

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,  
Energie und Kommunikation (UVEK)**

**Bundesamt für Strassen (ASTRA)**

# **Intervention bei Bränden in Strassentunneln**

**Intervention lors d'incendies dans les  
tunnels routiers**

**Intervention in the case of fires in road  
tunnels**

**Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure + Planer AG, Winterthur**

**Daniel Schuler, dipl. Ing. FH  
Peter Bürkel, dipl. Ing. ETH**

**Forschungsauftrag ASTRA 2002/005 auf Antrag des  
Schweizerischen Feuerwehrverbandes**

**Januar 2005**



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist auf Antrag des Schweizerischen Feuerwehrverbandes entstanden. Auslöser waren die verheerenden Unfälle im Mont-Blanc-, im Tauern- sowie im Gotthardtunnel. Auch im Bericht der Tunnel Task Force des ASTRA wurde darauf hingewiesen, dass einer geplanten Intervention der Ereignisdienste und dabei insbesondere der Feuerwehren im Rahmen der Tunnelsicherheit eine massgebende Bedeutung zukommt. Im Weiteren wurde erkannt, dass die Schaffung von Grundlagen für die Einsatzplanung und die Ausbildung der Ereignisdienste eine effiziente Massnahme darstellt. Das massgebende Ziel der Forschungsarbeit war die Beschaffung und Auswertung von Informationen im Schnittbereich des Einsatzes der Ereignisdienste, der Brandszenarien sowie des Bauwerks Tunnel als Grundlage für eine Wegleitung für die Intervention bei Bränden in Strassentunneln.

Die durchgeführten Recherchen sind nachfolgend aufgelistet:

- Gespräche mit Vertretern von Kommandanten von Feuerwehren mit zugewiesenen Strassentunneln
- Durchsicht von Berichten über Brandereignisse in Tunneln
- Analyse von Forschungsarbeiten im Bereich Brandschutz in Tunneln, dabei im Besonderen Berichte über Brandversuche
- Auswertung von Informationen aus Normen und Richtlinien, die sich auf die Planung und den Betrieb von Strassentunneln beziehen

Für die Begleitung der Forschungsarbeit und die Vorbereitung eines Entwurfs einer Wegleitung wurde eine Expertengruppe mit Vertretern von Organisationen des Feuerwehrwesens sowie des Bundesamtes für Strassen eingesetzt. Die Mitglieder sind nachfolgend aufgeführt.

B. Sartory, Schweizerischer Feuerwehrverband (Vorsitz)

R. Bopp, Schweizerischer Feuerwehrverband (Vorsitz) ab 01.07.04

A. Hofer, Bundesamt für Strassen

U. Holzer, Bundesamt für Strassen

A. Meier, Schweizerische Feuerwehrinspektorenkonferenz

H. Mundwiler, Regierungskonferenz für die Koordination des Feuerwehrwesens

R. Ryff, Schweizerischer Feuerwehrverband

K. Steiner, Schweizerische Feuerwehrinspektorenkonferenz

W. Steiner, Amt für Tiefbau des Kantons Uri

Unser Dank geht an die Mitglieder der Expertengruppe für die fachtechnische Unterstützung und die Auseinandersetzung mit einer benützergerechten Redaktion der Wegleitung. Einen speziellen Dank gebührt auch Herrn Dr. F. Zumsteg, FZ Ingenieurbüro Franz Zumsteg, für die wertvolle Beratung im Bereich Tunnellüftung.



## Zusammenfassung

Die verheerenden Brände im Mont-Blanc-, im Tauern- sowie im Gotthardtunnel zeigten, dass der Intervention der Ereignisdienste und im speziellen der Feuerwehr eine massgebliche Bedeutung zukommt. Mit dem Ziel Grundlagen für die Erstellung von objektbezogenen Einsatzplanungen und für die Ausbildung zu schaffen, wurde eine Wegleitung für die Intervention in Strassentunneln erarbeitet. Die dabei geleistete Forschungsarbeit und die Vorbereitung der Wegleitung wurde durch eine Expertengruppe bestehend aus Vertretern des Feuerwehrwesens und des Bundesamtes für Strassen begleitet.

Die mit der Wegleitung vermittelten Grundlagen zur Einsatztaktik, zu den technischen Aspekten von Tunnelbauwerken und zur Brandphysik sind in drei Informationsblöcke sowie einen umfangreichen informativen Anhang gegliedert. Der Geltungsbereich umfasst Fahrzeugbrände in Strassentunneln. Die Freisetzung gefährlicher Stoffe wird mit Ausnahmen von Mineralölprodukten nicht behandelt.

Im Informationsblock zu den Ereignisszenarien sind acht Szenarien mit ihren auf die Intervention ausgerichteten Charakteristiken definiert. Die Informationen zur Organisation und zum Einsatz behandeln die massgebenden Aspekte von Tunnelbränden, welche als Grossereignis eingestuft werden. Im Speziellen werden dabei die einsatztaktischen Besonderheiten auf Grund der beschränkten Platzverhältnisse in Tunneln behandelt. Die Informationen zu den Sicherheitsmassnahmen basieren auf der Auswertung von Brandereignissen und Brandversuchen sowie der Projektierung von Tunnelbauwerken. Detaillierte Informationen zu den Massnahmen finden sich in den Anhängen.

In den Anhängen sind unter anderem Grundlagen zu Tunnelbränden und zur Branddetektion zusammengestellt. Im Weiteren werden für das Verständnis wichtige Sachverhalte zur Tunnellüftung und zur Tunnelentwässerung allgemein verständlich dargestellt. Ebenfalls in den Anhängen enthalten sind schliesslich Informationen zu den Verbindungen, zur sicherheitstechnischen Infrastruktur, zur Sicherheitsausrüstung und zur speziellen Ausrüstung der Feuerwehr.

## Résumé

Les terribles incendies survenus dans les tunnels du Mont-Blanc, du Tauern et du Gothard ont mis en évidence l'énorme importance du travail des services d'intervention, et notamment de celui des sapeurs-pompiers. Des directives pour les interventions dans les tunnels routiers ont maintenant été élaborées; elles sont destinées à servir de base à la planification d'engagements spécifique à chaque ouvrage ainsi que pour l'instruction. Les recherches effectuées à cet effet, de même que la préparation de ces directives, ont été accompagnées par un groupe d'experts composé de représentants du domaine des sapeurs-pompiers et de l'office fédéral des routes.

Les informations fondamentales que contiennent ces directives au sujet de la tactique d'intervention, des aspects techniques des tunnels et de la physique des incendies sont subdivisées en trois blocs d'information. De plus, de très nombreuses informations figurent dans les annexes. Ces directives s'appliquent pour les incendies de véhicules dans des tunnels routiers. Les fuites et écoulements de substances dangereuses ne sont pas traités, à l'exception des huiles minérales.

Le bloc d'information consacré aux événements potentiels comporte huit scénarios caractéristiques avec des indications sur les interventions correspondantes. Les informations concernant l'organisation et l'engagement traitent les principaux aspects des incendies en tunnels qui sont classifiés événements majeurs. Les particularités de la tactique d'engagement qui découlent du manque de place dans les tunnels sont notamment abordées. Les informations au sujet des mesures de sécurité se fondent sur l'analyse d'incendies et d'essais d'incendies, de même que sur des études de projets de tunnels. Des informations détaillées au sujet des mesures figurent dans les annexes.

Les annexes contiennent en outre des récapitulations des connaissances de base concernant les incendies en tunnels et la détection des incendies. De plus, cette documentation comporte une vulgarisation des aspects importants de la ventilation des tunnels et de l'évacuation des liquides des tunnels, de manière à garantir la compréhension. Finalement, les annexes contiennent aussi des informations sur les liaisons, les infrastructures en matière de sécurité, les équipements de sécurité et les équipements spéciaux des sapeurs-pompiers.

## Summary

The devastating fires in the tunnels of Mont-Blanc, Tauern and Gotthard have shown the importance of the intervention and incident response roles of the emergency services, in particular the fire brigades. Therefore, a road tunnel hazard guideline has been worked out. The goal of this guide is to provide bases for emergency response planning and the training of emergency services. The research and preparatory work needed to compile the guide was extensively supported by a group of experts made up of fire brigade representatives and the Swiss Federal Roads Authority.

The guide provides basic knowledge, subdivided into three information blocks and a comprehensive informative appendix. It deals with the aspects of tactical emergency response, tunnel construction and fire physics. The scope contains hazards caused by vehicle fires in road tunnels. Except of mineral oil products, the release of dangerous substances, such as harmful chemicals, is not discussed.

In the information block about hazard scenarios, eight different hazardous incidents are defined. For each of these scenarios, most important information, needed for the emergency management, are provided. Information concerning the organization of the emergency services and the incident response are provided for tunnel fires, which are classified as major hazards. Special emphasis is placed on the peculiarity for the tactical response planning due to the confined space within tunnels. The provided information on safety measures is based on analysis of tunnel fire events and fire experiments as well as on the knowledge of tunnel construction planning. Detailed information are compiled in the appendices.

The appendices contain a summary of bases referring to tunnel fires and fire detection. The most important elements of tunnel ventilation and tunnel drainage are also described in a clear and transparent way to facilitate understanding of the principles involved. Finally, the appendices also provide information on communication links, technical safety infrastructure, safety equipment and the special equipment used by the fire brigade.





<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzungen der Forschungsarbeit	1
1.3	Übersicht zur Wegleitung	1
<b>2</b>	<b>Erläuterung zur Wegleitung</b>	<b>3</b>
2.1	Übergeordnete technische Grundlagen	3
2.2	Kapitel 1, Allgemeines	9
2.3	Kapitel 3, Ereignisszenarien	9
2.4	Kapitel 4, Organisation und Einsatz	11
2.5	Kapitel 5, Massnahmen	11
<b>3</b>	<b>Anhänge der Wegleitung</b>	<b>12</b>
3.1	Anhang 1, Tunnelbrand	12
3.2	Anhang 2, Branddetektion	12
3.3	Anhang 3, Tunnellüftung	13
3.4	Anhang 4, Tunnelentwässerung	14
3.5	Anhang 5, Schadenplatzorganisation	14
3.6	Anhang 6, Verbindungen	14
3.7	Anhang 7, Sicherheitstechnische Infrastruktur	14
3.8	Anhang 8, Sicherheitsausrüstung	14
3.9	Anhang 9, Spezielle Ausrüstung der Feuerwehr	14
3.10	Anhang 10, Ausbildung	15
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>16</b>
	<b>Anhang</b>	<b>18</b>
	Technische Wegleitung für die Intervention bei Bränden in Strassentunneln, Entwurf vom 1. Dezember 2004	18



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Der Brand im Mont-Blanc-Strassentunnel am 24.03.99 ist in einem Bericht vom 30.06.99 [9] beschrieben. In diesem Dokument werden organisatorische Probleme sowie die Auswirkungen von Sicherheitseinrichtungen mit einem technisch tiefen Niveau umfassend und detailliert dargestellt. Dieser Brand hat zusammen mit ähnlichen Ereignissen im Tauern- und im Gotthardtunnel den Schweizerischen Feuerwehrverband veranlasst, im Bereich der Intervention bei Bränden in Strassentunneln aktiv zu werden. Im Vordergrund stand die Bearbeitung eines Behelfs für Feuerwehreinsätze in Tunnelanlagen [1]. Im Weiteren wurde eine Arbeitsgruppe Tunnelleinsätze RKKF/SVF gebildet, welche den Bericht Bau - Vorschriften - Sicherheit - Ausbildungsinfrastruktur und Ausrüstungen vom 12.04.01 [2] bearbeitete. Am 08.11.02 hat der Schweizerische Feuerwehrverband in Zusammenarbeit mit dem Comité Technique International de Prévention et d'Extinction du Feu in Regensdorf eine europäische Konferenz für mehr Tunnelsicherheit mit einem grossen Teilnehmerkreis durchgeführt. Im Zusammenhang mit diesen Aktivitäten hat sich jedoch gezeigt, dass im Hinblick auf die Ausbildung der Kader der Feuerwehren sowie der übrigen Ereignisdienste umfassende einsatztaktik- und tunnelbauwerkbezogene Grundlagen bearbeitet werden sollten. Das geplante Dokument sollte insbesondere auch den Dialog zwischen den Feuerwehren, den übrigen Ereignisdiensten, den Betreibern sowie den Planern von Tunneln ermöglichen bzw. erleichtern. In der Folge hat der Schweizerische Feuerwehrverband beschlossen, beim Bundesamt für Strassen ein Kreditbegehren unter dem Projekttitel "Richtlinien für die Intervention bei Tunnelbränden" einzureichen. Die Bezeichnung "Richtlinien" wurde später auf "Technische Wegleitung" geändert. Das Gesuch wurde mit Schreiben des Bundesamtes für Strassen vom 06.01.03 bewilligt.

## 1.2 Zielsetzungen der Forschungsarbeit

Das Projektziel gemäss dem Kreditbegehren waren Grundlagen für eine Wegleitung zur Planung der Interventionen bei Tunnelbränden sowie zur Ausbildung von Angehörigen von Führungsstäben, Feuerwehren, Polizeidiensten sowie von sanitätsdienstlichen Rettungsorganisationen.

## 1.3 Übersicht zur Wegleitung

Zwischen den Informationsblöcken der Wegleitung bestehen zahlreiche Beziehungen, die eine übersichtliche Gliederung erschweren. Aus diesem Grund wurde für die Wegleitung eine grobe Struktur mit den drei folgenden Hauptinformationsblöcken gewählt:

- Ereignisszenarien
- Organisation und Einsatz
- Massnahmen

Daneben wurden der Wegleitung zahlreiche Anhänge angegliedert, welche auf die Informationsbedürfnisse der Ereignisdienste bezogene detaillierte Informationen zum Tunnelbrand und zum Bauwerk Tunnel enthalten. Die Anhänge sind sozusagen ein "informatives" Element der Wegleitung. Sie sind jedoch ein wichtiges Element der Kommunikation zwischen dem Betreiber und den Ereignisdiensten und vor allem eine Hilfe für die Bearbeitung einer Einsatzplanung.

## 2 Erläuterung zur Wegleitung

### 2.1 Übergeordnete technische Grundlagen

#### **Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels - final report**

Dieser Bericht [3] wurde vom Rat für Wirtschaft und Soziales der Vereinigten Nationen bearbeitet. Er behandelt primär organisatorische und bauliche Sicherheitsmassnahmen im Bereich der Prävention. Die für die Ereignisdienste massgebenden Informationen finden sich auch in den nachfolgend vorgestellten Dokumenten.

#### **Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen für die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz**

Richtlinien der EU müssen von allen Mitgliedstaaten umgesetzt werden. Für den Neubau von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz in der Schweiz ist die geplante Richtlinie [4] lediglich als technische Grundlage zu betrachten, in der Regeln der Baukunde festgelegt sind. Die Forschungsstelle hat die Richtlinien hinsichtlich Beziehungen zur Wegleitung geprüft. Die in den Richtlinien vorgesehenen Massnahmen wurden oder werden im Wesentlichen in die Schweizerischen Technischen Normen und Richtlinien übernommen. In der Begründung der Richtlinien sind deren Ziele angegeben. Nachfolgend werden Elemente aus der Zieldarstellung zitiert:

**Primärziel: Vorbeugung** (*Vermeidung kritischer Ereignisse, die eine Gefahr für Menschenleben, Umwelt und Tunnelbetriebsanlagen bedeuten*)

**Sekundärziel: Abschwächung möglicher Folgen** (*etwa von Unfällen und Bränden*) *durch Schaffung idealer Voraussetzungen, damit*

- *Unfallbeteiligte sich in Sicherheit bringen können (Selbstrettung),*
- *Strassennutzer unmittelbar zur Vermeidung grösserer Schäden eingreifen können,*
- *Ereignisdienste wirksam arbeiten können,*
- *die Umwelt geschützt und*
- *materieller Schaden begrenzt wird.*

*Für die Rettung von Menschenleben und die Begrenzung von Sachschäden sind die ersten 10 bis 15 Minuten nach einer Störung oder einem Unfall von entscheidender Bedeutung. Die Vermeidung kritischer Situationen ist daher absolut vorrangig, so dass die wichtigsten der zu ergreifenden Massnahmen präventiver Art sein müssen.*

Der Vorschlag für die Richtlinie beurteilt organisatorische Massnahmen prioritär. Dabei wird vorgeschlagen, dass die Organisation der verantwortlichen Stellen auf nationaler Ebene zu koordinieren ist und dass einzelne Funktionen und Zuständigkeiten zu klären sind. Es wird im Weiteren empfohlen, dass jeder Mitgliedstaat eine Aufsichtsbehörde benennt, die von einem Untersuchungsorgan unterstützt wird. Wesentlich ist jedoch vor allem die Zuweisung der Verantwortung für Sicherheit an den Tunnelmanager, während ein ernannter Sicherheitsbeauftragter für die Überwachung zuständig ist. Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der Reorganisation des Betriebs der Nationalstrassen auf Bundesebene die organisatorischen Massnahmen im Schnittbereich Betrieb und Tunnelsicherheit für die Nationalstrassen gemäss der geplanten Richtlinie festgelegt werden.

Der Vorschlag für die Richtlinien enthält zahlreiche interessante Informationen über Fahrzeuge, die Strassennutzer und die Mindestanforderungen für die Sicherheit von Tunneln. Der Brandschutz hat dabei eine prioritäre Bedeutung.

## Schlussbericht der Tunnel Task Force des Bundesamtes für Strassen

### Überblick

Der Bericht der Task Force [5] liefert einen Überblick über die Sicherheitsaspekte von Strassentunneln. Er enthält im Weiteren technische Grundlagen und behandelt die Frage, was hinsichtlich der Sicherheit in Strassentunneln machbar ist. Von besonderem Interesse sind Angaben über Erhebungen der Wahrscheinlichkeit von Brandereignissen bezogen auf die unterschiedlichen Charakteristiken von Tunneln sowie erfasste Schadenausmasse.

### Massnahmenliste

Der Bericht enthält eine Auflistung von Massnahmen. Diejenigen, welche unmittelbar den Brandschutz betreffen, sind nachfolgend aufgelistet. Die bei den aufgelisteten Massnahmen angebrachte Nummerierung ist aus dem Bericht übernommen worden. Einzelne Texte sind gekürzt.

*Massnahme 1.06, Die Vorschriften für die **Gefahrguttransporte** durch Tunnel sollen international verschärft werden.*

*Für die Gefahrguttransporte bestehen weitgehende Einschränkungen. Die Gefahrguttransporte durch Tunnel können jedoch wegen der Freiheit in der Wahl des geeigneten Transportmittels nicht grundsätzlich verboten werden. Die bestehenden Einschränkungen sollen weiter verschärft werden.*

*Massnahme 1.07, Für den Transport von besonders gefährlichen Gütern soll im Einzelfall die Bildung von **Konvois** und eine **Begleitung** vorgeschrieben werden können.*

*Die Bildung von Konvois ermöglicht eine erhöhte Einsatzbereitschaft der Ereignisdienste. Damit können die Risiken verkleinert werden. Konvois setzen jedoch geeignete Ausstellflächen für wartende Fahrzeuge voraus.*

**Massnahme 2.01**, Es soll eine schweizerische **Überprüfungsstelle** für die koordinierte Ereignisbewältigung in Strassentunneln geschaffen werden.

Diese Überprüfungsstelle, für welche zu allererst die rechtlichen und finanziellen Grundlagen geschaffen werden müssen, soll die folgenden Aufgaben und Kompetenzen haben:

- Erlass von Vorschriften für die Sicherheitsüberprüfungen von Tunneln,
- Überprüfung der Organisation, der Einsatzkonzepte, der Ausbildung und Ausrüstung der Ereignisdienste in Zusammenarbeit mit den Sicherheitsbeauftragten,
- Erlass von Anforderungen für die Sicherheitsbeauftragten,
- Durchsetzung der erforderlichen Massnahmen,
- Kompetenz für Tunnelsperrungen zu Ausbildungszwecken der Ereignisdienste und für Brandversuche.

**Massnahme 2.02**, Für jeden Tunnel von mehr als 600 m Länge soll ein **Sicherheitsbeauftragter** ernannt werden.

Der Sicherheitsbeauftragte muss mit den notwendigen Kompetenzen und Weisungsbefugnissen beim Betrieb und bei der Polizei ausgestattet sein und soll folgende Aufgaben haben:

- Planen der Organisation der Ereignisdienste und deren Einsatzkonzepte,
- Planen, Durchführen und Auswerten von Einsatzübungen,
- Mitbestimmen bei der Festlegung der Sicherheitskonzepte und der Infrastrukturausrüstungen (Neubauten und Änderungen),
- Ausbilden des Personals des betrieblichen Unterhalts, der Verkehrspolizei und der Ereignisdienste,
- Mitwirken bei der Tunnelabnahme (baulicher Teil und Ausrüstungen).

**Massnahme 2.03**, Für die periodische Durchführung von **wirklichkeitsnahen Übungen** von Brand und Rettungseinsätzen in Tunneln sollen Rechtsgrundlagen und Richtlinien erlassen werden.

- Die Übungsanlage soll realistisch sein und den definierten Ereignisszenarien entsprechen,
- Die Übungen müssen nachvollziehbare Resultate liefern,
- Die entsprechende Planung muss mit den Spezialisten der Unterhalts- und Ereignisdienste erfolgen, um Schäden am Objekt zu vermeiden und Verkehrsstörungen möglichst gering zu halten.

**Massnahme 2.04**, Ausserhalb des Strassennetzes soll ein **Tunnel für Übungen** und Versuche erstellt oder zur Verfügung gestellt werden.

Der besonderen Aufgabe der Rettung auf Strassen und in Tunnel muss vermehrte Beachtung geschenkt werden. Es fehlen insbesondere die realen Ausbildungsmöglichkeiten am Objekt, da für Feuerwehr- und Rettungsübungen in der Regel ein Tunnel nicht geschlossen werden kann.

**Massnahme 2.05,** *Alle Brände in Tunneln sollen erfasst und ausgewertet werden.*

*Zur Zeit besteht weder eine Tunnelunfalldatenbank noch eine Brandereignisdatenbank, so dass keine gesamtschweizerischen Aussagen über die Unfall- und Brandhäufigkeit in Tunneln oder an Fahrzeugen oder über deren Ursachen möglich sind.*

**Massnahme 2.06,** *Die Einsatztauglichkeit von **Hochleistungslüftern** soll geprüft und ein gesamtschweizerisches Beschaffungskonzept erarbeitet werden.*

*Hochleistungslüfter sind nur zur Sicherheit der Einsatzdienste und für deren zeitgemässe Einsatztechnik vor allem in Tunneln ohne Lüftungsausrüstung zu empfehlen.*

**Massnahme 2.07,** *Die Ausrüstungen der Tunnelfeuerwehren sollen mit einer **Wärmebildkamera** pro Stützpunkt ergänzt werden.*

*Die Wärmebildkamera ist zur Sicherheit der Einsatzdienste und für deren zeitgemässe Einsatztechnik zu empfehlen.*

**Massnahme 3.02,** *In zweiröhriigen Tunneln soll bei Ereignissen in der einen Röhre die **zweite Röhre** weiterhin **als Fluchtweg** benutzt werden.*

*Bei zweiröhriigen Tunneln ist die Erstellung der Querverbindungen, welche bei Ereignissen in einer Röhre die Flucht durch die zweite Röhre ermöglichen, eine wirksame und sehr kostengünstige Massnahme:*

- *Die Röhren werden mindestens alle 300 m durch begehbare Querverbindungen miteinander verbunden;*
- *Im Ereignisfall wird der Verkehr so gesteuert, dass die Gegenröhre als Fluchtweg benützt werden kann.*

**Massnahme 3.03,** *Die bisherige Funktion der **Querverbindungen** als Zufahrtsmöglichkeiten für die Ereignisdienste wurde überprüft und bestätigt.*

*Es ist weiterhin alle 300 m ein begehrbarer Querschlag und alle 900 m ein für die Ereignisdienste befahrbarer Querschlag vorzusehen.*

*Für den Zugang der Ereignisdienste bestehen bei zweiröhriigen Tunneln alle 900 m für Fahrzeuge befahrbare Querverbindungen. Bei einröhriigen Tunneln ist nur dort ein zusätzlicher Zugang möglich, wo ein Sicherheitsstollen oder ein Fluchtweg ins Freie führt.*

*Die Zufahrt zu den Portalen, zu den Querschlägen und bei einröhriigen Tunneln zum Ereignisort wird durch eine entsprechende Verkehrsbeeinflussung geregelt. Es ist noch zu prüfen, inwieweit diese Zufahrt im erforderlichen Ausmass sichergestellt ist.*

**Massnahme 3.04,** *Vor den Tunnelportalen sollen wenn immer möglich **Mittelstreifenüberfahrten** eingerichtet werden.*

*Damit die Ereignisdienste unmittelbaren Zugang zu den jeweiligen Tunnelröhren haben, sollen vor den Tunnelportalen wenn immer möglich Mittelstreifenüberfahrten vorhanden sein.*



**Massnahme 3.07**, Die Richtlinie für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von **Brandversuchen** in Tunneln wird international abgestimmt.

Es bestehen zur Zeit keine solchen Richtlinien. Es ist jedoch angezeigt, Richtlinien für derartige Versuche international abzustimmen. Eine internationale Koordination ist deshalb angezeigt und anzustreben.

**Massnahme 3.09**, Die **Signalisation** der nach aussen führenden **Fluchtwege** soll international vereinheitlicht werden.

Es wird vorgeschlagen, retroreflektierende oder innenbeleuchtete Schilder in genügender Grösse auf Augenhöhe und eventuell auch eine Bodenbemalung auf dem Bankett anzubringen. Diese Signalisation muss international abgestimmt werden.

**Massnahme 3.10**, Der Einsatz fester **Löschstationen** ist im konkreten Einzelfall zu prüfen.

Sprinkler oder ansteuerbare Sprühflutssysteme werden immer wieder als geeignete Ausrüstungen propagiert. Als Wirkungsweise wird angegeben, dass die Brandstelle sofort massiv gekühlt wird, hohe Temperaturen somit nicht erreicht werden, das Ereignis weitgehend auf den Entstehungsort beschränkt wird und die Rauchbildung und die Toxizität der Brandgase günstig beeinflusst werden.

