

# Brandschutz in Verkehrstunneln

Forschungsauftrag FE 82.166/1999/B3  
der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

## Schlussbericht

Dezember 2000  
STUVA / STUVAtec GmbH

Veranlasst durch

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen  
Deutscher Verkehrssicherheitsrat  
Tiefbau-Berufsgenossenschaft



Bearbeiter der STUVA / STUVAtec GmbH:

Prof. Dr.-Ing. A. Haack

Dr.-Ing. J. Schreyer

Dr.-Ing. W. Meyeroltmanns

Dipl.-Ing. S. Beyer

Betreuungsausschuss:

Dr.-Ing. Thamm, BAST, Bergisch Gladbach (Vorsitzender)

Prof. Dr.-Ing. Baltzer, BUNG GmbH, Heidelberg

Dipl.-Ing. Chromy, TBG, München

Dipl.-Ing. Döring, EBA, Bonn

Dipl.-Ing. Gerhardt, BMVBW, Bonn

Dipl.-Ing. Luckmann, BMVBW, Bonn

Dipl.-Ing. Müller, BMVBW, Bonn

Dipl.-Ing. Schliebitz, BMVBW, Bonn

Dipl.-Ing. Sistenich, BAST, Bergisch Gladbach

Herausgeber:

Bundesministerium für Verkehr,  
Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)

Dienstszitz Bonn

Robert-Schuman-Platz 1

D-53175 Bonn

Druck:

Druckerei des BMVBW, Bonn

## **Brandschutz in Verkehrstunneln**

**FE 82.166/1999/B3**

### **Kurzfassung**

Die bereits ergriffenen Maßnahmen für den Personenschutz im Brandfall in deutschen Bahn- und Straßentunneln besitzen schon heute ein hohes Sicherheitsniveau.

In dieser Arbeit wurde geprüft, ob und durch welche Maßnahmen in Verkehrstunneln der Personenschutz im Brandfall weiter erhöht werden kann. Dazu wurden der BAST-Workshop „Sicherheit in Tunneln“ und weltweit ausgewählte Tunnelbrände hinsichtlich der Brandbekämpfung und Personenrettung ausgewertet. Hauptursachen für Brände in Verkehrstunneln waren Fahrzeugdefekte. Probleme bei der Personenrettung ergaben sich u.a. durch schnelle intensive Verrauchung, das Fehlverhalten der beteiligten Personen und die schwierigen Einsatzbedingungen für die Feuerwehr.

Wichtige Maßnahmen zur Erhöhung des Personenschutzes sind beispielsweise:

- **Optimierung der Branderkennung und -lokalisierung;**
- **Verbesserung der verkehrstechnischen Störfallerkennung;**
- **wirksamere automatische Tunnelsperrung;**
- **schnelle und gezielte Information der Tunnelnutzer;**
- **Verbesserung der Fluchtwegsysteme;**
- **deutlichere Kennzeichnung der Fluchtwege;**
- **Verbesserung der Entrauchung;**
- **Verbesserung der Kommunikation zwischen den Einsatzkräften;**
- **frühzeitige Erkennung von Fahrzeugdefekten;**
- **automatische Löschanlagen in Fahrzeugen;**
- **Optimierung der Ausrüstung für die Einsatzkräfte.**

Für diese und weitere Maßnahmen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall wurden Empfehlungen für die Aufnahme in wichtige Regelwerke aufgestellt.

Von den verantwortlichen Gremien sollte geprüft werden, ob und in welchem Maße die vorstehend aufgeführten Verbesserungsvorschläge in die betreffenden Regelwerke aufgenommen werden können.

## **Brandschutz in Verkehrstunneln**

**– FE 82.166/1999/B3 –**

### **Kurzbericht**

#### **1. Aufgabenstellung**

Die bereits ergriffenen Maßnahmen für den Personenschutz im Brandfall in deutschen Bahn- und Straßentunneln besitzen schon heute ein hohes Sicherheitsniveau. Brandereignisse in jüngster Zeit, die zu erheblichen Personen- und Sachschäden geführt haben (z.B. Mt. Blanc- und Tauerntunnel, U-Bahn Baku, Eurotunnel) waren auch der Anlass zu prüfen, ob der Personenschutz im Brandfall in deutschen Verkehrstunneln weiter erhöht werden kann.

Vor diesem Hintergrund veranstaltete die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBS), unter Mitwirkung des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA), der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (STUVA) sowie des Deutschen Verkehrssicherheitsrates (DVR) den Workshop „Sicherheit in Tunneln“ mit dem Ziel, Möglichkeiten zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall mit Fachleuten zu diskutieren.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Ergebnisse des genannten Workshops sowie weltweit ausgewählte Brandereignisse in Tunneln des schienengebundenen Personennahverkehrs, des Fernbahnverkehrs und Straßenverkehrs zu dokumentieren, Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln und Empfehlungen zur Überarbeitung wichtiger Regelwerke zu geben.

#### **2. Untersuchungsmethoden**

Es wurden die Diskussionsbeiträge zum BASt-Workshop „Sicherheit in Tunneln“, in der Literatur beschriebene Brandereignisse und speziell eingeholte Informationen von deutschen und ausländischen Tunnelbetreibern zu Brandereignissen

und Gefahrgut-Transporten ausgewertet. Mit Hilfe dieser Unterlagen wurden Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln erarbeitet und zu Empfehlungen für die Ergänzung von Regelwerken zusammengefasst.

### **3. Untersuchungsergebnisse**

#### **3.1 Schwerpunkte bei Brandereignissen**

Insgesamt wurden 85 Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen ausgewertet. Bei den Bränden in Verkehrstunneln traten als Hauptursachen Fahrzeug-Defekte auf.

Hierbei entfallen auf:

U- und Stadtbahntunnel ca. 40 % der untersuchten 45 Brände

Fernbahntunnel ca. 82 % der untersuchten 11 Brände

Straßentunnel ca. 62 % der untersuchten 29 Brände

Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten entstanden durch schlechte Sicht infolge rascher Rauchausbreitung und durch nicht optimal abgestimmte Sicherheits- und Rettungskonzepte.

#### **3.2 Möglichkeiten zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall bei Bahntunneln und Schienenfahrzeugen**

Eine Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Bahntunneln und Schienenfahrzeugen ist u.a. durch folgende Maßnahmen möglich:

- (1) Verlegung von Kabeln und Leitungen in abgedeckten Kabelkanälen mit Brandabschottungen.
- (2) Frühzeitiges Erkennen von unzulässigen Aufheizungen von Fahrzeugteilen durch Temperaturfühler an ausgewählten Fahrzeugkomponenten sowie Heißläufer-Ortungsanlagen an Fernbahnstrecken.
- (3) Weitere Reduzierung der Brandlast von Fahrzeugen.
- (4) Automatische Löschanlagen im Unterflurbereich von Schienenfahrzeugen in Abhängigkeit von der Fahrzeugkonstruktion.

- (5) Verhinderung von Brandstiftungen z.B. durch eine verstärkte Videoüberwachung.
- (6) Verbesserung der Fluchtwegsysteme und deutlichere Kennzeichnung der Fluchtwege.

### **3.3 Möglichkeiten zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Straßentunneln**

Mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit in Straßentunneln lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Durch den Einsatz moderner Techniken können Ereignisse (z.B. Brand, Unfall, Pannen, Stau) im Tunnel früher erkannt werden. Hierzu gehören u.a. die Weiterentwicklung der digitalen Auswertung von Videoaufnahmen und verbesserte Brandmelder zur schnelleren Branderkennung und Brandortung.
- (2) Verbesserung der verkehrstechnischen Störfallerkennung sowie Vermeidung von Rückstau im Tunnel.
- (3) Zusätzlicher Einsatz von Schranken zur Tunnelsperrung im Brandfall.
- (4) Schnelle und gezielte Information der Tunnelnutzer durch z.B. Verkehrsfunk und Piktogramme.
- (5) Verbesserung der Fluchtwegsysteme und deutlichere Kennzeichnung der Fluchtwege auf gesamter Tunnellänge.
- (6) Verbesserung der Entrauchung.
- (7) Verbesserung der abgestimmten Sicherheits- und Rettungskonzepte sowie der Kommunikation zwischen den Einsatzkräften.
- (8) Frühzeitige Erkennung von Fahrzeugdefekten.
- (9) Einbau von automatischen Löschanlagen in Fahrzeugen.
- (10) Optimierung der Ausrüstung für die Einsatzkräfte.
- (11) Schallgeschützte Notruftkabinen zur Sicherstellung einer guten Verständigung zwischen Tunnelnutzer und Zentrale.
- (12) Erweiterung der Überwachung von Tunneln (zentrale Tunnelwarten, Ernennung von Sicherheitsbeauftragten).

- (13) Die Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeit und der ausreichende Abstand zwischen den Fahrzeugen sollten im Tunnel kontrolliert und bei Missachtung geahndet werden.
- (14) Als Bemessungsbrandfall für einen Brand im Tunnel sollte ein LKW gewählt werden (Brandlast 30-50 MW). Bei Tunneln mit hohem Gefährdungspotential sollte durch ein risikoanalytisches Gutachten nachgewiesen werden, ob eine Bemessung auf eine höhere Brandlast erforderlich ist.
- (15) Eine europäische Harmonisierung der sicherheitstechnischen Ausstattung von Straßentunneln ist anzustreben.

Ferner sollte bei der Schulung von LKW- und PKW-Fahrern allgemein sowie speziell von Gefahrgut-Fahrern auf die besondere Situation bei Tunneldurchfahrten eingegangen werden.

#### **4. Folgerungen für die Praxis**

In der vorliegenden Arbeit konnten eine Reihe von Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln gemacht werden. Bau-liche Vorkehrungen für die Sicherheit der Tunnelnutzer sollten generell Vorrang vor aufwendiger technischer Ausrüstung haben. Ob und welche Maßnahmen für einen konkreten Tunnel sinnvoll sind, muss im Einzelfall entschieden werden. Von den verantwortlichen Gremien sollte geprüft werden, wie die vorstehend aufgeführten Verbesserungsvorschläge in die betreffenden Regelwerke aufgenommen werden können.

