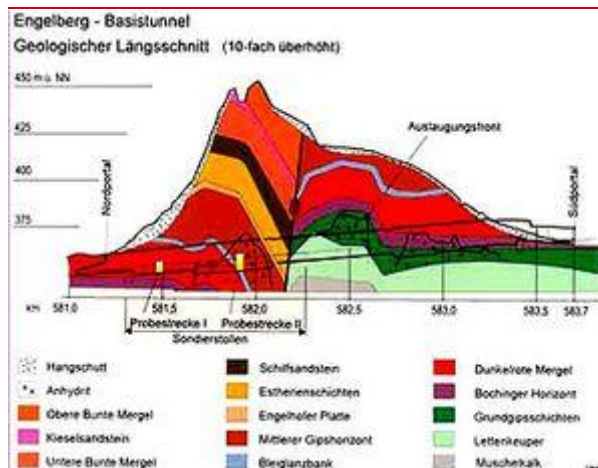


# Brandversuche im Engelbergtunnel am 17. Juli 1999



Das öffentliche Interesse an Sicherheitseinrichtungen in Straßentunnels stieg durch die Brandkatastrophen in Pfänder-, Montblanc- oder Tauerntunnel in den vergangenen Jahren enorm. Insbesondere Tagespresse, Nachrichtensendungen und Magazine berichteten ausführlich über die Brandkatastrophen, doch auch wissenschaftliche Arbeiten analysierten das Brandverhalten in Straßentunnels. Die sowohl aus praktischen Versuchen als auch aus theoretischen Berechnungen gewonnenen Erkenntnisse sowie veröffentlichte Einsatzerfahrungen halfen vielen Rettungsorganisationen bei der Erstellung von Tunnelerinsatzplänen. Mit dem Bau des 2,53 Kilometer langen Autobahntunnels am Engelberg legten Baugesellschaft ARGE und Rettungsorganisationen auch hier die Maßnahmen im Falle eines Brandes fest. Vor der endgültigen Freigabe des Tunnels im September 1999 sollten Versuche mit heißem Brandrauch die Leistungsfähigkeit der eingebauten Lüftungsanlagen und der Absaugung testen, Erkenntnisse über Ausbreitung und Verteilung der Rauchgase sollen bei der Erstellung von Einsatzplänen Berücksichtigung finden.



## Technische Daten des Bauwerks

120.000 Fahrzeuge passieren täglich die A 8 / A 81 im Bereich des Leonberger Dreieckes. Bei wachsendem Verkehrsaufkommen erwies sich die Kapazität des angrenzenden Engelbergtunnels mit den beiden jeweils zweispurigen Röhren aus den Vorkriegsjahren als erschöpft, so dass bereits zu Beginn der 80er Jahre Planungen und Probebohrungen für einen neuen Tunnel begannen. Mit dem Baubeginn im November 1996 begann die Realisierung eines Milliardenprojekts, bei dem es einen Straßentunnel mit einer Querschnittsfläche von bis zu 265 m<sup>2</sup> zu erstellen galt. Auf eine Länge von 2530 Meter führen zwei Röhren mit jeweils drei Fahrbahnen und einer Standspur den Autobahnverkehr durch die Basis des Engelberges. Das saugfähige Gestein erforderte Wände aus Stahlbeton mit bis zu 4 Metern Dicke. Sieben

Querstollen verbinden Ost- und Weströhre in Abständen zu jeweils 320 Metern, Sie sind mit Notrufrutschen ausgerüstet und dienen als Fluchtwege im Brandfall.

Mit Freigabe der Oströhre im September 1998 musste bis zur endgültigen Fertigstellung des Bauwerkes im September 1999 der Verkehr vierspurig durch diese Röhre fließen. Wegen des nur durch Betonpoller getrennten Gegenverkehrs und der noch fehlenden Versorgungs- oder Fluchtröhre galt das Provisorium im ersten Jahr als gefährlichste Phase im neuen Tunnel.

Bis zu vier Meter durchmessende Zuluftkanäle verlaufen unter der Fahrbahn, alle 10 Meter führen sie den Tunnelröhren einen Meter über Fahrbahnniveau Frischluft zu. Die insgesamt 18 Strahlventilatoren erzeugen bei Vollast einen Luftstrom von über 4 m/s.