Dies trifft jedoch nur mit Vorbehalten zu, weshalb Sprinkler in Tunneln bisher in der Schweiz nicht und im Ausland nur ausnahmsweise erstellt wurden. Die wenigen im Ausland installierten Ausrüstungen dürfen jedoch gemäss den zuständigen Betriebsdiensten nur präventiv, also nur zur Kühlung noch nicht brennender Fahrzeuge eingesetzt werden, da in Feuernähe heisser Dampf oder gar durch eine Verbindung von Wasser und gefährlichem Transportgut explosive Gase entstehen könnten.

Die Funktionskontrolle der Anlage und das Problem der Fehlalarme sind noch nicht gelöst. Der Unterhalt ist aufwändig.

Gemäss Absprache unter den Alpenländern soll auf Sprinkler in Tunneln vorläufig verzichtet werden.

**Massnahme 4.01**, Schwere Motorwagen zum Gütertransport sollen obligatorisch mit einem **Feuerlöscher** ausgerüstet werden.

Feuerlöscher können richtig eingesetzt einen Brand im Anfangsstadium eindämmen und löschen. Diese Massnahme soll im Rahmen einer kommenden Revision der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) geprüft werden.

### **Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln RABT**

Diese Richtlinien des deutschen Bundesministeriums für Verkehr [6] behandeln umfassend alle Aspekte der Ausstattung und des Betriebs von Strassentunneln. Das Dokument war über lange Zeit eine der massgebenden technischen Grundlagen im Rahmen der Projektierung von Tunneln. Detailliertere Angaben zur Ausstattung finden sich heute in Richtlinien des Bundesamtes für Strassen.

### **Erfassung, Analyse und Bewertung der derzeitigen Rettungskonzepte bei Brandunfällen in Verkehrstunneln für Strasse und Schiene**

Der umfangreiche Forschungsbericht der deutschen Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. [7] enthält umfassende Informationen über Brandereignisse in Tunneln und Rettungskonzepte. Das Schwergewicht liegt jedoch bei Bahntunneln. In diesem Bereich werden speziell die zahlreichen Schwierigkeiten von Interventionen der Feuerwehr in U-Bahnsystemen dargestellt. Der Bericht zeigt eindrücklich, wie gross die Unterschiede bei Einsätzen in Strassen- und Bahntunneln sind. Die Auswertung des Berichts hinsichtlich der Strassentunnel liefert eher wenige Informationen.

### **Rapport de la mission administrative d'enquête technique sur l'incendie survenu le 24 mars 1999 au tunnel routier du Mont Blanc**

Dieser Bericht des Ministeriums des Innern [8] beschreibt die Vorgeschichte des Brandereignisses im Mont-Blanc-Tunnel vom 24.03.99 sehr ausführlich. Von besonderem Interesse ist für die Ereignisdienste der detailliert Beschrieb des Ablaufs des Brandereignisses, die betrieblichen auf den Verkehr bezogenen Probleme sowie der Einsatz der Feuerwehr. Die genaue Analyse des Ereignisses ist ein massgebendes Element der darauf folgenden Entwicklung im Bereich der Sicherheit von Strassentunneln.

### **Incendie du 24 mars 1999 dans le tunnel du Mont-Blanc, Dispositions de sécurité du tunnel: description, rôle et fonctionnement pendant l'incendie, enseignement à tirer**

Der Bericht des Centre d'Etudes des Tunnels, Frankreich [9], ist ein Nachfolgebericht zur oben angegebenen Untersuchung des Brandereignisses im Mont-Blanc-Tunnel. Er behandelt im Sinne einer technischen Grundlage alle Aspekte der Sicherheitsmassnahmen in Tunneln.

### **Norm SN 531 197/2, Projektierung Tunnel, Strassentunnel (in Vorbereitung)**

Die Norm SIA 197/2 [10] behandelt projektierungsbezogen die Aspekte Brand und Explosion sowie die Bauteile für die Sicherheit in Tunneln. Die massgebenden brandbezogenen Informationen der Norm werden in Richtlinien des ASTRA detaillierter behandelt. Da die Wegleitung Intervention bei Bränden in Tunneln auf die Richtlinien des ASTRA abgestimmt ist, ist auch die Koordination mit der Norm SIA 197/2 gewährleistet. Hinweise auf die Richtlinien finden sich in entsprechenden bereichsbezogenen Ziffern dieses Berichts.

## **2.2 Kapitel 1, Allgemeines**

### **Zu Ziffer 1.1, Geltungsbereich**

Die Wegleitung gilt als Empfehlung für den Einsatz und die Ausbildung der Ereignisdienste bei einem Brand in einem Strassentunnel. Nicht behandelt werden Freisetzungen von gefährlichen Stoffen ausser Benzin und Heiz-/Dieselöl aus Transportfahrzeugen (Szenario 5). Die Wegleitung enthält jedoch sehr viele Informationen, die auch bei der Planung von Sicherheitsmassnahmen im Zusammenhang mit gefährlichen Gütern von Bedeutung sind. Angaben zur Erstellung von Einsatzplänen und zur Durchführung von Übungen im Hinblick auf Freisetzungen gefährlicher Stoffe finden sich im Dokument [11], bearbeitet von der Arbeitsgruppe Transport gefährlicher Güter Schweiz.

### **Zu Ziffer 1.2, Zweck**

In der Ziffer wird festgehalten, dass die Wegleitung die technische Grundlage für die Einsatzplanung der Intervention bei Brandereignissen darstellt. Dazu ist festzustellen, dass für alle Tunnel mit Transporten gefährlicher Güter die Einsatzplanung sowohl auf den Brandfall als auch auf Grossereignisse mit Freisetzungen gefährlicher Stoffe und auf Störfälle ausgerichtet werden sollte.

## **2.3 Kapitel 3, Ereignisszenarien**

### **Grundsätzliches**

Die acht in der Wegleitung dargestellten Szenarien sind auf die Intervention der Feuerwehr ausgerichtet. Sie wurden im Rahmen der Forschungsarbeit vorgeschlagen und mit der Begleitgruppe analysiert und weiterentwickelt. Im Vordergrund stand über dem interventionsbezogenen Beschrieb vor allem die Festlegung der Abgrenzungen zwischen den einzelnen Szenarien.

### **Zu Ziffer 3.3.2, Szenarium 2, Brand von Personenwagen mit Gasantrieb**

Im Rahmen der Forschungsarbeit konnte keine Erhebung über Brände von Personenwagen mit Gasantrieb durchgeführt werden. Recherchen haben jedoch Informationen über das Auftreten von Stichflammen aus dem Tank und die Auswirkungen einer Explosion und eines Feuerballs beim Bersten des Tanks geliefert. Es war jedoch nicht möglich, die Wahrscheinlichkeit eines Berstens des Tanks zu beurteilen. Bei einer von der Forschungsstelle über die Sicherheit von Parkhäusern durchgeführten Untersuchung wurde festgestellt, dass in französischen Parkhäusern Personenwagen mit einem Gastank mit einem Überdruckventil zugelassen sind. Die Treibstofftanks von Personenwagen mit Gasantrieb weisen immer ein Überdruckventil auf. Diese Information lässt darauf schliessen, dass ein Bersten des Tanks wenig wahrscheinlich ist.

Ein Problem der Personenwagen mit Gasantrieb ist dessen Identifikation. Wegen der geringen Verbreitung solcher Fahrzeuge mit einer schweizerischen Zulassung kann zum heutigen Zeitpunkt angenommen werden, dass im Wesentlichen nur Personenwagen aus dem Ausland mit Gas angetrieben werden. Der Anteil ausländischer Fahrzeuge mit einem Gasantrieb wird jedoch allgemein weit unterschätzt. Angaben zum Vorgehen bei einem Brand von Fahrzeugen mit einem Gasantrieb finden sich in den Unterlagen zum Kurs 2003, Spezialfahrzeuge [12].

### **Zu Ziffer 3.3.3, Szenarium 3, Brand von Lieferwagen und Reisebussen**

Das Zusammenfassen von Lieferwagen und Reisebussen in ein Szenarium ist spontan betrachtet kaum verständlich. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Lieferwagen bezüglich Brandlast und Brandablauf extreme Streuungen aufweisen und dabei Charakteristiken wie ein grösserer Bus aufweisen können. Busse weisen grosse Streuungen hinsichtlich der Brandlast auf, da ihre Ausmasse angefangen beim Kleinbus bis zum Dreiaxser stark variieren.

### **Zu Ziffer 3.3.4, Szenarium 4, Brand von Lastwagen**

Im Zusammenhang mit diesem Szenarium stellt sich die Frage, inwiefern es möglich ist, über das Tunnelfernsehen Informationen insbesondere über das Brandverhalten von Lastwagen zuhanden der Feuerwehr zu beschaffen. Die Expertengruppe ist zum Schluss gekommen, dass dies nur in Ausnahmefällen möglich ist.

### **Zu Ziffer 3.3.5, Szenarium 5, Brand von Wohnmobilen und Lastwagen mit Flüssiggasflaschen**

Lastwagen auf transeuropäischen Routen weisen vielfach eine Kabinenheizung auf, die aus Gasflaschen gespeist wird. Im Weiteren sind auch Wohnmobile und Wohnanhänger mit Gasflaschen ausgerüstet. Die Gasflaschen weisen keine Überdruckventile auf. Bei einer Erwärmung der Flaschen ist mit einem Bersten und einem Trümmerwurf zu rechnen. Es sind jedoch mindestens in der Schweiz keine schweren Unfälle mit Gasflaschen für Lastwagenheizungen oder als Ausrüstungen von Wohnmobilen oder Wohnwagen bekannt. Angaben zum Vorgehen der Feuerwehr finden sich in den Kursunterlagen [12].

### **Zu Ziffer 3.3.6, Szenarium 6, Brand und Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeugen**

Das Szenarium 6 ist ein Grossereignis oder ein Störfall. Transporte mit Benzin sind vor allem im Perimeter der grossen Agglomerationen und damit auf Strassen mit einem dichten Verkehr häufig. Der zu erwartenden Schaden wäre u.a. deshalb gross. In Anbetracht der sehr kleinen Eintretenswahrscheinlichkeit ist jedoch das Risiko sehr gering. Es besteht auch eine massgebende Beziehung zwischen der Fahrbahntwässerung sowie dem Ausmass und der Form der brennenden Benzinlache. Angaben dazu finden sich im Anhang A4 der Wegleitung.

## **2.4 Kapitel 4, Organisation und Einsatz**

Das Kapitel 4 liefert eine Übersicht über die massgebenden Aspekte eines Tunnelbrandes, der als Grossereignis eingestuft werden muss. Tunnelbrände können zahlreiche Todesopfer fordern. Das Ereignis ist jedoch immer örtlich auf das Tunnelbauwerk mit einer oder mehreren Röhren, die Lüftungsbauwerke, die Zentrale und die Tunnelvorbereiche beschränkt. Zahlreiche Formationen der Ereignisdienste können deshalb bei keinem Szenarium eingesetzt werden. Der Tunnelbrand hat einsatztaktisch massgebende Parallelen zu Massenunfällen. Dies betrifft u.a. den Einsatz der Polizei und der Rettungsdienst. Die Forschungsstelle hat diesbezüglich einen Bericht der deutschen Bundesanstalt für Strassenwesen zum Thema Massenunfälle [13] konsultiert.

Angaben zum Bereich des Sanitätsdienstes finden sich bezogen auf ihren Einsatz in der Schweiz in den Richtlinien für die Organisation des Sanitätsdienstes beim Schadenereignis mit grossem Patientenansturm [14]. Massgebende Informationen über die Einsatzorganisation und Einsatzdurchführung sowie deren Effizienz finden sich im Bericht der deutschen Bundesanstalt für Strassenwesen, Rettungsdienst im Grossschadensfall [15].

## **2.5 Kapitel 5, Massnahmen**

Das Kapitel basiert auf Recherchen bei Vertretern von Feuerwehren, Diskussionen der Expertengruppe, Richtlinien des ASTRA sowie Literatur im Bereich der Auswertung von Ereignissen, Brandversuchen und der Tunnelprojektierung. Detailinformationen zu den einzelnen Fachbereichen finden sich in den Anhängen des Entwurfs der Wegleitung.

## **3 Anhänge der Wegleitung**

### **3.1 Anhang 1, Tunnelbrand**

#### **Übersicht**

Der Anhang 1 basiert auf den unter Ziffer 2.1 zitierten übergeordneten technischen Grundlagen sowie auf den folgenden Unterlagen zum Thema Brand und Rauch in Tunneln.

#### **Brandschutz in Verkehrstunneln**

Dieser Bericht [16] zu einer vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie sowie weiteren im Bereich "Tunnelforschung" interessierten Stellen organisierten Konferenz über Brandschutz behandelt durchgeführte Brandversuche. Dabei stehen Auswertungen des EUREKA-Projekts im Vordergrund. Der Bericht enthält im Weiteren auch Auswertungen von Erfahrungen von Einsätzen von Feuerwehren in Tunneln.

#### **Memorial Tunnel, Fire Ventilation Test Programm**

Das im Memorial Tunnel in West Virginia USA durchgeführte Testprogramm [17] ist die aufwendigste Untersuchung bezüglich Brandereignissen in Tunneln. Das Programm umfasste Versuche mit acht unterschiedlichen Lüftungsarten sowie variierenden Bedingungen bezüglich Brandleistung, Luftmengen, Anlaufzeiten der Lüftung, Portalöffnungen, im Tunnelraum aufgestellter Fahrzeuge und der Wirkung von Löschschäumen.

#### **Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers**

Diese Publikation der Association mondiale de la route (AIPCR) [18] ist auf die Projektierung, den Betrieb und den Feuerwehreinsatz ausgerichtet. Sie behandelt alle massgebenden Aspekte im Zusammenhang mit Brand und Rauch in Strassentunneln.

### **3.2 Anhang 2, Branddetektion**

#### **Grundsätzliches**

Im Bereich der Branddetektion steht zukunftsbezogen die videobasierte Ereignisdetektion zur Diskussion. Diese wird nicht nur auf Feuer und Rauch ausgerichtet sein, sondern auch auf Unregelmässigkeiten im Verkehrsgeschehen. Nachfolgend sind Unterlagen mit Bezug zur videobasierten Ereignisdetektion angegeben.

## **Richtlinie Verkehrsfernsehen des ASTRA**

Diese Richtlinie des Bundesamtes für Strassen [19] behandelt die videobasierte Ereignisdetektion. In der Richtlinie wird die Verfügbarkeit behandelt. So wird auf die Nischen und Abstellbereiche, aber auch auf die Zuverlässigkeit der Erkennung und die Fehlmeldungen hingewiesen. Im Weiteren wird die Funktionsweise der Systeme behandelt und auf die Voraussetzungen wie zum Beispiel bezüglich der Helligkeit der Tunnelwände hingewiesen.

## **Videobasierte Störfalldetektion in Tunneln, Publikation in Strasse und Autobahn**

Die Veröffentlichung [20] enthält technische Grundlagen zur videobasierten Branddetektion und liefert Angaben über die erfassbaren Situationen in einem Tunnel. Es können die folgenden für die Intervention der Feuerwehr massgebenden Informationen automatisch ausgewertet werden:

- Brand- und Rauchentwicklung
- Liegen gebliebene Fahrzeuge
- Auf Standstreifen und in Nischen abgestellte Fahrzeuge
- Personen und Gegenstände auf der Fahrbahn

Die Publikation behandelt im Übrigen die Probleme der videobasierten Störfalldetektion wie z.B. die verdeckten Bereiche.

### **3.3 Anhang 3, Tunnellüftung**

Der Anhang 3 ist für die Kommunikation zwischen Betreiber, Feuerwehr und Planer von grosser Bedeutung. Zwischen dem Lüftungsbetrieb im Brandfall und der Intervention der Feuerwehr besteht eine enge Beziehung. Die Forschungsstelle hat grosse Anstrengungen unternommen, die Lüftungssysteme und den Betrieb im Normal- und im Brandfall mit Hilfe von Grafiken verständlich darzustellen. Erschwert wurde die Aufgabe durch den Umstand, dass die Wegleitung auf die folgenden Fälle ausgerichtet werden musste:

- Tunnel mit Lüftungssystemen nach bisherigen Vorschriften und mit systemkonformem Betrieb
- Tunnel mit Lüftungssystemen nach bisherigen Vorschriften und nichtkonformem Betrieb basierend auf aktuellen Bedingungen
- Tunnel mit Lüftungssystemen nach technischen Grundlagen, die sich in Vorbereitung befinden

Grundlagen im Bereich der Tunnellüftung finden sich in allen im Literaturverzeichnis aufgeführten Unterlagen. Ausgenommen sind Dokumente, welche ausschliesslich spezielle abgegrenzte Fachbereiche behandeln. Die Wegleitung ist im Übrigen auf die Richtlinien Lüftung der Strassentunnel des ASTRA [21] abgestimmt.

### **3.4 Anhang 4, Tunnelentwässerung**

Die Tunnelentwässerung steht in einer engen Beziehung zum Szenarium Freisetzung von brennbaren Flüssigkeiten aus Tankfahrzeugen. Umfassende Informationen über die Lachenbildung bei Havarien von Transporttanks von Tankfahrzeugen und dem Brand in Tunnelentwässerungssystemen finden sich in zwei Forschungsberichten des Centre d'Etudes des Tunnels (CETU) [22][23].

### **3.5 Anhang 5, Schadenplatzorganisation**

Grundlagen zu diesem Anhang finden sich in einem Bericht N4/N20, Westumfahrung Zürich, Technische Grundlagen zur Projektierung von Vorbereichen von Tunneln mit Richtungstrennung [24]. Der Bericht ist eine Projektierungshilfe für die Strassenverwaltungen und Planer. Er behandelt die Anforderungen seitens des Betreibers und die insbesondere für die Feuerwehr wichtigen Aspekte der Mittelstreifenüberfahrten in den Vorbereichen von Tunneln von Autobahnen.

### **3.6 Anhang 6, Verbindungen**

Dieser Anhang ist die im Wesentlichen auf die Informationsbedürfnisse der Ereignisdienste ausgerichtete Zusammenfassung der Richtlinie Funksysteme in Tunneln des ASTRA [25]. Neben der Vorstellung der Funksysteme finden sich auch Angaben zu Drahtverbindungen, die der Feuerwehr zur Verfügung stehen.

### **3.7 Anhang 7, Sicherheitstechnische Infrastruktur**

Dieser Anhang enthält Informationen im Interessenbereich der Ereignisdienste, welche in der Norm SIA 197/2, Projektierung Tunnel, Strassentunnel [10], behandelt sind.

### **3.8 Anhang 8, Sicherheitsausrüstung**

Dieser Anhang ist im Wesentlichen eine Zusammenfassung der Richtlinien Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in den Tunneln des ASTRA [26].

### **3.9 Anhang 9, Spezielle Ausrüstung der Feuerwehr**

#### **Grundsätzliches**

Dieser Anhang wurde auf der Basis von Gesprächen mit Experten im Bereich Feuerwehrwesen bearbeitet. Literatur mit direkt auswertbaren Informationen zur speziellen Ausrüstung der Feuerwehr bei Interventionen in Tunneln ist der Forschungsstelle nicht bekannt.



**Zu Ziffer A9.5, Hochleistungslüfter**

Zum Einsatz von Hochleistungslüftern in Tunneln sind gemäss Angabe der Firma Vogt AG zahlreiche Entrauchungsversuche durchgeführt worden. Publiizierte Versuchsergebnisse liegen jedoch nicht vor. Dagegen hat die Forschungsstelle Berichte über Entrauchungsversuche in Hallen erhalten, die jedoch nicht auf Tunnel übertragbar sind. Die Einsatzkriterien für den Einsatz von Hochleistungslüftern wurden wie oben angegeben mit Vertretern der Feuerwehr und dem Tunnellüftungsexperten Dr. F. Zumsteg, FZ Ingenieurbüro Franz Zumsteg, besprochen.

**3.10 Anhang 10, Ausbildung**

Im Schlussbericht der Task Force des ASTRA [5] sowie im Bericht Feuerwehereinsätze in Tunnelanlagen der Arbeitsgruppe RKKF/SFV [2] wird die Ausbildung der Feuerwehren als wichtige Sicherheitsmassnahme beurteilt. Im Zusammenhang mit einem geplanten Feuerwehr-Ausbildungszentrum für Übungen in Tunneln erlangt die Ausbildung eine hohe Beachtung. Die vorliegende Wegleitung ist jedoch kein Reglement. Es ist ein Grundlagendokument, das die Information für eine effiziente Bearbeitung von Instruktionsmaterial enthält. Der Anhang enthält unter der Ziffer 10.2 eine Liste der Ausbildungsmodulare für Angehörige von Tunnelstützpunktfeuerwehren.

## 4 Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerischer Feuerwehrverband, Behelf für Feuerwehreinsätze in Tunnelanlagen, Gümligen, 2000
- [2] Kommission Konzeption und Einsatz des Schweizerischen Feuerwehrverbandes, Arbeitsgruppe Tunnelleinsätze, RKKF/SFV, Feuerwehreinsätze in Tunnelanlagen, Bau/ Vorschriften/Sicherheit, Ausbildungsinfrastruktur und Ausrüstungen, Gümligen, 2001
- [3] United Nations, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels, final report, Genf, 2001
- [4] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen für die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz, Brüssel, 2002
- [5] Bundesamt für Strassen, Tunnel Task Force, Schlussbericht, Bern, 2000
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Strassenbau, Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln, RABT, Bonn, 1994
- [7] A. Haak, W. Meyeroltsmanns, Forschung für die Praxis, P 145.3, Erfassung, Analyse und Bewertung der derzeitigen Rettungskonzepte bei Brandunfällen in Verkehrstunneln für Strasse und Schiene, Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 1995
- [8] P. Duffé, M. Marec, Ministère de l'intérieur, Ministère de l'équipement des transports et du logement, Inspection générale, Conseil général de l'administration des ponts et chaussées, Rapport de la mission administrative d'enquête technique sur l'incendie survenu le 24 mars 1999 au tunnel routier du Mont Blanc, 1999
- [9] B. Brousse, J.C. Martin, Incendie du 24 mars 1999 dans le tunnel du Mont-Blanc, Disposition de sécurité du tunnel, Description, rôle et fonctionnement pendant l'incendie, Enseignement à tirer, Mission administrative d'enquête technique, Centre d'Etudes des Tunnels (CETU), Bron, 1999
- [10] SN 531 197 und SN 531 197/2, Projektierung Tunnel (in Vorbereitung)
- [11] Einsatzplanung auf Nationalstrassen, Hilfsmittel zur Erstellung von Einsatzplänen und zur Durchführung von Übungen, Arbeitsgruppe Transport gefährlicher Güter Schweiz, Basel, 2000
- [12] Kurs 2003 Spezialfahrzeuge, Schweizerischer Feuerwehrverband, Gümligen, 2003
- [13] Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M 35, Massenunfälle, Bergisch Gladbach, 1995
- [14] Interverband für Rettungswesen, Richtlinien für die Organisation des Sanitätsdienstes beim Schadenereignis mit grossem Patientenansturm, Aarau, 2000, 1991

- [15] Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M142, Rettungsdienst im Grossschadensfall, Bergisch Gladbach, 1995
- [16] Brandschutz in Verkehrstunneln, Konferenzband, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie u. weitere Organisationen, Bonn-Bad-Godesberg, 1995
- [17] Memorial Tunnel, Fire ventilation test program, Massachusetts Highway Department, Federal Highway Administration, Washington DC
- [18] Maîtrise des incendies et de fumées dans les tunnels routiers, Association mondiale de la Route (AIPCR), La Defense F, 1999
- [19] Richtlinie Verkehrsfernsehen, Bundesamt für Strassen (in Vorbereitung), Bern, 2003
- [20] B. Steinhauer, G. Mayer, M. Brake, Videobasierte Störfalldetektion in Tunneln, Strasse + Autobahn, Köln, 2003
- [21] Richtlinie Lüftung der Strassentunnel, Bundesamt für Strassen (in Vorbereitung)
- [22] Essais en vraie grandeur de systèmes de recueil des liquides enflamés repandus sur la chaussée d'un tunnel routier, Centre d'Etudes des Tunnels, Bron, 1994
- [23] Essais hydrauliques de systèmes de recueil des liquides repandus sur la chaussée des tunnels routiers, Centre d'Etudes des Tunnels, Bron, 1996
- [24] N4/N20, Westumfahrung Zürich, Technische Grundlagen zur Projektierung von Vorbereichen vor Tunneln mit Richtungstrennung, Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure + Planer AG, Tiefbauamt des Kantons Zürich (nicht publiziert)
- [25] Richtlinie Funksysteme in Tunneln, Bundesamt für Strassen (in Vorbereitung)
- [26] Richtlinien Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in den Tunneln, Bundesamt für Strassen (in Vorbereitung)