## Inhaltsverzeichnis

Seite

1.	Einleitung .....	1
2.	Untersuchungsziele.....	2
3.	Beschreibung ausgewählter Brandereignisse .....	5
3.1	Brandereignisse in Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln .....	5
3.1.1	Ereignis U1: Metro-Station Henri-Bouassa, Montreal, Kanada .....	5
3.1.2	Ereignis U2: U-Bahnhof Alexanderplatz, Ost-Berlin.....	7
3.1.3	Ereignis U3: Metro-Station Rosemont, Montreal, Kanada.....	8
3.1.4	Ereignis U4: U-Bahnhof Hansaring, Köln.....	10
3.1.5	Ereignis U5: Unterwassertunnel, San Francisco, USA.....	12
3.1.6	Ereignis U6: S-Bahnhof Altona, Hamburg.....	16
3.1.7	Ereignis U7: U-Bahnhof Ramersdorf, Bonn.....	18
3.1.8	Ereignis U8: U-Bahnhof Königsplatz, München.....	20
3.1.9	Ereignis U9: U-Bahnhof Oxford Circus, London, Großbritannien.....	22
3.1.10	Ereignis U10: U-Bahnhof Central Station, New York, USA.....	23
3.1.11	Ereignis U11: Verbindungsgleis U2 / U5, Ost-Berlin .....	25
3.1.12	Ereignis U12: U-Bahnhof King´s Cross, London, Großbritannien.....	26
3.1.13	Ereignis U13: Hirschgrabentunnel, Zürich, Schweiz.....	28
3.1.14	Ereignis U14: U-Bahnhof Karlsplatz, Wien, Österreich.....	30
3.1.15	Ereignis U15: Metro-Station Uldus, Baku, Aserbaidshen.....	32
3.1.16	Ereignis U16: U-Bahnhof "Auswärtiges Amt", Bonn.....	35
3.1.17	Ereignis U17: U-Bahnhof "Deutsche Oper", Berlin .....	37
3.1.18	Weitere Brandereignisse bei U- und S-Bahnen.....	39
3.2.	Brandereignisse in Fernbahntunneln .....	58
3.2.1	Ereignis F1: Summit-Tunnel, Großbritannien .....	58
3.2.2	Ereignis F2: Xiang-Yu-Bahnlinie, China .....	63
3.2.3	Ereignis F3: Brand im Kanaltunnel, Frankreich / Großbritannien.....	64
3.2.4	Ereignis F4: Leinebusch-Tunnel .....	67
3.2.5	Weitere Brandereignisse in Fernbahntunneln .....	70
3.3	Brandereignisse in Straßentunneln .....	72
3.3.1	Ereignis S1: Holland-Tunnel, New York, USA.....	72
3.3.2	Ereignis S2: Moorfleet-Tunnel, Hamburg .....	74



3.3.3	Ereignis S3: Nihonzaka-Tunnel, Japan.....	76
3.3.4	Ereignis S4: Caldecott-Tunnel, Oakland, Kalifornien.....	79
3.3.5	Ereignis S5: Gotthard-Tunnel, Schweiz (1994).....	82
3.3.6	Ereignis S6: Pfänder-Tunnel, Österreich.....	85
3.3.7	Ereignis S7: Ekebergstunnel, Norwegen.....	88
3.3.8	Ereignis S8: Gotthard-Tunnel, Schweiz (1997).....	90
3.3.9	Ereignis S9: Mont-Blanc-Tunnel, Frankreich/Italien.....	93
3.3.10	Ereignis S10: Tauern-Tunnel, Österreich.....	97
3.3.11	Weitere Brandereignisse in Straßentunneln.....	99
4.	Auswertung der analysierten Brandereignisse.....	112
5.	Ergebnisse des Workshops „Sicherheit in Tunneln“.....	123
5.1	Allgemeines.....	123
5.2	Schienen-Personen-Nahverkehrstunnel.....	123
5.2.1	Gefährdungspotential und Brandlasten der Fahrzeuge.....	124
5.2.1.1	Forderungen der BOStrab.....	124
5.2.1.2	Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential von Fahrzeugen.....	125
5.2.1.3	Diskussionsergebnisse zu Brandlasten von Fahrzeugen.....	128
5.2.2	Gefährdungspotentiale und Brandlasten der Tunnelanlagen.....	131
5.2.2.1	Forderungen der BOStrab.....	131
5.2.2.2	Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential von Tunnelanlagen.....	132
5.2.2.3	Diskussionsergebnisse zu Brandlasten von Tunnelanlagen.....	134
5.2.3	Löschanlagen in Fahrzeugen.....	137
5.2.3.1	Forderungen der BOStrab.....	137
5.2.3.2	Diskussionsergebnisse zum Einsatz von Löschanlagen in Fahrzeugen.....	137
5.2.4	Brandmelde- und Löschanlagen in Tunnelanlagen.....	140
5.2.4.1	Forderungen der BOStrab.....	140
5.2.4.2	Diskussionsergebnisse zum Einsatz von Brandmeldern und Löschanlagen in Tunnelanlagen.....	140
5.2.5	Fluchtwege und Notausstiege.....	144
5.2.5.1	Forderungen der BOStrab.....	144
5.2.5.2	Diskussionsergebnisse zur mittleren Fluchtweglänge.....	146
5.2.5.3	Diskussionsergebnisse zur baulichen Ausbildung der Fluchtwege.....	150
5.2.5.4	Diskussionsergebnisse zu den Höhenunterschieden in Notausstiegen.....	152
5.2.5.5	Diskussionsergebnisse zu Rauchabzugs- und Ventilationsanlagen.....	153

5.2.6	Kommunikationseinrichtungen .....	155
5.2.6.1	Forderungen der BOStrab.....	155
5.2.6.2	Diskussionsergebnisse zu den Fahrgast-Informationseinrichtungen.....	156
5.2.6.3	Diskussionsergebnisse zur Kommunikation zwischen Rettungskräften und Bahnbetreibern.....	158
5.2.7	Rettungskonzepte.....	160
5.2.7.1	Forderungen der BOStrab.....	160
5.2.7.2	Diskussionsergebnisse zum Selbstrettungs- und Fremdrettungskonzept.....	160
5.2.8	Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse.....	162
5.3.	Fernbahntunnel.....	166
5.3.1	Allgemeines .....	166
5.3.2.	Gefährdungspotential und Vermeidung von Bränden in Eisenbahntunneln.....	167
5.3.2.1	Forderungen der EBA-Richtlinie .....	167
5.3.2.2	Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential und zur Vermeidung von Bränden in Eisenbahntunneln.....	170
5.3.2.2.1	Unfallszenarien als Standardereignis.....	171
5.3.2.2.2	Gefährdungspotential.....	173
5.3.2.2.3	Prävention.....	176
5.3.2.2.4	Sicherheits- und Rettungskonzepte.....	177
5.3.2.2.5	Einröhrige und zweiröhrige Tunnel.....	181
5.3.3.	Sicherheit und Schutz der Tunnelnutzer im Brandfall .....	185
5.3.3.1	Fluchtwege .....	185
5.3.3.1.1	Forderungen der EBA-Richtlinie .....	185
5.3.3.1.2	Diskussionsergebnisse zu Fluchtwegen.....	186
5.3.3.2	Entrauchung .....	189
5.3.3.2.1	Forderungen der EBA-Richtlinie .....	189
5.3.3.2.2	Diskussionsergebnisse zur Entrauchung .....	190
5.3.3.3	Leiteinrichtungen.....	193
5.3.3.3.1	Anforderungen in Regelwerken zu Leiteinrichtungen.....	193
5.3.3.3.2	Diskussionsergebnisse zu Leiteinrichtungen.....	194
5.3.3.4	Fahrzeuge.....	197
5.3.3.4.1	Forderungen der EBA-Richtlinie .....	197
5.3.3.4.2	Diskussionsergebnisse zur Fahrzeugen.....	198

5.3.4	Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse .....	202
5.4	Straßentunnel.....	207
5.4.1	Gefährdungspotentiale und Brandlasten der Fahrzeuge.....	207
5.4.1.1	Forderungen der RABT .....	207
5.4.1.2	Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential der Fahrzeuge.....	208
5.4.1.3	Diskussionsergebnisse zu den Brandlasten der Fahrzeuge und ihrer Ladungen.....	211
5.4.2	Gefährdungspotentiale und Brandlasten im Zuge von Tunneln .....	212
5.4.2.1	Forderungen der RABT .....	212
5.4.2.2	Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential der Tunnel.....	214
5.4.2.2.1	Hohe Verkehrsstärke .....	214
5.4.2.2.2	Verkehrsleistung .....	215
5.4.2.2.3	Hohe Längsneigung .....	216
5.4.2.2.4	Gegenverkehr.....	217
5.4.2.2.5	Täglich Stau.....	218
5.4.2.2.6	Unterwassertunnel.....	219
5.4.2.3	Diskussionsergebnis zu den Brandlasten der Tunnel .....	219
5.4.3	Brandmelde- und Löschanlagen in Fahrzeugen.....	220
5.4.3.1	Forderungen der RABT .....	220
5.4.3.2	Diskussionsergebnis zu Brandmelde- und Löschanlagen in Fahrzeugen .....	220
5.4.4	Brandmelde- und Löscheinrichtungen in Tunneln.....	221
5.4.4.1	Forderungen der RABT .....	221
5.4.4.2	Diskussionsergebnisse zu Brandmeldeeinrichtungen.....	223
5.4.4.3	Diskussionsergebnisse zu Löscheinrichtungen.....	225
5.4.5.	Belüftung bei einem Brand im Tunnel.....	225
5.4.5.1	Forderungen der RABT .....	225
5.4.5.2	Diskussionsergebnisse zur Belüftung bei einem Brand im Tunnel .....	228
5.4.6.	Fluchtwege und Notausgänge.....	231
5.4.6.1	Forderungen der RABT .....	231
5.4.6.2	Diskussionsergebnisse zu Fluchtwegen und Notausgängen.....	232
5.4.7.	Verkehrsbeeinflussungs- und Kommunikationseinrichtungen .....	234
5.4.7.1	Forderungen der RABT .....	234
5.4.7.2	Diskussion zu den Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen.....	237
5.4.7.3	Diskussion zu den Kommunikationseinrichtungen.....	238

