimal erforderliche freie Tunnelquerschnitt, um den Luftwiderstand schneller Züge zu reduzieren, richtet sich einerseits nach dem medizinischen TSI-Grenzwert (≤ 10 kPa; [1]) und ggf. den Anforderungen zum Druckkomfort [4] und andererseits wird die erforderliche Tunnelquerschnittsfläche durch die verfügbare Leistung der Zugantriebssysteme bestimmt. In der Tabelle 2 ist der aerodynamische Widerstand der jeweiligen Tunnel, ausgedrückt in ‰ Tunnelneigung, für einen Reisezug mit 200 km/h und einer rollenden Landstrasse (ROLA) mit 120 km/h dargestellt.

Tabelle 2: Freie Tunnelquerschnittsfläche und aerodynamischer Widerstand im Tunnel für eine Tunneldurchfahrt eines Reisezuges und einer ROLA, ausgedrückt in ‰ Tunnelneigung.

Tunnel	F _{Air} [m ²]	Widerstand [‰]	
		Reisezug	ROLA
BLT	≥ 43.0	15.2	9.7
BBT	≥ 41.8	15.6	9.9
GBT	≥ 41.2	15.8	10.0
LBT	≥ 47.2	14.0	9.1

Der aerodynamische Widerstand im Tunnel ist bei dem Reisezug je nach Tunnel, ausgedrückt in ‰ Tunnelneigung, ca. 9 ‰ und bei der rollenden Autostrasse ca. 5 ‰ grösser als in der freien Umgebung.

Bei Zuggeschwindigkeiten von 250 km/h werden bei den typischen heutigen Zügen des Hochgeschwindigkeitsverkehrs die Grenzen der Antriebsleistung erreicht oder überschritten. Der erhöhte Bedarf für Antriebsleistung ist insbesondere das Ergebnis der angestrebten hohen Maximalgeschwindigkeit. Bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten verringert sich die erforderliche Antriebsleistung und der Energieverbrauch für eine Tunneldurchfahrt erheblich. Bei gleicher Fahrdauer beträgt der Energiebedarf bei Fahrten über die neuen Basistunnelstrecken nur einen Bruchteil im Vergleich zu den bestehenden Scheiteltunnelstrecken.

Das Erreichen der Entwurfsgeschwindigkeit und der maximal möglichen Lasten bei Güterzügen und gleichzeitig hohen Geschwindigkeiten mit heutigem Rollmaterial, hätte eine massive Vergrößerung des Regelprofils zur Folge und wäre unwirtschaftlich für das Projekt.

Querschläge

Die Querschläge haben folgende zwei Funktionen zu übernehmen:

- Fluchtverbindungen zwischen den beiden Tunnelröhren und
- Raum für die Installation der technischen Anlagen.

Der Abstand der für die bahntechnischen Anlagen benutzten Querschläge gemäss Tabelle 3 wird durch die nachfolgenden Kriterien beeinflusst und variiert in den einzelnen Tunnelprojekten je nach der zugrunde liegenden Bahntechnik.

- Die Sicherungsanlagen (Zugfunk) fordern möglichst eine homogene Abschnittsteilung.
- Die strahlenden Kabel der Telecommanlagen limitieren die Distanz der Sender-/Empfänger-Einheiten.

- Der Spannungsabfall der 50 HZ-Stromversorgung begrenzt die maximale Versorgungsdistanzen.

Tabelle 3: Maximaler geforderter technischer Abstand der Querschläge mit bahntechnischen Einrichtungen

Tunnel	Maximale Distanz der Querschläge
BLT	1'600 m
BBT	2'000 m
GBT	625 m
LBT	625 m

In den Richtlinien [2] und [3] wird der sicherheitsrelevante Abstand zwischen den Querschlägen mit max. 500 m vorgegeben. Aus Sicht der Personensicherheit darf die Länge der Fluchtwege zum nächsten Querschlag im Hinblick auf den Ereignisfall nicht zu stark variieren, damit eine allgemeine Behandlung möglich ist. Eine gegenüber den Richtlinien zusätzliche Verringerung der Querschlagdistanz ist aufgrund des damit verbundenen relativ geringen Sicherheitsgewinns bei einem relativ geringen Risiko eines Zugbrandereignisses im Tunnel ausserhalb einer Interventions- bzw. Rettungsstation nicht sinnvoll (gemäss einer Studie für den GBT).