Zusätzliche Lüfter pro Röhre ermöglichen über Schlitze in der Tunneldecke eine Entlüftung der Röhren, die Luftförderung jedes Lüfters beträgt 125m<sup>3</sup>. Bei einem Alarm über Feuermelder werden die Abluftkanäle durch Brandschutzklappen automatisch verschlossen, eine Entlüftung erfolgt nur 300 Meter vor und nach der gemeldeten Brandstelle.





## Sicherheitseinrichtungen

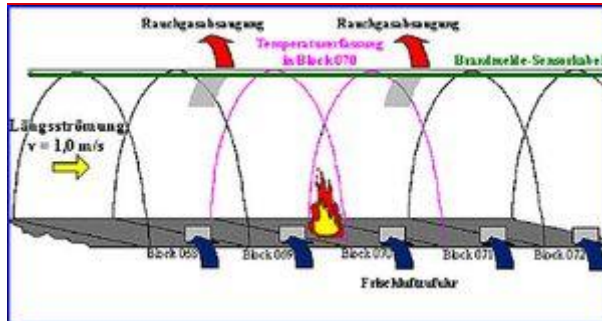
Das Bauwerk verfügt neben baulichen und lüftungstechnischen Sicherheitseinrichtungen über ein komplexes, hochtechnisiertes System zum Schutz der Verkehrsteilnehmer. Zahlreiche Lichtsensoren steuern die Beleuchtung in Abhängigkeit von Außenhelligkeit und bestehender Sichttrübung durch Abgase (Ruß) oder aufgewirbeltem Staub. In zwei Betriebsgebäuden und in der zugehörigen Autobahnmeisterei werden kontinuierlich Bilder von insgesamt 26 Kameras übertragen. Nicht gesichtete Brände detektiert ein an der Tunneldecke angebrachtes Brandmeldekabel. Die Verlegung des Kabels in Abschnitten ermöglicht bei einer Brandmeldung die exakte Lokalisation des Brandherdes. Die Feuerwehren Leonberg (Kreis Böblingen) am Südportal sowie Ditzingen und Gerlingen (beide Kreis Ludwigsburg) am Nordportal werden im Brandfall direkt alarmiert, sie haben Zugang zu den Brandmeldeanlagen in beiden Betriebsgebäuden. Mit der Detektion eines Brandes schalten Signalanlagen an beiden Portalen auf rot, automatisch werden Lüfter zur Rauchabsaugung aktiviert. Eine Aktivierung der Be- und Entlüftungseinrichtung erfolgt auch bei Messung zu hoher Kohlenmonoxid- oder Stickoxidkonzentrationen durch einen der 18 kontinuierlich messenden Sensoren.

Empfangskabel ermöglichen einen lückenlosen Empfang von vier lokalen Radiosendern, so dass Verkehrsteilnehmer im Notfall über die Frequenzen dieser Sender angesprochen werden können. Weitere Sende- und Empfangskabel erlauben Feuerwehr, Polizei und Rettungsdienst im 2m- und 4m-Bereich ungestört zu kommunizieren.

Jede Röhre verfügt über acht Notrufrischen, diese sind - wie auch die sieben Querstollen - mit je zwei Feuerlöschern, einem Handdruckfeuermelder, einem Notruftelefon und zwei Wasseranschlüssen (1 C- und 1 B-Anschluss) ausgestattet.

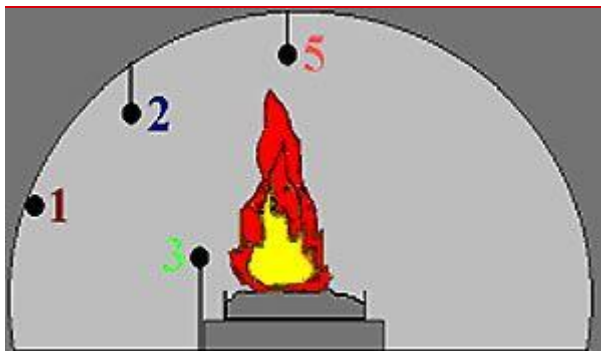
Bei Ausfall der Stromversorgung garantiert eine Notstromversorgung mit Batteriebetrieb die Funktion der Steuergeräte in den Betriebsgebäuden, die Notbeleuchtung sowie die

verkehrstechnischen Einrichtungen. Für eine Dauer von 60 Minuten liefert die Notstromversorgung auch Energie für eine automatische Brandmeldung sowie die Steuer- und Messeinrichtungen. Bei länger anhaltendem Ausfall können fahrbare Notstromaggregate durch Energieversorgungsunternehmen bereitgestellt und an der Stromversorgung des Tunnels angeschlossen werden