5.4.8	Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse.....	241
6	Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln.....	243
6.1	Vorbemerkungen.....	243
6.2	Brandschutz in Bahntunneln und an Schienenfahrzeugen.....	243
6.2.1	Bauliche Maßnahmen in Bahntunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall.....	243
6.2.2	Betriebliche Maßnahmen in Bahntunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall.....	247
6.2.3	Betriebliche Maßnahmen an Schienenfahrzeugen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall.....	249
6.3	Brandschutz in Straßentunneln und an Straßenfahrzeugen.....	254
6.3.1	Risikobetrachtungen für Straßentunnel .....	254
6.3.2	Brandschutztechnische Bemessung des Tunnelausbaus .....	258
6.3.3	Bauliche Maßnahmen in Straßentunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall.....	262
6.3.4	Betriebliche Maßnahmen in Straßentunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall.....	264
6.4	Abwehrender Brandschutz in Verkehrstunneln .....	275
6.5	Rettungswesen in Verkehrstunneln.....	278
7.	Empfehlungen zur Überarbeitung von Regelwerken.....	284
7.1	Vorbemerkungen.....	284
7.2	Empfehlungen zur Überarbeitung von Regelwerken für Tunnelanlagen des Schienenverkehrs .....	288
7.2.1	Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für U- und Stadtbahntunnel.....	288
7.2.2	Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für S-Bahntunnel.....	291
7.2.3	Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für Fernbahntunnel .....	294
7.3	Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für Straßentunnel .....	296
8.	Zusammenfassung .....	305
9.	Literatur.....	307

Anhang (siehe besonderer Berichtsteil):

Anhang 1: Brandereignisse in Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln

Anhang 2: Brandereignisse in Fernbahntunneln

Anhang 3: Brandereignisse in Straßentunneln

Anhang 4: Vorträge auf dem Workshop „Sicherheit in Tunneln“

## 1. Einleitung

Derzeit sind allein in Europa ca. 10.000 km Verkehrstunnel (Schiene-Nahverkehr, Fernbahnen, Straßen) in Betrieb [1]. Davon entfallen ca. 1.200 km auf Deutschland [2]. Zum Jahreswechsel 1998/1999 befanden sich allein in Deutschland weitere ca. 149 km im Bau und ca. 370 km in der konkreten Planung [2] (Tabelle 1/1).

Tunnelart	in Betrieb (Jahr 2000) [km]	im Bau (Jahreswechsel 1998/1999) [km]	geplant, mit Baubeginn nach 1999 [km]
U- und S-Bahn	600	34	60
Fernbahn	450	51	210
Straße	150	64	100
Summe	1.200	149	370

Tabelle 1/1: Bestand und Bauvolumen von Verkehrstunneln in Deutschland [2]

Die genannten Zahlen machen deutlich, dass Deutschland derzeit bereits über einen großen Tunnelbestand verfügt und dass in Zukunft noch beträchtliche Tunnelstrecken hinzukommen werden. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Sicherheit in Tunnelanlagen immer mehr an Bedeutung. Dies gilt insbesondere für den Brandschutz, wobei in dieser Arbeit unter Brandschutz vor allem der Personenschutz im Brandfall verstanden wird.

Der letzte Straßentunnelbrand in Deutschland mit nennenswerten Sachschäden ereignete sich im Moorfleet-Tunnel in Hamburg 1968. Bei diesem Brand gab es keinen Personenschaden. In Europa ist es jedoch trotz umfangreicher Sicherheitsmaßnahmen (z. B. bei der Steuerung des Verkehrsablaufes, beim baulichen und betrieblichen Brandschutz) gelegentlich zu Bränden in Verkehrstunneln gekommen. Durch diese Tunnelbrände wurden teilweise Personen verletzt bzw. getötet und erhebliche Bauwerksschäden verursacht (z. B. U-Bahn Baku, Euro-tunnel, Mont-Blanc-Tunnel und Tauerntunnel).

## 2. Untersuchungsziele

Die Ergebnisse des bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) stattgefundenen Workshops „Sicherheit in Tunneln“ [7] und weltweite Brandereignisse in unterirdischen Verkehrsanlagen sollten dokumentiert und ausgewertet werden. Es sollten Tunnel für den Schienen-Personen-Nahverkehr, für Fernbahnen und den Straßenverkehr in die Untersuchung aufgenommen werden. Zu den Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln gehören die nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn- Bau- und Betriebsordnung - BOStrab) betriebenen U- und Stadtbahntunnel sowie die nach der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) betriebenen S-Bahn-Tunnel.

Brände beim Bau bzw. Umbau von unterirdischen Verkehrsanlagen wie z. B. im Jahr 1999 im Bremer Hauptbahnhof wurden nicht in die Analyse einbezogen.

Für die Analyse wurden folgende Unterlagen herangezogen:

- (1) Ergebnisse des bei der BASt im November 1999 durchgeführten Workshops „Sicherheit in Tunneln“ [7] mit internationaler Beteiligung durch die Länder Frankreich, Österreich und Schweiz.

Auf dem Workshop trafen sich Fachleute des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien, des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr, Wien, der Auftragsverwaltung der Länder, der technischen Aufsichtsbehörden (z. B. Eisenbahnbundesamt (EBA)), der BASt, des Bundesamtes für Verkehr, Bern, des Bundesamtes für Straßen, Bern, der Verkehrsunternehmen (z. B. Hamburger Hochbahn AG, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)), Deutsche Bahn (DB Netz AG), der Bauherren (z. B. Tiefbauamt Bochum, Freie und Hansestadt Hamburg), der Feuerwehren sowie von in- und ausländischen Ingenieurbüros und Forschungsinstituten, um über Fragen der Sicherheit in Tunneln zu diskutieren.

Es wurden die folgenden drei Arbeitsgruppen gebildet:

- a) U- und Stadtbahntunnel
- b) Eisenbahntunnel
- c) Straßentunnel

Durch Experten wurde in jeder Arbeitsgruppe ein Einführungsvortrag gehalten (Anhang 4). Alle Wortbeiträge wurden auf Tonträger aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. (Kapitel 5 bis 7)

- (2) Ergebnisse der nationalen und internationalen Erhebung zu Bränden in Schienen-Verkehrstunneln.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden insgesamt etwa 125 Fragebögen zu Bränden weltweit gezielt an Verkehrsbetriebe und Bahngesellschaften verschickt. Die Rücklaufquote lag im Mittel bei ca. 33% (Tabelle 2/1). Die Informationen zu den Bränden waren sehr unterschiedlich. Insgesamt konnte bei der Analyse der Brandereignisse auf detaillierte Angaben in ca. 20 beantworteten Fragebögen zurückgegriffen werden.

	Fragebogenaktion		
	Anfragen	Antworten	
	Anzahl	Anzahl	[%]
<b>Brände in Tunneln für den Schienen-Nahverkehr:</b> Inland	22	21	95
europäisches Ausland	30	11	37
außereuropäisches Ausland	23	1	4
<b>"Schienen-Nahverkehr" insgesamt</b>	<b>75</b>	<b>33</b>	<b>44</b>
<b>Brände in Tunneln für den Bahn-Fernverkehr:</b> Inland	2	2	100
europäisches Ausland	25	6	24
außereuropäisches Ausland	23	0	0
<b>"Bahn-Fernverkehr" insgesamt</b>	<b>50</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>Gesamtsumme Fragebogenaktion</b>	<b>125</b>	<b>41</b>	<b>33</b>

Tabelle 2/1: Fragebogenerhebung zu Bränden in Schienen-Verkehrstunneln



- (3) Ergebnisse der Erhebung zu Gefahrgut-Transporten in Straßentunneln  
Im Rahmen dieser Untersuchung wurden insgesamt ca. 70 Fragebögen zur Durchführung von Gefahrgut-Transporten an in- und ausländische Tunnelbetreiber verschickt. Die Rücklaufquote lag bei ca. 45%. Konkrete, für die Untersuchung wichtige Angaben zur Durchführung der Gefahrgut-Transporte waren in ca. 25 der beantworteten Fragebögen enthalten.
- (4) Veröffentlichungen und Untersuchungsberichte [9 bis 70, 76, 78, 92, 100 bis 102, 107, 114, 115, 118 bis 143, 146].

Die Auswertung des Workshops [7] und die Analyse der Brandereignisse sollten Brandschwerpunkte aufzeigen, mit deren Hilfe Vorschläge für eine Verbesserung des Personenschutzes im Brandfall in Tunneln erarbeitet werden sollten. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus diesen Unterlagen sollten Empfehlungen an die für die Überarbeitung der verschiedenen Regelwerke zuständigen Gremien gegeben werden.

Die Empfehlungen zur Aktualisierung der jeweiligen Regelwerke sollen dazu beitragen, zukünftig die Anzahl der Brandereignisse in Verkehrstunneln und das Ausmaß der zugehörigen Schäden weiter zu verringern.

### **3. Beschreibung ausgewählter Brandereignisse**

#### **3.1 Brandereignisse in Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln**

##### **3.1.1 Ereignis U1: Metro-Station Henri-Bouassa, Montreal, Kanada**

*(1) Brandereignis [9, 76]*

Am 9.12.1971 gegen 22.00 Uhr fuhr der Fahrer eines leeren U-Bahnzuges an der vorläufigen Endhaltestelle Henri-Bouassa Montreal der Linie 2 auf ein Abstellgleis, um die Fahrrichtung zu ändern. Auf dem Abstellgleis prallte der Zug gegen einen abgestellten U-Bahnzug (angeblich wegen Versagen des Zugführers).