## **Anhang**

**Technische Wegleitung für die Intervention bei Bränden in Strassentunneln,  
Entwurf vom 1. Dezember 2004**



**Schweizerischer Feuerwehrverband  
Expertengruppe Tunnel-Richtlinien**

# **Technische Wegleitung für die Intervention bei Bränden in Strassentunneln**

**Winterthur, 1. Dezember 2004**



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>5</b>
1.1	Geltungsbereich	5
1.2	Zweck	5
1.3	Ziele	5
1.4	Überblick	5
<b>2</b>	<b>Ereignisphasen</b>	<b>6</b>
2.1	Übersicht	6
2.2	Charakteristiken der Ereignisphasen	6
<b>3</b>	<b>Ereignisszenarien</b>	<b>7</b>
3.1	Übersicht	7
3.2	Allgemeine Hinweise	10
3.3	Beschrieb der Szenarien	10
3.3.1	Brand von 1 - 3 Personenwagen	10
3.3.2	Brand von Personenwagen mit Gasantrieb	10
3.3.3	Brand von Lieferwagen und Reisebussen	10
3.3.4	Brand von Lastwagen	11
3.3.5	Brand von Wohnmobilen und Lastwagen mit Flüssiggasflaschen	11
3.3.6	Brand nach Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeugen	12
3.3.7	Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeugen ohne Brand	13
3.3.8	Freisetzung von Diesel- oder Heizöl aus Tankfahrzeugen	13
<b>4</b>	<b>Organisation und Einsatz</b>	<b>14</b>
4.1	Massgebende Charakteristiken	14
4.2	Stabsorganisation	15
<b>5</b>	<b>Massnahmen</b>	<b>16</b>
5.1	Übersicht über die Wirkung eines Brandalarms	16
5.2	Alarmierung, Warnung und Aufgebot	16
5.2.1	Alarmierung der Feuerwehr	16
5.2.2	Warnung der Tunnelbenutzer	16
5.2.3	Aufgebot weiterer Dienste	17
5.3	Sicherheitstechnische Infrastruktur für die Selbstrettung	17
5.4	Betrieb der Tunnellüftung	17
5.4.1	Betriebsarten	17
5.4.2	Lüftung im Brandfall	18



5.5	Zufahrt zum Schadenraum	18
	5.5.1 Feuerwehrezufahrt	18
	5.5.2 Mittelstreifenüberfahrten	19
5.6	Informationen und Kontrollen	19
	5.6.1 Informationsbeschaffung vor der Intervention der Ereignisdienste	19
	5.6.2 Portalkontrolle	19
5.7	Ereignisphasen und Intervention im Tunnel	20
	5.7.1 Einröhrige Tunnel mit Gegenverkehr	20
	5.7.2 Zweiröhrige Tunnel mit Richtungsverkehr	21
5.8	Hinweise zur Fremdrettung	23
5.9	Betreuung	24
5.10	Sanitätsdienst	24

## Anhänge

<b>A1</b>	<b>Tunnelbrand</b>	<b>25</b>
A1.1	Ausmass von Tunnelbränden	25
	A1.1.1 Allgemeines	25
	A1.1.2 Brandszenarien	25
	A1.1.3 Zeitlicher Brandverlauf	26
A1.2	Die Temperaturentwicklung im Tunnel	27
	A1.2.1 Brandversuche	27
	A1.2.2 Temperaturverteilung in Tunnellängsrichtung	27
	A1.2.3 Temperaturverteilung im Tunnelquerschnitt	28
	A1.2.4 Zeitliche Temperaturentwicklung	28
A1.3	Die Rauchgasausbreitung im Tunnel	29
	A1.3.1 Mechanismen der Rauchgasausbreitung	29
	A1.3.2 Zeitlicher Verlauf der Rauchgasausbreitung	30
	A1.3.3 Die Rückströmung von Rauchgasen	30
	A1.3.4 Ursachen der Längsströmung	31
<b>A2</b>	<b>Branddetektion</b>	<b>33</b>
A2.1	Übersicht	33
A2.2	Brandmeldeanlagen	33
A2.3	Videoüberwachung	33



<b>A3</b>	<b>Tunnellüftung</b>	<b>34</b>
A3.1	Lüftungssysteme	34
A3.1.1	Übersicht	34
A3.1.2	Natürliche Lüftung	35
A3.1.3	Längslüftung mit Strahlventilatoren	35
A3.1.4	Längslüftung mit Punktabsaugung	35
A3.1.5	Lüftung mit Rauchabsaugung ohne Zuluft	36
A3.1.6	Lüftung mit Rauchabsaugung und Zuluft	36
A3.1.7	Kombinierte Lüftungssysteme	37
A3.2	Lüftungsbetrieb im Brandfall	37
A3.2.1	Generelle Zielsetzungen des Brandlüftungsbetriebs	37
A3.2.2	Kontrolle der Rauchgasausbreitung	37
A3.2.3	Steuerung der Brandlüftung	38
A3.2.4	Brandfallbetrieb bei Tunneln ohne Rauchabsaugung	38
A3.2.5	Brandfallbetrieb bei Tunneln mit Rauchabsaugung	39
A3.2.6	Brandfallbetrieb bei älteren Tunnel mit Halbquer- und Querlüftung	40
<b>A4</b>	<b>Tunnelentwässerung</b>	<b>42</b>
A4.1	Übersicht	42
A4.2	Fahrbahmentwässerung	42
A4.3	Übergang Fahrbahn - Leitungssystem	42
A4.4	Leitungssystem	43
A4.5	Pump- und Hebeanlagen	43
A4.6	Rückhaltebecken und Abwasseraufbereitungsanlagen	43
<b>A5</b>	<b>Schadenplatzorganisation</b>	<b>44</b>
<b>A6</b>	<b>Verbindungen</b>	<b>45</b>
A6.1	Tunnelfunksystem	45
A6.1.1	Zweck	45
A6.1.2	Übersicht Funksysteme	45
A6.1.3	Elemente des Tunnelfunksystems	45
A6.1.4	Versorgungsabschnitte und Tunnelgruppen	46
A6.1.5	Mobiltelefonie	47
A6.1.6	Rundfunk	47
A6.2	Drahtverbindungen	47
A6.2.1	Telefonverbindungen	47
A6.2.2	Telefonamtlinien	47





<b>A7</b>	<b>Sicherheitstechnische Infrastruktur</b>	<b>48</b>
A7.1	Technische Grundlagen	48
A7.2	Zugänglichkeit der Portale	48
A7.3	Ergänzende Bauteile	48
A7.3.1	Standstreifen	48
A7.3.2	Ausstellplätze für Pannenfahrzeuge	48
A7.3.3	SOS-Nischen	48
A7.3.4	Fluchtwege	49
<b>A8</b>	<b>Sicherheitsausrüstung</b>	<b>50</b>
A8.1	Akustische Warnung	50
A8.2	Beleuchtung des Fahrtraumes	50
A8.2.1	Durchfahrtsbeleuchtung	50
A8.2.2	Notbeleuchtung	50
A8.2.3	Brandnotbeleuchtung	50
A8.3	Optische Leiteinrichtung	50
A8.4	Signalisation zu den Notausgängen mit nachleuchtenden Leittafeln	50
A8.5	Gestaltung der Notausgänge im Fahrtraum	51
A8.6	Brandalarm aus SOS-Nischen	51
A8.7	Hydrantennetz und Löschwasserreserve	51
A8.8	Signalisation für die Ereignisdienste	51
<b>A9</b>	<b>Spezielle Ausrüstung der Feuerwehr</b>	<b>52</b>
A9.1	Allgemeines	52
A9.2	Spezielle Anforderungen an Tanklöschfahrzeuge	52
A9.3	Wärmebildkamera	52
A9.4	Atemschutz	52
A9.5	Hochleistungslüfter	53
A9.5.1	Wirkung	53
A9.5.2	Einsatz in natürlich belüfteten Tunneln	53
A9.5.3	Einsatz in mechanisch belüfteten Tunneln	53
<b>A10</b>	<b>Ausbildung</b>	<b>54</b>
A10.1	Ausgangslage	54
A10.2	Tunnelbrandbezogene Ausbildungsmodulare für Angehörige von Tunnelstützpunktfeuerwehren	54
<b>A11</b>	<b>Literatur</b>	<b>55</b>

# 1 Allgemeines

## 1.1 Geltungsbereich

Diese Wegleitung gilt als Empfehlung für den Einsatz der Ereignisdienste bei einem Brand in einem Strassentunnel. Die Behandlung von Ereignissen als Folge von Transporten gefährlicher Güter beschränkt sich auf die Freisetzung von Benzin und Heiz-/Dieselöl aus Tankfahrzeugen.

Angaben zu bauliche Sicherheitsmassnahmen und ergänzende Informationen aus dem Fachbereich Bau und Betrieb von Strassentunneln finden sich in der Normen SIA 197 [1] und SIA 197/2 [2] sowie in Richtlinien des Bundesamts für Strassen, ASTRA [3][4][5][6].

Objektspezifische Informationen zu technischen Einzelheiten und an der Ereignisbewältigung beteiligten Organisationen sind in der speziell für den Tunnel zu erstellenden Einsatzplanung festzuhalten.

## 1.2 Zweck

Der Zweck der Wegleitung ist das Bereitstellen von Informationen

- für die Einsatzplanung
- für die Ausbildung
- für die Beschaffung von auf Tunnelbrände bezogenem Ausrüstungsmaterial
- über die sicherheitstechnische Infrastruktur und die Sicherheitsausrüstung

## 1.3 Ziele

Die Ziele der Wegleitung ergeben sich aus den in Strassentunneln massgebenden Sicherheitszielen. Um diese zu erreichen, sind für den Fall eines Ereignisses günstige Voraussetzungen zu schaffen für

- die Flucht betroffener Personen (Selbstrettung)
- den Einsatz der Ereignisdienste (Fremdrettung und Löscheinsatz)
- die Gewährleistung der Sicherheit der Angehörigen der Ereignisdienste
- den Schutz der Umwelt und die Eingrenzung der Sachschäden

## 1.4 Überblick

Das vorliegende Dokument umfasst die auf Einsätze der Ereignisdienste und vor allem der Feuerwehr bezogenen Informationen. Die technischen Grundlagen werden in den Anhängen behandelt.

## 2 Ereignisphasen

### 2.1 Übersicht

Der Ablauf eines Ereignisses in einem Strassentunnel lässt sich in die folgenden drei Phasen gliedern:

- Selbstrettung
- Fremdrettung
- Löscheinsatz

Diese Phasen und deren zeitliche Abläufe sind im folgenden Bild dargestellt.

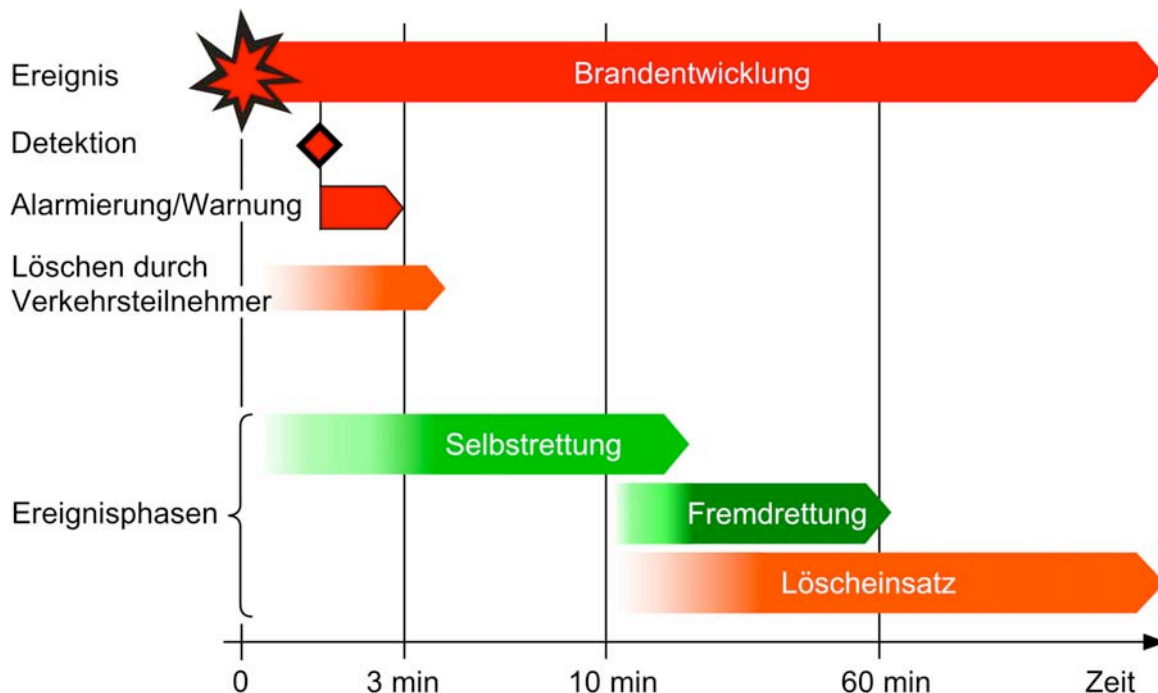


Bild 1 Ereignisphasen

### 2.2 Charakteristiken der Ereignisphasen

- Die **Selbstrettung** ist von zentraler Bedeutung für die Sicherheit der Tunnelbenutzer. Sie beginnt mit der Wahrnehmung des Ereignisses bzw. der Warnung, mit der die Verkehrsteilnehmer aufgefordert werden, die Fahrzeuge zu verlassen und sich in Sicherheit zu bringen. Die Selbstrettung wird durch die Rauchausbreitung im Tunnel erschwert. Wenn die Rauchgase nicht wirkungsvoll abgesaugt werden, füllen sie nach 10 - 15 Minuten den gesamten Tunnel und verunmöglichen die Selbstrettung.
- Bei der **Fremdrettung** steht das Absuchen des Tunnelraums und die Rettung der Tunnelbenutzer im Vordergrund. Abhängig von der Lage des Stützpunkts der Feuerwehr, der Länge und Lage des Tunnels, dem Brandort und vom Verkehr auf der Anfahrtsstrecke treffen die Ereignisdienste frühestens etwa 10 Minuten nach der Alarmierung ein.
- Der **Löscheinsatz** ist ein Element der Fremdrettung. Zusätzlich hat er auch zum Ziel, die Schäden am Bauwerk zu verhindern bzw. gering zu halten.

### 3 Ereignisszenarien

#### 3.1 Übersicht

Im Folgenden sind die acht massgebenden Ereignisszenarien festgelegt. Für diese sind die Charakteristiken des Ereignisses und des Rettungs- und Löscheinsatzes in einer Übersicht in den Tabellen 1 - 8 zusammengefasst.

<b>1</b>	<p><b>Brand von 1 - 3 Personenwagen</b></p>
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– beschränkte Brandleistung</li> <li>– geringe Maximaltemperaturen</li> <li>– mässige Verrauchung des gesamten Tunnelquerschnitts (ohne Rauchgasschichtung)</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– durch Verrauchung erschwert, jedoch möglich</li> </ul>

**Tabelle 1** Szenarium 1 "Brand von 1 -3 Personenwagen"

<b>2</b>	<p><b>Brand von Personenwagen mit Gasantrieb</b></p>
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brandleistung und Verrauchung wie bei Szenarium 1</li> <li>– Stichflamme beim Austritt von Gas am Überdruckventil</li> <li>– Explosion und Feuerball beim Bersten des Gastanks</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wie Szenarium 1</li> <li>– zusätzliche Gefährdung durch Stichflamme oder Explosion</li> </ul>

**Tabelle 2** Szenarium 2 "Brand von Personenwagen mit Gasantrieb"

<b>3</b>	<p><b>Brand von Lieferwagen und Reisebussen</b></p>
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vergleichsweise grosse Brandleistung und starke Rauchentwicklung (abhängig von der Ladung)</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– durch Rauchentwicklung stark behindert</li> <li>– erschwerte Fremdrettung bei doppelstöckigen Reisebussen wegen beengten Verhältnissen</li> </ul>

**Tabelle 3** Szenarium 3 "Brand von Lieferwagen und Reisebussen"

<b>4</b>	<p><b>Brand von Lastwagen</b></p>
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brandentwicklung stark vom Fahrzeugaufbau und der Ladung abhängig</li> <li>– unter Umständen beträchtliche Brandleistung und Branddauer bis mehrere Stunden</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– abhängig von Verhältnissen im Einzelfall</li> <li>– allgemein durch die Rauchentwicklung stark behindert</li> </ul>


**Tabelle 4** Szenarium 4 "Brand von Lastwagen"

<b>5</b>	<p><b>Brand von Wohnmobilen und Lastwagen mit Flüssiggasflaschen</b></p>
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brandverlauf wie Szenarium 3 und 4</li> <li>– Explosionen beim Bersten der Gasflaschen</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– grosse Gefährdung durch Trümmer und Feuerball beim Bersten der Gasflaschen</li> </ul>


**Tabelle 5** Szenarium 5 "Brand von Wohnmobilen und Lastwagen mit Flüssiggasflaschen"

<b>6</b>	<p><b>Brand nach Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeug</b></p> 
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– schnelle Brandentwicklung mit sehr grosser u.a. von der Benzinalachengrösse und der Luftzufuhr abhängiger Brandleistung</li> <li>– starke Rauchentwicklung, jedoch allgemein kurze Branddauer.</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– während dem Brand nur mit grossem Risiko für die AdF möglich</li> <li>– nach dem Brand Gefährdung durch Verpuffungen</li> </ul>

**Tabelle 6** Szenarium 6 "Brand nach Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeug"

<b>7</b>	<p><b>Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeug ohne Brand</b></p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> 
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Freisetzung des Transporttankinhalts innerhalb von 10 Minuten</li> <li>– Bildung einer Benzinlache mit 50 - 300 m<sup>2</sup> Fläche</li> <li>– Abfluss von Benzin in das Entwässerungssystem</li> <li>– grosse Wahrscheinlichkeit einer Entzündung</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– schwierig wegen der sehr grossen Brand- und Explosionsgefahr</li> <li>– auf Grund der hohen Wahrscheinlichkeit einer Entzündung mit grossem Risiko verbunden</li> </ul>

**Tabelle 7** Szenarium 7 "Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeug ohne Brand"

<b>8</b>	<p><b>Freisetzung von Diesel- oder Heizöl aus Tankfahrzeug</b></p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> 
Charakteristiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wie Szenarium 7, jedoch geringe Wahrscheinlichkeit einer Entzündung</li> </ul>
Feuerwehreinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– grundsätzlich einfach</li> <li>– Unsicherheiten ob es sich um Benzin, Diesel-/Heizöl handelt</li> </ul>

**Tabelle 8** Szenarium 8 "Freisetzung von Diesel oder Heizöl aus Tankfahrzeug"

## 3.2 Allgemeine Hinweise

Die folgenden Hinweise gelten für alle acht Ereignisszenarien.

- Die **Selbstrettung** ist praktisch in allen Fällen möglich. Bei einer raschen Rauchausbreitung in Fluchtrichtung, bei welcher der Rauch die fliehenden Tunnelbenutzer einholt, sind die Chancen zur Selbstrettung jedoch sehr stark vermindert.
- Die **Verrauchung** der Tunnelröhre kann die Selbstrettung, die Fremdrettung und den Löscheinsatz erschweren.
- Ein **Verkehrsstau** im Tunnel kann die Fremdrettung und den Löscheinsatz erheblich erschweren.

## 3.3 Beschrieb der Szenarien

### 3.3.1 Brand von 1 - 3 Personenwagen

Beim Brand von 1 - 3 Personenwagen ergeben sich allgemein keine Probleme beim Feuerwehreinsatz. Wegen der vergleichsweise geringen Rauchgastemperatur erfolgt jedoch vielfach keine Rauchsichtung, weshalb damit zu rechnen ist, dass der gesamte Tunnelquerschnitt verraucht wird.

### 3.3.2 Brand von Personenwagen mit Gasantrieb

Im Brandfall wird der Gastank des Fahrzeugs erhitzt, wobei in diesem der Druck ansteigt. Der Tank ist mit einem Überdruckventil ausgerüstet, das schon bei einer vergleichsweise geringen Erwärmung des Tanks anspricht. Beim Öffnen des Überdruckventils tritt Gas aus, welches sich sofort entzündet. Dabei entsteht eine lange Stichflamme. Ist ein Druckabbau über das Überdruckventil nicht möglich, kann der Gastank bersten und das freigesetzte Gas in einem Feuerball abbrennen.

Bei der Fremdrettung und beim Löscheinsatz ist mit einer Gefährdung durch die Stichflamme zu rechnen. Eine Gefährdung durch Trümmer beim Bersten des Treibstofftanks verbunden mit einem Feuerball ist nicht auszuschliessen.

Die Sicherheitsmassnahmen zum Schutz der Feuerwehr sind die gleichen wie auf der offenen Strecke ausserhalb von Tunneln.

### 3.3.3 Brand von Lieferwagen und Reisebussen

In Anbetracht der unterschiedlichen Ladungen bei Lieferwagen sowie der grossen Mengen von Kunststoffen im Ausbau von Reisebussen kann ein Brand mit einer vergleichsweise grossen Brandlast und Rauchentwicklung verbunden sein.

Im Fall von verletzten und gehbehinderten Personen ist die Selbstrettung erschwert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass solche Personen in den meisten Fällen durch Dritte zu den Notausgängen getragen oder geschleppt werden.

Sehr schwierig kann die Selbstrettung bei vollbesetzten doppelstöckigen Bussen sein. Insbesondere können sich im Oberdeck befindliche Buspassagiere unter Umständen nur sehr schwer befreien. Wegen der grossen Höhe von Doppelstockreisebussen und den eingeschränkten Platzverhältnissen im Tunnel ist auch eine Selbstrettung durch die Dachluke kaum möglich.

Die Feuerwehr ist auf Grund der Zeitspanne bis zur Intervention und der Ausrückbestände allgemein nicht oder nur in einem beschränkten Ausmass in der Lage, Personen aus Bussen zu befreien oder zu den Notausgängen zu transportieren.

### **3.3.4 Brand von Lastwagen**

Für die Intervention im Brandfall ist primär der zeitliche Ablauf der Brandentwicklung und sekundär die Rauchbildung bei Vollbrand massgebend. Eine Prognose der Brandentwicklung basierend auf Bildern des Tunnelfernsehens und allfälligen Meldungen von Tunnelbenutzern ist nur beschränkt möglich.

Bei Lastwagen mit einem Blachenverdeck ist die Brandentwicklung generell schneller als bei Fahrzeugen mit Aufbauten aus Metall (Container, Kühltransportaufbauten usw.).

Unfallereignisse können zu einer Freisetzung von Dieselöl führen. Dabei ist von einem Fassungsvermögen der Treibstofftanks zwischen 300 und 1'500 l auszugehen. Die Wahrscheinlichkeit einer Entzündung des Dieselöls ist jedoch gering. Es ist aber möglich, dass dem Dieselöl im Winter Benzin beigemischt wird. In diesem Fall besteht die Möglichkeit eines Brandes der Dieseltreibstofflache.

Der Abfluss von brennendem Dieselöl in das Tunnelentwässerungssystem bewirkt allgemein keinen Schaden.

### **3.3.5 Brand von Wohnmobilen und Lastwagen mit Flüssiggasflaschen**

Die Flüssiggasflaschen, die in Wohnwagen und Wohnmobilen mitgeführt oder auf Lastwagen transportiert werden, verfügen nicht über ein Überdruckventil. Infolge der Erwärmung der Flaschen beim Brand bersten diese vergleichsweise schnell. Dabei entzündet sich das freigesetzte Gas schlagartig und verbrennt in einem Feuerball. In der Nähe stehende Personen sind dabei durch den Trümmerwurf und den Feuerball stark gefährdet. Die Gefährdung der Feuerwehr in den Phasen Fremdrettung und Löscheinsatz ist deshalb gross. Die Sicherheitsmassnahmen sind jedoch die gleichen wie ausserhalb von Tunneln.



### 3.3.6 Brand nach Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeugen

Das Ladevolumen heutiger Tankfahrzeuge beträgt maximal 35'000 l. Die Transporttanks sind in den meisten Fällen vollständig gefüllt oder leer. Aufgrund der speziellen Verhältnisse ist bei Unfällen in Tunneln ein Kippen von Tankfahrzeugen nicht zu erwarten.

Die Transporttanks sind generell vergleichsweise verletzlich. Schwachstellen sind u.a. die Verbindungen zwischen dem Tank und dem Chassis. Unfälle haben deshalb Lecks mit vergleichsweise grossen Querschnitten zur Folge und es ist mit grossen Freisetzungsraten zwischen 30 und 200 l/s zu rechnen. Auch bei einem grossen Transporttank ist deshalb die Dauer der Freisetzung allgemein kleiner als zehn Minuten.

Die durch das Auslaufen des Benzins sich bildende Lache hat eine Ausdehnung zwischen 50 und 300 m<sup>2</sup>. Die Lachengrösse ist abhängig vom:

- Standort des Fahrzeugs
- Längs- und Quergefälle der Fahrbahn
- Entwässerungssystem (Anhang 4)

Benzin ist eine Flüssigkeit, die rasch verdunstet. Die dabei entstehenden Dämpfe sind leicht entzündbar. Der Flammpunkt liegt bei -20° C. Die Brandentwicklung erfolgt deshalb sehr schnell. Die Dauer des Brandes mit einer grossen Leistung ist jedoch vergleichsweise kurz und beträgt in den meisten Fällen lediglich 5 - 15 Minuten. Der grösste Anteil des freigesetzten Benzins verbrennt nicht, sondern fliesst in das Entwässerungssystem.

Abhängig von der Lachengrösse hat der Brand der Benzinlache eine grosse Leistung von 100 MW oder mehr. Die Brandleistung ist neben der Lachengrösse auch wesentlich von der Luftzufuhr abhängig.

Die Rauchmengen beim Brand einer Benzinlache sind sehr gross und füllen den gesamten Tunnelquerschnitt. In Anbetracht der Verbrennung unter Sauerstoffmangel bildet sich neben CO auch Russ.

Obwohl die Branddauer vergleichsweise kurz ist, können sich Reste von Benzin noch nach vielen Stunden entzünden und zu Verpuffungen führen, welche Personen gefährden.

Für den **Feuerwehreinsatz** ist folgendes zu beachten:

- Das Einfahren in den Tunnel ist nur in Richtung der Luftströmung zulässig.
- Während der Einfahrt ist die Benzingaskonzentration laufend zu messen.
- Die Tragsicherheit von Tunnelbauteilen, im Speziellen von Wandverkleidungen und Zwischendecken sowie von mechanischen Installationen kann nicht mehr gewährleistet sein.
- Im Hinblick auf Explosionen oder Verpuffungen ist eine Zone vor den Portalen mit einer Tiefe von 100 m abzusperren.
- Schachtabdeckungen des Entwässerungssystems dürfen während des Brandes und Stunden nach dem Brand nicht abgehoben werden.

