

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 112 (1994)
Heft: 18

Artikel: Sicherheitssysteme für den Ärmelkanal-Tunnel
Autor: AB
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78429>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

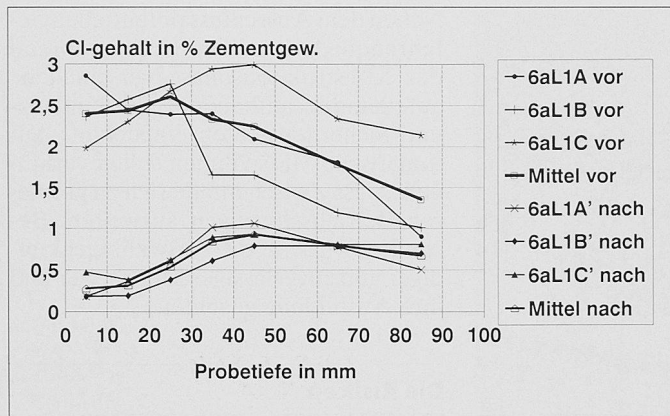


Bild 11. Chloridentfernung einer Widerlagerwand einer Autobahnunterführung der N5, S108, ausgeführt mit dem norwegischen Verfahren 1989/90

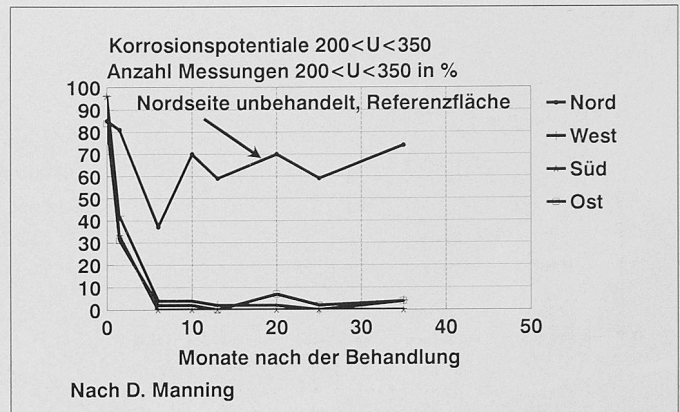


Bild 12. Potentialfeldmessungen an einem Brückenpfeiler der Burlington Bay Skyway, Ontario, Canada. Die drei behandelten Flächen sind immer noch passiv [16]

Restchloride sind in dieser Zeit an die Bewehrungsseisen angelangt oder haben Korrosion verursacht.

Bild 12 zeigt die Resultate von Potentialfeldmessungen bei Nachkontrollen der Chloridentfernung eines Pfeilers der Burlington Bay Skyway, welche 1989 ausgeführt wurde. Diese Resultate sowie Messungen von Korrosionsströmen zeigen, dass keine Änderung in

der erzeugten Passivierung des Stahles seit der Behandlung eingetreten ist, obwohl eine Restchloridmenge von bis zu 0,18%, auf Totalmasse bezogen, (entspricht etwa 1,5% bezogen auf Zement) nach 8-wöchiger Chloridentfernung noch vorhanden war [16].

Das Chloridentfernungsverfahren wurde im Rahmen des Strategic Highway Research Program, SHRP, in den USA

und Kanada vom Staat eingehend geprüft. Die Zusammenfassung dieser Prüfung drückt aus, dass das Verfahren unter den geprüften Ausführungsbedingungen technisch einwandfrei und wirtschaftlich rentabel ist [6].

Adresse des Verfassers: Jan A. Roti, Dipl. Ing. ETH, ECBIS AG, CH-4123 Allschwil.

Sicherheitssysteme für den Ärmelkanal-Tunnel

Der Kanaltunnel, der die britische Insel mit dem europäischen Festland verbindet, wird am 6. Mai 1994 von der britischen Königin Elisabeth II. und dem französischen Staatspräsidenten François Mitterrand offiziell eingeweiht. Die Sicherheitssysteme dieses 50,5 km langen Tunnels sind auch für zukünftige grosse Tunnelprojekte von Interesse.

Die Sicherheitsphilosophie des Kanaltunnels beruht auf seiner Konzeption als reinem Schienenverkehrssystem, d.h. ohne die bekannten Risikofaktoren des Motorfahrzeugverkehrs. Fahrzeuge und Insassen werden mit Pendelzügen zwischen den Terminals in Folkestone und Coquelles bei Calais befördert, und die Reise- und Güterzüge nutzen denselben Gleisweg. Bei voller Kapazitätsauslastung durchfahren in jeder Richtung zwölf Züge gleichzeitig die beiden parallelen Eisenbahntunnels.