## Vorversuche

Neben einer denkbaren Gefährdung von Übungsbeobachtern schien im Vorfeld der Versuche das Ausmaß der zu erwartenden Schäden an Sicherheitseinrichtungen und Elektrik im Bereich der Tunneldecke unkalkulierbar. Bei einer Umgebungstemperatur von über  $60^\circ$  Celsius befürchteten die Vertreter der Baugesellschaft thermische Schäden an Leitungen im Bereich der Tunneldecke. Durch Vorversuche im stillgelegten, etwa 320 Meter langen alten Engelbergautobahntunnel galt es Erkenntnisse über die Gefährdung technischer Einrichtungen zu gewinnen. Die vorgesehenen Versuche (s.u.) wurden daher am 5. und 12. Juli 1999 in der alten Röhre in Probeläufen durchgeführt. Temperatursensoren an der Tunneldecke und in unmittelbarer Umgebung des Brandherdes ließen das Risiko einer thermischen Schädigung besser abschätzen, unterschiedlich starke natürliche Luftströme durch Tief- beziehungsweise Hochdruckwetterlage zeigten das mögliche Verhalten der entstehenden Rauchgase.



## Versuchsanordnung

Durch auf ein zeitliches Minimum (pro Versuch maximal 10 Minuten) beschränkte Brandversuche sollten Schäden am Bauwerk oder an den technischen Einrichtungen verhindert und eine verzögerte Inbetriebnahme des Tunnels ausgeschlossen werden. Art und Umfang der Versuche orientierten sich an einem „Normbrand“, wie er in den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunnels (RABT 1994) festgelegt wurde. Entsprechend des Brandes eines Mittelklassewagens sah die Versuchsanordnung eine Brandleistung von 5 Megawatt (MW) vor. Zunächst sollte das Brandmittel Benzin (45 Liter) auf einer Brandfläche von  $2 \text{ m}^2$  diese Leistung erbringen, im zweiten Teil war die Entzündung

eines mit Holz und Autoreifen beladenen Kleinwagens vorgesehen.

Um Beschädigungen an den eingebauten Sicherheits- und Lüftungsanlagen zu vermeiden wird zum Brandbeginn und während der Versuchsbrände eine Tunnellüftungsgeschwindigkeit von 1 m/s manuell vorgewählt. Dies entspricht in etwa der natürlichen Tunnellüftung in Fahrtrichtung bei Richtungsverkehr.

Der Versuchsaufbau in der Weströhre erfolgt 700 Meter vom nördlichen Portal entfernt. Bei unvorhersehbarem Ablauf sollte die Autobahnpolizei den fließenden Verkehr in der Oströhre stoppen, alle Übungsbeobachter könnten dann ungefährdet durch den ersten und zweiten Querstollen in die Oströhre flüchten.

Elektrische und Brandmeldekabel an der Tunneldecke wurden im Bereich des Brandherdes vor den Versuchen mit an der Decke angebrachten Platten zusätzlich geschützt. Schäden an der Fahrbahn soll eine 50 cm hohe Unterlage aus Kies und Sand verhindern.



#### *Erster Versuch: Rauchabsaugung eines Normbrandes*

45 Liter Benzin auf einer Brandfläche von 2 m<sup>2</sup> sollten die Rauchmenge eines 5 MW-Brandes erzeugen. Da das Hochfahren der Ventilatoren nach automatischer Brandmeldung 5 bis 7 Minuten in Anspruch nimmt, sollten diese bereits vor Anfachen des Normbrandes unter Vollast arbeiten. Die Rauchausbreitung und das von sechs verschiedenen Temperatursensoren aufgezeichnete Wärmeverhalten wird protokolliert.

Für Übungsbeobachter erfolgte 50 Meter entgegen der Luftströmung eine Sicherheitsabspernung, die nach Entzündung nur solange von Kamerateams und Fotografen überschritten werden darf, bis der Übungsleiter sie zum sofortigen Rückzug auffordert. Nach etwa 10 Minuten soll das Feuer gelöscht werden, ein dreifacher Brandschutz wird auf beiden Seiten des Brandherdes von den drei zuständigen Feuerwehren vorgehalten.