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten technischen und sicherheitsrelevanten Vorgaben wurden durch eine gleichmässige Teilung der Distanz der technischen Querschläge die nachfolgenden Distanzen der Querschläge projektspezifisch festgelegt.

Tabelle 4: Maximaler Abstand der Querschläge aufgrund der Erhöhung der Sicherheit

Tunnel	Maximale Distanz der Querschläge
BLT	400 m
BBT	333 m
GBT	313 m
LBT	333 m

Rettungsstationen

UIC Richtlinien fordern, dass ein Eisenbahnwagen unter Vollbrand während 15 Minuten lauffähig bleibt. Unter Annahme einer minimalen Geschwindigkeit eines brennenden Reisezuges von 80 km/h ergibt diese Notlaufeigenschaft einen Mindestabstand zwischen zwei Nothaltestellen bzw. zwischen Nothaltestelle und Tunnelportal von 20 km.

Die projektspezifischen baulichen Merkmale, der in den jeweiligen Tunneln vorgesehenen Rettungsstationen sind in der Tabelle 5 zusammengestellt. In den Abbildungen 6 bis 8 sind die tunnel-spezifischen Gestaltungsmerkmale der Rettungsstationen veranschaulicht.

Tabelle 5: Bauwerksspezifische Merkmale der Rettungsstationen der jeweiligen Tunnelprojekte

Merkmale	BLT	BBT	GBT	LBT
Rettungsstationen im Tunnel mit Nothaltestellen für Reisezüge	Modane-bis	Innsbruck, Steinach, Wiesen	Sedrun, Faido	Ferden
max. Distanz zwischen Rettungsstationen bzw. zwischen Rettungsstationen und Portal	29 km	19 km	20 km	23 km
Länge der Nothaltestelle	750 m	450 m	450 m	473 m
geschützter Aufenthaltsraum in der Station (unter Überdruck)	ja	ja	ja	ja
Rettungsstation mit Strassenfahrzeugen erschlossen	ja	ja	ja	ja
Abstand der Fluchtwege in der Nothaltestelle	50 m	90 m	90 m	86 m
Anzahl Fluchtwege in der Nothaltestelle	12	6	6	6
Gehwegbreite in der Nothaltestelle	3 m	2.5 m	2.5 m	2.5 m
Überholgleise	ja	Steinach	nein	nein
Überleitstellen	ja	ja	ja	ja