### **3.3.7 Freisetzung von Benzin aus Tankfahrzeugen ohne Brand**

Bei einem Unfall mit einem Tankfahrzeug, bei dem sich das freigesetzte Benzin nicht entzündet, besteht in allen Phasen eine sehr grosse Brand- und Explosionsgefahr. Eine Intervention ist in Anbetracht der extremen latenten Gefährdung der Feuerwehr äusserst schwierig.

### **3.3.8 Freisetzung von Diesel- oder Heizöl aus Tankfahrzeugen**

In Bezug auf die Freisetzung und die Lachengrösse gelten die für das Szenarium 6 gemachten Angaben.

Dieselöl/Heizöl ist eine Flüssigkeit, die langsam verdunstet und erst bei einem Flammpunkt von 55°C als leicht brennbar eingestuft wird. Es ist darum davon auszugehen, dass sich auslaufendes Dieselöl/Heizöl nicht entzündet. Die Brandgefahr ist dementsprechend gering. Es ist jedoch zu beachten, dass dem Dieseltreibstoff in der kalten Jahreszeit Benzin beigemischt wird.

In der Anfangsphase eines Ereignisses kann unter Umständen nicht eruiert werden, ob es sich bei der freigesetzten Flüssigkeit nicht um eine andere brennbare Flüssigkeit handelt. Das Vorhandensein von brennbaren Stoffen oder explosiven Gemischen ist darum laufend durch Messungen zu überprüfen.

## 4 Organisation und Einsatz

### 4.1 Massgebende Charakteristiken

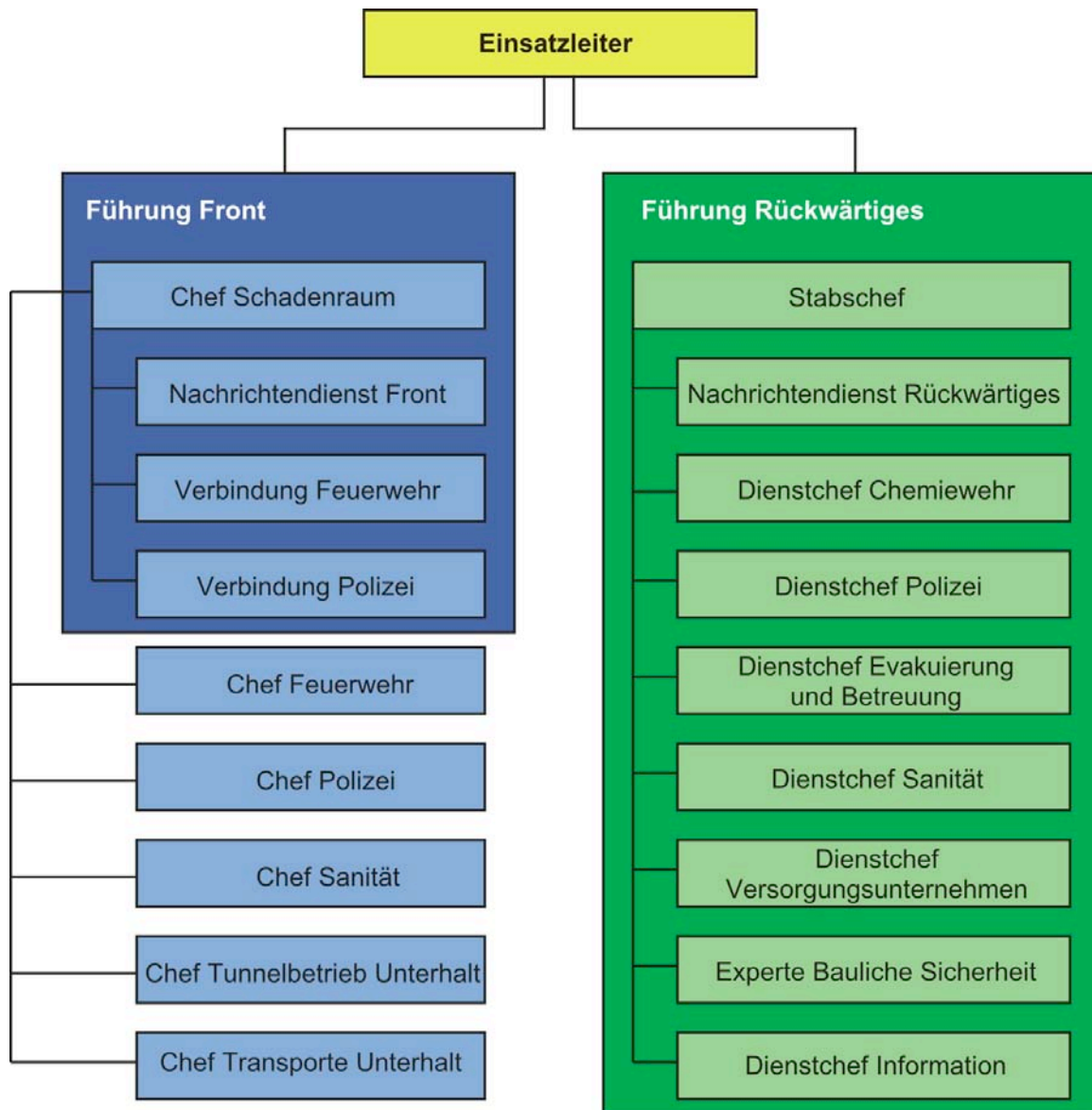
Die Organisation und der Einsatz der Ereignisdienste weisen generell die nachfolgenden massgebenden Charakteristiken auf:

- Bei **einröhrigen Tunneln** erfolgt die Intervention in der Mehrzahl der Fälle von beiden Portalen aus. In vielen Fällen kommen Feuerwehren von zwei Stützpunkten zum Einsatz.
- Bei **zweiröhrigen Tunneln** erfolgt die Intervention primär von Querverbindungen aus.
- Bei Standardereignissen ist die Zusammenarbeit zwischen Feuerwehr, Polizei, Unterhalts- und sanitätsdienstlichem Rettungsdienst eingespielt.
- In der Einsatzphase Selbstrettung ist die Einsatzzentrale der Polizei für die Warnung der Tunnelbenützer zuständig. Mit dem Eintreffen der Feuerwehr am Schadenplatz übernimmt diese die Führung des Rettungs- und Löscheinsatzes. Die Gesamtleitung ist in der Einsatzplanung geregelt.
- Die Selbstrettung verläuft ohne Einflussnahme der Ereignisdienste.
- Tunnellüftungen weisen einen Automatikbetrieb auf, der in der Phase Selbstrettung nicht beeinflusst werden kann. Eine Veränderung des Automatikbetriebes durch geschultes Fachpersonal ist nur nach Absprachen mit der Feuerwehr und einer speziellen Lagebeurteilung zulässig.
- Während der Fremdrettung können Betreuungs- und Transportaufgaben notwendig werden.
- Brandfälle in Tunneln sind Ereignisse, die sich in einem engen Umkreis abspielen. Das Aufgebot eines Führungsstabes ist deshalb unter anderem nur in sehr seltenen Fällen notwendig.

Die objektspezifischen Informationen zu technischen Einzelheiten und zur Organisation sind in der Einsatzplanung enthalten.

## 4.2 Stabsorganisation

Die Organisation des Führungs- oder Teilführungsstabs ist objektspezifisch in der Einsatzplanung enthalten. Das Bild 2 zeigt das Beispiel eines Organigramms für einen Teilführungsstab.



**Bild 2** Mögliche Stabsgliederung bei einem Grossereignis in Tunneln sowie bei der Einwirkung von Rauch auf Personen ausserhalb des Tunnels

## 5 Massnahmen

### 5.1 Übersicht über die Wirkung eines Brandalarms

Eine Übersicht über die durch einen Brandalarm ausgelösten Reaktionen in einem modernen Tunnel findet sich in der Tabelle 2. Es handelt sich dabei um eine beispielhafte Übersicht mit den Wirkungen auf die verschiedenen Betriebssysteme.

Infrastruktursystem	Anruf an Einsatzzentrale <sup>1)</sup>	Entnahme Feuerlöscher in SOS-Nische	Branddetektion <sup>2)</sup>
Tunnellüftung	<i>Schaltung Brandlüftung durch Zentralisten</i>	<i>Schaltung auf Brandlüftung automatisch</i>	
Verkehrsfernsehen	<i>Aufschalten Kameras durch Zentralisten</i>	<i>Automatisches Aufschalten der Kameras</i>	
Verkehrsleitsystem	<i>Auslösen der Sperrung der Einfahrten und Verkehrsregime für die Feuerwehr auf den Zufahrten und im Tunnel durch Zentralisten</i>		
UKW-Rundfunk	<i>Warnung der Tunnelbenutzer durch Zentralisten</i>		
Akustische Warnung	--	<i>Selbsttätiges Einschalten (geplant)</i>	
Durchfahrts-/Notbeleuchtung	<i>Schalten auf höchste Stufe durch Zentralisten</i>	<i>Automatisches Schalten auf höchste Stufe</i>	
Brandnotbeleuchtung	--	<i>Selbsttätiges Einschalten</i>	

<sup>1)</sup> Brandalarm aus SOS-Nische oder über Telefon

<sup>2)</sup> Detektion mit Temperatursensoren oder Bildauswertung vom Verkehrsfernsehen

**Tabelle 2** Beispiel Übersicht über die Wirkungen eines Brandalarms

### 5.2 Alarmierung, Warnung und Aufgebot

#### 5.2.1 Alarmierung der Feuerwehr

Die Alarmierung geht bei Anrufen von Notruftelefonen an die Einsatzzentrale der Polizei oder bei Anrufen auf Telefon 118 / 117 / 112 direkt an die Alarmstelle der Feuerwehr. Im Hinblick auf die vielfach kurze Dauer der Phasen Selbst- und Fremddrettung ist die **rasche Alarmierung der Feuerwehr** ein vorrangiges Element der Personensicherheit. Das Risiko des Ausrückens bei Fehlalarm muss deshalb akzeptiert werden.

Tunnel mit einer mechanische Lüftung sowie Tunnel mit einer grosser Verkehrsmenge sind allgemein mit einer automatischen Branddetektion ausgerüstet. Alarme von Brandmeldeanlagen werden auf die Einsatzzentrale, von wo aus dann die Feuerwehr alarmiert wird, oder direkt an die Feuerwehr geleitet.

#### 5.2.2 Warnung der Tunnelbenutzer

Die Selbstrettung ist das wichtigste Element bei einem Tunnelbrand. Mit der Warnung der Tunnelbenutzer muss erreicht werden, dass diese ihre Fahrzeuge rasch verlassen und sich sofort zu den Notausgängen begeben. Dazu werden die folgenden Einrichtungen und Massnahmen verwendet:

- Auffällige optische Warnsignale bei den Notausgängen
- Akustische Warnungen
- Durchsagen über Radio in verschiedenen Sprachen

### 5.2.3 Aufgebot weiterer Dienste

Das Aufgebot weiterer Dienste erfolgt durch die Feuerwehr oder die Polizei gemäss der Einsatzplanung.

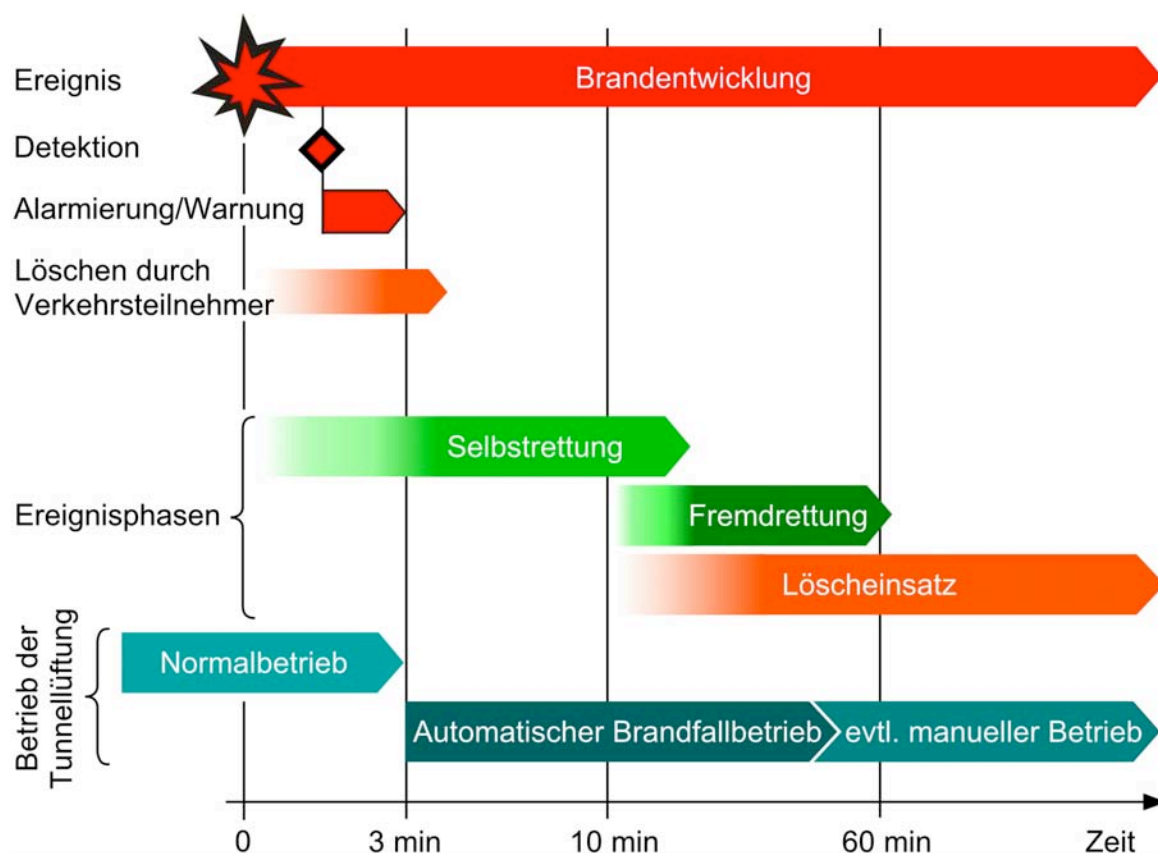
## 5.3 Sicherheitstechnische Infrastruktur für die Selbstrettung

Angaben zur sicherheitstechnischen Infrastruktur finden sich im Anhang 7. Diese ist das wichtigste Element des Personenschutzes in Tunneln.

## 5.4 Betrieb der Tunnellüftung

### 5.4.1 Betriebsarten

Der Betrieb der Tunnellüftung bei einem Brand hat das Ziel, die Verrauchung des Fahrraums minimal zu halten. Damit wird in erster Linie die Selbstrettung, aber auch die Fremdrettung erleichtert. Das Bild 3 zeigt die zeitliche Staffelung des Lüftungsbetriebs in Abhängigkeit der Ereignisphasen.



**Bild 3** Betriebsarten der Tunnellüftung während den verschiedenen Ereignisphasen

In seltenen Fällen kann es günstig sein, den automatischen Brandfallbetrieb in einer späten Phase des Löscheinsatzes durch einen manuell gesteuerten Betrieb zu ersetzen.

## 5.4.2 Lüftung im Brandfall

Eine moderne Tunnellüftung kann im Brandfall in der Regel mindestens eine der beiden nachfolgend angegebenen Anforderungen erfüllen:

- Der Rauch wird mit der Lüftungsanlage abgesaugt, so dass der Tunnelraum weitgehend rauchfrei bleibt und die Selbstrettung dadurch erleichtert wird. Die Rauchabsaugung erleichtert auch die Intervention in den Phasen Fremdrettung und Löscheinsatz. Dabei muss die Lüftungsanlage für eine effiziente Absaugung des Brandrauchs in einem Brandabschnitt von 300 m Länge in der Lage sein, eine grosse Absaugleistung von mindestens  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  zu erbringen.
- Der Rauch wird durch die mechanische Lüftung verdrängt, so dass der Fluchtweg für die Selbstrettung rauchfrei bleibt. Zur vollständigen Verdrängung der Rauchgase ist eine Luftströmung in Tunnellängsrichtung mit einer Geschwindigkeit von mindestens  $3 \text{ m/s}$  ( $10 \text{ km/h}$ ) notwendig.

In Tunneln mit Richtungsverkehr herrscht im Normalbetrieb eine Längsströmung in Verkehrsrichtung. Diese Lüftungsverhältnisse sind für die Selbstrettung insofern günstig, als dass der Rauch ebenfalls in dieser Richtung abgetrieben wird und der Fluchtweg gegen die Strömungsrichtung rauchfrei bleibt.

In Tunneln mit Gegenverkehr herrscht im Normalbetrieb ebenfalls eine Längsströmung. Diese wird durch die massgebende Verkehrsrichtung und Druckunterschiede zwischen den Portalen bestimmt. Eine mechanische Lüftung kann die Längsströmung unterstützen.

Das Umkehren der Luftströmungsrichtung mit Hilfe der Lüftungsanlage ist speziell in der Phase Selbstrettung problematisch. Auf Grund der Trägheit der Luftsäule im Tunnel beansprucht das auch einige Zeit. Zudem besteht dabei die Gefahr, eine allenfalls vorhandene Rauchsichtung zu stören, und den gesamten Tunnelquerschnitt zu verrauchen.

Die Umkehrung der Luftströmungsrichtung mit Hilfe der Lüftungsanlage und mit Hochleistungslüftern kann in seltenen Fällen in der Phase Löscheinsatz aus feuerwehrtaktischen Gründen richtig sein. Solche Umstellung können jedoch nur gemäss Einsatzplanung und nach Absprache mit dem Tunnelbetreiber durchgeführt werden (Anhang 9).

## 5.5 Zufahrt zum Schadenraum

### 5.5.1 Feuerwehrezufahrt

Feuerwehrezufahrten sind im Rahmen der Einsatzplanung in Bezug auf die folgenden Anforderungen zu überprüfen:

- Strassenbautechnischer Ausbaustandard einer Werkstrasse
- Öffnung, die rasch geöffnet werden kann
- Schneeräumung mit hoher Priorität

Die massgebenden Informationen zur Zufahrt sind unter besonderer Berücksichtigung der Behinderungen in die Einsatzplanung aufzunehmen.

## 5.5.2 Mittelstreifenüberfahrten

Vor den Portalen von Autobahntunneln bestehen vielfach befahrbare Verbindungen (Mittelstreifenüberfahrten). Diese sind jedoch häufig mit Schutzeinrichtungen (Leitschranken) gesichert. Im Rahmen der Einsatzplanung sind die Mittelstreifenüberfahrten in Bezug auf die folgenden Anforderungen zu überprüfen:

- Möglichkeit für eine genügend rasche Verschiebung oder Absenkung der Schutzeinrichtung
- Wendemöglichkeit für die Schneeräumfahrzeuge über eine Wendeschleife, welche auch den Ereignisdiensten einen Wechsel der Fahrtrichtung ermöglicht

Die massgebenden Informationen zu den Überfahrten sind unter besonderer Berücksichtigung der Behinderungen in die Einsatzplanung aufzunehmen.

## 5.6 Informationen und Kontrollen

### 5.6.1 Informationsbeschaffung vor der Intervention der Ereignisdienste

Vor der Einfahrt in den Tunnel sind soweit vorhanden und gemäss der Lage notwendig die folgenden Informationen zu beschaffen:

- Lage des Brandortes
- Fahrstreifen ohne Verkehr
- Dichte und Zusammensetzung des stehenden Verkehrs
- Fahrzeuge, welche gewendet haben
- Brennende Fahrzeuge - Anzahl, Typen, Ladungen
- Stand der Brandentwicklung
- Lage der Rauchfront und allfällige Schichtung
- Aktuelle Luftrichtung und -geschwindigkeit

### 5.6.2 Portalkontrolle

Vor den Tunnelportalen ist eine Kontrollstelle mit den folgenden Aufgaben einzurichten:

- Verhindern des Eintretens von Personen ohne Atemschutz in den Tunnel
- Registrieren von ein- und ausfahrenden Angehörigen der Feuerwehr
- Registrieren und Anweisen flüchtender Tunnelbenützer



## 5.7 Ereignisphasen und Intervention im Tunnel

### 5.7.1 Einröhrige Tunnel mit Gegenverkehr

Bei einem Ereignis in Tunnel mit Gegenverkehr staut sich der Verkehr beidseitig der Unfallstelle und die **Selbstrettung** findet grundsätzlich vom Brandort weg in Richtung der beiden Portale bzw. der Notausgänge statt.



**Bild 4** Phase Selbstrettung in einröhrigem Tunnel mit Gegenverkehr

Die Rauchausbreitung im Tunnel ist von der Luftströmung abhängig. Ist die Längsströmung im Fahrraum vergleichsweise schwach, breitet sich der Rauch beidseitig des Brandes aus. Bei einer starken Strömung findet die Rauchausbreitung vor allem in Strömungsrichtung statt. Die Geschwindigkeit der Rauchfront kann dabei 3 m/s (10 km/h) oder mehr betragen. Flihende Tunnelbenützer können dann durch den Rauch eingeholt werden. Bei grossen Geschwindigkeiten findet die Rauchausbreitung zudem niemals geschichtet statt (Anhang A1). Der gesamte Tunnelquerschnitt ist deshalb verrauchte und die Gefährdung der Tunnelbenützer erheblich.

In den Phasen **Fremdrettung** und Löscheinsatz fährt die Feuerwehr grundsätzlich von beiden Seiten in den Tunnel. Wegen flüchtender Tunnelbenützer, welche ihre Fahrzeuge im Tunnel gewendet haben, ist beim Einfahren grosse Vorsicht geboten. Die von beiden Seiten vorrückenden Feuerwehreinheiten suchen den Tunnelraum und die Fahrzeuge ab und übernehmen die Fremdrettung. Wird der Rauch verstärkt oder ausschliesslich auf eine Seite abgetrieben, hat das Absuchen und die Fremdrettung auf der stärker verrauchten Seite Priorität.

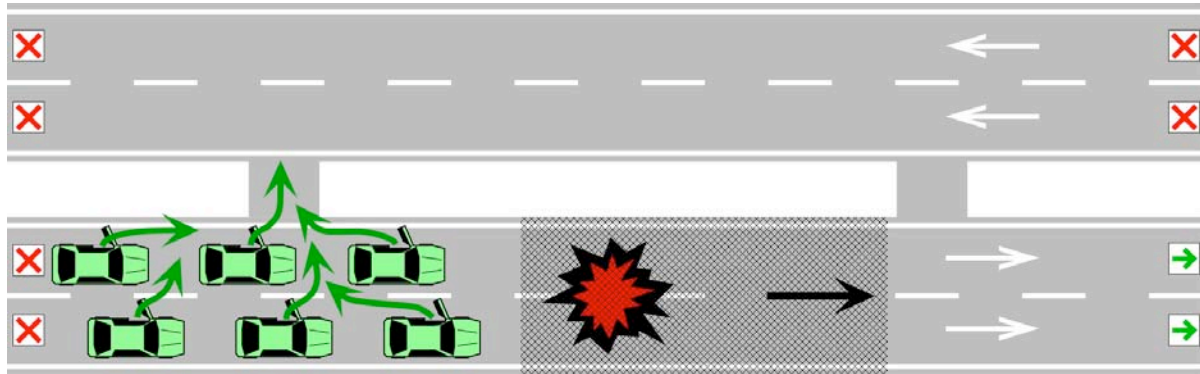


**Bild 5** Phase Fremdrettung und Löscheinsatz in einröhrigem Tunnel mit Gegenverkehr

Der **Löscheinsatz** wird soweit feuerwehrtaktisch sinnvoll grundsätzlich von beiden Seiten durchgeführt. Bei einseitigem Rauchabtrieb übernimmt die Einheit auf der weniger verrauchten Seite zur Hauptsache die Brandbekämpfung, während die im Rauch vorrückenden Einsatzkräfte primär mit dem Absuchen und der Fremdrettung beschäftigt sind.

### 5.7.2 Zweiröhrige Tunnel mit Richtungsverkehr

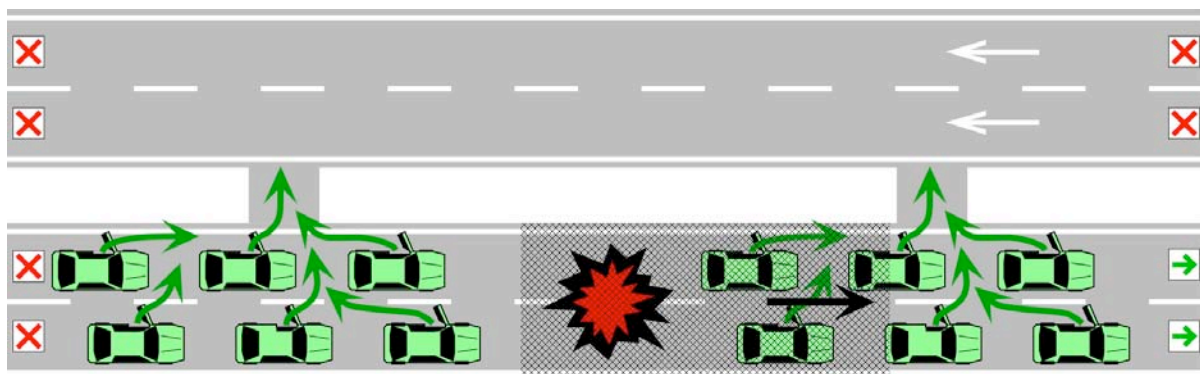
In Tunneln mit Richtungsverkehr stauen sich die Fahrzeuge nach einem Ereignis grundsätzlich auf einer Seite der Unfallstelle. Die **Selbstrettung** der Verkehrsteilnehmer findet gegen die Fahrtrichtung zu den nächstgelegenen Notausgängen oder dem Portal statt. Da die Notausgänge über Querverbindungen häufig in die benachbarte Tunnelröhre führen, muss diese für den Verkehr gesperrt werden.