Schienenfahrzeuge sind als besonders sichere Verkehrsmittel anerkannt. Dennoch wurden besonders strenge Sicherheitsvorkehrungen gefordert wegen der grossen Anzahl von Personen, die sich jeweils gleichzeitig im Tunnel befinden, wegen der verhältnismässig grossen

Entfernungen zwischen den Tunnelausgängen auf beiden Seiten des Kanals und wegen des Kraftstoffs in den beförderten Fahrzeugen.

Alle Vorkehrungen müssen von einer besonders hierfür berufenen Kommission der britischen und der französischen Regierung (Intergovernmental Commission, IGC) genehmigt werden.

Sicherheit im Planungsprozess

Grundvoraussetzung für den Erfolg des Kanaltunnels ist die absolute Sicherheit und Zuverlässigkeit des Pendelzugsystems «Le Shuttle» und der von den nationalen Eisenbahngesellschaften betriebenen Reise- und Güterzüge. Bei der Planung des Tunnels und der Züge

hatte die Sicherheit der Passagiere und Mitarbeiter daher allerhöchste Priorität. Diese Philosophie bestimmte die Auswahl der verwendeten Materialien, der installierten Systeme und der Rettungsverfahren bei Notfällen.

Für das gesamte System wurde eigens eine umfassende Sicherheitsstrategie entwickelt. Dazu gehörte die Vermeidung von Risiken und Gefahren bereits während der Konstruktionsphase, die Festlegung von Betriebsabläufen, die Risiken und Gefahren systematisch ausschliessen, und die Entwicklung von Strategien für die Schadensbegrenzung bei Betriebsstörungen.

Zunächst wurden alle massgeblichen Risiken ermittelt. Die Bandbreite reichte dabei von Erdbeben und Überschwemmungen über Stromausfälle und Gefahrgut bis hin zu Zusammenstößen, Entgleisungen, Bränden und Anschlägen sowie Kombinationen dieser Risiken. Danach waren Sicherheitsanforderungen für die gesamte Ausrüstung und Ausstattung zu bestimmen. Diese gingen in die Qualitätssicherung ein, nachdem entsprechende Normen für Zuverlässigkeit, Leistung und anschliessende Wartung festgelegt waren.



Bild 1. Blick in einen der beiden eingleisigen Eisenbahntunnel mit Stützring aus hochfesten Stahlbeton-Tübbingungen und beidseitigen Randwegen, kurz vor der Inbetriebnahme

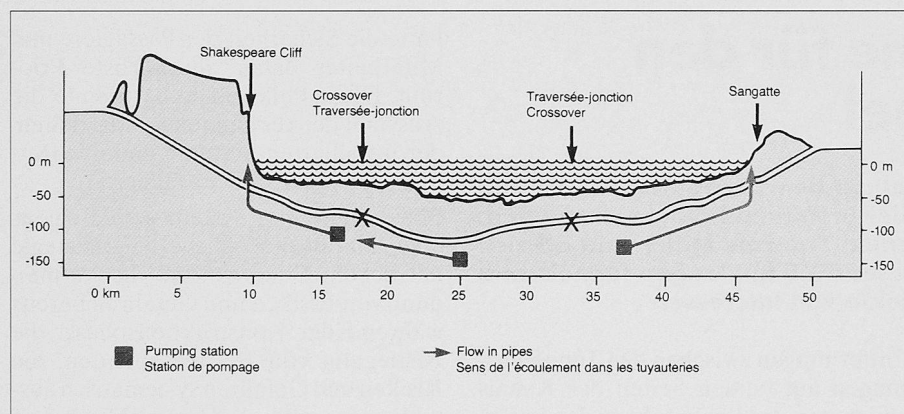


Bild 2. Pumpsystem zur Entwässerung des Kanaltunnels

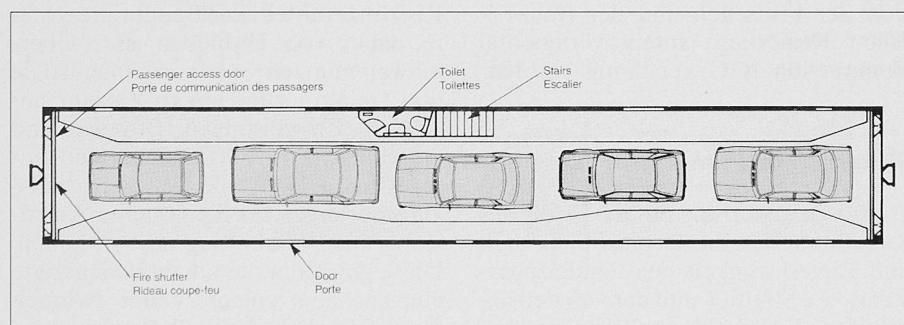


Bild 3. Pw-Transportwagon mit Brandabschottungen an den Wagenenden und Möglichkeit zum Entkuppeln vom Waggoninnern aus