#### *Zweiter Versuch: Normbrand ohne Vorlauf der Ventilatoren*

Es soll die Branddetektion und Brandsteuerung im Automatikbetrieb getestet werden. Vor Anfachen des Brandes werden die Ventilatoren daher ruhen. Übungsdauer und Dokumentation entsprechen dem Vorgehen in Versuch 1.

#### *Dritter Versuch: PKW-Brand*

Geplant ist der Vollbrand eines PKW, erst durch Bedienung eines Handdruckfeuermelders kommt es zur Aktivierung der Brandmeldeanlage mit Anlaufen der Lüftungseinrichtung.

Aufzeichnung und Dokumentation der Messdaten wie bei den Vorversuchen.

Da eine wesentliche stärkere Verrauchung der Röhre zu erwarten ist, werden die etwa 200 Übungsbeobachter auf eine mögliche Räumung des Tunnels vorbereitet.

#### **Sicherheitsmaßnahmen**

Zur Sicherung der Übungsbeobachter und des Bauwerkes stellen die drei zuständigen Feuerwehren Löschmittel und Beleuchtungsgerät bereit. 18 mit Langzeitatemschutzgeräten

ausgerüstete Feuerwehrangehörige stehen am Brandherd und an den Querstellen bereit. Die ausgerüsteten Trupps übernehmen im Notfall die Brandbekämpfung sowie die Sicherung der Fluchtwege. Zahlreiche Feuerwehrfahrzeuge stehen für eine etwaige Evakuierung in Fluchtrichtung bereit. Über Lautsprecherdurchsage kommentiert Kreisbrandmeister Helmut Feil (Böblingen) fortlaufend das aktuelle Übungsgeschehen und eine gegebenenfalls erforderliche Erweiterung der Sicherungsmaßnahmen.

**Ergebnisse**Obwohl die zunächst vom Verkehrsministerium abgesagte und nach unterschiedlichen Pressemeldungen dann doch realisierte Übung erst zwei Tage zuvor bekannt gegeben wurde, erschienen am Vormittag des 17. Juli knapp 200 offizielle Übungsbeobachter. Bei einem Großteil der anwesenden handelte es sich um Vertreter verschiedener Medien. Die Versuche erfolgen vormittags bei sommerlicher Hochdruckwetterlage.

#### *Versuch 1:*

Bei einem vorgegebenen Luftstrom von 1m/s und unter Volllast laufender Tunnelentlüftung erfolgte die Rauchausbreitung des „Normbrandes“ ohne Verwirbelungen zur Tunneldecke hin. Entgegen der Luftströmung breitete sich der Rauch auf einer Länge von 50-60 Metern aus, etwa doppelt so weit reicht die Rauchausbreitung in Richtung des Luftstromes. Bevor sich der Rauch abkühlen und damit senken konnte, saugte die Entlüftungsanlage den sichtbaren Rauch vollständig ab. In keinem Bereich des Tunnels ließ sich eine ernsthafte Gefährdung durch Rauchgase nachweisen. Die 50 Meter vom Brandherd entfernt stehenden Übungsbeobachter verblieben bis zum Ablöschen des Brandes in der Tunnelröhre. Die kurzzeitig gemessenen Temperatur-Maxima betragen über dem Brandherd um 100°C, am Fahrbahnrand lagen diese deutlich niedriger. Thermische Schäden an ungeschützten Abschnitten des Tunnels traten nicht auf. Zwölf Minuten nach Versuchsbeginn löschten bereitstehende Trupps das Feuer, zu diesem Zeitpunkt wäre im Ernstfall mit einem Eintreffen der zuständigen Feuerwehren zu rechnen gewesen.



---

### *Versuch 2*

Auf Versuch 2 wurde kurzfristig verzichtet, die Erkenntnisse aus den beiden anderen Versuchen machten einen weiteren Brandversuch entbehrlich.