Durch den Auffahrunfall entgleisten einige U-Bahnwagen, der Zugführer wurde eingequetscht und es entstand ein Kurzschluss des Fahrstroms mit Brandfolge. Das Zugtelefon versagte, deshalb informierten Bahnangestellte von der Endhaltestelle Henri-Bouassa die Betriebszentrale über den Unfall (22.21 Uhr). Eine Minute später wurde von der Leitzentrale der Fahrstrom abgeschaltet. Der Zugbegleiter und zwei U-Bahnangestellte, die an der Endhaltestelle Henri-Bouassa arbeiteten, konnten zum Triebwagen vordringen und versuchten den eingeklemmten Zugführer zu befreien, was misslang. Dabei entdeckten sie ungefähr 30 m weiter vorne am zweiten Wagen des angefahrenen Zuges einen Brand (22.22 Uhr).

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [9, 76]*

Da sich der Brand anfänglich nur auf den vorletzten Wagen des angefahrenen Zuges beschränkte, vermutete einer der drei Bahnmitarbeiter, dass es sich um den Brand der Batterie handelte, die sich in diesem Bereich des Zuges befand. Er versuchte zum Brandherd vorzudringen, um die Batterie auszuschalten. Das Unterfangen scheiterte jedoch, da die Tunnelbeleuchtung und die Tunnelbelüftung ausfielen. Der Rauch wurde zu dicht und die drei Mitarbeiter flüchteten zum Bahnhof. Gleichzeitig traf die Feuerwehr ein (22.33 Uhr), die jedoch aufgrund unzureichender Ausrüstung nicht zum Brandherd vordringen konnte.

Wegen Mangel an tragbaren Scheinwerfern, zu kleinen tragbaren Sauerstoffflaschen und fehlender Hydranten, die unhandliche Schlauchlängen zum Erreichen des Feuers erforderlich machten, verzögerte sich der Beginn

des Rettungseinsatzes. Nachdem die erforderlichen Löschvorbereitungen abgeschlossen waren, konnte die Feuerwehr jedoch wegen zu starker Hitzeentwicklung weder zur Brandstelle vordringen noch den Brand bekämpfen. Das Feuer brannte deshalb viele Stunden unkontrolliert. Erst ungefähr siebzehn Stunden nach dem Brandausbruch wurde der Brand durch Fluten des Tunnels gelöscht (15.30 Uhr des Folgetages). Das Wasser wurde einem nahe gelegenen Fluss entnommen und über einen Entlüftungsschacht eingebracht. Der im U-Bahnwagen eingeklemmte Zugführer konnte nicht befreit werden und kam ums Leben.

(3) *Brandschäden [9, 76]*

Der Brandschaden belief sich auf 24 völlig zerstörte U-Bahnwagen, 12 erheblich beschädigte Wagen, Betonabplatzungen der Tunnelwand und beschädigte Schienen und Leitschienen über eine Länge von 200 m. Ferner wurden alle Kabel und Lampen sowie ein großer Teil der elektromechanischen Ausstattung zerstört. Die Tunnelstrecke war über eine Länge von ca. 2000 m verrußt. Der Sachschaden belief sich auf ca. 11 Mio. DM. Die bauliche Wiederherstellung war Ende Januar 1972 beendet.

Der Fahrbetrieb wurde am 1.1.1972, etwa drei Wochen nach dem Brandereignis, wieder aufgenommen.

(4) *Fazit*

- a) Der Brand wurde durch einen Auffahrunfall in einer Abstellanlage ausgelöst.
- b) Wegen unzureichender Ausstattung der Feuerwehr (Scheinwerfer, Atemschutzgeräte) und des U-Bahntunnels (Hydranten) für den Brandfall kam es zu Verzögerungen bei den Rettungs- und Löscharbeiten.
- c) Die Brandbekämpfung wurde durch die starke Hitze-Entwicklung behindert. Ein Feuerübersprung auf andere abgestellte Fahrzeuge konnte nicht verhindert werden.
- d) Erst durch das Fluten des Tunnelabschnittes konnte der Brand erfolgreich gelöscht werden.
- e) Es wurde 1 Zugführer getötet. Die Behebung der Sachschäden am Tunnelbauwerk und den Einrichtungen verursachte Kosten in Höhe von ca. 11 Mio. DM.

### 3.1.2 Ereignis U2: U-Bahnhof Alexanderplatz, Ost-Berlin

#### (1) Brandereignis [10]

Am 4.10.1972 wurde von der Besatzung eines Bauzuges der Brand eines abgestellten Viererzuges der U-Bahn in der Nähe des U-Bahnhofes Alexanderplatz entdeckt (3.50 Uhr). Die Brandursache war unbekannt.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [10]

Von der Besatzung des Bauzuges wurden Löschversuche mit Handfeuerlöschern unternommen, die jedoch fehl schlugen.

Der Bautrupps musste sich dann aufgrund der immer stärker werdenden Hitze- und Rauchentwicklung zurückziehen. Von der eingetroffenen Feuerwehr wurde der Bautrupps aus dem U-Bahntunnel herausgebracht.

Mittlerweile wurde die Hitze unerträglich, der Tunnel war stark verqualmt und der Viererzug brannte vollständig.

Aus einem Notausstiegsschacht in unmittelbarer Nähe des U-Bahnhofes schlugen ca. 1,5 m hohe Flammen empor und es trat starker Rauch aus. Die Tunneldecke stürzte infolge der großen Hitze (etwa 800 °C bis 1000 °C) ein und herausschlagende Flammen gefährdeten ein oberirdisches Kaufhausgebäude. In diesem Bereich wurde eine Schaumdecke auf die eingestürzte Tunneldecke gebracht. Nachdem durch Lageerkundung der Feuerwehr der Brandherd eingegrenzt werden konnte, wurde am nächstliegenden Einstiegsschacht die von der Hitze deformierte Schachtabdeckung mit Schneidbrennern geöffnet.

Der Versuch, einen mit Asbestkleidung ausgerüsteten Feuerwehrtrupps durch den Schacht in den Tunnel zu schicken, scheiterte aufgrund der großen Hitze. Deshalb wurde durch den Einstiegsschacht Löschschaum in den Tunnel gebracht. So wurde die Temperatur und die Rauchentwicklung verringert und es konnte ein mit Pressluftatmern ausgestatteter Feuerwehrtrupps im U-Bahntunnel eingesetzt werden.

Etwa zwei Stunden nach Entdeckung des Brandes stürzte ein weiterer Teil der Tunneldecke ein, was wiederum mit starker Flambildung verbunden war (6.10 Uhr). Zur Bekämpfung des Brandes wurden 3 C-Schläuche eingesetzt. Ungefähr siebeneinhalb Stunden nach der Brandmeldung war der

Brand unter Kontrolle (11.30 Uhr). Fünf Feuerwehrmänner erlitten Rauchvergiftungen.

(3) *Brandschäden [10]*

Der Brandschaden an der Tunnelröhre und dem ausgebrannten Viererzug der U-Bahn betrug ca. 3,5 Mio. DM.

(4) *Fazit*

- a) Die Brandursache konnte nicht geklärt werden.
- b) Die Löscharbeiten wurden durch Hitze und Rauch behindert.
- c) Die Verzögerungen bei den Löscharbeiten führten zu einer hohen Temperaturbelastung der Tunneldecke, die deshalb teilweise einstürzte.
- d) Bei der Brandbekämpfung war Löschschaum sehr wirkungsvoll.

### 3.1.3 Ereignis U3: Metro-Station Rosemont, Montreal, Kanada

(1) *Brandereignis [11]*

Am 23.1.1974, 7.55 Uhr blieb ein mit etwa 1000 Fahrgästen besetzter U-Bahnwagen südlich der Haltestelle Rosemont nahe des Lüftungsschachtes St. Gregoire wegen eines Brandausbruches stehen. Ein defekter Gummireifen am zweiten Wagen hatte Feuer gefangen. Löscharbeiten mit Feuerlöschern (Trockenpulver) des Zugführers und des Aufsehers misslangen.

Die Feuerwehr wurde über die Betriebszentrale informiert und der Fahrstrom wurde abgeschaltet (8.00 Uhr).

(2) *Brandverlauf sowie Löscharbeiten [11]*

Das Feuer breitete sich über die Heizungsleitungen im Fußboden des U-Bahnwagens aus. Die Ventilatoren in den Tunnellüftungsschächten wurden eingeschaltet, so dass durch den Lüftungsschacht St. Gregoire Luft eingeblasen wurde.

Hierdurch verschlechterte sich die Rauchverteilung im Tunnel und die Dachventilatoren der U-Bahn-Wagen saugten nun Rauch an. Die Evakuierung der Fahrgäste begann umgehend. Die Leitzentrale folgte der Bitte des Zugführers

rers, die Luftströmungsrichtung der Lüfter umzukehren, was schnell zu einer Verbesserung der Sicht und der Fluchtmöglichkeit führte (8.05 Uhr).

Um 8.15 Uhr, zwanzig Minuten nach Feststellung des Brandes, traf die Feuerwehr ein und begann mit den Löscharbeiten von der Haltestelle Rosemont aus. Die Evakuierung der Fahrgäste war um 8.20 Uhr beendet.

Die Sicht verschlechterte sich aufgrund zunehmender Rauchmengen erheblich, so dass die Feuerwehr zur benachbarten Haltestelle Laurier fuhr, um von dort die Brandbekämpfung vorzunehmen. Hier war der Anmarsch zur Unfallstelle länger und es mussten bis zum Brandherd 600 m Schlauch verlegt werden.

Die mechanische Lüftung reichte zur Bewältigung der großen Mengen heißer Rauchgase, die nun auch entgegen der Luftströmung aus der Haltestelle Rosemont hervorquollen, nicht mehr aus (8.30 Uhr).

Der Ventilator am Schacht St. Gregoire versagte. Alle Ventilatoren südlich des Brandortes unterstützten die Brandbekämpfung (9.00 Uhr). Zwei Stunden später war der Brand gelöscht (11.00 Uhr). Es wurden keine Personen verletzt.

### (3) Brandschäden [11]

Es brannten alle neun Wagen aus. Auf Kabelträgern an der Tunnelwand montierte Kabel für Licht, Lüftungsanlagen, Kommunikationseinrichtungen, Signal- und Pumpanlagen wurden über eine Strecke von ca. 300 m zerstört.