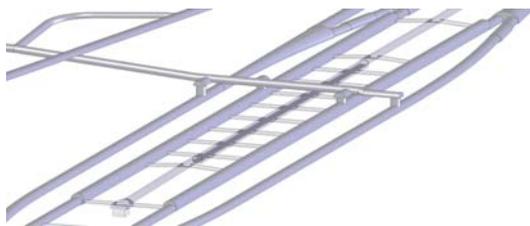


Abbildung 6: Rettungsstation Modane-bis im Basistunnel Lyon-Turin

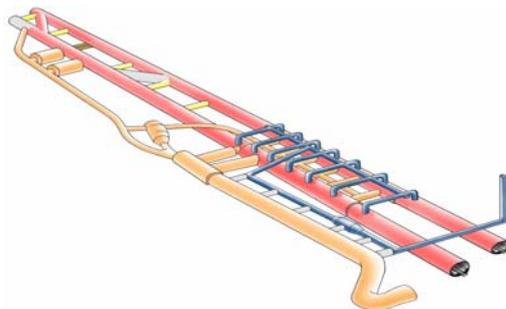


Abbildung 7: Rettungsstation Ferden im Lötschberg Basistunnel

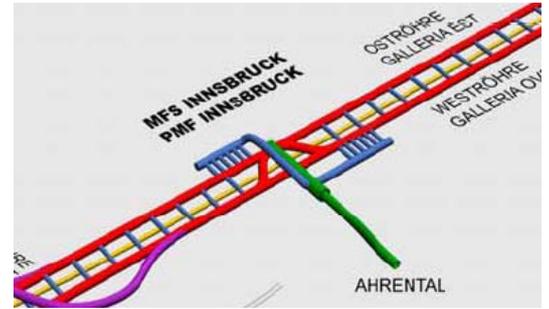


Abbildung 8: Typische Rettungsstation im Brenner- und Gotthard Basistunnel

Im Basistunnel Lyon-Turin sind neben der eigentlichen Rettungsstation Modane-bis zusätzlich in St-Martin-de-la-Poste, la Praz und Venus von Aussen zugängliche und mit Sicherheitseinrichtungen ausgerüstete Interventionsstellen für den Halt havariierter Güterzüge vorgesehen. Damit verringert sich der Abstand der Haltestellen für die Züge im Tunnel auf ca. 10 km. Allerdings sind in einer Interventionsstelle die Rettungsbedingungen für einen Reisezug nicht gleich gut wie in der Rettungsstation Modane-bis. Abbildung 9 zeigt das Prinzip einer solchen Interventionsstelle.



Abbildung 9: Interventionsstelle im Basistunnel Lyon-Turin

Tunnellüftung

Allgemein

An die Tunnellüftung werden vielseitige Anforderungen gestellt. Man unterscheidet 3 Betriebszustände der Tunnellüftung:

- Normalbetrieb während des regulären Zugbetriebs
- Erhaltungsbetrieb während Erhaltungstätigkeiten im Bahntunnel bei einem vorübergehenden Betriebsunterbruch
- Ereignisbetrieb bei einem Zugunglück im Tunnel (insbesondere Zugbrandereignis oder Freisetzung gefährlicher Gase)

Für die jeweiligen Tunnelprojekte sind die Lage der Tunnellüftungszentralen und die installierte Ventilatorleistungen in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Lüftungszentralen und installierte Ventilatorleistungen (Legende: ± bedeutet reversierbare Ventilatoren d.h. Zu- und Abluftbetrieb)

Tunnel	Lüftungszentralen	Installierte Ventilatorleistung
BLT	Saint Jean-de-Maurienne	Zuluft: 2 x 90 m ³ /s Abluft: 3 x ±200 m ³ /s
	La Praz	Zuluft: 2 x 90 m ³ /s Abluft: 3 x ±200 m ³ /s
	Puits d'Avrieux / Modane	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 6 x ±200 m ³ /s
	Puits de Val Clarea	Zuluft: 2 x 120 m ³ /s Abluft: 3 x ±200 m ³ /s
	Total	Zuluft: 1'000 m³/s Abluft: ±3'000 m³/s
BBT	MFS Innsbruck	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 2 x ±250 m ³ /s
	MFS Steinach	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 2 x ±250 m ³ /s
	MFS Wiesen	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 2 x ±250 m ³ /s
	Total	Zuluft: 1'200 m³/s Abluft: ±1'500 m³/s
GBT	MFS Sedrun	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 2 x ±250 m ³ /s
	MFS Faido	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 2 x ±250 m ³ /s
	Total	Zuluft: 800 m³/s Abluft: ±1'000 m³/s
LBT	Zugang Mitholz	Zuluft: 2 x 150 m ³ /s
	Nothaltestelle Ferden	Zuluft: 2 x 200 m ³ /s Abluft: 2 x ±250 m ³ /s
	Total	Zuluft: 700 m³/s Abluft: ±5'00 m³/s

Die in Tabelle 6 angegebenen Fördermengen erklären sich zum Teil aus Redundanzanforderungen. Nur ein Teil der angegebenen Leistung ist zeitgleich erforderlich.