**Bild 6a** Phase Selbstrettung in Tunnel mit Richtungsverkehr

Tunnel mit Richtungsverkehr weisen allgemein eine Luftströmung in Fahrtrichtung auf. Zumindest kurz nach dem Ereignis findet deshalb auch die Rauchausbreitung in dieser Richtung statt und die Gefährdung für die in der Gegenrichtung Flüchtenden ist beschränkt. Falls die Strömungsrichtung jedoch nicht durch Strahlventilatoren aufrecht erhalten oder der Rauch über Brandschutzklappen abgesaugt wird, kann nach einigen Minuten auch eine Rauchausbreitung in Fluchtrichtung stattfinden.

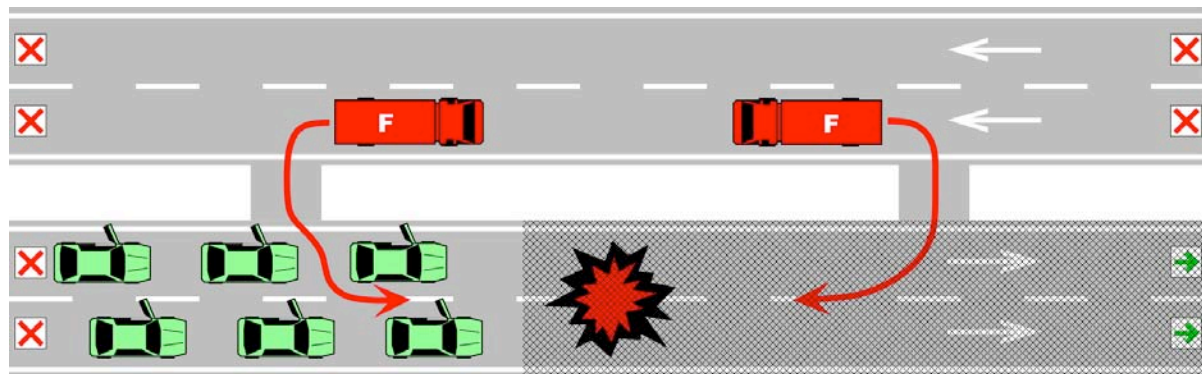
Befinden sich blockierte Fahrzeuge auf beiden Seiten des Brandes - beispielsweise nach einem Auffahrunfall auf eine im Tunnel stehende Kolonne - erfolgt die **Selbstrettung** in beiden Richtungen. Die im Stau vor der Unfallstelle stehenden Verkehrsteilnehmer sind dabei besonders gefährdet, weil sie den Brand unter Umständen zuerst gar nicht wahrnehmen und weil sich der Rauch sehr schnell ausbreiten kann. Die rasche Warnung der Betroffenen ist darum ausserordentlich wichtig.



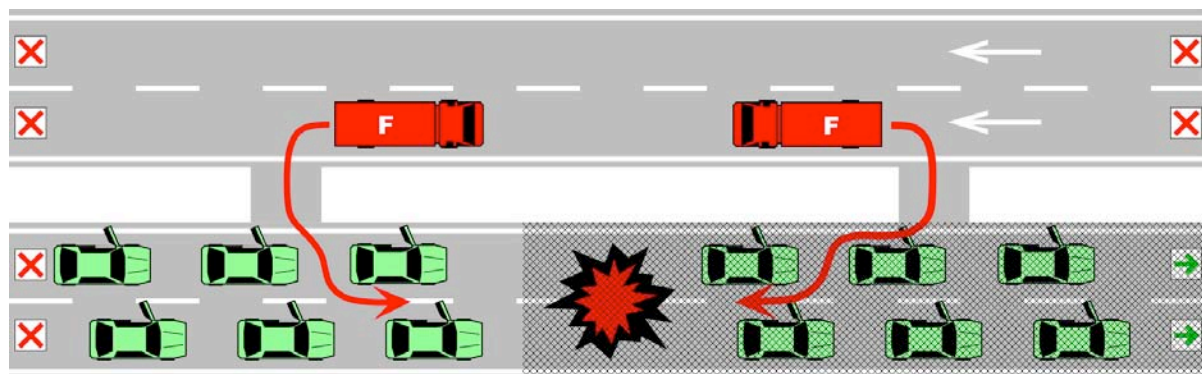
**Bild 6b** Phase Selbstrettung in Tunnel mit Richtungsverkehr bei einem Stau

Die Intervention der Feuerwehr in den Phasen **Fremdrettung** und **Löscheinsatz** erfolgt in erster Priorität von der benachbarten Tunnelröhre über die am nächsten zum Unfall- bzw. Brandort gelegenen Querverbindungen. Dazu wird die Tunnelröhre mit Hilfe des Verkehrsleitsystems unverzüglich gesperrt und vom Verkehr entleert.

Während die im Rauch operierenden Feuerwehreinheiten primär den Tunnelraum und die Fahrzeuge absuchen sowie die Fremdrettung übernehmen, sind die auf der andern Seite vorrückenden Einheiten schwergewichtig am Löscheinsatz beteiligt.

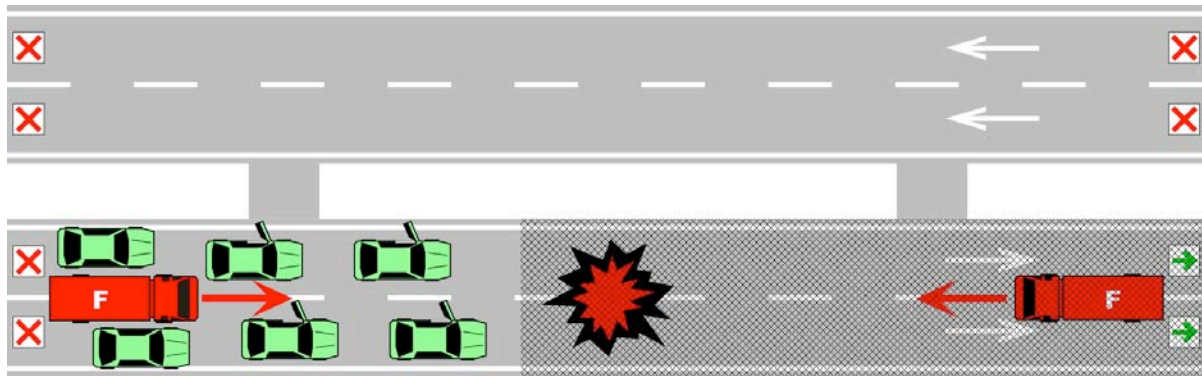


**Bild 7a** In einem Tunnel mit Richtungsverkehr mit 1. Priorität durchgeführte Intervention in den Phasen Fremdrettung und Löscheinsatz

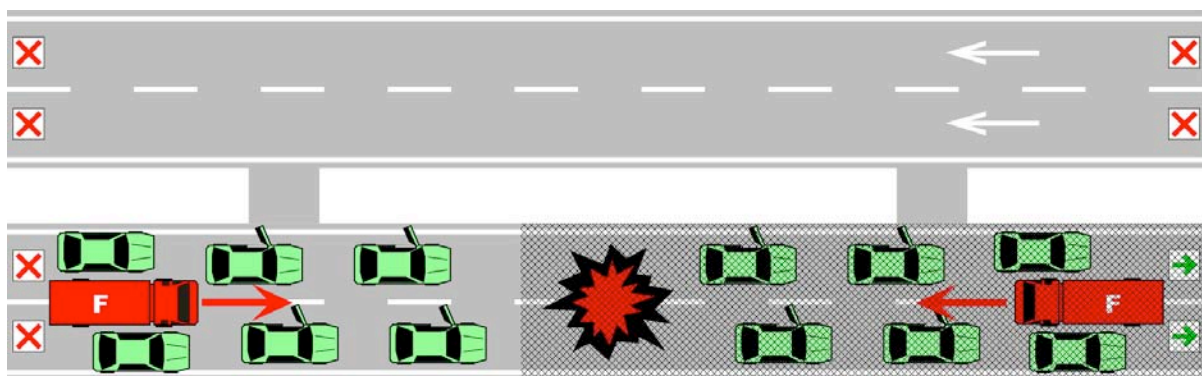


**Bild 7b** Bei einem Stau in einem Tunnel mit Richtungsverkehr mit 1. Priorität durchgeführte Intervention in den Phasen Fremdrettung und Löscheinsatz

In zweiter und dritter Priorität rücken die Feuerwehreinheiten bei einem Ereignis in einem Tunnel mit Richtungsverkehr auch in der betroffenen Tunnelröhre vor. Sehr grosse Schwierigkeiten ergeben sich dabei, weil die Feuerwehr durch verlassene Fahrzeuge - speziell bei Tunneln ohne Standstreifen - sowie durch minimale Sichtverhältnisse im Rauch behindert wird. Es ist darum davon auszugehen, dass eine Beteiligung dieser Einheiten am Löscheinsatz nicht möglich ist. Die in der betroffenen Tunnelröhre vorrückenden Feuerwehreinheiten übernehmen deshalb vor allem Aufgaben der Fremdrettung sowie das Absuchen des Tunnelraums inkl. allfälliger Schutzräume und Notrufrischen.



**Bild 8a** In einem Tunnel mit Richtungsverkehr mit 2. und 3. Priorität durchgeführte Intervention in den Phasen Fremdrettung und Löscheinsatz



**Bild 8b** Bei einem Stau in einem Tunnel mit Richtungsverkehr mit 2. und 3. Priorität durchgeführte Intervention in den Phasen Fremdrettung und Löscheinsatz

## 5.8 Hinweise zur Fremdrettung

Das vordringliche Ziel des Feuerwehreinsatzes ist die Fremdrettung und das Absuchen der Tunnelröhre nach gefährdeten Tunnelbenützern. Es gelten die folgenden Hinweise:

- Die Fremdrettung ist wegen des Atemschutzes grundsätzlich durch Angehörige der Feuerwehr durchzuführen.
- Verrauchte Zonen dürfen ausschliesslich durch Atemschutztrupps, ausgerüstet mit einer Wärmebildkamera, begangen werden.
- Zum Absuchen des gesamten Tunnelraums ist ein Vordringen zum Brandort von beiden Portalen her notwendig.
- Die Fremdrettung kann mit dem Löscheinsatz verbunden werden.
- Der Einsatz spezieller Mittel ist objektbezogen zu prüfen.
- Löschfahrzeuge können im Notfall auch für Rettungstransporte eingesetzt werden.
- Die Fremdrettung hat eine besonders grosse Bedeutung beim Brand eines Reisebusses oder bei Bussen, die sich nahe beim Brandort befinden.



## 5.9 Betreuung

Für aus dem Tunnel geflüchtete Tunnelbenutzer muss eine Betreuung vorhanden sein. Dazu wird durch die Einsatzleitung zusammen mit Angehörigen von Verwaltungsstellen oder Feuerwehrorganisationen situationsbezogen eine Betreuungsstelle an den Tunnelportalen oder den Ausgängen von Fluchtwegen eingerichtet. Zur Betreuung gehören auch die Transporte von betroffenen Tunnelbenutzern.

Bei Grossereignissen können umfangreiche erkennungsdienstliche Massnahmen notwendig werden. Im Vordergrund steht dabei die Registrierung nicht verletzter, sich nicht mehr auf dem Schadenplatz aufhaltender Betroffener sowie die Registrierung verletzter in Spitälern transportierter und vermister Tunnelbenutzer.

Die Betreuungsstelle nimmt die folgenden Aufgaben wahr:

- Informationsstelle
- Registrierstelle
- Vermisstenmeldestelle
- Warteraum für Transporte
- Organisation der Personentransporte

Personentransporte werden in Einzelfällen durch Unterhaltsdienste ausgeführt. In städtischen Gebieten können auch Dienste von Verkehrsbetrieben angefordert werden.

## 5.10 Sanitätsdienst

Die aufgebotene sanitätsdienstliche Organisation baut gemäss den Richtlinien des IVR [16] an dem in der Einsatzplanung festgelegten Standort die Sanitätshilfsstelle auf. Sie umfasst den Behandlungs- und Lagerraum sowie den Verladerraum. Angaben zur Sanitätshilfsstelle finden sich im Anhang A5.

## Anhang 1 Tunnelbrand

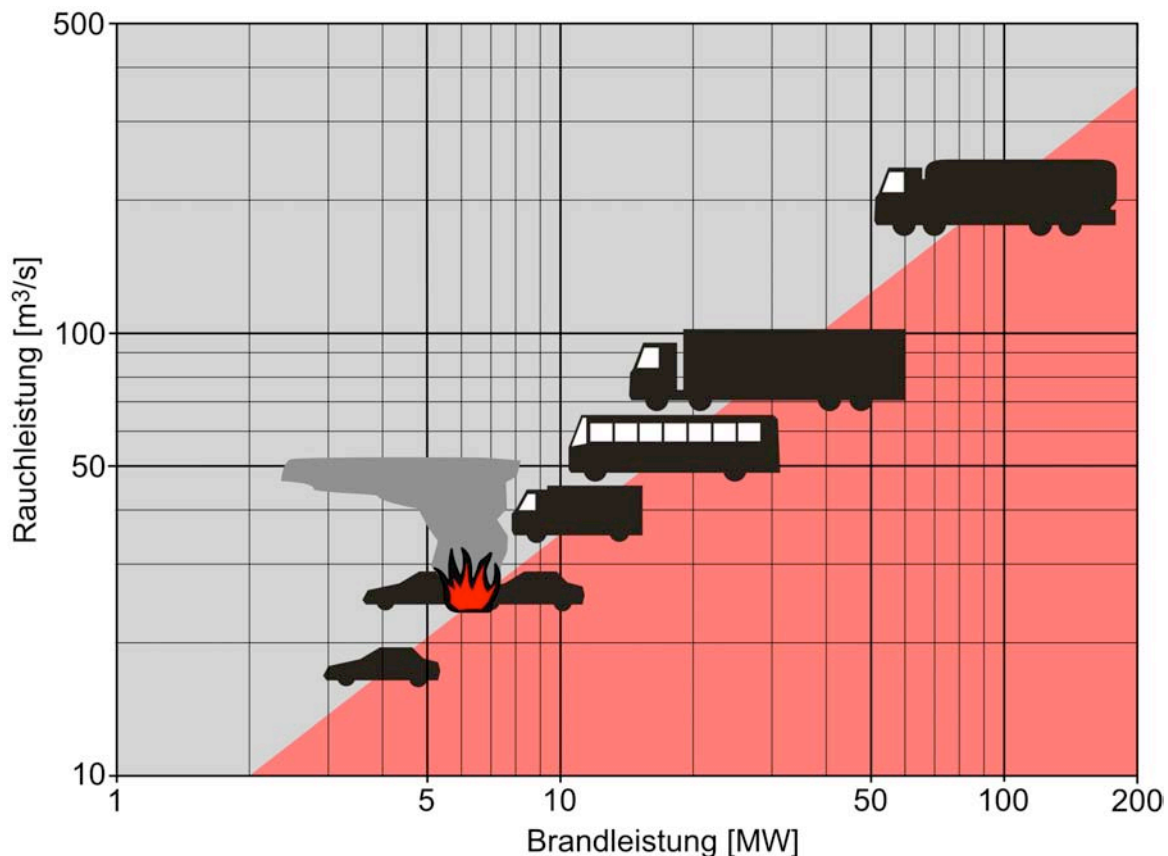
### A1.1 Ausmass von Tunnelbränden

#### A1.1.1 Allgemeines

Brandunfälle in Tunneln haben auf Grund der stark eingeschränkten räumlichen Verhältnisse im Allgemeinen hohe Temperaturen und eine starke Verrauchung des Tunnelraums zur Folge. Als Folge der intensiven Hitzeentwicklung, der Verschlechterung der Sichtbedingungen durch den Rauch, der Reduktion der Sauerstoffkonzentration und der Ausbreitung toxischer Rauchgase können die Auswirkungen von Bränden in Tunneln sehr viel grösser sein als bei Ereignissen ausserhalb von Tunneln. In den nachfolgenden Kapiteln ist die Temperaturentwicklung (Anhang A1.2) und die Rauchgasausbreitung (Anhang A1.3) bei einem Tunnelbrand beschrieben.

#### A1.1.2 Brandszenarien

Abhängig vom Fahrzeugtyp und von der Ladung kann die Intensität eines Fahrzeugbrandes sehr unterschiedlich sein. Im nachfolgenden Bild A1-1 sind die Brand- und die Rauchleistungen für die verschiedenen Brandszenarien (Kap. 3) dargestellt. Es handelt sich dabei um die maximalen Brand- bzw. Rauchleistungen, die während einer signifikanten Dauer während eines Brandes erwartet werden müssen. Die Angaben basieren auf verschiedenen Quellen, darunter den EUREKA-Versuchen [10].



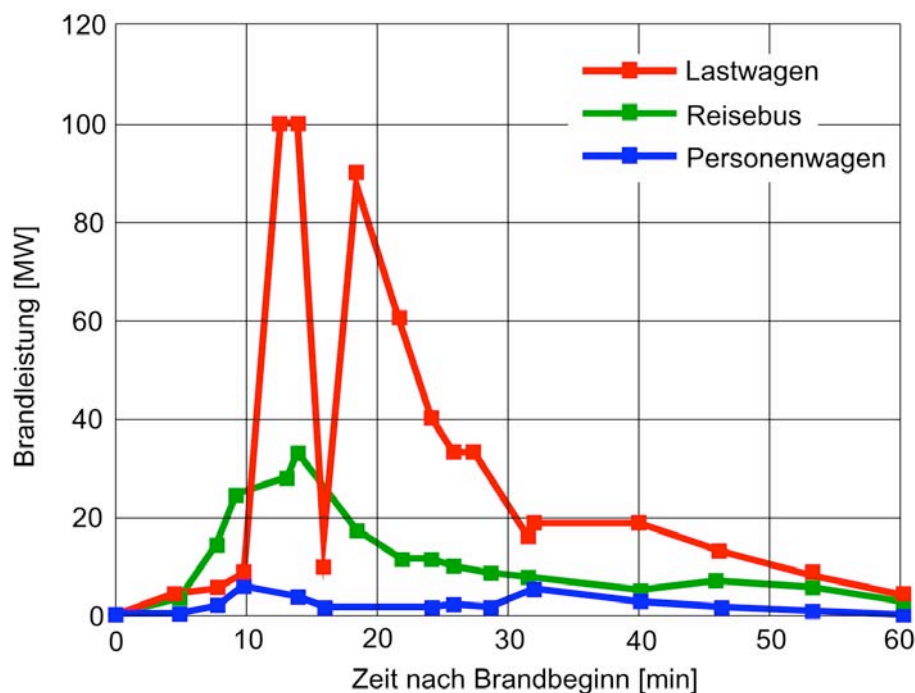
**Bild A1-1** Maximale Brand- und Rauchleistung beim Brand unterschiedlicher Strassenfahrzeuge

Gemäss der Richtlinie "Lüftung der Strassentunnel" [5] betragen die nominellen Brandleistungen für Personenwagen je nach Grösse 2 bis 5 MW, für Lieferwagen und Busse 15 bis 20 MW und für beladene Lastwagen 20 bis 30 MW. Bei Bränden von Schweren Lastfahrzeugen mit grossen brennbaren Ladungen und insbesondere auch bei Tankfahrzeugen können die Brandleistungen jedoch 100 MW und mehr betragen. Beispielsweise wurde bei einem Brandversuch mit einem mit zwei Tonnen Möbeln beladenen Lastwagen während kurzer Zeit eine maximale Brandleistung von 120 MW erreicht.

### A1.1.3 Zeitlicher Brandverlauf

Der zeitliche Brandverlauf ist nachfolgend beschrieben. Generell gilt, dass die nominelle Brandleistung im Verhältnis zur gesamten Branddauer von rund einer Stunde nur während weniger Minuten erreicht oder überschritten wird. Auch bei den im Bild A1-1 angegebenen Brandleistungen handelt es sich um die Energie- und Rauchfreisetzungsmengen, wie sie im Brandfall während einiger Minuten aber nicht über die gesamte Branddauer relevant sind. Das folgende Bild A1-2 zeigt einen im Rahmen des EUREKA Projekts 499, Firetun, gemessenen zeitlichen Verlauf der Energiefreisetzung während des realen Brandes verschiedener Strassenfahrzeuge.

Beim Bus wird eine typische Brandleistung von 20 MW während ca. zehn Minuten erreicht bzw. überschritten. Der Maximalwert beträgt rund 30 MW. Bei Lastwagen ist die Brandleistung wesentlich von der Ladung abhängig. Im dargestellten Fall wurden während des Brandes kurzzeitig sehr grosse Leistungen bis 100 MW festgestellt.



**Bild A1-2** Bei Brandversuchen gemessener zeitlicher Verlauf der Brandleistung beim Brand unterschiedlicher Strassenfahrzeuge nach [10][13]

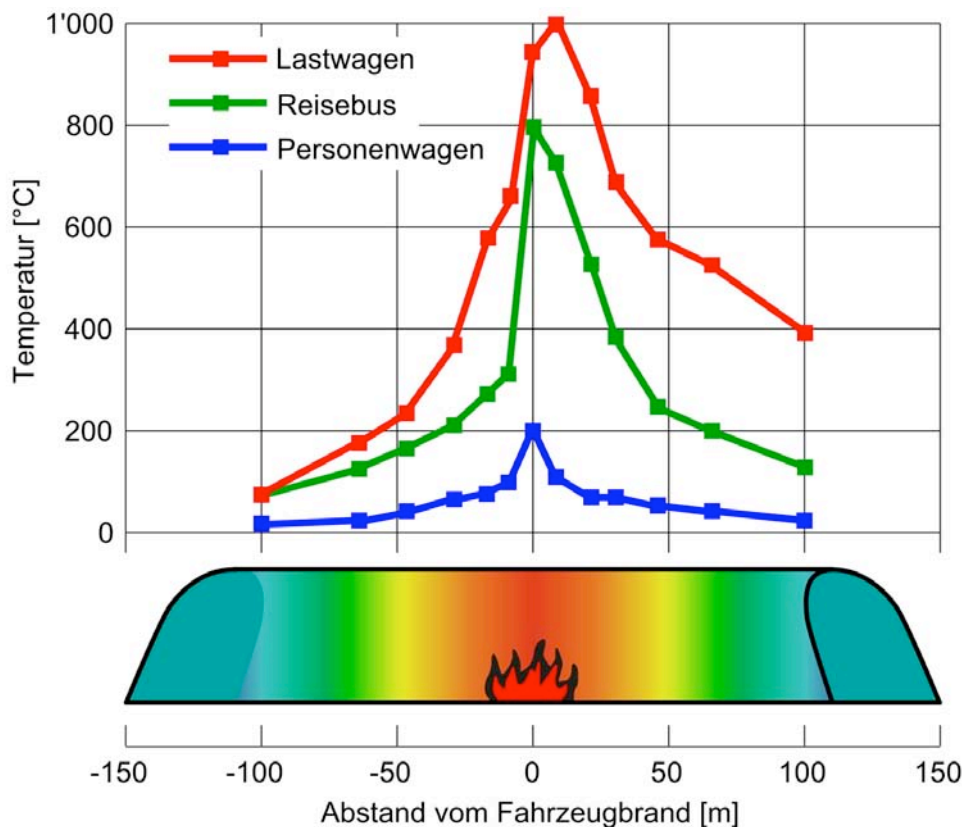
## A1.2 Die Temperaturentwicklung im Tunnel

### A1.2.1 Brandversuche

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes EUREKA Projekt 499, Firetun [10], wurden im Zeitraum zwischen 1990 und 1992 insgesamt 20 Brandversuche in einem Tunnel durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Strassen- und Schienenfahrzeuge sowie unterschiedliche Vergleichsbrandlasten untersucht. In den nachfolgenden Abschnitten sind wesentliche Resultate im Zusammenhang mit den Temperaturmessungen der Versuche dargestellt.

### A1.2.2 Temperaturverteilung in Tunnellängsrichtung

Das Bild A1-3 zeigt die bei Brandversuchen mit verschiedenen Strassenfahrzeugen im Deckenbereich des Tunnels gemessenen Temperaturen. Die Temperaturmaxima wurden jeweils über dem Brandherd gemessen. Beim Brand des Lastwagens betrug die maximale Temperatur 1'000°C. Beim Brand des Busses waren es 800°C. Beim Brand eines Personenwagens bewirkte der grosse Tunnelquerschnitt eine starke Abkühlung der Brandgase, so dass die Temperatur nicht über 200°C anstieg. 50 Meter vom Brand entfernt waren die Temperaturen schon massgeblich tiefer. Beim Versuch mit dem Lastwagen und dem Reisebus wurden aber immer noch Temperaturen von 200°C und mehr gemessen. Die Luftgeschwindigkeiten im Tunnel lagen zwischen 0 m/s und 8 m/s.

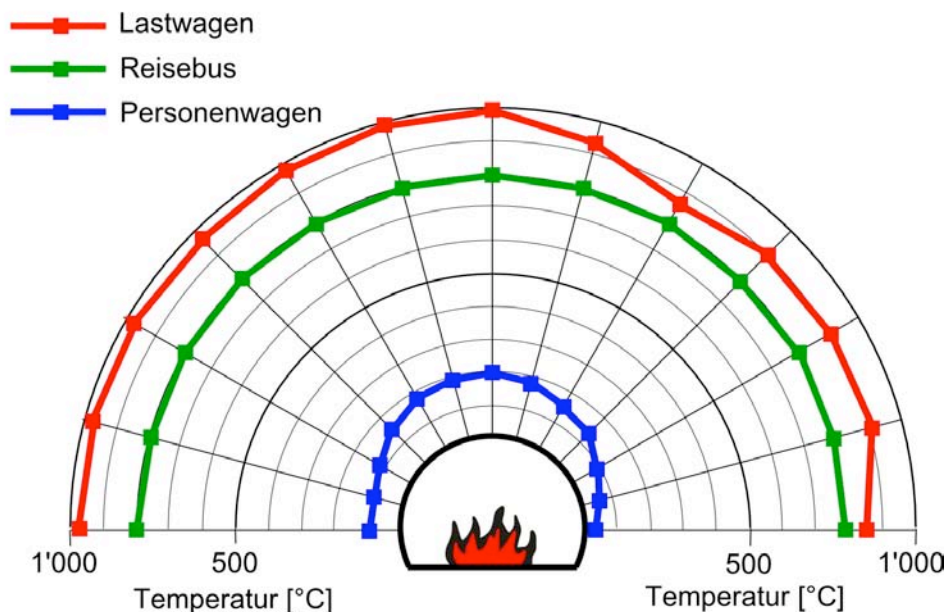


**Bild A1-3** Bei Brandversuchen gemessene maximale Temperaturen im Deckenbereich des Tunnels nach [10][13]



### A1.2.3 Temperaturverteilung im Tunnelquerschnitt

Die Verteilung der bei Brandversuchen gemessenen maximalen Temperaturen im Tunnelquerschnitt ist im Bild A1-4 dargestellt. Es zeigte sich, dass beim Brand des Lastwagens und des Reisebusses im Decken- und im Wandbereich annähernd die gleichen Maximaltemperaturen erreicht wurden. Bei Brand des Personenwagens wurden im unteren Wandbereich deutlich tiefere Temperaturen als im Deckenbereich gemessen.