Neben dem Ausschluss potentieller Gefahrenquellen wurden bereits während der Konstruktionsphase verschiedene aufeinander aufbauende Redundanz- und Sicherheitsstufen eingeplant. Automatische Massnahmen sollen verhindern, dass Zwischenfälle sich zu grösseren Betriebsstörungen ausweiten. Besonders wird auf die Auswahl fachkundiger und zuverlässiger Mitarbeiter und ihre Ausbildung geachtet.

Die Risiken

Der Gedanke, in einem Tunnel unter dem Meer eingeschlossen zu sein, hat verständlicherweise für jeden Menschen etwas Beängstigendes. Tatsächlich aber befindet sich der Tunnel so tief im Gestein unter dem Meeresboden (25 bis 45 m), dass das Meer selbst als Gefahrenquelle ausscheidet.

Die Tunnelröhren des Kanaltunnels haben einen dichten Stützring aus dauerhaften, hochfesten Stahlbetontübbingungen (Bild 1) und sind so konstruiert, dass nur ein Erdbeben von in dieser Region unvorstellbarer Stärke zu ernstlichen Schäden führen könnte. Selbst dann sind die vorhandenen Pumpen (Bild 2) in der Lage, den Wassereinbruch zu beherrschen.

Der typische Eisenbahnunfall ist die Folge eines Zusammenpralls oder einer Entgleisung und das Auffahren anderer Züge. Dieses Risiko ist durch den Bau von zwei richtungsgetrennten eingleisigen Tunneln ausgeschlossen. Innerhalb der Tunnel verhindern die beidseitigen Betonrandwege (Bild 1) das Umkippen entgleister Waggons.

Menschliches Versagen ist die häufigste Ursache für Zusammenstösse. Deshalb arbeitet im Kanaltunnel eine automatische Zugüberwachung (ATP). Die vor dem Zug liegende freie Strecke und die zulässige Höchstgeschwindigkeit werden dem Triebfahrzeugführer ständig angezeigt. Beachtet er eine Warnung nicht, stoppt die ATP den Zug und regelt den nachfolgenden Zugbetrieb.

Brandrisiken bei Pw-Transporten

Seit mehr als dreissig Jahren durchqueren Reisende in ihren Fahrzeugen auf offenen Waggons die langen Alpentunneln ohne Unfälle oder grössere Brände. Die bisher dabei rund 30 Mio. sicher beförderten Fahrzeuge entsprechen ungefähr der Anzahl, die in den ersten zehn Jahren für den Kanaltunnel erwartet werden.

Trotz dieser beruhigenden Erfahrungen wurden alle Personenzüge und Pendelzüge besonders für den Kanaltunnel entwickelt. Die verwendeten Materiali-

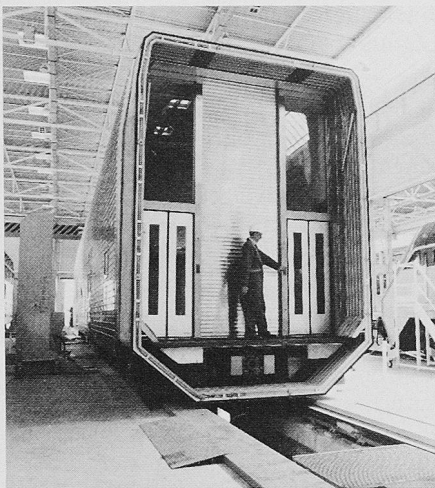


Bild 4. Herunterklappbare Brandabschottung mit Durchgangstür für Fahrgäste (Pw- und Businsassen) und Personal

en sind weitestgehend feuerbeständig und erzeugen bei Erwärmung keinen Rauch oder giftige Gase, so dass die grösste Brandgefahr von den beförderten Fahrzeugen ausgeht.

□ Der erste Schritt zur Feuersicherheit ist die Brandverhütung: Rauchen in den Zügen ist daher ebenso untersagt wie das Öffnen der Motorhauben, wofür Zugbegleiter zu sorgen haben.