Zusätzliche Hilfsventilatoren befinden sich an den Portalen der Bahntunnel, in den technischen Räumen und in den Querschlägen. Für die Funktionsweise der Tunnellüftung sind zudem zahlreiche Klappen, Schleusen, Tore sowie Zu- und Abluftkanäle im Tunnel zur Steuerung der Luftverteilung erforderlich. Der Betrieb der Tunnellüftung erfolgt in der Regel ferngesteuert ab der Tunnelleitstelle.

Aufgaben und Funktionsweise der Tunnellüftung

Normalbetrieb

Im Normalbetrieb ist ein sicherer und ausfallfreier Tunnelbetrieb zu gewährleisten. Dazu muss die Tunnellufttemperatur unabhängig von der Jahreszeit und vom Verkehrsaufkommen im Tunnel innerhalb eines Grenzwertes von maximal 35

°C gehalten werden. Eine natürliche Erwärmung der Tunnelluft resultiert aufgrund der Felswärme. Die ursprüngliche Felstemperatur beträgt an einzelnen Stellen im Tunnel mit maximaler Felsüberdeckung 45 °C bis 50 °C. Dazu kommt der Wärmeeintrag durch den Zugverkehr und die Abwärme der technischen Anlagen im Tunnel. In allen Tunneln erfolgt in der Regel die Kühlung der Tunnelluft im Bahntunnel durch die Kolbenwirkung der fahrenden Züge. Wo dieser zugbedingte Luftwechsel nicht ausreicht oder in besonders warmen Sommermonaten erfolgt zusätzlich eine Kühlung der Tunnelluft mit Hilfe der Tunnellüftungsanlage (BBT, GBT) oder einer entlang des Bahntunnels verlegten Kühlwasserleitung (Basistunnel Lyon-Turin).

Erhaltungsbetrieb

Bei Erhaltungstätigkeiten während Betriebsunterbrüchen im Bahntunnel müssen mit Hilfe der Tunnellüftung günstige arbeitsmedizinische Klimabedingungen in den Erhaltungsbereichen geschaffen werden. Durch den Betrieb einzelner Zuluft- und Abluftventilatoren können durch Einblasen und Absaugen von Luft in die Erhaltungsschnitte im Bahntunnel ein ausreichender Luftwechsel erzeugt und dadurch die geforderten Arbeitsschutzbestimmungen eingehalten werden. Das Lüftungsprinzip unterscheidet sich in den Tunneln nicht. In einzelnen Tunneln (BBT, LBT) wird die Wirkung der Lüftung mit Hilfe fest installierter Bahntunnelstore zusätzlich erhöht.

Ereignisbetrieb

Relevant für die Auslegung der Ereignislüftung ist der Halt eines brennenden Reisezuges oder Güterzuges im Tunnel. Für den Ereignisbetrieb gelten daher die folgenden wesentlichen Lüftungsziele:

- Sicherstellen eines geschützten Wartebereichs für die Zugpassagiere bei einem Brandereignis in der Nothaltestelle (Überdruck im Wartebereich durch Luftzufuhr von Aussen)
- Unterstützung der Selbstrettung der Zugpassagiere entlang der Nothaltestelle (Absaugung von Rauch entlang der Nothaltestelle)
- Sicherstellung eines Evakuierungsweges über die Gegenröhre im Rahmen des Evakuierungskonzeptes (Verhindern einer Rauchausbreitung in die Gegenröhre)
- Unterstützung der Selbstrettung der Zugpassagiere in der Unfallröhre bei einem Zugbrandereignis ausserhalb der Nothaltestelle (Beeinflussung der Rauchausbreitung an der Unfallstelle)