Die Querführungsschiene sowie die Schiene des Sicherheitsrades wurden durch die große Hitze verformt. Im Tunnelfirstbereich wurden an einigen Stellen Betonabplatzungen festgestellt.

Weiterhin entstanden Rußablagerungen in der Haltestelle Rosemont. Der Sachschaden belief sich auf ca. 3 Mio. DM.

### (4) Besonderheiten [11]

Vermutlich entstand der Reifenschaden kurz nach der Ankunft in der Haltestelle Beaubien (eine Haltestelle vor Rosemont). Der Zugführer stellte den Schaden aber erst in der Haltestelle Rosemont fest und meldete ihn der Betriebszentrale. Kurz darauf untersuchte ein Bediensteter die Schadstelle und veranlasste (z.T. aus betrieblichen Gründen) die Weiterfahrt.

**(5) Fazit**

- a) Durch einen technischen Defekt geriet ein Gummireifen eines U-Bahn-Wagens in Brand. Da das Fahrzeug nach der Meldung dieses Defektes nicht sofort aus dem Betrieb genommen wurde, kam es zum Brand.
- b) Durch die starke Rauchentwicklung, durch die unzureichende Lüftungsanlage und durch fehlende Hydranten im Tunnel kam es zu Verzögerungen bei den Rettungs- und Löscharbeiten.
- c) Die vorhandenen Tunneleinrichtungen (z. B. Ventilatoren, Beleuchtung, Schienen) waren nicht ausreichend gegen einen Ausfall durch heiße Rauchgase und Flammeneinwirkungen geschützt, so dass ein Sachschaden von ca. 3 Mio. DM entstand.

**3.1.4 Ereignis U4: U-Bahnhof Hansaring, Köln****(1) Brandereignis [12, 13]**

Ein zwischen Faltenbalg und Sperrholzverkleidung geworfener Zigarettenrest führte am 24.10.1978 zum Brand am Drehgestell eines Stadtbahnzuges, der durch einen der acht Fahrgäste um 0.40 Uhr an den Fahrer gemeldet wurde.

Dem Fahrer gelang die Einfahrt in den nächsten U-Bahnhof (Hansaring), er ließ die Fahrgäste aussteigen und alarmierte die Leitstelle, welche die Feuerwehr benachrichtigte (0.41 Uhr). Bei der in Brand geratenen Straßenbahn handelte es sich um einen achtsichtigen Gelenktriebwagen des Baujahrs 1964/65.

**(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [12, 13]**

Mit einem Pulverlöscher startete der Fahrer um 0.41 Uhr einen Löschversuch, den er jedoch wegen zunehmender Brandausbreitung und Verqualmung aufgeben musste. Um 0.43 Uhr entstand aufgrund des Brandes ein Kurzschluss und die Stromversorgung fiel aus. Um 0.47 Uhr traf der erste Einsatzwagen der Feuerwehr ein.

Zu diesem Zeitpunkt wirkten die Bahnhofsangänge wie Kamine und es traten schon heiße Brandgase und starker Rauch auf, so dass die Feuerwehr auch mit starkem Atemschutzgerät zunächst nicht zum brennenden Zug

vordringen konnte. Die geforderte Feuerwehrverstärkung wurde deshalb direkt zum nächstliegenden Notausgang (Bremer Straße, ca. 300 m Anmarschweg) sowie zum benachbarten U-Bahnhof (Ebertplatz, ca. 800 m Anmarschweg) verwiesen.

Zur Durchführung des Löschangriffs von der Tunnelröhre aus wurden weitere technische Geräte eingesetzt, wie Großraumlüfter und Travox-Geräte (Langzeit-Atemschutzgeräte, 2 Stunden Tragezeit). Es wurde "Alarmstufe 3" ausgelöst (0.57 Uhr).

Ein Löschtrupp begann vom Notausgang Bremer Straße über eine Strecke von 200 m C-Schläuche zu verlegen. Die Großraumlüfter wurden zu diesem Zeitpunkt zur Entrauchung des Tunnels eingesetzt.

Um 1.25 Uhr forderte die Einsatzleitung wegen starker Rauchentwicklung alle Travox-Geräte von der Berufsfeuerwehr an. Kurz darauf löste der Direktor der Berufsfeuerwehr aufgrund der unveränderten Lage "Alarmstufe 5" aus. Gegen 1.45 Uhr wurde vom Notausstieg Bremer Straße mit den Löscharbeiten begonnen.

Nachdem der Feuerwehrtrupp vom U-Bahnhof Ebertplatz die Passierbarkeit des Treppenabganges im Bahnhof Hansaring meldete, wurde sofort die Brandbekämpfung vom Bahnhof Hansaring mit 3 C-Schläuchen vorgenommen. Auf die Verlegung von C-Schläuchen im Tunnel vom Bahnhof Ebertplatz konnte deshalb verzichtet werden.

Das Feuer war ca. 1 ½ Stunden nach Brandausbruch unter Kontrolle und wenig später gelöscht (2.20 Uhr). Es waren eine Vielzahl von Fahrzeugen und Geräten sowie 87 Feuerwehrmänner im Einsatz.

Erschwert wurde der Löscheintritt dadurch, dass Feuerlöschwasserleerrohre im Tunnel erst nach längerem Suchen gefunden wurden. Ferner kam keine Funkverbindung im 2 m Band zwischen Einsatzleitung und den Trupps im Tunnel zustande. Die Brandtemperaturen betragen ca. 1000 °C. Es waren keine Verletzten zu verzeichnen.

### (3) *Brandschäden [12, 13]*

Durch den Brand entstanden vor allem im Bereich des Bahnhofs Hansaring die größten Bauwerksschäden, da hier die größte Hitze aufgrund der durch die Bahnhofsangänge entweichenden heißen Brandgase auftrat. Es wurden



abgehängte Decken- und Wandverkleidungen sowie Leitungen zerstört. Ferner wurden Betonabplatzungen an der tragenden Stahlbetonkonstruktion festgestellt. Der Sachschaden belief sich auf ca. 2,5 Mio. DM.

(4) *Fazit*

- a) Fahrlässigkeit (weggeworfene Zigarettenkippe) führte zum Brand eines Faltenbalges am Drehgestell eines Stadtbahnzuges.
- b) Die Selbstrettung der Fahrgäste wurde beschleunigt, weil der Fahrzeugführer ohne Halt bis zur nächsten Haltestelle durchfuhr und erst dort die Türen öffnete.
- c) Die Feuerwehr erreichte die Halteselle in wenigen Minuten, konnte aber wegen der großen Hitze und des Rauches nur langsam zum Brandort vordringen.
- d) Im Tunnel fehlte eine auffällige Kennzeichnung der Hydranten.
- e) Funkverbindungen zur Oberfläche kamen nicht zustande.
- f) Weil sich durch die Verzögerung bei der Brandbekämpfung Temperaturen bis zu ca. 1.000 °C entwickeln konnten, kam es zu Schäden an der Haltestelle, deren Behebung ca. 2,5 Mio. DM kostete.

### 3.1.5 Ereignis U5: Unterwassertunnel, San Francisco, USA

(1) *Brandereignis [14]*

Wegen eines gebrochenen seitlichen Stromabnehmers und einer deshalb entstandenen Stromüberlastung fing der letzte von sieben Wagen des U-Bahn-Zuges Nr. 117 im ca. 5,8 km langen Unterwassertunnel (zwei parallele Tunnelröhren M1 und M2) zwischen Oakland und San Francisco am 17.1.1979 um 18.06 Uhr Feuer.

Der Zugführer meldete den Brand sofort der Leitstelle und diese informierte wenig später die Feuerwehr in Oakland. Aufgrund des Brandausbruchs zwischen den zwei Bezirken Oakland und San Francisco bestanden zuerst Unsicherheiten bezüglich der Zuständigkeit der beiden Feuerwehren.

Durch die automatische Notbremsung kam der in Richtung San Francisco fahrende Zug Nr. 117 in der Tunnelröhre M1, ca. 1.600 m vom Tunnelportal (Oakland) entfernt zum Stehen.

Durch den Kolbeneffekt wurde bei der Notbremsung (Zuggeschwindigkeit ca. 100 km/h) der Rauch zur Zugspitze gedrückt. Deshalb kam es hier zu einer starken Raumentwicklung in Höhe des U-Bahnwagens und der Zugführer konnte seine Position im Tunnel nur ungenau angeben.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [14]*

Durch die ungenaue Positionsangabe wurden die Klappen der Tunnellüftung zunächst fälschlicherweise so geöffnet, dass der Tunnel im gesamten Querschnitt stark verrauchte.

Die Fahrgäste des brennenden Wagens (Bild 3/1) wechselten in vordere Wagen (18.06 Uhr). Versuche, den brennenden Wagen abzukoppeln misslingen.

Durch einen Irrtum wurde die Feuerwehr aus Oakland zur U-Bahnstation Oakland West geschickt, wo sie gegen 18.09 Uhr eintraf. Erst dort stellte sich heraus, dass sich der brennende Zug Nr. 117 im Unterwassertunnel und nicht im Bahnhof befand. Der Feuerwehrtrupp fuhr deshalb mit dem Zug Nr. 900 in die Tunnelröhre M1 in Richtung Brandort.

Gleichzeitig gelangte ein zweiter Feuerwehrtrupp über den Lüftungsschacht von Oakland in den Wartungskanal zwischen den beiden Tunnelröhren M1 und M2 (Bild 3/2). Von dort ging der Trupp zu Fuß in Richtung Brandort. Die erforderliche Ausrüstung wurde mit zwei Golfwagen transportiert.

Der mit den Feuerwehrleuten besetzte Zug Nr. 900 kam gegen 18.44 Uhr wegen eines Fahrstromausfalls ca. 50 m vor dem brennenden Zug Nr. 117 zum Stehen (Bild 3/1).

Die Feuerwehrleute halfen unter Atemschutz (30 Minuten Sauerstoffversorgung) den 40 Fahrgästen aus dem brennenden Zug Nr. 117 und brachten sie in der Nachbarröhre in Sicherheit. Dort befand sich mittlerweile der aus San Francisco kommende und mit etwa 1.000 bis 2.000 Fahrgästen besetzte U-Bahnzug Nr. 111 zur Aufnahme von Personen (Bild 3/1). Wegen der Rauchverhältnisse wurden die Fluchtwegtüren zum Wartungskanal zwischen den beiden Tunnelröhren M1 und M2 schwierig gefunden.