□ Der zweite Schritt ist das frühzeitige Erkennen eines Feuers: Selbsttätige Anzeiger für gefährliche Kohlenwasserstoffgase, Rauch und Flammen lösen Warnsignale aus und fordern zum Verlassen des betroffenen Waggons auf, was nach Tests innerhalb von zwei Minuten für Pw-Insassen und höchstens drei Minuten für Reisebusinsassen in die angrenzenden Waggons möglich ist.

□ Der dritte Schritt ist das Löschen: Pws und Reisebusse stehen im Waggon in einer flachen Mulde mit Auffangbehälter für auslaufendes Benzin. Zum Ersticken eines evtl. Feuers wird wasserfilmbildender Schaum gesprüht, und Handfeuerlöcher stehen zur Verfügung. Nur bei lebensbedrohlicher Ausbreitung des Feuers wird automatisch Halon 1301 in geringer Konzentration zur Brandbekämpfung eingesetzt, was keine Gefährdung für Menschen bedeutet, ihnen aber die Flucht in den nächsten sicheren Waggon ermöglicht.

□ Der vierte Schritt ist die Feuerbegrenzung: Nach Abschluss der Pw-Verladung in den Terminals werden am Ende jedes Waggons (Bild 3) feuerschützende Trennwände mit Durchlassüren für die Passagiere (Bild 4) heruntergelassen, die wie der gesamte Waggon dreissig Minuten rauch- und feuerhemmend (F30) sind. Innerhalb dieser Zeit kann der Zug den Tunnel verlassen und auf ein besonders ausgerüstetes Ausweichgleis vor den Terminals fahren.

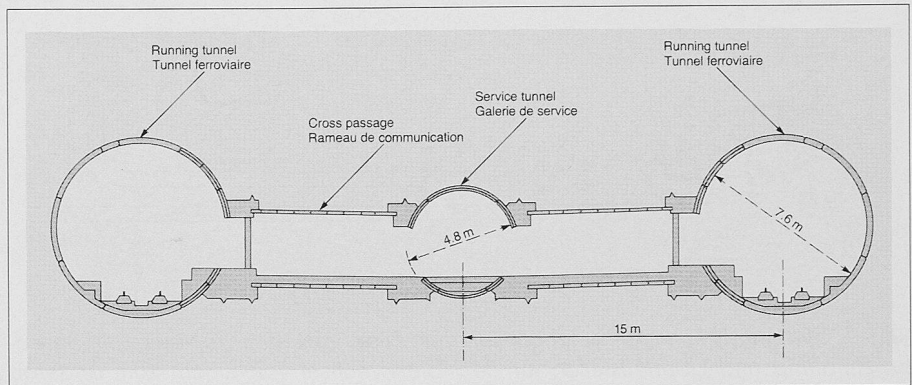


Bild 5. Querstollen (3,30 m Innendurchmesser, im Abstand von 375 m) zum Wartungstunnel als Rettungsweg

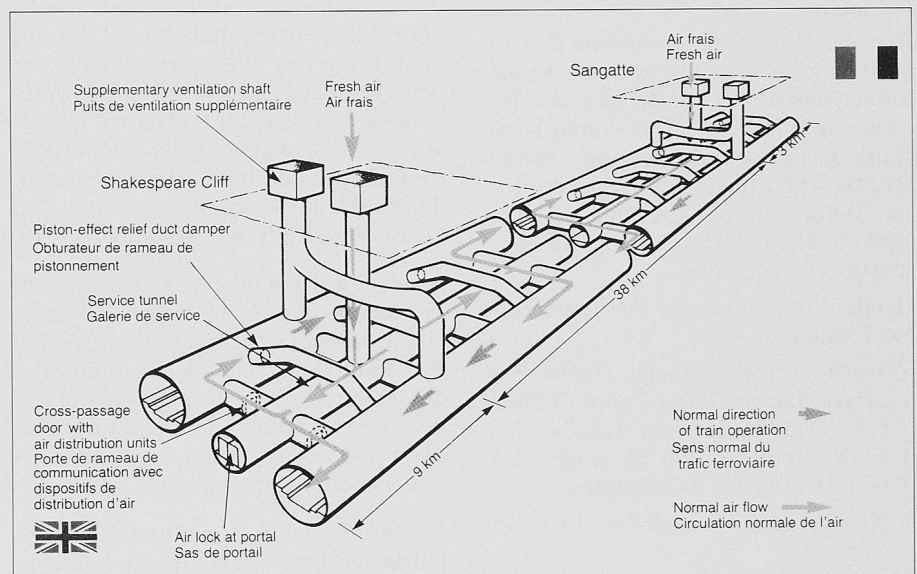


Bild 6. Lüftungssystem für Kanaltunnel mit Überdruck im Wartungstunnel

□ Der fünfte Schritt ist die Evakuierung der Passagiere, wofür es verschiedene Möglichkeiten gibt: Wechsel von einem betroffenen in einen sicheren Waggon; Abkoppeln des sicheren Waggons vom betroffenen Bereich und Transport aus dem Tunnel in beiden Richtungen möglich; Evakuierung der Passagiere in die Wartungstunnels (Bild 5).