**Bild A1-4** Bei Brandversuchen gemessene Temperaturen im Tunnelquerschnitt (modifizierte Darstellung) nach [10][13]

### A1.2.4 Zeitliche Temperaturentwicklung

Im Bild A1-5 ist der zeitliche Verlauf der bei den Brandversuchen gemessenen maximalen Temperatur aufgezeichnet. Beim Brand des Personenwagens erreichte die Temperatur während der ersten Minuten des Brandes den Maximalwert von 200°C. Danach fiel sie innerhalb einer Viertelstunde wieder auf Werte unter 100°C. Beim Brand des Busses sowie beim Lastwagenbrand wurde das Temperaturmaximum später nach 10 bzw. nach 20 Minuten erreicht. Temperaturen von 200°C und mehr wurden bei den Brandversuchen mit diesen Fahrzeugen während etwa einer Stunde gemessen.

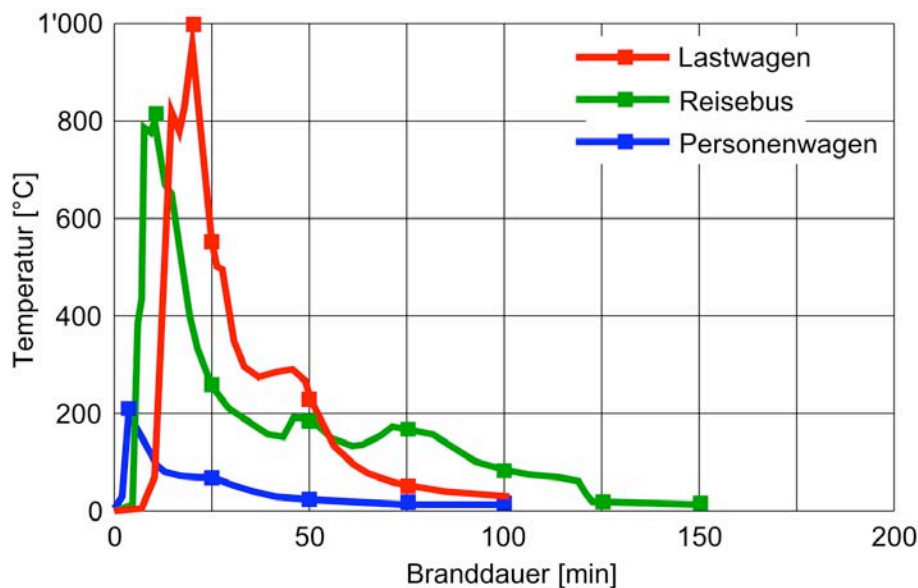


Bild A1-5 Bei Brandversuchen gemessener zeitlicher Verlauf der Maximaltemperatur nach [10][13]

## A1.3 Die Rauchgasausbreitung im Tunnel

### A1.3.1 Mechanismen der Rauchgasausbreitung

Auf Grund des thermischen Auftriebs steigen die heissen Rauchgase über dem Brandherd an die Tunneldecke und breiten sich zu Beginn des Brandes entlang der Tunneldecke aus. Ist keine oder nur eine geringe Längsströmung im Tunnel vorhanden, breitet sich der Rauch nach beiden Seiten aus. Unter dem Rauch strömt frische Luft zum Brandherd.



Bild A1-6a Anfänglich geschichtete Rauchgasausbreitung entlang der Tunneldecke bei Brandbeginn

Die anfängliche Schichtung des Rauchs löst sich auf, wenn sich die Rauchgase an der Tunnelwandung sowie wegen der Durchmischung mit Tunnelluft abkühlen. Der Rauch sinken ab und der gesamte Tunnelquerschnitt wird verraucht. Bei einem Brand mit geringer Leistung und weniger intensiver Thermik (z.B. Brand Personenwagen) kommt es auch anfänglich nicht zu einer Schichtung der Rauchgase.



Bild A1-6b Auflösung der Rauchgasschichtung beim Absinken der abgekühlten Rauchgase

Beim Brandbeginn allenfalls vorhandene Rauchschichtungen können durch Verwirbelungen und Turbulenzen, herrührend von aus dem Tunnel ausfahrenden bzw. schon ausgefahrenen Fahrzeugen, zerstört werden.



**Bild A1-6c** Störung der Rauchgasschichtung durch den Verkehr

Mit dem Betrieb der Belüftungsanlage, insbesondere dem Betrieb von Strahlventilatoren, welche eine Längsströmung im Tunnelraum erzeugen, werden allfällige Rauchschichtungen ebenfalls zerstört.



**Bild A1-6d** Störung der Rauchgasschichtung durch die Belüftung

### A1.3.2 Zeitlicher Verlauf der Rauchgasausbreitung

Die Rauchgasausbreitung ist von der Stärke des Brandes und von der Luftströmung im Tunnel abhängig. Bei den in den Jahren 1993-1995 im Memorial Tunnel (USA) durchgeführten Brandversuchen wurde unter anderem festgestellt, dass die Rauchausbreitung auch bei natürlicher Lüftung ausserordentlich schnell sein kann. Bei einem der Versuche war eine 600 Meter lange Tunnelstrecke, mit einer Steigung von etwas über 3% nach drei Minuten vollständig mit Rauch gefüllt [9].

Bei einem Brand in einem Tunnel kann die Längsströmung und damit die Geschwindigkeit der Rauchausbreitung sehr gross sein. Hervorgerufen beispielsweise durch den Kamineffekt, können Geschwindigkeiten von 3 m/s (10 km/h) oder mehr erreicht werden. Eine Selbstrettung zu Fuss ist bei so grossen Geschwindigkeiten nicht mehr möglich. Im Rahmen von Risikoanalysen wird für zu Fuss flüchtende Personen von Fluchtgeschwindigkeiten von 0,5 - 1,5 m/s (2 - 5 km/h) ausgegangen [14].

### A1.3.3 Die Rückströmung von Rauchgasen

Ist eine Längsströmung im Tunnelraum vorhanden, wird der Rauch mehrheitlich in Richtung der Luftströmung abgetrieben. Bei vergleichsweise geringen Luftgeschwindigkeiten findet aber auch eine Rückströmung, d.h. eine gegenstromgerichtete Rauchschichtung (back-layering), statt.



**Bild A1-7a** Rückströmung (back-layering) von Rauchgasen bei geringer Luftgeschwindigkeit

Ist die Geschwindigkeit der Längsströmung grösser als die sogenannte kritische Geschwindigkeit ( $v_{crit}$ ), ist eine gegenstrom gerichtete Rauchgasausbreitung nicht mehr möglich, und alle Rauchgase werden mitstrom abgetrieben. Die kritische Geschwindigkeit beträgt etwa 3 m/s (10 km/h). Eine Rauchschiebung findet bei einer so grossen Geschwindigkeit nie statt, weshalb auf der Abtriebseite der gesamte Tunnelquerschnitt verrauchte ist.



**Bild A1-7b** Keine Rückströmung von Rauchgasen bei Längsströmungen über der kritischen Geschwindigkeit

### A1.3.4 Ursachen der Längsströmung

Luftströmungen in Tunnellängsrichtung können durch den Verkehr, den Betrieb der Tunnellüftung, Druckunterschiede an den Tunnelportalen oder den bei Tunnels mit einer Steigung bei einem Brand wirksamen Kamineffekt entstehen.

Der rollende Verkehr und die damit verbundene **Kolbenwirkung** der Fahrzeuge in einem Tunnel erzeugt eine Längsströmung im Fahrraum, die bei vielen Tunnels für die Belüftung ausreicht. Dieser Mechanismus ist besonders bei Richtungsverkehr wirksam.



**Bild A1-8a** Längsströmung auf Grund der "Kolbenwirkung" des Verkehrs

Eine Längsströmung kann auch durch die **Tunnellüftungsanlage** erzeugt werden. Dies trifft insbesondere auf Belüftungsanlagen mit Strahlventilatoren zu.



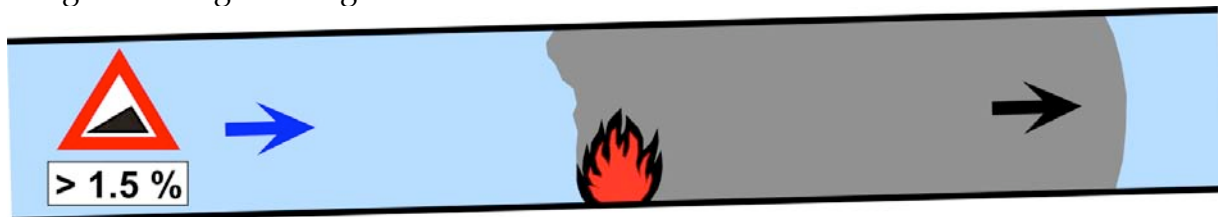
**Bild A1-8b** Längsströmung beim Betrieb der Tunnellüftung

Meteorologisch bedingte **Druckunterschiede** an den Tunnelportalen können ebenfalls massgebliche Längsströmungen im Tunnel zur Folge haben.



**Bild A1-8c** Längsströmung infolge von Druckunterschieden an den Tunnelportalen

Der **Kamineffekt**, der bei einem Brand in einem Tunnel mit einer Steigung auftritt, ist schon bei geringen Steigungen von 1 bis 2% wirksam [12]. Er hat eine vitale Längsströmung zur Folge.



**Bild A1-8d** Längsströmung auf Grund des "Kamineffekts" bei Längsgefälle

In der Realität treten Längsströmungen allgemein in den meisten Fällen auf Grund aller Ursachen zusammen auf. Die dominierenden Ursachen für die Luftströmung sind im Einzelnen jedoch sehr unterschiedlich.

## Anhang 2 Branddetektion

### A2.1 Übersicht

Im Vordergrund stehen heute die folgenden Einrichtungen für die Branddetektion:

- Brandmeldeanlagen
- Videoüberwachung (Systeme in Entwicklung)
- Sichttrübungsmessung

### A2.2 Brandmeldeanlagen

Tunnel, die eine mechanische Lüftungsanlage aufweisen sowie Tunnel mit viel Verkehr oder Transporten gefährlicher Güter sind mit automatischen Brandmeldeanlagen - allgemein Linienbrandmeldern im Tunnelraum - ausgerüstet.

### A2.3 Videoüberwachung

Die Branddetektion mittels Videoüberwachung basiert auf der Bildanalyse. Die Videoüberwachung ermöglicht die Detektion von Brand bzw. Rauch in einem frühen Zeitpunkt sowie vom Verkehr und insbesondere von stehenden Fahrzeugen.

Die Auswertbarkeit der Ereignisdetektion ist beschränkt - sowohl quantitativ (Nischen, von Lastfahrzeugen bedeckte Bereiche) als auch qualitativ (Zuverlässigkeit). Die Ereignisdetektion mittels Videoüberwachung setzt günstige Verhältnisse wie z.B. helle Wände voraus. Die Wahrscheinlichkeit der Erkennung eines Ereignisses liegt nahe bei 100%.

Die Branddetektion mittels Video-Bildanalyse wird als Ergänzung zur Brandmeldeanlage eingesetzt. Die Erkennung eines Brandes erfolgt zeitlich vor der Alarmierung durch Brandmelder. Die Fehlalarmquote ist jedoch wie z.B. beim Auftreten von Gischt oder Nebel hoch.

## Anhang 3 Tunnellüftung

### A3.1 Lüftungssysteme

#### A3.1.1 Übersicht

Die Lüftungssysteme von Tunnelanlagen werden heute in drei Gruppen eingeteilt:

- Natürliche Lüftung
- Mechanische Lüftung **ohne** Rauchabsaugung
- Mechanische Lüftung **mit** Rauchabsaugung (Absaugung im Ereignisfall)

Bei einem natürlich belüfteten Tunnel stellt sich ohne Betrieb einer Belüftungsanlage eine Längsströmung in der Tunnelröhre ein.

Lüftungssysteme der zweiten und der dritten Gruppe haben eine mechanische Lüftung, d.h. eine Lüftungsanlage. Wegen der grossen Bedeutung des Betriebs der Lüftung im Brandfall erfolgt die Unterscheidung dieser Lüftungssysteme auf Grund des Vorhandenseins einer Rauchabsaugung.

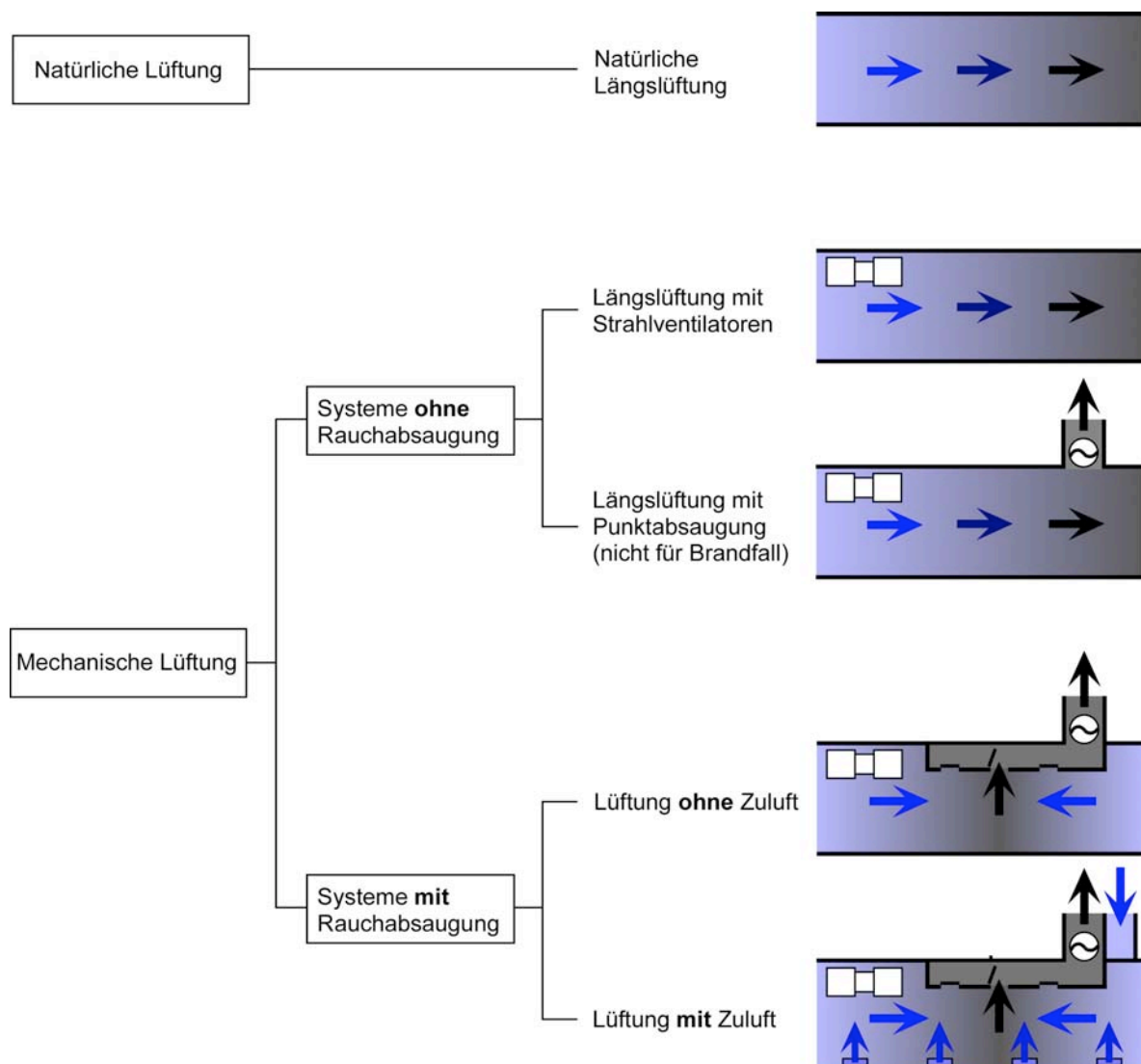
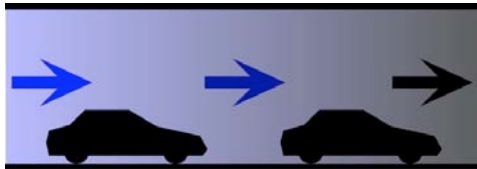


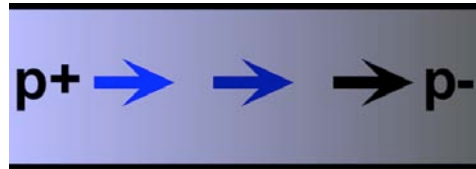
Bild A3-1 Übersicht Tunnellüftungssysteme

### A3.1.2 Natürliche Lüftung

Bei der Längslüftung beruht die Belüftung des Tunnelfahrtraums auf dem "Durchzug" in Längsrichtung des Tunnels. Bei natürlich belüfteten Tunneln wird die Längsströmung durch die Kolbenwirkung des fließenden Verkehrs und durch meteorologisch und thermisch bedingte Druckunterschiede an den beiden Portalen angetrieben. Im Allgemeinen können kurze im Richtungsverkehr betriebene Tunnel (500 m) natürlich, d.h. ohne Ventilationsanlage, belüftet werden.



**Bild A3-2a** Natürliche Längslüftung durch Kolbenwirkung des fließenden Verkehrs

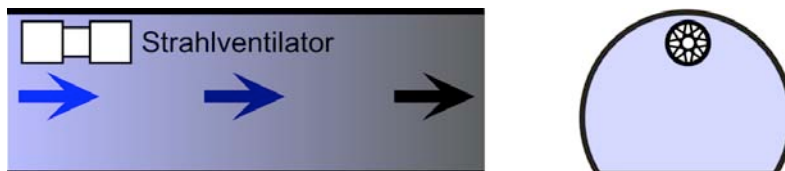


**Bild A3-2b** Natürliche Längslüftung durch Druckunterschiede an den Portalen

### A3.1.3 Längslüftung mit Strahlventilatoren

Genügen die Kolbenwirkung des Verkehrs und die Druckunterschiede an den Portalen nicht, um eine ausreichende Längsströmung zu erzeugen, werden Ventilatoren eingesetzt. Bei Längslüftungen sind dies meistens sogenannte Strahlventilatoren, welche unter der Decke oder in Nischen im Tunnelraum eingebaut sind.

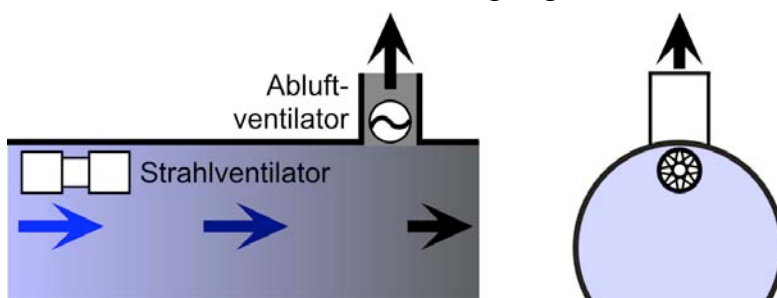
Bei Tunneln mit Gegenverkehr laufen die Strahlventilatoren so, dass sie die natürliche Luftströmung infolge des Verkehrs und der Druckdifferenz zwischen den Portalen unterstützen.



**Bild A3-3** Längslüftung mit Strahlventilatoren

### A3.1.4 Längslüftung mit Punktabsaugung

Bei Längslüftungssystemen muss die Luft nicht zwingend über die Tunnelportale geführt werden. Systeme mit Punktabsaugung werden beispielsweise eingesetzt, um grosse Luftschadstoffbelastungen beim Ausfahrtsportal von Richtungsverkehrstunneln zu vermeiden. Die Absaugung wird im Brandfall nicht betrieben.

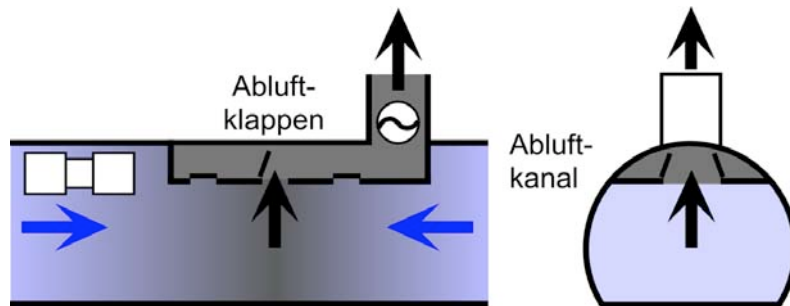


**Bild A3-4** Längslüftung mit Punktabsaugung (ohne Lüftungskanal)



### A3.1.5 Lüftung mit Rauchabsaugung ohne Zuluft

Systeme mit einer Rauchabsaugung ohne Zuluft basieren auf einer Längslüftung des Tunnels. Solche Längslüftungen können mit Hilfe von steuerbaren Abluftklappen abschnittsweise betrieben werden. Diese Betriebsart ist vor allem in Tunneln mit Gegenverkehr sinnvoll. Bei Tunneln mit Richtungsverkehr kann die Tunnelluft vor dem Ausfahrtsportal abgesaugt werden, um damit analog zum System mit Punktabsaugung (A3.1.4) eine zu grosse Schadstoffbelastung im Portalbereich zu vermeiden.

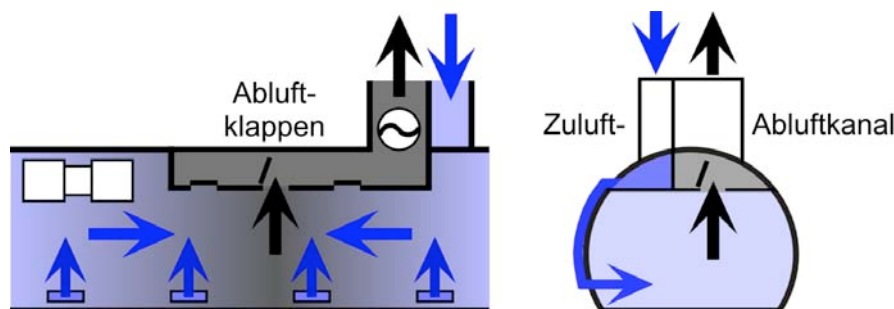


**Bild A3-5** Lüftung mit Rauchabsaugung ohne Zuluft

### A3.1.6 Lüftung mit Rauchabsaugung und Zuluft

Lüftungssysteme mit Rauchabsaugung und einem separaten Zuluftkanal werden so betrieben, dass der Fahrraum des Tunnels halbquer oder quer durchströmt wird.

Bei der Halbquerlüftung wird die Zuluft über einen separaten Kanal zugeführt und über die Tunnelänge verteilt in den Fahrraum eingeblasen. Der Zulufteintrag findet dabei üblicherweise auf Strassenniveau statt. Die Abluft strömt längs im Fahrraum und wird über einzelne steuerbare Abluftklappen abgesaugt bzw. verlässt den Tunnel über die Portale.



**Bild A3-6** Lüftung mit Absaugung und Zuluft

Bei sehr langen Tunneln ( 5 km und mehr) können Lüftungssysteme mit Rauchabsaugung und Zuluft auch als Querlüftung betrieben werden. Dabei bewirkt das über die gesamte Tunnelänge verteilte Einblasen der Zuluft und das Absaugen der Abluft über die teilweise geöffneten etwa alle 100 m angeordneten Abluftklappen eine Querspülung des Fahrraums. Bei alten Querlüftungen wird die Abluft etwa alle 10 m über feste Öffnungen abgesaugt.

In der Praxis ist auch bei halbquer und quer belüfteten Tunneln eine nennenswerte Längsströmung, z. B. wegen des Verkehrs, vorhanden.

### A3.1.7 Kombinierte Lüftungssysteme

Die in den Abschnitten A3.1.2 bis A3.1.6 beschriebenen Lüftungssysteme können bei komplexen Lüftungsanlagen kombiniert sein. Dabei werden entweder verschiedene Tunnelabschnitte mit unterschiedlichen Systemen belüftet, oder verschiedene Lüftungssysteme kommen bei unterschiedlichen Betriebsarten zum Einsatz.

## A3.2 Lüftungsbetrieb im Brandfall

### A3.2.1 Generelle Zielsetzungen des Brandlüftungsbetriebs

Mit dem Betrieb der Tunnellüftungsanlage im Brandfall muss sichergestellt werden, dass die Verrauchung des Tunnels so verläuft, dass

- die **Selbstrettung** möglich ist,
- der Einsatz der Ereignisdienste und damit die **Fremdrettung** und der **Löscheinsatz** erleichtert wird.

Die Selbstrettung der Tunnelbenützer hat für den Lüftungsbetrieb im Brandfall immer Priorität. Die Rauchverdrängung beispielsweise muss so erfolgen, dass die Selbstrettung möglich ist, auch wenn dies einen Rauchabtrieb in Richtung des Angriffs der Feuerwehr zur Folge hat.