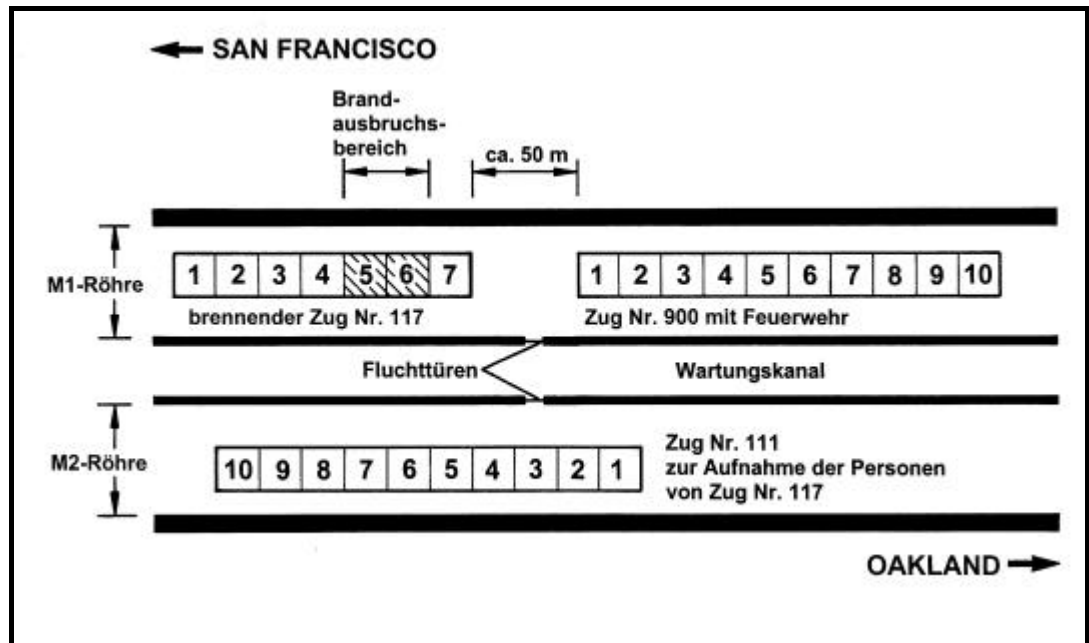


Bild 3/1: Prinzipskizze der Unfallstelle im Unterwassertunnel (Draufsicht) [76]

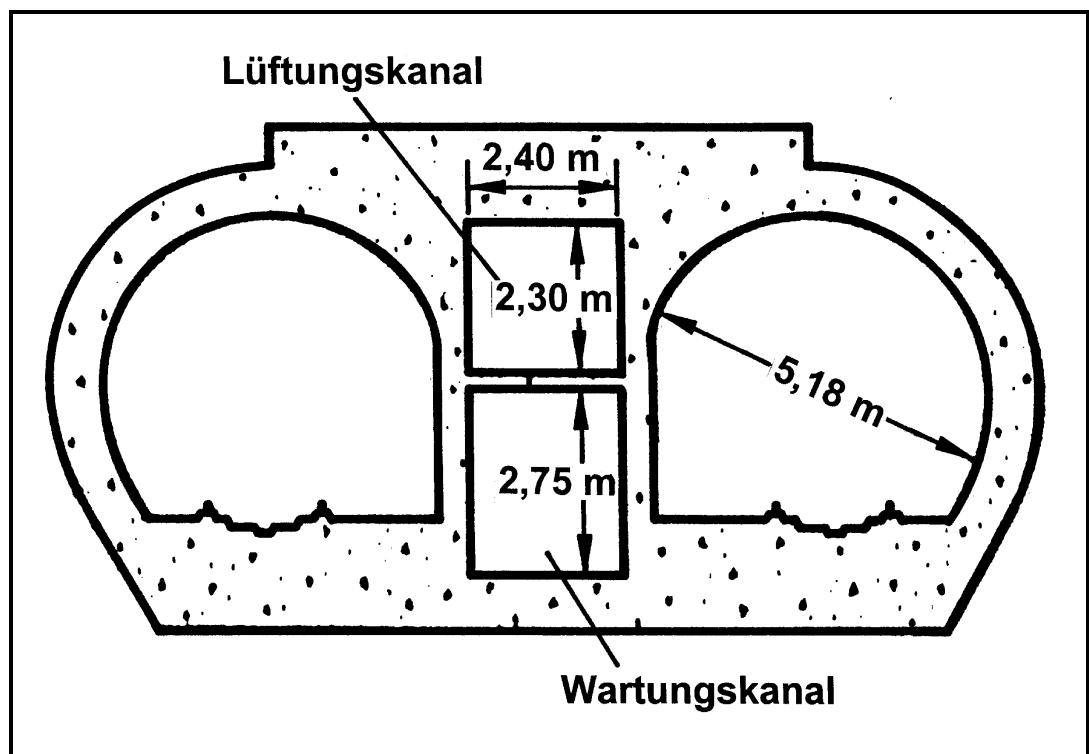


Bild 3/2: Querschnitt des Unterwassertunnels zwischen Oakland und San Francisco [14]

Die Sichtverhältnisse besserten sich erst, nachdem andere Lüftungskappen geöffnet wurden. Die Fahrgäste verbrachten bis zur Rettung etwa 40 Minuten im brennenden Zug Nr. 117. In der Nachbarröhre M2 warteten im vollbe-

setzten Zug Nr. 111 aus San Francisco die Fahrgäste ungefähr 30 Minuten, bis alle Personen gerettet waren.

Um 18.59 Uhr fuhr der Zug Nr. 111 in Richtung Oakland ab. Durch den Sog des fahrenden Zuges wurden zwei Feuerwehrmänner zu Boden gerissen und aufgrund des dichten Rauchs gestaltete sich die Suche nach den beiden Feuerwehrleuten schwierig.

Durch die Zugbewegung wurde außerdem Rauch aus der Röhre M1 (brennender Zug Nr. 117) in den Wartungskanal gesogen. Kurz darauf zogen sich die Feuerwehrleute aus Oakland aufgrund von Sauerstoffmangel vom Brandort zurück.

Die Feuerwehr aus Oakland informierte die Feuerwehr in San Francisco über den Brand und bat um Unterstützung.

Die Feuerwehr aus San Francisco stieg über den Lüftungsschacht von San Francisco in den Tunnel und forderte für die Nachbarröhre M2 einen Rettungszug zum Transport von Personen und Ausrüstung an, da der Löschangriff in der weitgehend rauchfreien Röhre M2 vorbereitet werden sollte. Etwa eine Stunde nach der Anforderung stand der Rettungszug zur Verfügung.

Bedingt durch Kommunikationspannen befand sich der Zug jedoch in der stark verrauchten und heißen Brandröhre M1 statt in der Röhre M2. Wegen fehlender Stromversorgung musste dieser Rettungszug ca. 1,6 km vor dem Brandort stehen bleiben.

Die Feuerwehrleute gingen mit ihrer Löschausrüstung zu Fuß weiter, wechselte zur Nachbarröhre M2 und bereiteten dort in Höhe des Brandortes die Löscharbeiten vor.

Wegen der großen Hitze am Brandort in Röhre M1 mussten die Feuerwehrmänner nach jeweils fünf Minuten abgelöst werden.

Gegen 22 Uhr, ungefähr vier Stunden nach Ausbruch des Feuers, hatte die Feuerwehr den Brand unter Kontrolle, um 1.30 Uhr war das Feuer gelöscht.

Ein Feuerwehrmann kam durch eine Rauchvergiftung ums Leben. Er konnte den verrauchten Bereich nicht rechtzeitig vor dem Verbrauch des Flaschensauerstoffs verlassen, da die Atemschutzgeräte der Feuerwehr Oakland diesbezüglich über kein Warnsystem verfügten. Insgesamt erlitten 56 Personen (davon 40 Feuerwehrmänner) Rauchvergiftungen.

*(3) Brandschäden [14]*

Die ersten beiden Wagen des brennenden Zuges Nr. 117 waren verrußt. Die restlichen fünf Wagen des Zuges waren vollständig ausgebrannt.

Die zehn Wagen des 50 m vor dem Brandort stehen gebliebenen Zuges Nr. 900 waren ebenfalls schwer verrußt.

Im Tunnel wurden im Bereich des Brandherdes Schäden an der Stromschiene, an Kabeln an einem Geländer und Betonabplatzungen festgestellt. Der Sachschaden betrug ungefähr 17 Mio. DM.

*(4) Besonderheiten [14]*

Die Atemschutzgeräte der Feuerwehr aus Oakland waren mit keinem Warnsystem ausgestattet, welches rechtzeitig über den Verbrauch des Sauerstoffs informierte. Aus diesem Grund kam ein Feuerwehrmann ums Leben.

*(5) Fazit*

- a) Ein gebrochener Stromabnehmer führte zur Notbremsung eines U-Bahn-Zuges im Untertunnel zwischen Oakland und San Francisco und setzte einen der Wagen in Brand.
- b) Der Löscheinsatz der Feuerwehr wurde stark verzögert, z. B. durch Kommunikationsprobleme (Feuerwehrtrupp im Bahnhof statt im Untertunnel), durch unklare Zuständigkeitsfragen (Brandort zwischen zwei Bezirken) und durch die Rauch- und Hitze-Entwicklung.
- c) Die Atemschutz-Ausrüstung der Feuerwehr war für einen Einsatz in Tunneln nicht geeignet.
- d) Die Fluchtwegtüren waren nicht auffällig genug gekennzeichnet.
- e) Die Abwicklung des Fahrbetriebes für die Rettungszüge führte zur Gefährdung weiterer Fahrgäste und der Feuerwehrmannschaften.