Brandrisiken bei Lw-Transporten

Für die Beförderung von Lastwagen und Anhängern werden besondere Pendelzüge eingesetzt. Ebenso wie bei den durch den Kanaltunnel fahrenden Güterzügen werden hierbei Gefahrgüter (Kraftstoffe, entzündliche oder giftige Gase sowie andere Chemikalien), die ein Risiko darstellen könnten, von der Beförderung ausgeschlossen.

Lw-Fahrer und Beifahrer bleiben nicht bei ihren Fahrzeugen, sondern werden in klimatisierten Aufenthaltswaggons im vorderen Zugteil untergebracht. Anders als beim Pw-Transport sind für die

Lw keine geschlossenen Waggons erforderlich.

Feuer in einem Lastwagen wird von Sensoren im Zuge festgestellt und entwichener Rauch durch Sensoren im Tunnel. Sofort kann das Kontrollzentrum alle Züge zum Langsamfahren oder Anhalten veranlassen, damit die Sperrvorrichtungen in den tunnelverbindenden Luftleitungen (Bild 6) geschlossen werden können und ein Ausbreiten des Rauchs verhindert wird. Ansonsten wird für Passagiere und Personal ähnlich wie im Brandfall bei Pw-Transporten verfahren.

Zudem werden die Lüftungssysteme an beiden Tunnelenden den Rauchfluss so steuern, dass alle Rettungsmassnahmen ohne Rauchbeeinträchtigung durchgeführt werden können. Nachfolgende Züge werden angehalten und fahren wieder zurück aus dem Tunnel. Sobald ein Feueralarm im Kontrollzentrum eingeht, schliessen sich automatisch die Lüftungssysteme aller im Tunnel befindlichen Lokomotiven und Waggons mit Personen, um ein Eindringen von Rauch zu verhindern.

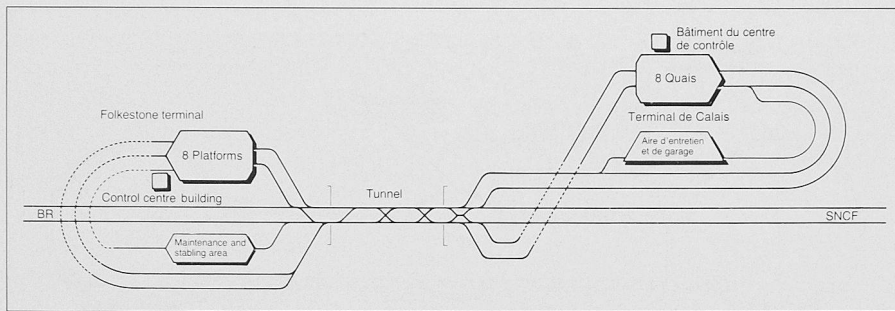


Bild 7. Terminals mit Ausweichgleisen für Züge aus den Tunnels bei Brandbekämpfung und Überleitstellen für den Gleiswechsel von einem zum anderen Eisenbahntunnel

Sicherheit für Reisezüge

Für alle Reisezüge der nationalen Eisenbahngesellschaften, die den Kanaltunnel durchfahren, sind von der Betreibergesellschaft (Eurotunnel) Sicherheitsanforderungen und Brandschutzvorkehrungen festgelegt worden. Im Tunnel beträgt die zulässige Geschwindigkeit 160 km/h, die nicht überschritten werden darf.

Bei den Reisezügen unterscheidet man zwei Arten:

- Hochgeschwindigkeits-Triebwagen Trans Manche Super Trains (TMST) für 300 km/h, der dem französischen TGV ähnliche, 400 m lange «Eurostar» mit zwei Triebköpfen
- Nachtzüge mit Schlaf- bzw. Liegewagen.