### A3.2.2 Kontrolle der Rauchgasausbreitung

Um im Ereignisfall die Selbstrettung zu gewährleisten, und in späteren Ereignisphasen die Fremdrettung sowie die Löscharbeiten zu erleichtern, muss die Rauchgasausbreitung kontrolliert werden können. Dabei sind grundsätzlich zwei Strategien möglich:

- Die **Rauchabsaugung** entfernt die Rauchgase gezielt aus dem Fahrraum. Damit nicht der gesamte Tunnel verraucht wird, muss die Absaugung brandabschnittsbezogen möglich sein, rasch erfolgen und eine hohe Absaugkapazität aufweisen. Moderne Systeme erreichen eine Absaugleistung von  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  über eine Länge von 200 m. Dazu werden drei etwa im Abstand von 100 m installierte Abluftklappen geöffnet. Damit wird angestrebt, die verrauchte Zone im Tunnel auf rund 200 m Länge zu beschränken.

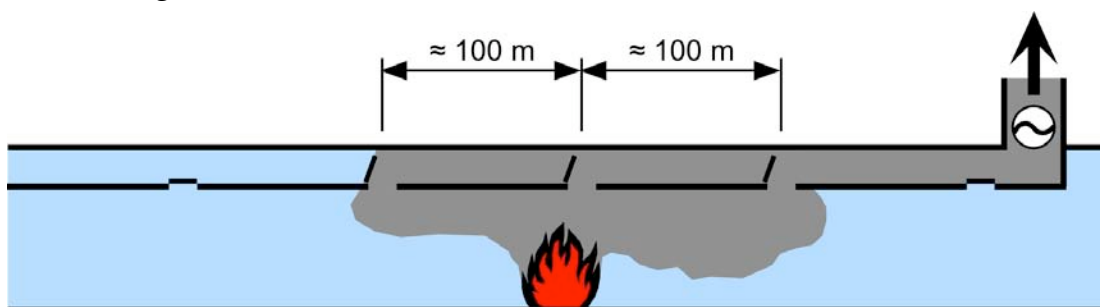


Bild A3-7a Absaugen der Rauchgase über einen Abluftkanal

- Bei Tunneln ohne Rauchabsaugung kann die Rauchausbreitung nur in Längsrichtung beeinflusst werden. Die **Verdrängung der Rauchgase** mit der Längslüftung ist eine wichtige lüftungstechnische Massnahme im Brandfall. Insbesondere bei einröhrigen Tunneln mit Gegenverkehr ist der Lüftungsbetrieb im Brandfall sehr anspruchsvoll, da auf beiden Seiten des Brandes mit Fahrzeugen zu rechnen ist.



**Bild A3-7b** Verdrängung von Rauchgasen beim Betrieb der Längslüftung

### A3.2.3 Steuerung der Brandlüftung

Der richtige Betrieb der Lüftungsanlage im Brandfall ist von einer Vielzahl zum Teil miteinander verknüpfter Einflussgrössen abhängig. Die wichtigsten sind die im Brandfall vorhandene Längsströmung im Tunnel sowie die Verkehrssituation. Wegen der Komplexität der unterschiedlichen Situationen wird die Lüftung im Ereignisfall automatisch gemäss vorgegebenen Programmen gesteuert. Sinnvolle manuelle Eingriffe sind in der ersten Phase eines Brandes äusserst schwierig und sollten nicht durchgeführt werden.

Die im Folgenden angegebenen Brandfallbetriebsarten für längsbelüftete Tunneln (A3.2.4) sowie für Tunnel mit Rauchabsaugung (A3.2.5) sind grundsätzlicher Natur. Im Einzelfall kann eine davon abweichende Steuerung der Brandlüftung sinnvoll sein.

### A3.2.4 Brandfallbetrieb bei Tunneln ohne Rauchabsaugung

Bei Tunneln ohne Rauchabsaugung wird die Luftgeschwindigkeit und damit die Rauchverdrängung in der Regel mit Strahlventilatoren reguliert. Der Brandfallbetrieb ist dabei primär vom Verkehrsregime im Tunnel abhängig.

- Bei **Richtungsverkehr** können die Fahrzeuge nach der Unfallstelle aus dem Tunnel ausfahren, falls kein Stau besteht. Die Längslüftung wird in diesem Fall mit einer Luftgeschwindigkeit ( $v > v_{\text{crit}}$ ) betrieben, so dass die Rauchgase vollständig in Verkehrsrichtung verdrängt werden, und eine Rückströmung von Rauchgasen nicht möglich ist (vgl. A1.3.3). Damit wird der Tunnel vor der Unfallstelle rauchfrei gehalten.



**Bild A3-8a** Verdrängung der Rauchgase mit der Längslüftung mit hoher Luftgeschwindigkeit bei Richtungsverkehr

- Bei Tunneln mit **Gegenverkehr** oder bei Stau in einem Richtungsverkehrstunnel befinden sich Fahrzeuge auf beiden Seiten des Brandes. Das Ziel des Brandfallbetriebs ist es dann, die geringe Längsströmung in der massgebenden Verkehrsrichtung aufrecht zu erhalten, damit die Rauchausbreitung in Gegenrichtung minimal bleibt. In solchen Fällen gibt es oft keine bevorzugte Rauchverdrängungsrichtung.

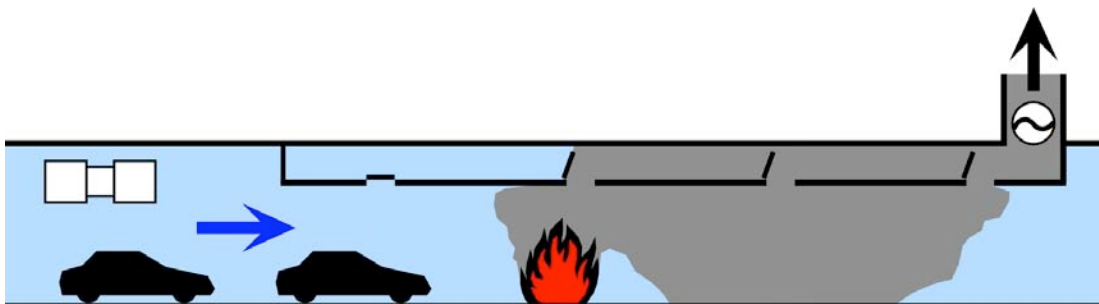


**Bild A3-8b** Geringe Längsströmung bei Tunneln mit Gegenverkehr oder bei Stau in einem Richtungsverkehrstunnel

### A3.2.5 Brandfallbetrieb bei Tunneln mit Rauchabsaugung

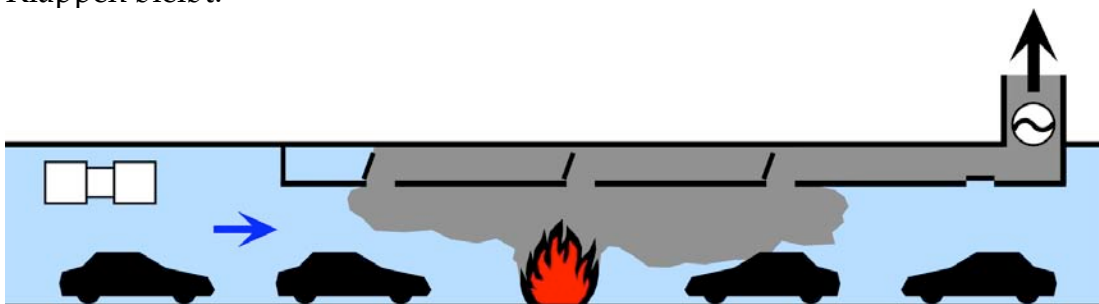
Bei Tunneln mit **Lüftungssystemen ohne Zuluft** werden die Rauchgase über steuerbare Klappen im Brandabschnitt abgesaugt. Dazu werden in der Regel drei Brandschutzklappen geöffnet und die Verrauchungslänge wird damit im Idealfall auf rund 200 m begrenzt. Eine weitergehende Rauchausbreitung verursacht durch Längsströmungen im Tunnel kann zusätzlich mit Hilfe von Strahlventilatoren kontrolliert werden:

- In Tunneln mit **Richtungsverkehr** wird der Rauch dabei in Verkehrsrichtung verdrängt, damit der Tunnel vor der Unfallstelle rauchfrei gehalten werden kann.



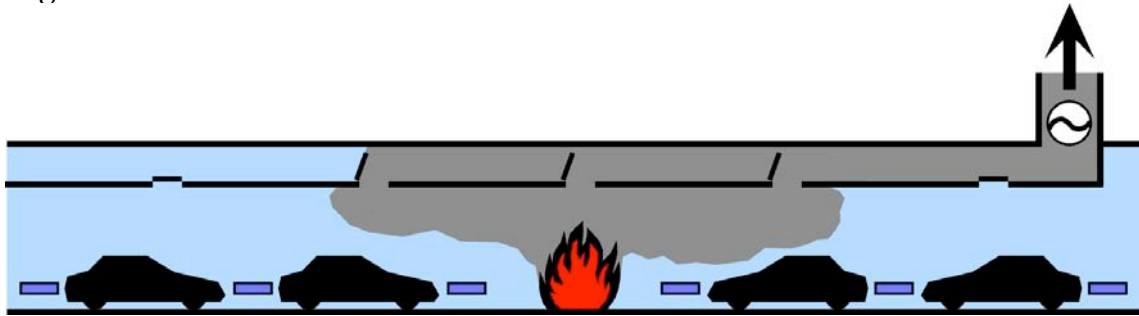
**Bild A3-9a** Absaugen der Rauchgase in einem Richtungsverkehrstunnel

- In Tunneln mit **Gegenverkehr** oder bei einer Stausituation in einem Richtungsverkehrstunnel mit Fahrzeugen auf beiden Seiten des Brandes werden die Strahlventilatoren so betrieben, dass die Verrauchung im Bereich der geöffneten Klappen bleibt.



**Bild A3-9b** Absaugen der Rauchgase in einem Gegenverkehrstunnel

Bei Tunneln mit **Lüftungssystemen mit Zuluft** werden die Rauchgase über steuerbare Klappen im Brandabschnitt abgesaugt. Dazu werden üblicherweise drei Brandschutzklappen geöffnet und die Verrauchung kann damit auf rund 200 m Länge begrenzt werden.



**Bild A3-9c** Absaugen der Rauchgase in einem Gegenverkehrtunnel mit einer Lüftung mit Zuluft

### A3.2.6 Brandfallbetrieb bei älteren Tunneln mit Halbquer- und Querlüftung

Bei älteren Tunneln ohne Rauchabsaugung mit **Halbquerlüftung** kann die Längsströmung im Ereignisfall nur ungenügend mit dem abschnittswisen Betrieb der Lüftungsanlage beeinflusst werden. In der Regel ist mit einer grossen Verrauchung zu rechnen:

- In Tunneln mit **Richtungsverkehr** kann die Halbquerlüftung zur Lenkung der Luftströmung abschnittswise so betrieben werden, dass nur vor der Unfallstelle Zuluft eingeblasen wird.



**Bild A3-10a** Verdrängen der Rauchgase mit einer abschnittswisen Halbquerlüftung

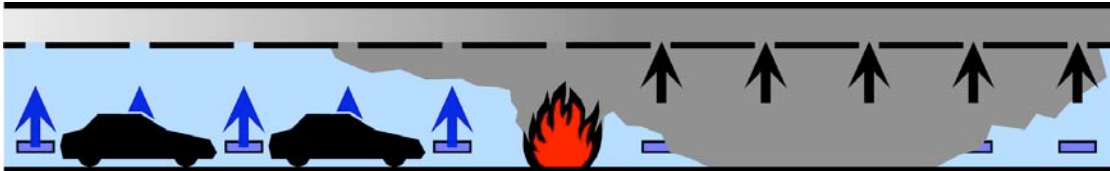
- In Tunneln mit **Gegenverkehr** oder bei einem Stau in einem Richtungsverkehrtunnel gibt es unter Umständen keine bevorzugte Rauchverdrängungsrichtung. Es kann in einem solchen Fall angebracht sein, die Lüftungsanlage überhaupt nicht zu betreiben, um die empfindliche Rauchsichtung möglichst wenig zu stören.



**Bild A3-10b** Minimale Beeinflussung der Rauchausbreitung durch die Belüftung

Bei älteren Tunneln mit **Querlüftung** mit festen Abluftöffnungen aber ohne steuerbare Klappen können die Rauchgase im Brandfall nur ungenügend abgesaugt werden. In der Regel ist mit einer grossen Verrauchung zu rechnen:

- Im Fall von **Richtungsverkehr** kann die Lüftung unausgeglichen betrieben werden, so dass vor der Unfallstelle nur Zuluft eingeblasen und nach der Unfallstelle nur Abluft abgesaugt wird. Mit der daraus resultierenden Längsströmung lassen sich die Rauchgase zum Teil auf die verkehrsfreie Seite verdrängen.



**Bild A3-11a** Unausgeglichener Betrieb der Querlüftung bei Richtungsverkehr zur Verdrängung der Rauchgase

- Bei **Gegenverkehr** oder bei einer Stausituation in einem Richtungsverkehrstunnel wird eine Längsströmung im Tunnel in vielen Fällen nicht angestrebt. Die Rauchgase müssen in diesem Fall so gut wie möglich abgesaugt werden. Ältere Lüftungsanlagen weisen jedoch sehr beschränkte Absaugleistungen von lediglich etwa  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  verteilt auf einer Länge von einem Kilometer auf [12]. Dies hat zur Folge, dass im Brandfall eine grosse Tunnellänge verraucht wird.



**Bild A3-11b** Absaugen der Rauchgasen bei Querlüftungssystemen ohne steuerbare Klappen

## Anhang 4 Tunnelentwässerung

### A4.1 Übersicht

Die Tunnelentwässerung steht in einer engen Beziehung zum Szenario Freisetzung von brennbaren Stoffen aus Tankfahrzeugen (gemäss Kapitel 3, Szenarien 6, 7 und 8). Sie umfasst die folgenden Elemente:

- Fahrbahmentwässerung
- Übergang Fahrbahn - Leitungssystem
- Leitungssystem
- Evtl. Pump- und Hebeanlagen
- Evtl. Tunnelabwasser-Rückhaltebecken und Abwasseraufbereitungsanlagen

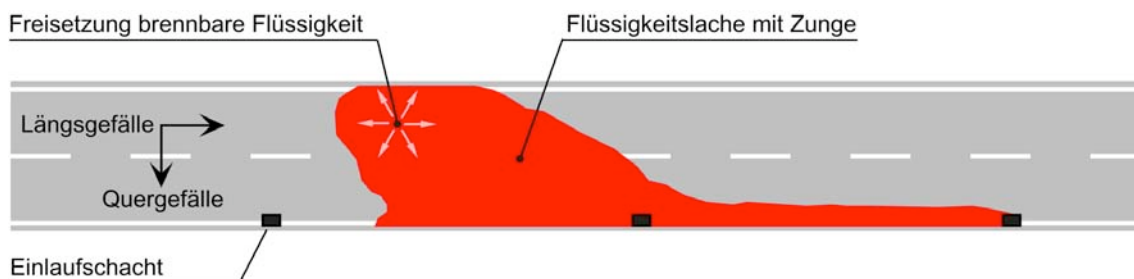
### A4.2 Fahrbahmentwässerung

Bei einer Freisetzung von Benzin oder Heiz-/Dieselöl (Referenzstoff Benzin) fliesst dieser Stoff auf die Fahrbahn und von dort in Einlaufschächte (punktförmige Fassung) oder in Schlitzrinnen (linienförmige Fassung). Das Ausmass der Lachenbildung und damit die Brandleistung ist in den häufigsten Fällen massgeblich von der Gestaltung der Fahrbahnoberfläche abhängig. Das Ausmass der Lache wird jedoch mit zunehmendem Längsgefälle der Fahrbahn grösser. Im Fall von Kuppen, Wannen und Quergefällswechseln können besonders grossflächige Lachen auftreten.

### A4.3 Übergang Fahrbahn - Leitungssystem

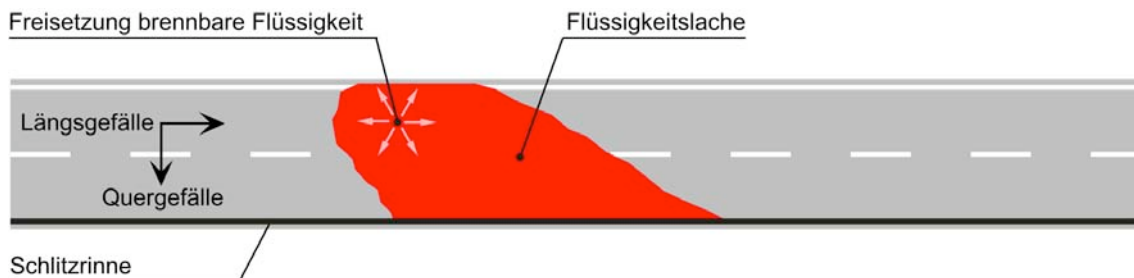
Die Abläufe und die Schlitzrinnen nehmen das am Fahrbahnrand abfliessende Benzin auf und leiten es über ein System in das Leitungssystem ab. Für Lösch-einsätze ergeben sich aus den unterschiedlichen Abflussverhältnissen im Fall von Einlaufschächten oder Schlitzrinnen keine Unterschiede. Die Lachenbildungen sind für die folgenden beiden Fälle dargestellt:

- Die Lachenbildung im Fall von Einlaufschächten ist im Bild A4-1a dargestellt. Neben einer im Vergleich zu Schlitzrinnen etwas grösseren Fläche tritt längs des Fahrbahnrandes eine Zungenbildung auf. Die Bedeutung des Brandes in der Zunge ist jedoch für die Selbst- bzw. Fremdrettung von geringer Bedeutung. Massgebend ist der bereits vor der Warnung der Tunnelbenutzer auftretende grossflächige Brand mit einer grossen Leistung.



**Bild A4-1a** Beispiel für Lachenbildung mit einer Zunge bei einer Entwässerung über Einlaufschächte

- Die Lachenbildung gemäss Bild A4-1b ist im Fall einer Entwässerung mit Schlitzrinnen etwas geringer. Eine Zungenbildung wird vermieden. Dagegen ist mit einem nicht massgebenden Brand in der Schlitzrinne gemäss Bild A4-2 zu rechnen.



**Bild A4-1b** Beispiel für Lachenbildung ohne Zunge bei einer Entwässerung über eine Schlitzrinne



**Bild A4-2** Brand in einer Schlitzrinne aus [17]

#### **A4.4 Leitungssystem**

Bei Entwässerungen mit Schlitzrinnen ist das Leitungssystem wegen der Syphonierung gegen Zündquellen und eine massgebliche Luftzufuhr geschützt. Dies bedeutet auch einen Schutz gegen Brand und Explosion. Um den Schutz zu gewährleisten, dürfen während und nach einer Freisetzung von Benzin keine Deckel von Kontrollschächten abgehoben werden. Durch die Syphonierung wird auch gewährleistet, dass keine Benzindämpfe in den Tunnelraum eindringen.

Bei einzelnen älteren Tunneln mit Einlaufschächten sind diese ohne Syphonierung an das Leitungssystem angeschlossen.

#### **A4.5 Pump- und Hebeanlagen**

Im Fall von Pump- und Hebeanlagen mit einer Verbindung zwischen dem Tunnelabwasser und stromführenden Komponenten besteht die Möglichkeit der Zündung eines explosiven Benzin- /Luftgemisches. Mit explosionsgeschützten Elektroinstallationen der Pumpen wird dieser Gefahr begegnet.

#### **A4.6 Rückhaltebecken und Abwasseraufbereitungsanlagen**

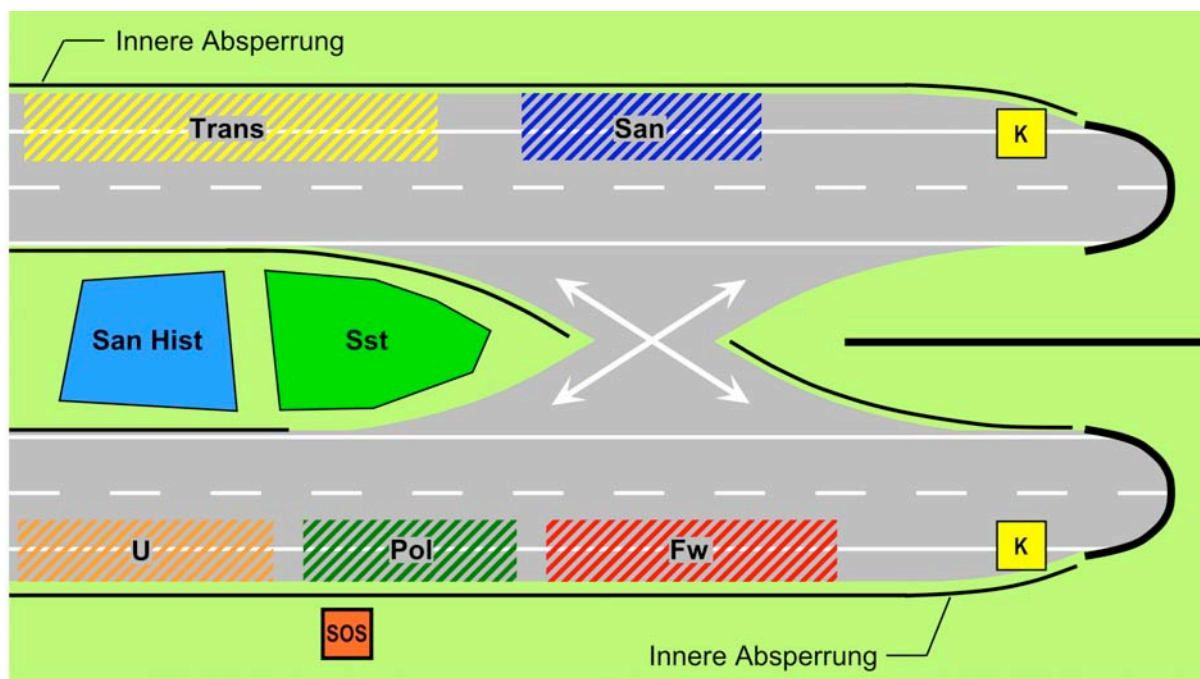
Zahlreiche Tunnel weisen Rückhaltebecken oder zusätzlich auch Abwasseraufbereitungsanlagen auf. Die Becken sind in der Lage, das Löschwasser zu speichern.








## Anhang 5 Schadenplatzorganisation

Die Platzverhältnisse im Vorbereich von Tunneln sind eng. Bei der Schadenplatzorganisation sind die folgenden Regeln zu beachten:

- Die Absperrungen bei den einzelnen Szenarien sind in der Einsatzplanung festgelegt.
- Die Zufahrt zu den Tunnelportalen und die Mittelstreifenüberfahrt müssen dauernd frei gehalten werden.
- Der Feuerwehr muss die Einfahrt ohne Manövrieren vom Bereitstellungsstandort aus in beide Tunnelröhren möglich sein.
- Der Chef Feuerwehr oder der Chef Schadenplatz haben ihren Standort bei der Notrufsäule im Portalbereich.
- Die Sammelstelle ist an einem geschützten Ort vorzusehen, beispielsweise im Mittelstreifen.
- Der Helikopterlandeplatz sollte sich in einem Abstand von 200 - 300 m vom Bereitstellungsraum befinden. Im Anflugraum dürfen sich keine Hindernisse wie Beleuchtungskandelaber, Seile von Aufhängungen von Leuchten oder aufgehängte Kabel befinden.
- Der Standort der Medienstelle ist in der Einsatzplanung festgelegt.



Legende:

	Bereitstellungsraum für Fahrzeuge von:		Sammelstelle für Tunnelbenutzer
<b>Fw</b>	Feuerwehr		Sanitätshilfsstelle
<b>Pol</b>	Polizei		Notrufsäule
<b>U</b>	Unterhalt		Portalkontrolle
<b>San</b>	Sanität		
<b>Trans</b>	Transport Tunnelbenutzer		

**Bild A5-1** Beispiel einer Schadenplatzorganisation im Tunnelvorbereich einer Autobahn

## Anhang 6 Verbindungen

### A6.1 Tunnelfunksystem

#### A6.1.1 Zweck

Tunnelfunkanlagen haben die Aufgabe, die Funkverbindungen im Tunnel und im Tunnelvorbereich zu gewährleisten. Sie stellen grundsätzlich keine selbstständigen Systeme dar, sondern werden immer in bestehende Rundfunk- und Funknetze eingebunden.

#### A6.1.2 Übersicht Funksysteme

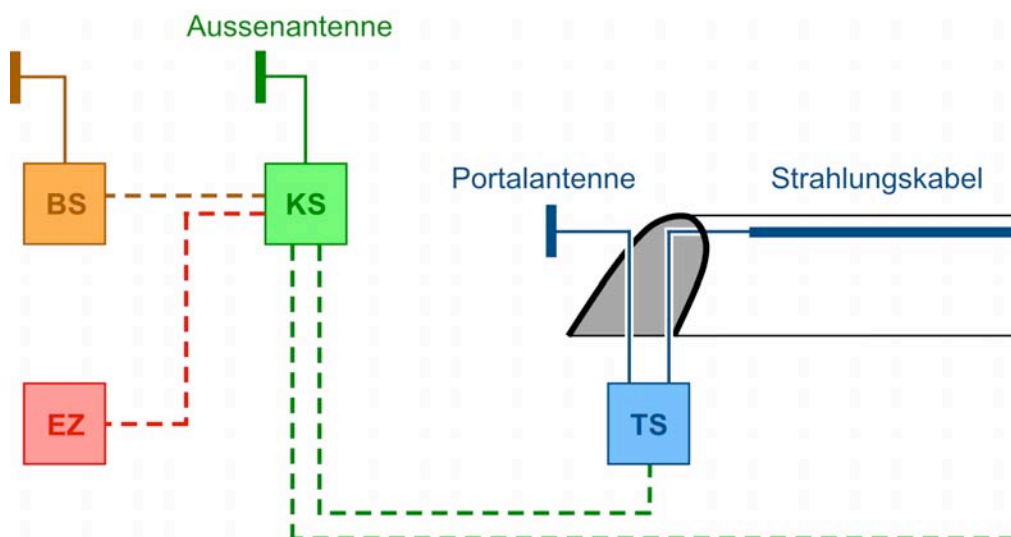
Bezogen auf die Funkanwender wird zwischen Funkanlagen für die Ereignisdienste, die Mobiltelefondienste sowie Rundfunkanlagen für die Tunnelbenutzer unterschieden. Ergänzende Angaben finden sich in der Richtlinie des Bundesamtes für Strassen [4]. Für die Ereignisdienste sind die folgenden Verbindungen zu gewährleisten:

- Polizeikanal
- Kanal von einer oder in Sonderfällen von zwei Feuerwehrorganisationen
- Die Verbindung zwischen zwei gemeinsam im Einsatz stehenden Feuerwehrorganisationen
- Kanal des Unterhaltssdienstes
- Der schweizerische Koordinationskanal

Die Verbindungen des sanitätsdienstlichen Rettungsdienstes sind nicht geregelt.