### *Versuch 3*

Kurze Zeit nach In-Brand-setzen des Innenraumes stand der Kleinwagen im Vollbrand. Entgegen der Luftströmung breitete sich der Rauch während der ersten vier Minuten nur entlang der Tunneldecke aus, in Windrichtung kam es durch Verwirbelungen schon in diesen Minuten zu einer geringen Verrauchung des gesamten Tunnelquerschnittes. Nach etwa 5 Minuten begann sich der Rauch rasch abzusenken, auch entgegen der Luftströmung im Tunnel kam es nach weiteren drei bis vier Minuten zu einer vollständigen Verrauchung des Tunnelquerschnittes. Zu diesem Zeitpunkt, also etwa acht Minuten nach Brandausbruch, lief die mit Brandmeldung gestartete Tunnelentlüftung unter Volllast. Eine weitere Rauchausbreitung entgegen der Luftströmung ließ sich so verhindern, eine merkliche Entrauchung des betroffenen Tunnelabschnittes begann erst mit Einsetzen der Löscharbeiten nach 12 Minuten. Dieser Zeitpunkt entspricht bei normalen Verkehrsverhältnissen den Eintreffzeiten der zuständigen Feuerwehren.

Außerhalb des entlüfteten Tunnelabschnittes – im Brandfall ein 300 Meter langes Teilstück – konnte man entgegen der Luftströmung (1m/s in Fahrtrichtung) keine wesentliche Verrauchung feststellen, in Richtung der Luftströmung blieb die Röhre jedoch auf der gesamten Länge auch nach Ablöschen des Brandes über mehr als 15 Minuten stark verraucht. Ein Fluchtversuch von Verkehrsteilnehmern zu Fuß wäre auf diesem Weg im Ernstfall unmöglich. Ein Verlassen des Tunnels kann dagegen über Querstollen zur zweiten Röhre hin erfolgen. Die nicht betroffene Röhre blieb bei den Brandversuchen vollständig rauchfrei, in den Querstollen bestand eine so geringe Verrauchung, dass ein längerer Aufenthalt ohne Atemschutzgerät zu keinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen führte.





---

## Zusammenfassung

Ein bei laufender Tunnellüftung entstehender Fahrzeugbrand im Engelbergtunnel scheint mit keiner Gefährdung (gefhähriger) Verkehrsteilnehmer einherzugehen. Nahezu ohne Rauchexposition bietet sich Verkehrsteilnehmern die Möglichkeit zur Selbstrettung, sie können den Tunnel durch Querstollen zur unbeteiligten Röhre verlassen. Entgegen der Luftströmung (bzw. Fahrtrichtung) ließ sich auch in der betroffenen Röhre keine bedenkliche Verrauchung feststellen. Lediglich etwa 100 Meter nach der Brandstelle scheint die Verrauchung in der Initialphase eine Gefährdung der Verkehrsteilnehmer darzustellen. Deutlich größer ist der kritisch verrauchte Tunnelabschnitt, wenn die zusätzliche Entlüftung erst mit Branddetektion aktiviert werden muss. Die Vorlaufzeit der Tunnelentlüftung erlaubt eine kurzstreckige Verrauchung vor einem Brandherd, ausgedehnt ist dagegen die Verrauchung hinter dem Brandherd. Doch auch in diesem Fall lassen sich die Querstollen zur unbeteiligten Röhre problemlos erreichen, lediglich bei Verlassen des Tunnels zu Fuß in Fahrtrichtung scheint die Rauchgasexposition gefährlich erhöht. Während der Brand eines Fahrzeugs somit keine ernsthafte Gefährdung darstellen dürfte, bleibt das Risiko beim Brand mehrerer Fahrzeuge respektive Lastkraftwagen oder beim Ausfall der Entlüftungseinrichtung unkalkulierbar. Die Entlüftung eines betroffenen Tunnelabschnittes würde ausbleiben, wenn das Feuer vor Detektion durch die Brandmeldekabel von einem flüchtenden Verkehrsteilnehmer per Handfeuermelder in 200 Meter Entfernung gemeldet würde. Wie bei einem technischen Defekt ließe sich die



Entlüftung im Brandabschnitt dann nicht mehr aktivieren.

Es bleibt ein Restrisiko, wenngleich dieses bei einem Doppelröhrensystem mit der (lüftungs-)technischen Ausstattung des Engelbergtunnels als sehr gering einzustufen ist.

Ausschlaggebend für dieses Restrisiko ist die Umsicht der Verkehrsteilnehmer in der Unfallvermeidung und ihre Besonnenheit bei Eintreten eines Fahrzeugbrandes. Die Tipps deutscher, österreichischer und schweizerischer Organisationen für das Befahren von Straßentunnels sowie für das Verhalten im Brandfall sollten daher allen Verkehrsteilnehmern vertraut sein.

Dr. Andreas Häcker

August 1999