Abhängig davon, ob der Ereigniszug in der Nothaltestelle oder ausserhalb der Nothaltestelle im Tunnel anhält, sind in Bezug auf die Ereignislüftung die folgenden zwei Fälle zu unterscheiden:

- Halt in der Nothaltestelle: Durch Zu- und Abluftbetrieb der Ereignislüftung werden die Bedingungen für die Selbstrettung und die Evakuierung optimiert. Bei allen Tunnelprojekten wird durch Zufuhr von Frischluft über die Zugangsstollen von Aussen ein Eindringen von möglichen Rauchgasen in den Wartebereich der Zugpassagiere verhindert. Durch Absaugen der verbrauchten Luft aus der Nothaltestelle wird dort die Rauchausbreitung minimiert. Die Absaugstrategie unterscheidet sich je nach Tunnelprojekt (LBT, BLT, GBT: brandnahe Absaugung über steuerbare Abluftklappen; BBT: über die einzelne in der Mitte der NHS vorgesehene Absaugstelle).
- Halt ausserhalb der Nothaltestelle: Durch Zufuhr von Frischluft in die Gegenröhre wird verhindert, dass bei der Flucht der betroffenen Zugpassagiere durch die benutzten Querschläge Rauch in die Gegenröhre dringt. Um die Selbstrettung der betroffenen Zugpassagiere in der Unfallröhre zu begünstigen, wird die Rauchausbreitung an der Unfallstelle optimiert. Beim BBT, GBT und LBT wird durch geeignete betriebliche Massnahmen die Verrauchungssituation an der Unfallstelle verbessert (Aufrechterhaltung einer allfälligen Rauchgasschichtung durch Reduktion der Zugfahrgeschwindigkeiten der weiteren Züge in der Unfallröhre). Beim Basistunnel Lyon-Turin wird je nach Lage des Brandortes auf dem Ereigniszug mit Hilfe der Ereignislüftung die Rauchausbreitung an der Unfallstelle zusätzlich beeinflusst (einseitiges Abdrängen der Rauchgase, Verdünnung der Rauchgase, Minimierung der Rauchgasausbreitung an der Unfallstelle).
- Bei einem Halt eines brennenden Zuges in einer der Interventionsstellen im Basistunnel Lyon-Turin wird der Wartebereich durch Zufuhr von Frischluft über die Zugangsstollen rauchfrei gehalten. Durch gleichzeitiges Absaugen der Rauchgase in der Mitte der Interventionsstelle wird die Ausbreitung der Rauchgase in der Unfallröhre minimiert.
- Bei einem Halt eines brennenden Zuges im Lötschberg Basistunnel entlang des einröhrigen Bahntunnelabschnittes wird das gesamte, parallel zur Bahnröhre verlaufende Dienst- und Sicherheitsstollensystem durch Zufuhr von Frischluft gegenüber dem Eindringen von Rauch aus der Unfallröhre geschützt.

Tunnel-Sicherheitskonzept

Sicherheitsmassnahmen

Die wesentlichen gemeinsamen Sicherheitsmassnahmen der Tunnelprojekte umfassen:

- Richtungsgetrennte einspurige Tunnelröhren
- in regelmässigen Abständen, die Einspurröhren verbindende Querschläge
- in beiden Bahnröhren zugängliche Nothaltestellen (insbesondere für havarierte Reisezüge), die die Notlaufeigenschaften der Züge berücksichtigen
- Beim Basistunnel Lyon-Turin: Zusätzliche, von den beiden Bahnröhren zugängliche Interventionsstellen für den Halt von havarierten Güterzügen
- Beim Lötschberg-Basistunnel: Entlang des einspurigen Bahntunnelabschnittes parallel verlaufende und über Querschläge zugängliche Dienststollen als Sicherheitsstollen im Ereignisfall.

Die sicherheitstechnischen Ausrüstungen der Tunnel sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Diese sind auf die jeweiligen Grundsätze der Alarm- und Rettungskonzepte abgestimmt.