**3.1.6 Ereignis U6: S-Bahnhof Altona, Hamburg***(1) Brandereignis [15, 16]*

Durch Brandstiftung begann ein Sitz in der vorderen Zughälfte des 1. Klasse-Abteils eines S-Bahnwagens am 8.4.1980 zu brennen. Ungefähr fünf Minuten nach dem vermutlichen Brandzündzeitpunkt informierte ein Fahrgast

den Zugführer im Bahnhof Altona über den Brand (16.12 Uhr). Die Zugbahnfunkzentrale wurde durch den Zugführer benachrichtigt.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [15, 16]*

Es kam zu einer rasanten Brandausbreitung und einem Vollbrand des Wagens ab ca. 16.15 Uhr, die Flammen schlugen aus beiden Türen.

Die Bekämpfung mit Handfeuerlöschern war erfolglos und die Feuerwehreinsetzungszentrale wurde informiert. Die Brandtemperatur betrug 1000 °C bis 1200 °C, die Versagensgrenze der Wagen (Alu-Aufbauten) war schnell erreicht.

Die Deutsche Bundes-Bahn ließ durch 10 Bedienstete den unterirdischen Bahnhof Altona komplett räumen (Untergeschoss U1 und U2 (Bahnsteig)).

Um 16.18 Uhr wurde der Betrieb auf dem Streckenabschnitt eingestellt. Zwei Minuten später traf die Feuerwehr mit zwei Löschzügen ein und begann die Wasserversorgung zu den Bahnsteigabgängen herzustellen.

Ein Feuerwehrschartrupp, bestehend aus fünf Personen unter Atemschutz, rettete noch 9 Personen. Das erste Untergeschoss U1 war völlig verqualmt, das zweite Untergeschoss U2 war ab 1,5 m Höhe verqualmt.

Der Fahrstrom wurde um 16.28 Uhr abgeschaltet. Eine viertel Stunde später war auch das zweite Untergeschoss vollständig verqualmt. Aus allen Bahnhofsöffnungen trat Rauch aus. Drei Feuerwehrleute verirrteten sich aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse und erlitten Rauchvergiftungen.

Die schlechte Funkverbindung des Rettungspersonals zur Oberfläche erschwerte den Rettungseinsatz. Um 16.45 Uhr wurde mit den Löscharbeiten begonnen, ungefähr zwei Stunden später war der Brand gelöscht (18.50 Uhr).

(3) *Brandschäden [15, 16]*

Ein S-Bahnwagen der 1. und 2. Klasse brannte aus und Betonabplatzungen in der Stahlbetondecke im Bereich der Brandherde konnten festgestellt werden.

In allen Teilen der Haltestellenebene befanden sich Rußablagerungen. Kleinere Brandschäden wurden noch bis zur Haltestelle Reeperbahn in etwa 1800 m Entfernung festgestellt.

Der Sachschaden betrug etwa 10 Mio. DM, wobei ca. 3 Mio. DM auf die zerstörten Fahrzeuge entfielen und ca. 7 Mio. DM die baulichen Anlagen betrafen.

(4) *Fazit*

- a) Der Brand wurde durch eine vorsätzliche Brandstiftung an einem Sitz ausgelöst.
- b) Der Vollbrand trat sieben bis zehn Minuten nach der Zündung ein.
- c) Obwohl die Feuerwehr bereits nach wenigen Minuten eintraf, konnte wegen der Behinderungen durch Rauch und Hitze sowie der für die Verlegung der Löschwasserschläuche benötigten Zeit erst ca. 30 Minuten nach dem Brandbeginn mit den Löscharbeiten in der Haltestelle begonnen werden.
- d) Die Funkeinrichtungen waren unzureichend.
- e) Die Fahrstromabschaltung erfolgte relativ spät.
- f) Hohe Temperaturen führten zu erheblichen Sachschäden am Bauwerk.

### 3.1.7 **Ereignis U7: U-Bahnhof Ramersdorf, Bonn**

(1) *Brandereignis [17]*

Ein Fahrschulwagen geriet am 11.9.1981 um 7.35 Uhr im U-Bahntunnel in der Nähe von Bonn-Ramersdorf wegen eines technischen Defekts in Brand.

Fahrlehrer und Fahrschüler hielten den Zug ungefähr 40 m vor der Haltestelle Ramersdorf an. Ein vollbesetzter Zug hätte aufgrund seines größeren Gewichtes noch den U-Bahnhof Ramersdorf erreicht. Die Feuerwehr wurde über die Direktion der Stadtwerke alarmiert (7.36 Uhr).

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [17]*

Sieben Minuten nach Brandausbruch traf in der Bahnsteighalle ein Erkundungstrupp der Feuerwehr ein (7.42 Uhr). Die Sicht war aufgrund der günstigen Luftströmungsverhältnisse im Bahnhofsbereich nur gering getrübt und ein im Bahnhof stehender Schülerzug konnte problemlos evakuiert werden. Acht Minuten nach dem Brandausbruch wurde der Haltepunkt stromlos ge-

schaltet. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde der Zug über den auf dem Dach liegenden Fahrleitungsdraht laufend gezündet.

Aufgrund einer starken natürlichen Luftströmung im Tunnel wurde der sich stark entwickelnde schwarze, heiße Rauch vom U-Bahnhof Ramersdorf fort in Richtung Bonn Beuel transportiert, so dass die Feuerwehr mit Pressluftatmern und 3 C-Schläuchen vom Bahnhof aus direkt zum brennenden U-Bahnzug vordringen konnte. Es gelang, durch die vordere Wagentür zum Brandherd im hinteren Wagenteil vorzugehen. Von hier konnte mit einem der C-Schlauch der Brand direkt bekämpft werden. Durch Zufall wurde mit einem zweiten C-Schlauch eine Brandausbreitung in den Elektrobetriebsraum verhindert. Die Sichtweite lag trotz der günstigen Luftströmung und dem Einsatz von Scheinwerfern zu diesem Zeitpunkt unter 1 m.

Die C-Schläuche brauchten nur vom 80 m entfernten Tanklöschfahrzeug verlegt werden und konnten vom Bahnhof zügig mit Schlauchhaspeln vorgenommen werden.

Um 8.00 Uhr, 25 Minuten nach Brandausbruch, war der Brand im wesentlichen gelöscht. Die Tunneldecke wurde während des Brandes kurzzeitig bis auf ca. 500 °C erhitzt.

### (3) Brandschäden [17]

Neben dem ausgebrannten U-Bahn-Wagen waren durch den Brand im Tunnel Betonabplatzungen von 1 cm bis 2 cm Tiefe entstanden. Schwerwiegendere Schäden waren jedoch durch die freigewordene Salzsäure beim Verbrennen von PVC verursacht worden. Diese Salzsäure griff alle freien Metallteile z. B. in Decken- und Wandverkleidungen an.

### (4) Fazit

- a) Der Brand wurde durch einen technischen Defekt an einem Fahrschulzug ausgelöst.
- b) Die Brandbekämpfung wurde erschwert, weil der Zug im Streckentunnel angehalten wurde.
- c) Die Brandbekämpfung konnte zügig durchgeführt werden, weil die natürliche Luftströmung die Zugangswege der Feuerwehr rauchfrei hielt und nur kurze Schlauchleitungen ausgelegt werden mussten.



### 3.1.8 Ereignis U8: U-Bahnhof Königsplatz, München

#### (1) Brandereignis [18]

Bei einem U-Bahn-Triebwagen wurde in der Haltestelle "Innsbrucker Ring" am 5.9.1983 um 7.22 Uhr "Lüfteralarm" ausgelöst. Da die Ursache nicht sofort ermittelt werden konnte und bereits deutlicher Rauchgeruch wahrnehmbar war, wurde der Triebwagen gegen 7.32 Uhr aus dem Verkehr genommen und auf der Kehranlage beim dreigeschossigen U-Bahnhof "Königsplatz" abgestellt. Kurz nach 8.00 Uhr informierte das Betriebspersonal die Leitstelle über die starke Rauchentwicklung.

Um 8.09 Uhr wurde über die bestehende Direktverbindung von der U-Bahn-Leitstelle die Feuerwehreinsatzzentrale alarmiert.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [18]

Nach der eingegangenen Brandmeldung bei der Feuerwehreinsatzzentrale rückten vier Löschzüge sowie verschiedene Sonderfahrzeuge aus. Die in kürzester Zeit abgesetzten Funkmeldungen der insgesamt 26 Fahrzeuge blockierten den Funkbetrieb über zwei Minuten, so dass die Angaben zur genauen Brandstelle die Einsatzwagen nicht erreichten.

Beim Eintreffen der Einsatzkräfte um 8.13 Uhr am Bahnhof Königsplatz hasteten die letzten Passanten ins Freie und innerhalb weniger Minuten war sogar die oberhalb des U-Bahnhofes liegende Kreuzung so stark verraucht, dass die Feuerwehrmänner wegen starken Hustenreizes Filtergeräte anlegen mussten.

Während die Feuerwehr die Brandmeldung als Vollbrand eines U-Bahnwagens aufgefasst hatte, war man bei der Leitstelle nur von einer leichten Rauchentwicklung im Wagen ausgegangen. Dieses Missverständnis führte dazu, dass von Seiten der Leitstelle der Fahrstrom nicht abgeschaltet wurde, die Feuerwehr jedoch davon ausging, dass der Fahrstrom abgeschaltet sei.

Deshalb wurden die ersten beiden eingesetzten Feuerwehrtrupps beim Entlangtasten an der Bahnsteigkante von einem einfahrenden U-Bahnzug überrascht. Zum Glück befand sich noch niemand auf dem Gleiskörper.

Insgesamt drangen sechs Angriffstrupps mit C-Schläuchen in den Bahnhofsbereich ein. Die Verlegung der Schläuche von der Oberfläche in den U-Bahnhof gestaltete sich schwierig, da die Kupplungen z. B. an Brüstungs-

ecken hängen blieben. Beim weiteren Vordringen vom Bahnsteig aus konnte die Arbeit erleichtert werden, indem der Schlauch des günstig gelegenen südlichen Wandhydranten mit den Schläuchen einer tragbaren Haspel in den Kehrgleisbereich hinein verlängert wurde.