#### A6.1.3 Elemente des Tunnelfunksystems

Tunnelfunksysteme bestehen grundsätzlich immer aus den nachfolgend angegebenen und im Bild A6-1 dargestellten Elementen oder Subsystemen.



**Bild A6-1** Elemente des Tunnelfunksystems

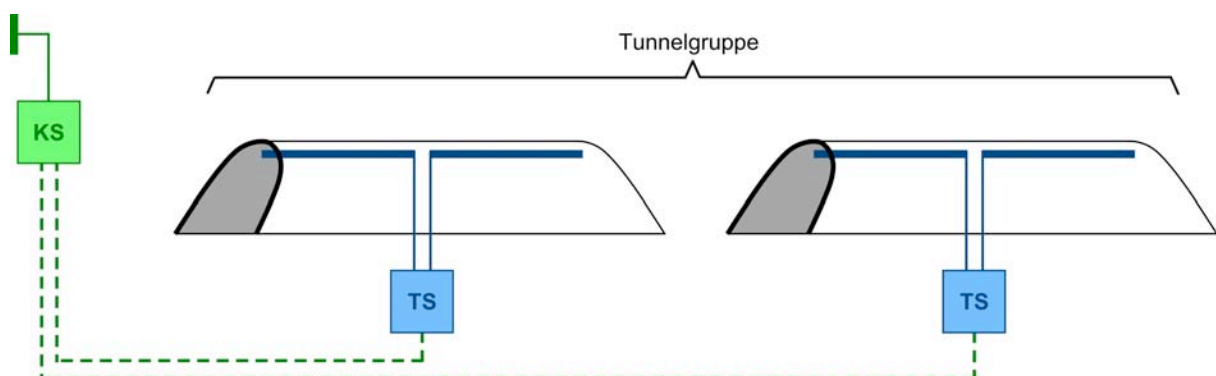
- EZ** **Einsatzzentrale des Betriebs**  
Sie ist die Schnittstelle der Benutzer zur Tunnelfunkanlage. In der EZ wird der Betriebsfunk betrieben. Hier laufen auch die Alarmmeldungen zusammen. Im Weiteren besteht in der EZ die Möglichkeit von Durchsagen auf die UKW-Radioversorgung des Tunnels.
- BS** **Basisstation**  
Sie überlagert die Sprach- und Dateninformationen auf eine für die drahtlose Übertragung notwendige Trägerfrequenz. Die BS wirkt als Sender und als Empfänger.
- KS** **Kopfstation**  
In der Kopfstation werden die Signale auf die einzelnen Tunnelstationen (TS) verteilt bzw. zusammengeführt.
- TS** **Tunnelstation**  
In der Tunnelstation werden die Signale für die Aussendung bzw. den Empfang im Tunnel und im Tunnelvorbereich verstärkt.

Die im Tunnelfahrraum verlegten **Strahlungskabel** wirken als Antennen für die Aussendung und den Empfang von Funk- und Radiosignalen auf der gesamten Tunnellänge. Mit der **Portalantenne** wird der Tunnelvorbereich mit Funksignalen versorgt. Die **Aussenantennen** bilden das Bindeglied zwischen einer Aussenversorgung und der Tunnelanlage.

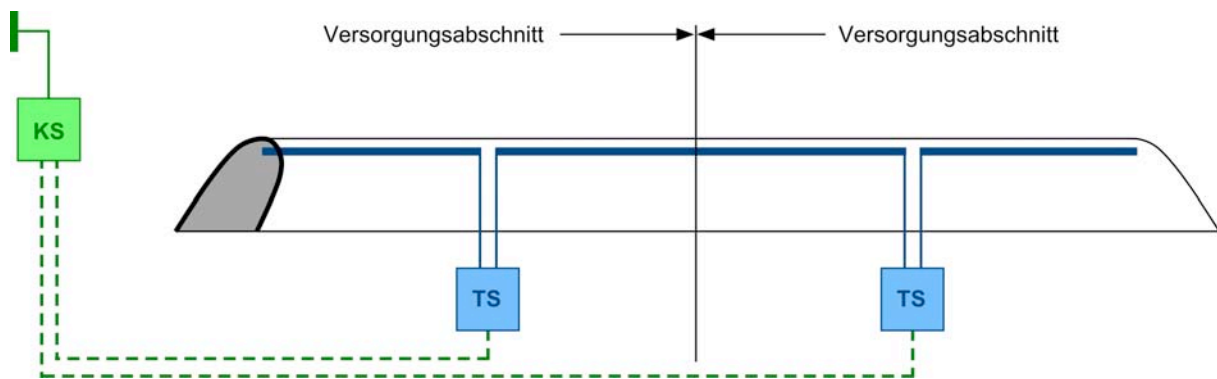
#### A6.1.4 Versorgungsabschnitte und Tunnelgruppen

Liegen zwei oder mehrere Tunnel vergleichsweise nahe beieinander, so werden diese als **Tunnelgruppe** zusammengefasst und von einer Kopfstation (KS) versorgt (Bild A6-2a).

Längere Tunnel werden in **Versorgungsabschnitte** mit mehreren Tunnelstationen (TS) und Strahlungskabeln unterteilt (Bild A6-2b).



**Bild A6-2a** Tunnelgruppe



**Bild A6-2b** Versorgungsabschnitte

### A6.1.5 Mobiltelefonie

Die Mobiltelefonie ist in vielen Tunneln einsetzbar. Bei einem Grossereignis ist jedoch mit einem Netzzusammenbruch zu rechnen.

### A6.1.6 Rundfunk

Rundfunk ist der Sammelbegriff für den UKW-Rundfunk sowie den geplanten Digitalen Rundfunk (DAB-Rundfunkdienst). Andere Rundfunkdienste sind in Tunneln nicht vorgesehen. Es ist vorgesehen, die Versorgung der im Aussenbereich vorhandenen nationalen und regionalen Radioprogramme inkl. Verkehrsfunk sicherzustellen. Das Rundfunknetz dient zusätzlich für Durchsagen von Meldungen aus der Einsatzzentrale der Polizei.

Im Ereignisfall ist die Durchsage über den UKW-Rundfunk ein massgebendes Element der Alarmierung der Tunnelbenützer. Sie ist in den meisten Tunneln möglich. Sie bedingt ein klar festgelegtes Durchsagekonzept sowie eine während 24 h besetzte Zentrale. Es ist auch eine Durchsage aus mehreren Zentralen möglich. Anstelle einer Durchsage über ein Mikrofon wird ein Sprachspeicher- und ein Auswahlsystem mit vorbereiteten Texten eingesetzt.

## A6.2 Drahtverbindungen

### A6.2.1 Telefonverbindungen

In einzelnen Tunneln steht für den Fall eines Ausfalls des Tunnelfunksystems eine Drahtverbindung im Tunnelraum zum Ankoppeln von Telefonapparaten (Telefon mit Batteriespeisung) zur Verfügung.

### A6.2.2 Telefonamtlinien

In einzelnen Tunneln besteht eine Verbindung zwischen den Tunnelportalen mit Amtslinienanschlüssen.

## **Anhang 7 Sicherheitstechnische Infrastruktur**

### **A7.1 Technische Grundlagen**

Die folgenden Angaben basieren auf der Norm SN 540 197/2 [2] sowie der Richtlinie des Bundesamtes für Strassen [3]. Die beschriebenen Anlagen sind jedoch noch nicht in allen Tunneln realisiert.

### **A7.2 Zugänglichkeit der Portale**

Im Fall von Tunneln von Autobahnen und Autostrassen besteht in einzelnen Fällen eine Feuerwehzufahrt bzw. eine Verbindung zum übrigen Strassennetz.

Bei zweiröhrigen Tunneln steht in einzelnen Fällen der Feuerwehr eine befahrbare Verbindung von der einen zur anderen Fahrbahn über den Mittelstreifen zur Verfügung. In vielen Fällen sind die Mittelstreifenüberfahrten mit versenk- oder verschiebbaren Schutzeinrichtungen (Leitschranken, Leitmauern) abgesperrt. Die Zeit für die Öffnung der Mittelstreifenüberfahrten ist für die Einsatzplanung abzuklären und bei Übungen zu überprüfen. In selteneren Fällen steht der Feuerwehr eine Wendeschleife vor dem Tunnelportal zur Verfügung. Diese ist als Überführung über die Tunnelportale, als Unterführung oder sonstige Umfahrung der Portale trassiert.

### **A7.3 Ergänzende Bauteile**

#### **A7.3.1 Standstreifen**

Standstreifen im Tunnel vereinfachen und beschleunigen die Intervention der Feuerwehr massgeblich. Allgemein fehlen jedoch Standstreifen in Tunneln.

#### **A7.3.2 Ausstellplätze für Pannenfahrzeuge**

Die Ausstellplätze für Pannenfahrzeuge - auch Ausstellbuchten genannt - ermöglichen es den Verkehrsteilnehmern in Notfällen ausserhalb der Fahrbahn anzuhalten, ohne den Verkehr zu behindern. Bei einer Intervention der Feuerwehr können sie als Räume für die Einsatzorganisation genutzt werden.

#### **A7.3.3 SOS-Nischen**

SOS-Nischen sind in Tunneln mit Richtungsverkehr rechts der Normalspur und in Tunneln mit Gegenverkehr abwechselnd beidseits der Fahrbahn angeordnet.

SOS-Nischen sind alle 150 m angeordnet.

Die SOS-Nischen sind mit einer feuerfesten Türe (T30) ausgerüstet. Sie sind mit einem Alarmkasten ausgestattet, der eine Notrufleinrichtung enthält.

Die SOS-Nischen können mit Hydrantennischen kombiniert sein.

### **A7.3.4 Fluchtwege**

#### **Einröhrige Tunnel**

Mögliche Fluchtwege

Es bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- Direkt ins Freie
- Zu einem Sicherheitsstollen (paralleler Stollen)
- Zu einem begehbaren Leitungstunnel (Kanal unter der Fahrbahn)

Querverbindung zum Sicherheitsstollen

- Die Abstände betragen 300 m
- Das minimale Sollprofil beträgt 2,00 x 2,50 m. Die Querverbindung ist begehbar.
- Die Querverbindung ist mit je einer Türe gegenüber dem Fahrraum bzw. dem Sicherheitsstollen getrennt.

#### **Zweiröhrige Tunnel**

Querverbindung zur parallelen Tunnelröhre

Die Querverbindungen ermöglichen die Flucht zur parallel geführten Tunnelröhre. Die Fluchtwege sind in Abständen von 300 m als begehbare Querverbindung angeordnet. Jede dritte Querverbindung - d.h. alle 900 m - ist als befahrbare Querverbindung gestaltet.

Begehbare Querverbindung

Sie sind identisch mit den Querverbindungen bei den einröhrigen Tunneln.

Befahrbare Querverbindung

- Das minimale Sollprofil beträgt 4,20 , x 4,50 m.
- Die Lichtweiten der Tore betragen mindestens 4,00 m x 4,30 m. Sie sind für den Personenverkehr mit den gleichen Türen wie bei den begehbaren Querverbindungen ausgerüstet.

## **Anhang 8 Sicherheitsausrüstung**

### **A8.1 Akustische Warnung**

Im Fahrraum ist bei jedem Notausgang ein akustisches Warnmittel installiert. Mit der Warnung werden die Tunnelbenutzer aufgefordert, das Fahrzeug zu verlassen und zum Notausgang zu flüchten. Die akustische Warnung gelangt nur im Brandfall oder bei einem Grossereignis zum Einsatz.

### **A8.2 Beleuchtung des Fahrraumes**

#### **A8.2.1 Durchfahrtsbeleuchtung**

Die Durchfahrtsbeleuchtung wird nach der Detektion eines Brandes oder der Warnung der Tunnelbenutzer automatisch auf die höchste Stufe geschaltet.

#### **A8.2.2 Notbeleuchtung**

Mit der Notbeleuchtung wird der Fahrraum bei einem Ausfall der Energieversorgung beleuchtet. Die Notbeleuchtung ist ein Teil der Durchfahrtsbeleuchtung, die über eine separate Verkabelung an die unterbrechungsfreie Stromversorgung angeschlossen ist. In der Regel ist jede sechste Leuchte der Notbeleuchtung zugewiesen.

#### **A8.2.3 Brandnotbeleuchtung**

Die Brandnotbeleuchtung dient im Brandfall der Orientierung. Sie ist an der unterbrechungsfreien Stromversorgung angeschlossen. Die Brandnotleuchten sind auf der Seite der Notausgänge in Abständen von 50 m angeordnet.

### **A8.3 Optische Leiteinrichtung**

Die optische Leiteinrichtung mit Leuchtpunkten ist auf beiden Seiten der Fahrbahn am Rand des Banketts installiert. Die Leuchtpunkte bestehen aus weissen Leuchtdioden. Sie sind von vorn und von hinten sichtbar. Es sind zwei Beleuchtungsintensitäten schaltbar. Die maximale Intensitätsstufe wird im Brandfall oder bei einem Grossereignis geschaltet. Die Abstände zwischen den Leuchtpunkten betragen 25 m.

### **A8.4 Signalisation zu den Notausgängen mit nachleuchtenden Leittafeln**

An den Tunnelwänden sind permanente Markierungen in Form nachleuchtender Leittafeln angebracht. Bei jedem Markierungspunkt sind die nächstgelegenen Notausgänge und die jeweiligen Distanzen angegeben.

## **A8.5 Gestaltung der Notausgänge im Fahrraum**

### **Umrandung der Notausgänge**

Die Umrandung besteht aus einem gegenüber der Tunnelwand vorstehenden grün gestrichenen Rahmen. Die Notausgänge sind damit gut sichtbar.

### **Permanente Beleuchtung**

Die Notausgänge werden durch starkes weisses Licht dauernd beleuchtet.

### **Markierung mit Blitzlichtern**

Beidseits der Notausgänge sind je drei Blitzlichter mit weissem Licht von hoher Intensität angebracht. Diese werden im Brandfall eingeschaltet.

## **A8.6 Brandalarm aus SOS-Nischen**

Jeder SOS-Kasten enthält zwei Handfeuerlöcher. Bei der Entnahme eines Handfeuerlöschers wird Brandalarm ausgelöst und die Videoüberwachung auf den betroffenen Abschnitt umgeschaltet. Weitere brandbezogene Betriebsänderungen sind möglich.

## **A8.7 Hydrantennetz und Löschwasserreserve**

### **Leitungsnetz**

Die Hydrantenleitung ist für eine Entnahmemenge von min. 20 l/s bemessen. Der minimale Druck fällt nicht unter 6 bar (0,6 MPa). Der statische Druck übersteigt in keinem Fall 15 bar.

### **Löschwasserreserve**

Im Fall eines tunneleigenen Reservoirs beträgt das Volumen min. 250 m<sup>3</sup>. Das gleiche minimale Volumen steht bei einem Anschluss an ein Netz mit einer Löschwasserreserve im Brandfall zur Verfügung.

### **Standorte für Hydranten**

Die Hydranten sind in der Regel in Abständen von 150 m auf einer Tunnelseite angeordnet. Sie befinden sich in mit SOS-Nischen kombinierten sowie in eigenen Hydranten-Nischen.

## **A8.8 Signalisation für die Ereignisdienste**

Um Verwechslungen und ein Übermass an Signalisationen zu vermeiden, sind die Sicherheitseinrichtungen, die den Einsatz der Ereignisdienste unterstützen, wie Wendenischen, Hydranten usw. nicht für die Verkehrsteilnehmer signalisiert. Sie sind lediglich durch neutrale Identifikationstafeln gekennzeichnet.



## Anhang 9 Spezielle Ausrüstung der Feuerwehr

### A9.1 Allgemeines

Die Notwendigkeit einer speziellen Ausrüstung der Feuerwehr richtet sich weitgehend nach den unterschiedlichen örtlichen Verhältnissen. Insbesondere die beschränkten personellen Ressourcen einer Werkhoffeuerwehr bedingen eine Ausrichtung der Mittel auf diesen Umstand. Im Übrigen sind die folgenden Bedingungen zu berücksichtigen:

- Erste Intervention einer Werkhof- oder einer Stützpunkt- oder Berufsfeuerwehr
- Die Dauer zwischen Alarmierung und Abfahrt einer Stützpunkt- oder Berufsfeuerwehr zum Brandort
- Die Fahrraumgestaltung des Tunnels sowie evtl. Tunnel in der Zufahrtsroute (Fahrbahnbreite, Standstreifen usw.)
- Tunnel mit Richtungs- oder Gegenverkehr
- Verkehrsdichte
- Anteil des Schwerverkehrs
- Dauer von Staubbildung
- Länge des Tunnels
- Das Niveau der sicherheitstechnischen Infrastruktur und der Sicherheitsausrüstung für die Selbstrettung (Abstände der Notausgänge, Alarmierung, Signalisierung der Fluchtwege)
- Das Tunnellüftungssystem unter besonderer Berücksichtigung des Automatikbetriebs im Brandfall

### A9.2 Spezielle Anforderungen an Tanklöschfahrzeuge

Die folgenden Modifikationen für in Tunneln eingesetzte Tanklöschfahrzeuge sind zu prüfen.

- Verbrennungslufteintritt des Motors in Bodennähe
- Kühlung der Verbrennungsluft
- Gleichzeitiger Betriebszustand Fahren und Löschen
- Umgebungskühlung des Fahrzeugs

### A9.3 Wärmebildkamera

Für die Intervention muss für jeden Abschnitt (Portal) eine Wärmebildkamera mit einer genügenden Anzahl von Reserveakkus zur Verfügung stehen.

### A9.4 Atemschutz

Für die Intervention müssen Atemschutzausrüstungen für Langzeiteinsätze zur Verfügung stehen.

## **A9.5 Hochleistungslüfter**

### **A9.5.1 Wirkung**

Lüfter mit einer Luftmenge von mehr als 100'000 m<sup>3</sup>/h werden als Hochleistungslüfter bezeichnet. Der Einsatz solcher Lüfter erfolgt in der Phase Löscheinsatz. Mit Hochleistungslüftern kann im Tunnelraum eine Längsströmung erzeugt werden. Dazu werden die Lüfter allgemein mit einem Abstand von 10 bis 20 m vor dem Tunnelportal aufgestellt. Die folgenden Charakteristiken und Einschränkungen sind dabei jedoch zu beachten:

Der Einsatz von Hochleistungslüftern ist allgemein auf natürlich belüftete Tunnel beschränkt.

Die Längsströmung in einem Tunnel weist eine vergleichsweise grosse Trägheit auf. Aus diesem Grund

- ist sie nur schwer umzukehren.
- beträgt die Dauer, bis eine Längsströmung erreicht ist, je nach Situation 5 - 20 Minuten.

Beim Einsatz entgegen der Luftströmung sowie bei hohen Luftgeschwindigkeiten kann allenfalls eine vorhandene Rauchsichtung gestört werden. Der Einsatz ist deshalb nur in wenigen Fällen zulässig und im Einzelfall zu prüfen.

### **A9.5.2 Einsatz in natürlich belüfteten Tunneln**

Alle natürlich belüfteten Tunnel - auch solche mit Gegenverkehr - weisen eine Längsströmung auf. Diese kann für die Selbstrettung und den Feuerwehreinsatz von Bedeutung sein. Sie darf vielfach nicht gestört oder gar umgekehrt werden.

Als Grundlage für die Einsatzplanung sind objektbezogene Tests mit Hochleistungslüftern durchzuführen. Die Tests können durch Berechnungen ergänzt werden. Die Tests und Berechnungen sind auf die massgebenden Szenarien und Luftströmungsverhältnisse beim Eintreffen der Feuerwehr bzw. den voraussichtlichen Zeitpunkt des Einsatzes des Hochleistungslüfters abzustimmen.

### **A9.5.3 Einsatz in mechanisch belüfteten Tunneln**

Die Tunnellüftung wird im Brandfall basierend auf Messungen im Tunnelraum automatisch gesteuert. Eine Veränderung des Automatikbetriebs inkl. des Einsatzes eines Hochleistungslüfters ist nur nach detaillierten Absprachen mit allen betroffenen Diensten und dem Tunnelbetreiber zulässig.

Hochleistungslüfter werden allgemein nicht als Mittel des Ersteinsatzes verwendet. Ihr Einsatz ist bezogen auf die massgebenden Situationen in der Einsatzplanung darzustellen.

Als Grundlage für die Einsatzplanung sind objektbezogene Tests durchzuführen. Diese sind auf den automatisierten Betrieb der Tunnellüftung abzustimmen.

## Anhang 10 Ausbildung

### A10.1 Ausgangslage

Brandereignisse mit grossen Auswirkungen sind in den meisten Tunneln seltene Ereignisse. Entsprechend gering ist die Praxis der Angehörigen der Feuerwehr. Bis auf Weiteres besteht keine Möglichkeit für realistische Übungen mit einer grossvolumigen in Bewegung befindlichen Verrauchung. Im Weiteren sind in den stark befahrenen Tunneln Übungen nur während der Sperrungen für den Tunnelunterhalt möglich. Diese Ausgangslage bedingt in Tunneln ohne Werkhoffeuerwehr eine Nutzung der unterhaltsbedingten Betriebsunterbrüche für die Ausbildung der Angehörigen der Feuerwehr.

### A10.2 Tunnelbrandbezogene Ausbildungsmodule für Angehörige von Tunnelstützpunktfeuerwehren

Die folgenden Module sind jährlich stufengerecht zu behandeln:

- Organisation und Zuständigkeit bei den massgebenden Szenarien
- Schulung der Zusammenarbeit mit beteiligten Ereignisdiensten
- Überprüfung der Verbindungen vor und im Tunnel inkl. Sicherheitsstollen
- Rekognoszieren der Tunnelvorbereiche inkl. aller baulicher Massnahmen für die Intervention im Brandfall und bezüglich der Belegung bei einem Grossereignis
- Rekognoszieren der Fahrt vom Tunnelportal zu Brandorten im Tunnel im Hinblick auf massgebende Verkehrsregimes und die Verkehrsleitung zusammen mit Vertretern der Verkehrspolizei
- Rekognoszieren aller baulicher Massnahmen für die Intervention der Feuerwehr im Tunnel
- Rekognoszieren aller Massnahmen für die Selbstrettung zusammen mit Vertretern des Unterhaltsdienstes
- Information über das Tunnellüftungssystem inkl. der für die Feuerwehr massgebenden Betriebsarten durch einen Vertreter des Unterhaltsdienstes.
- Training mit tunnelbrandbezogener Ausrüstung der Feuerwehr

## Anhang 11 Literatur

- [1] Norm SN 531 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen (in Vorbereitung)
- [2] Norm SN 531 197/2 Projektierung Tunnel, Strassentunnel (in Vorbereitung)
- [3] Richtlinie Tunnel und Elektromechnik, Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in den Tunnels, ASTRA (in Vorbereitung)
- [4] Richtlinie Tunnel und Elektromechnik, Funksysteme in Tunnels , ASTRA (in Vorbereitung)
- [5] Richtlinie Tunnel und Elektromechnik, Lüftung der Strassentunnel, ASTRA (in Vorbereitung)
- [6] Richtlinie Tunnel und Elektromechnik, Verkehrsfernsehen, ASTRA (in Vorbereitung)
- [7] Bericht Feuerwehreinsätze in Tunnelanlagen, Bau/Vorschriften/Sicherheit, Ausbildungsinfrastruktur, Ausrüstungen, Arbeitsgruppe Tunnelleinsätze RKKF / SFV
- [8] PIRAC, Committee on Road Tunnels: Fire and Smoke Control in Road Tunnels, AIPCR - Association Mondiale de la Route, Paris 1999
- [9] Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program - Comprehensive Test Report, Massachusetts Highway Department, Federal Highway Administration
- [10] EUREKA Project EU 499 Firetun: Fires in Transport Tunnels - Report on Full-Scale Tests, Studiengesellschaft für Stahlanwendung e.V., Düsseldorf 1995
- [11] Kunsch, J.-P., Zumsteg, F.: Rauchausbreitung in Tunnels - Die Herausforderung im Fall eines Brandes im Tunnel, tec21, Nr. 9/2001, Zürich 2001
- [12] Bettelini, M.: Frischer Wind im Tunnel - Grundlagen und aktuelle Entwicklungen für die Lüftung von Strassentunnels, tec21, Nr. 48/2003, Zürich 2003
- [13] Richter, E.: Temperatur- und Rauchausbreitung: Auswirkungen auf den baulichen Brandschutz, in: Brandschutz in Verkehrstunnels, Internationale Konferenz, Dresden 1995
- [14] Fermaud, C., Müller, W.: Sicherheit bei AlpTransit: Rettungskonzept, in: Brandschutz in Verkehrstunnels, Internationale Konferenz, Dresden 1995
- [15] Steinert, C.: Rechnerische Brandsimulation auf der Grundlage der Norwegerversuche, in: Brandschutz in Verkehrstunnels, Internationale Konferenz, Dresden 1995
- [16] IVR, Interverband für Rettungswesen: Richtlinien für die Organisation des Sanitätsdienstes beim Schadenereignis mit grossem Patientenansturm, IVR Aarau, 2000
- [17] Centre d'études des tunnels (CETU): Essais en vraie grandeur de systèmes de recueil des liquides enflammés répandus sur la chaussée d'un tunnel routier, Bron Cedex, Novembre 1996