Tabelle 7: Wesentliche sicherheitstechnische Tunnelausrüstung (nicht abschliessend)

Ausrüstung	BLT	BBT	GBT	LBT
Tunnel und Portale:				
Fluchtwegbeschilderung	x	x	x	x
Notleuchten, Handlauf	x	x	x	x
Wasserlöscheinrichtung	x	x		
Heissläuferortungsanlage	x	x		
Ladeverschiebungssensor	x			
Branddetektoren	x			
Gasmeldesensoren	x			
Zugüberwachung ETCS 2	x	x	x	x
Lautsprecheranlagen	x	x		
Videoanlage (Portale)	x	x	x	x
Nothaltestellen:				
Entrauchungsanlage	x	x	x	x
Schaumlöschanlage	x			
Wasserlöscheinrichtung	x	x	x	x
Videoanlage	x	x	x	x
Brandortdetektoren	x		x	x
Telefon	x	x	x	x
Lautsprecheranlage	x	x	x	x
Querschläge:				
Abschlussüren	x	x	x	x
Löschwasseranlage	x	x		
Brandmelder	x	x	x	x
Telefon	x	x	x	x
Lautsprecheranlage	x	x		
Zutrittskontrolle	x	x	x	x
Videoanlage	x	x		
Schaumlöschanlage		x		

Rettenungsablauf

Wenn immer möglich wird in einem Ereignisfall versucht, mit dem havarierten Zug aus dem Tunnel herauszufahren und in eine in der Nähe der Portale liegenden Interventionsstelle oder in einem Bahnhof anzuhalten. Mit geeigneten betrieblichen Massnahmen werden von der Tunnelleitstelle aus die übrigen im Tunnel verkehrenden Züge aus dem Tunnel geleitet und die Einfahrt für weitere Züge in den Tunnel gesperrt.

Reisezüge

Erreicht ein Reisezug die Nothaltestelle, so begeben sich die Passagiere über die Fluchtwege in den geschützten mit Frischluft von Aussen versorgten Warteraum der Nothaltestelle, in welchem sie vor Rauch und Hitze geschützt sind. Die Evakuierung erfolgt mit einem Evakuierungszug in der Nothaltestelle der Gegenröhre.

Beim Nothalt an beliebiger Stelle erfolgt die Evakuierung der Passagiere über die Querschläge in die gegenüberliegende Bahnröhre (beim LBT bei einem Halt im Einspurabschnitt in den Dienst- und Sicherheitsstollen). Die Gegenröhre wird mit Hilfe der Ereignislüftung gegenüber der Unfallröhre auf Überdruck gesetzt und dient in diesem Fall als geschützter Wartebereich für die betroffenen Zugpassagiere. Die Evakuierung erfolgt auch in diesem Fall mit einem Evakuierungszug aus der Gegenröhre und beim LBT bei einem Halt im Einspurabschnitt mit Bussen aus dem Dienst- und Sicherheitsstollen.

Güterzüge

Falls ein Güterzug den Tunnel nicht mehr verlassen kann und ungeplant im Tunnel auf offener Strecke stehen bleibt, erfolgt die Evakuierung des Lokführers wie bei den Passagieren eines Reisezuges über die Querschläge in die gegenüberliegende Bahnröhre. Ein geplanter Halt eines Güterzuges in der Nothaltestelle ist in der Regel nicht vorgesehen. Beim Basistunnel Lyon-Turin sind für havarierte Güterzüge die Interventionsstellen vorgesehen, welche für Servicepersonal von Aussen zugänglich sind und mit geeigneten Sicherheitstechnischen Einrichtungen ausgerüstet sind.