Jeder TMST besteht aus zwei unabhängigen Hälften. Notfalls können also

Fahrgäste den betroffenen Teil räumen und in den anderen gelangen, während der TMST zur Brandbekämpfung aus dem Tunnel in ein Ausweichgleis vor den Terminals (Bild 7) fährt. Die Waggonen sind druckdicht und haben Klimaanlage, versiegelte Fenster und ferngesteuerte Aussentüren. Die Waggonenenden sind feuerhemmend ausgelegt, und ihr Boden erfüllt die Brandklasse F30.

Ähnlich werden die Nachtzüge gebaut. Sie haben jedoch an jedem Zugende eine Lokomotive, die selbst bei Ausfall von zwei ihrer sechs Elektromotoren den gesamten Zug aus dem Tunnel ziehen oder schieben kann. Die Lokomotiven sind zusätzlich mit automatischen Feuerlöschsystemen ausgestattet.

Das Zugbegleitpersonal und die Triebfahrzeugführer der nationalen Eisenbahngesellschaften sind für die Fahrten durch den Kanaltunnel ebenfalls mit

einem umfassenden Sicherheitstraining geschult worden.

Sicherheit für Güterzüge

Die Güterzüge dürfen keine Gefahrgüter befördern. Sie werden von einer Lokomotive gezogen, haben also keine zweite am Zugende.

Brandherde, wie heissgelaufene Radlager, schleifende Bremsgestänge usw., werden von Sensoren wahrgenommen und als Entgleisungsrisiko dem Kontrollzentrum gemeldet. Weitere Sensoren erfassen in Brand geratene Waggonen und sperren dann die Rauchzone für alle nachfolgenden Züge. Zur Brandbekämpfung wird der betroffene Zug aus dem Tunnel in das Ausweichgleis vor den Terminals gefahren.

Evakuierung des Kanaltunnels

Die Betreibergesellschaft des Kanaltunnels, Eurotunnel, ist durch Vertrag zum Nachweis verpflichtet, dass alle Passagiere bei einem grösseren Zwischenfall innerhalb von 90 Minuten aus dem Tunnel gelangen können. Alle Rettungssysteme im Tunnel sind auf diese Anforderung hochgradig redundant ausgelegt.

Die Stromversorgung ist durch den Anschluss an das englische und französische Netz sichergestellt. Selbst bei Stromausfall auf einer Kanalseite können die Züge also weiterfahren. Bei einem Totalausfall der Stromversor-

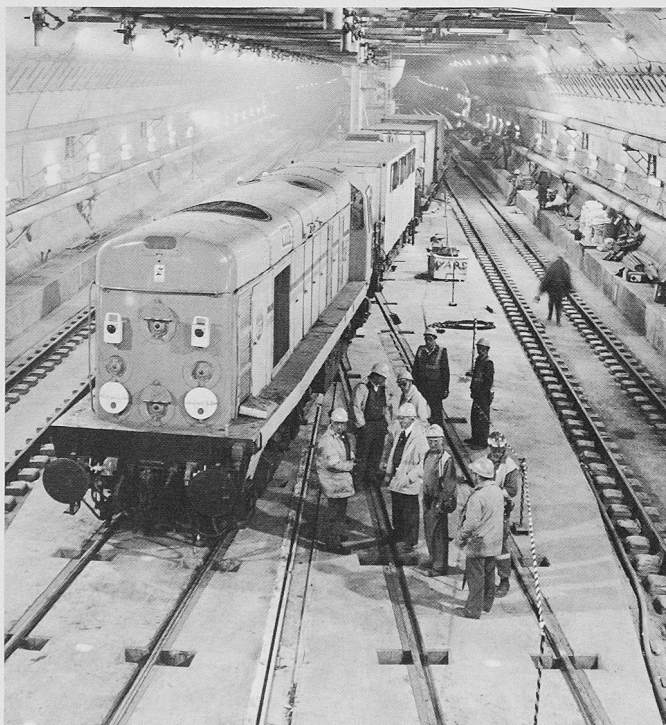


Bild 8. Die riesigen Kreuzungskavernen sind 163 m lang, 15,4 m hoch und 21 m breit. Sie ermöglichen den Gleis- und Tunnelwechsel, falls dies nötig wird (Bild: LPS)