Rollende Autobahn (ROLA)

Im Gegensatz zu den Güterzügen fahren in den ROLA neben dem Lokomotivführer die Chauffeure der verladenen Lastwagen in einem Reisewagen an der Spitze des Zuges hinter der Lokomotive mit. Falls eine ROLA den Tunnel nicht mehr verlassen kann, ist die Evakuierung der Chauffeure und des Lokomotivführers wie bei einem Güterzug über die Querschläge in die Gegenröhre möglich. Die beim Basistunnel Lyon-Turin verkehrenden ROLA sind zusätzlich mit einem dieselbetriebenen System ausgerüstet, das es ermöglicht, den Reisewagen vom übrigen Zug rasch zu entkoppeln und aus dem Tunnel zu fahren.

Die Brandbekämpfung im Tunnel durch die Feuerwehr erfolgt in allen Fällen mit speziell ausgerüsteten, im Bereich der Tunnelportale stationierten Lösch- und Rettungszügen. Die Zufahrt zur Unfallstelle erfolgt über die Unfallröhre.

Schlussfolgerung

Die Gegenüberstellung der bauwerks- und ausrüstungsspezifischen Merkmale der Grosstunnelprojekte hat folgende Unterschiede und Gemeinsamkeiten zum Vorschein gebracht:

- Für alle Tunnel wurde ein aus zwei Einspurabschnitten bestehendes, durch Rettungsstationen ergänztes Tunnelsystem gewählt.
- Das Betriebskonzept sieht in allen Tunneln den gemischten Verkehr von Personen- und Güterzügen vor.
- Die Bahntunnel werden auf maximale Zugfahrgeschwindigkeiten von bis zu 250 km/h ausgelegt.
- Die Tunneltrassen wurden so gewählt, dass bei allen Projekten das Ziel einer Flachbahn umgesetzt werden konnte.
- Die Unterschiede in den Regelprofilen der Bahnrohren resultieren aus den spezifischen Nutzungsanforderungen bezüglich des verkehrenden Rollmaterials und der technischen Einbauten im Tunnel.
- Bei der Festlegung der Querschlagabstände zwischen den Bahnrohren spielen insbesondere die projektspezifischen technischen Nutzungsanforderungen eine Rolle. In allen Tunneln wird die internationale Empfehlung betreffend des maximalen Abstandes der Querschläge eingehalten.
- Die Gestaltung und Lage der Rettungsstationen in den Tunneln weisen projektspezifische Abweichungen auf.
- Interventionsstellen im Tunnel speziell zur Handhabung havariierter Güterzüge sind nur im Basistunnel Lyon-Turin vorgesehen.
- Alle Tunnel verfügen über leistungsfähige Tunnellüftungssysteme. Die installierten Ventilatorleistungen in den Tunneln weichen je nach Tunnellänge und angestrebten Lüftungszielen voneinander ab.
- Die sicherheitsrelevanten bauwerks- und ausrüstungsrelevanten Massnahmen basieren auf den jeweiligen projektspezifischen Alarm- und Rettungskonzepten der Tunnel.

Quellennachweis

1. prEN 14067-5; Bahnanwendungen Aerodynamik Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel; gültig 2003
2. Recommendations of the Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels (Rail),

United Nations Economic and Social Council,
1.12.2003
3. Sicherheit in Eisenbahntunneln, Merkblatt, Int.
UIC 799-9, Internationaler Eisenbahnverband,
August 2003
4. UIC-Kodex 660, Internationaler Eisenbahnver-
band, Bestimmung zur Sicherung der technischen
Verträglichkeit der Hochgeschwindigkeitszüge,
gültig 2002 08

Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Eddy Verbesselt,
(Responsable des Etudes de sécurité et de sûreté,
Lyon Turin Ferroviaire SAS, 1091 avenue de la
Boisse, 73026 Chambéry Cedex – France) für die
freundliche Unterstützung.

Autoren

Christoph Rudin, Dipl. Physiker, HBI Haerter AG,
Thunstrasse 9, CH-3000 Bern 6, Schweiz

Dr. Peter Reinke, Dr. Dipl.-Ing. ETH, HBI Haerter
AG, Thunstrasse 9, CH-3000 Bern 6, Schweiz