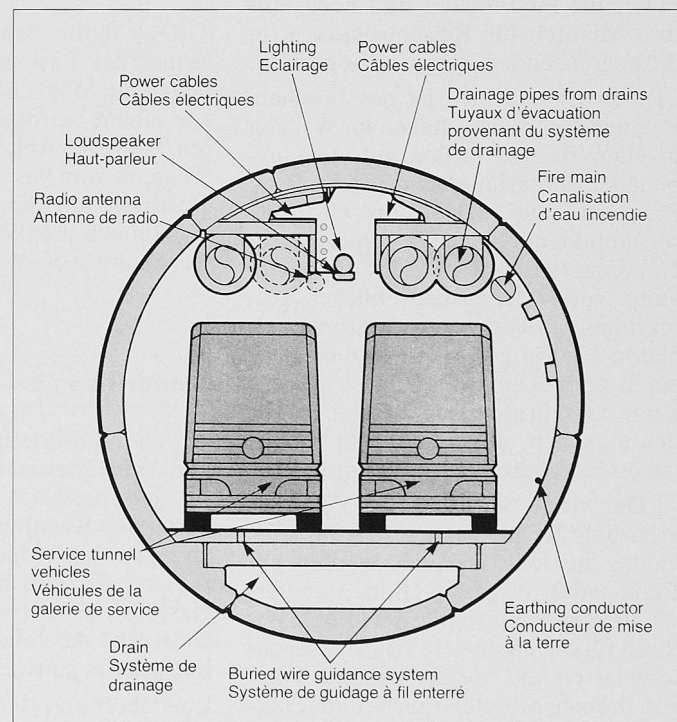


Bild 9. Wartungstunnel und zugleich Rettungsweg für beide Eisenbahntunnels mit Transportsystem für Personal- und Rettungsdienste

gung sorgen Dieselgeneratoren auf beiden Seiten des Kanals für die Aufrechterhaltung der wichtigsten Funktionen, wie Beleuchtung und Kommunikation, und Diesellokomotiven in beiden Terminals für das Abschleppen der Züge.

Die Oberleitungen sind in nur 1,2 km lange Bereiche unterteilt. Von einer Leitungsbeschädigung wird also jeweils nur ein Zug betroffen.

Die in den Wartungstunnels laufend gedrückte Luft gelangt über Auslassöffnungen in die Eisenbahntunnels (Bild 6). Tore an den Enden des Wartungstunnels sorgen dafür, dass der Luftdruck hier immer höher ist als in den Tunnels selbst und im Brandfall ein rauchfreier Bereich zum Evakuieren der Passagiere entsteht.

Über die Gleisverbindungen in den grossen Kavernen für die Überleitstellen im Kanaltunnel (Bild 8) können bei Betriebsstörungen und Wartungsarbeiten Züge von einem in den anderen Eisenbahntunnel fahren, wozu die hier eingebauten Luftschotts vorübergehend geöffnet werden. Ansonsten sind die Luftströme in beiden Eisenbahntunnels voneinander getrennt, sieht man von den Druckausgleichsstollen ab. Im Brandfall kann der Rauchfluss über zusätzliche Gebläse so gesteuert werden, dass die Rettungs- und Löschmassnahmen erleichtert werden.

Zwischen den Kontrollzentren in beiden Terminals und den Mitarbeitern im Tunnel und in den Zügen bestehen leistungsfähige Kommunikationsverbindungen. Diese teils drahtlosen und teils drahtgebundenen Systeme sind so ausgelegt, dass bei Ausfall eines Systems sofort ein anderes verfügbar ist.

Der Wartungstunnel verfügt über ein Leitsystem in der Betonfahrbahn und eine von äusserer Energiezufuhr unabhängige, luftreifengestützte Transportanlage (Bild 9). Damit können Personal- und Rettungsdienste jede Unfallstelle mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h anfahren. Dafür gibt es an beiden Tunnelenden einheitliche Wartungs-, Ambulanz- und Feuerwehrfahrzeuge mit Dieselmotorantrieb.

In den Eisenbahntunnels befinden sich zur Brandbekämpfung in Abständen von nur 125 m Hydranten (Bild 10). Die Rohrleitungen dafür sind sicherheits halber im Wartungstunnel verlegt.

Sollte die vollständige Evakuierung eines Eisenbahntunnels notwendig sein, werden zunächst einmal alle nachfolgenden Züge den Tunnel rückwärts verlassen. Deshalb ist die Lokomotive am Zugende bzw. der hintere Triebkopf stets mit einem Triebfahrzeugführer besetzt. Die Signalanlagen sind, wie bereits erwähnt, für solche Richtungswechsel ausgelegt.

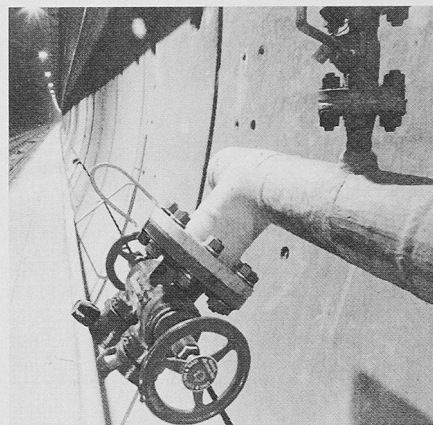


Bild 10. Löschwasserhydrant im Tunnel

Die durchfahrenden Güterzüge verlassen den Tunnel in Fahrtrichtung. In den Wartungstunnels evakuierte Passagiere werden von einem Zug im anderen Eisenbahntunnel aufgenommen. Sollte dies nicht möglich sein, verlassen sie den Tunnel in Wartungs- und Rettungsfahrzeugen.

In jedem der beiden Terminals befindet sich neben dem Kontrollzentrum eine vollständig eingerichtete Leitstelle, die in Notfällen mit Mitarbeitern der Rettungsdienste sowie mit Eurotunnel-Personal besetzt werden kann.

AB

ETH-Tunnelbau-Symposium 1994: Basistunnel durch die Alpen

Die ETH Zürich – insbesondere die Institute für Geotechnik, für Bauplanung und für Baubetrieb – lud am 24./25. März 1994 zu einem internationalen Symposium über grosse Tunnelbauten ein. Die Tagung stand unter dem Patronat der Fachgruppe für Untergrundbau des SIA und der Schweiz. Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik. Neben Grundsätzlichem sollte auch der Stand der Projekte der Basistunnels aufgezeigt werden – ein spannendes Thema nach der Annahme der «Alpeninitiative» in der Schweiz.

Vor ziemlich genau zwei Jahren versammelten sich Tunnelbauer und zugewandte Kreise, um sich nach einem engagierten Vortrag von Bundesrat Ogi in die Problematik des Alptransit (NEAT) einführen zu lassen. Diese Tagung galt zudem als Teil der Kampagne für die nachfolgende Volksabstimmung.

Man durfte deshalb mit einiger Spannung dem diesjährigen Symposium entgegen sehen, um so mehr, als ausländische Referenten aus unseren Nachbarländern angekündigt waren, nicht selbstverständlich nach unserem Nein zum EWR und dem positiven Abstimmungsergebnis zur Alpeninitiative. Erfreulich war es jedoch, an dieser Tagung festzustellen, dass Diskussionen über den

schienengebundenen Verkehr grenzüberschreitend und sachlich geführt werden.

Kommende Alpen-Basislinien

Dies galt hauptsächlich für die erste Gruppe von Referaten, die sich mit den verkehrspolitischen Aspekten durch die Alpen beschäftigte. Alle Staaten Mitteleuropas von Venedig bis Wien müssen sich mit der Erneuerung ihrer vor hundert Jahren gebauten Transitlinien auseinandersetzen. Denn der Druck der Ökologie auf die Ökonomie wird immer grösser und verbannt die Eisenbahn der Zukunft unter den Boden. Dies bedeutet immense finanzielle Aufwendungen aller beteiligten Staaten, die auch volkswirtschaftlich verkraftbar sein müssen. Deshalb

entstand der Wunsch nach grenzübergreifenden Gesprächen im Hinblick auf die Definition der Hauptachsen und Randbedingungen. Geometrie, Gewichte und schwerpunktmässig auch die Umwelt normen bedürfen einer Regelung auf hohem Schutzniveau. Dies soll die Planungssicherheit verbessern und die Privatfinanzierung erleichtern.

Als Hauptachsen für das kommende 21. Jahrhundert werden vier Alpen-Basislinien vorgesehen, die aber verkehrsgeographisch an ihren Endpunkten Verzweigungen brauchen:

□ Im Westen beginnend soll ein Mont-Cenis-Basistunnel den Raum Lyon mit dem Industriegebiet um Turin verbinden. Dies bedeutet die Entlastung der beiden Strassentunnels in den Savoyer Alpen und den Zusammenschluss der beiden Schnellbahnsysteme von Frankreich mit Italien.

□ Im mittleren Bereich liegen die beiden Schweizer Projekte mit den Basistunnels durch den Lötschberg und den Gotthard, wobei ersterer zur Lösung regionaler Probleme im Wallis beitragen soll. Aber auch für den Gotthard werden die Zubringer aus der Ostschweiz und dem Raum Zürich ausgebaut, um vor allem das Ostalpenbahn-Verprechen des Bundes einzulösen.