Ein Trupp erreichte sehr rasch einen engen Treppenabgang zum Abstellgleis, kam jedoch wegen der starken Wärmeentwicklung nicht weiter. Parallel dazu gingen zwei Trupps vom Hauptbahnhof über den völlig verrauchten Tunnel zur Kehranlage.

Wegen der schlechten Sicht gerieten diese Trupps jedoch erst in eine falsche Tunnelröhre. Gegen 8.30 Uhr wurde eine leichte Verqualmung des nördlich befindlichen Bahnhofs "Theresienstraße" gemeldet.

Aufgrund der großen Hitze im Bahnhofbereich Königsplatz hatte die Feuerwehr den Eindruck gewonnen, dass sie sich in unmittelbarer Nähe des Brandherdes befand. Tatsächlich konnte die Feuerwehr erst ungefähr eine halbe Stunde später den Brandherd auffinden (8.45 Uhr).

Mit zwei C-Schläuchen wurde der Löschangriff vorgenommen, so dass um 9.17 Uhr das Feuer unter Kontrolle und weitere fünfzig Minuten später gelöscht war (10.07 Uhr).

Insgesamt waren 105 Berufsfeuerwehrmänner mit 101 Pressluftatmern, 6 Langzeit-Atemgeräten und 43 Filtergeräten im Einsatz. Verletzt wurden 4 Feuerwehrmänner infolge leichter Rauchvergiftungen und Prellungen.

Die Nachrichtenverbindungen zwischen Einsatztrupps am brennenden Zug und denen an der Geländeoberfläche war unzureichend, da Funkrückmeldungen nur bis zum Bahnhofszwischengeschoss und nicht bis zur Oberfläche reichten.

### (3) *Brandschäden [18]*

Durch den Brand brannte ein Doppeltriebwagen vollständig aus und ein weiterer Wagen wurde beschädigt. Außerdem wurden Schäden am Bahnhofsgelände festgestellt. Der entstandene Sachschaden belief sich auf ungefähr 4 Mio. DM.

### (4) *Fazit*

- a) Durch einen technischen Defekt geriet ein in einer unterirdischen Kehranlage abgestellter U-Bahn-Zug in Brand.

- b) Durch eine falsche Einschätzung des Brandgeschehens durch die U-Bahn-Leitstelle wurde der Fahrbetrieb erst sehr spät eingestellt.
- c) Die Fahrstromabschaltung war zwischen der U-Bahn-Leitstelle und der Feuerwehr unzureichend koordiniert.
- d) Die Funkeinrichtungen waren unzureichend.
- e) Rauch und Hitze verzögerten die Brandbekämpfung und führten zu Sachschäden in Höhe von ca. 4 Mio. DM.

### 3.1.9 Ereignis U9: U-Bahnhof Oxford Circus, London, Großbritannien

#### (1) Brandereignis [19]

In der Untergrundstation Oxford Circus entstand am 23.11.1984 gegen 21.50 Uhr durch eine achtlos weggeworfene brennende Zigarettenkippe am südlichen Bahnsteig der Victoria Line ein Brand im Lagerbereich. Durch den Zigarettenrest entzündete sich leicht entflammbares Material wie Farbe und Aceton. Das Feuer ging bald auch auf die brennbaren Teile der Tunnelauskleidung über.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [19]

Gegen 22.00 Uhr wurde die Feuerwehr benachrichtigt und angeordnet, dass die U-Bahn-Züge der Victoria Line nicht mehr in der Station Oxford Circus halten sollten. Die Feuerwehr traf um 22.06 Uhr ein und begann mit ca. 30 Löscheinrichtungen und 125 Feuerwehrmännern den Löschangriff. Viele Züge der Bakerloo-, Victoria- und Central Line blieben im Tunnel liegen und ca. 720 Fahrgäste brachten sich über die Tunnel in Sicherheit. Um 1.43 Uhr war der Brand unter Kontrolle. Vierzehn Personen, davon 9 Angestellte der Verkehrsbetriebe, wurden mit Rauchvergiftungen ins Krankenhaus eingeliefert.

#### (3) Brandschäden [19]

Durch das Feuer entstanden schwere Asbestschäden an der Bahnhofsaußenkleidung. Der Sachschaden an der beschädigten Untergrundstation und der Tunnelauskleidung belief sich auf etwa 8 Mio. DM. Der Bahnsteig der Victoria Line musste wegen der aufwendigen Sanierungsarbeiten bis zum 17.12.1984 geschlossen werden.

*(4) Besonderheiten [19]*

In der Londoner U-Bahn traten im Zeitraum von 1976 bis 1987 insgesamt neun Brände auf. Die meisten Brände entstanden durch achtlos weggeworfene Zigarettenreste und Streichhölzer.

Einer der schwersten Brände ereignete sich im November 1987 am King's Cross (siehe Kapitel 3.1.12).

*(5) Fazit*

- a) Durch Fahrlässigkeit (weggeworfene Zigarettenkippe) gerieten in der U-Bahnstation gelagerte Materialien in Brand.
- b) Die sich in der Haltestelle aufhaltenden Fahrgäste konnten evakuiert werden, ohne dass jemand schwer verletzt wurde.

**3.1.10 Ereignis U10: U-Bahnhof Central Station, New York, USA***(1) Brandereignis [20, 21]*

Am frühen Morgen des 27.8.1985, um 5.18 Uhr deutete aufsteigender Rauch aus den Entlüftungsschächten in Bürgersteigen in der Nähe des U-Bahnhofes Central Station auf einen unterirdischen Brand hin. Die Feuerwehr wurde verständigt. Nach dem ersten Feueralarm werden zwei Leiterfahrzeuge und zwei Einsatzwagen zur Central Station gesandt.

Dort wurden im dritten Untergeschoss im Tunnel auf Gleis 117 ungefähr 30 m westlich des Bahnhofs mehrere brennende Wagen entdeckt. Der Brandherd im dritten Untergeschoss befand sich ungefähr 25 m unter der Geländeoberkante.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [20, 21]*

Nachdem das Ausmaß des Brandes festgestellt worden war, wurde ein zweiter Feueralarm ausgelöst. Als die Feuerwehrtruppe an Gleis 117 ankamen, standen 18 Wagen in Flammen. Es konnte jedoch erst mit den Löscharbeiten begonnen werden, nachdem der Fahrstrom von Gleis 117 und den beiden angrenzenden Gleisen abgeschaltet wurde.

Da sich das Abschalten des Fahrstroms verzögerte, ging wertvolle Löschzeit verloren, in der sich der Brand stark ausbreiten konnte und es zu starker Rauchentwicklung im gesamten Bahnhofsgebäude kam.

Aufgrund der starken Rauchentwicklung wurde beschlossen, den Fahrstrom auf allen Gleisen abzuschalten, damit keine vollbesetzten U-Bahnzüge in den Bahnhof einfahren konnten. Alle Notausgänge in der Umgebung sollten geöffnet werden, um eine vertikale Luftströmung zum besseren Rauchabzug zu erreichen. Nach Unterbrechung des Fahrstroms von Gleis 117 konnte mit den Löscharbeiten begonnen werden.

Die Feuerwehrmänner näherten sich mit Pressluftatmern (1 Stunde Sauerstoffversorgung) und voller Schutzkleidung sowohl von Süden als auch von Norden dem Brandherd. Die von Süden ausrückenden Feuerwehrtrupps waren mit 2 ½ inch Schläuchen ausgerüstet.

Die Schläuche wurden von den Standleitungen im Bahnhof bis zum Brandherd verlegt. Von Norden näherten sich die Feuerwehrleute über das Treppenhaus eines Notausstieges dem Brandherd. Da sich im Notausstiegtreppenhaus keine Standleitungen befanden, mussten die Schläuche zu Hydranten an der Straßenoberfläche verlegt werden. Insbesondere der Löschangriff von Norden war sehr erfolgreich, so dass das Feuer um 9.02 Uhr unter Kontrolle war.

Die Belüftung der Brandstelle war während des Löscheinsatzes ein großes Problem, da aufgrund des eingestellten U-Bahn-Verkehrs keine Zugbewegungen vorhanden waren, die in der Regel für eine ausreichende Belüftung der Central Station sorgten.

Zur Brandbekämpfung waren insgesamt 37 Einsatztrupps mit 15 Leitereinheiten und mit 4 Rettungseinheiten im Einsatz. Fünfzehn Personen erlitten Rauchvergiftungen.

(3) *Brandschäden [20, 21, 114]*

18 Wagen brannten vollständig aus. Im Bahnhof wurden Oberflächenschäden an der Tunnelauskleidung und Rußablagerungen festgestellt. Der Sachschaden betrug mehr als 5 Millionen DM.

(4) *Fazit*

- a) Vermutlich durch Brandstiftung fing ein abgestellter U-Bahnwagen Feuer.
- b) Die Brandbekämpfung wurde stark verzögert, weil der Fahrstrom zunächst nicht abgestellt wurde.

- c) Die zeitliche Verzögerung bei den Löscharbeiten führte zu einer Ausweitung des Brandes und zur Verrauchung des U-Bahnhofes.
- d) Im Tunnel fehlten Hydranten.

### 3.1.11 Ereignis U11: Verbindungsgleis U2 / U5, Ost-Berlin

#### (1) Brandereignis [30, 142]

Am 07.05.1986, gegen 11.49 Uhr erhielt die Leitstelle der Feuerwehr Berlin Ost die Meldung, dass der 7. Wagen von insgesamt 9 Wagen eines U-Bahn-Zuges auf dem Verbindungsgleis der U-Bahnlinien U2 und U5 in der Nähe des Alexanderplatzes durch Kriechströme in Brand geraten war. Der U-Bahn-Verkehr wurde nach der Brandmeldung im Großraum des Brandes eingestellt.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [30, 142]

Die Feuerwehr rückte mit drei Lösch- und zwei Tanklöschfahrzeugen sowie diversen Rettungsfahrzeugen aus, die den Einsatzort zwischen 11.54 Uhr und 11.58 Uhr erreichten. Die Einsatzstelle wurde in zwei Löschangriffsabschnitte aufgeteilt. Der nördliche Abschnitt verlief vom Notausstieg E 13 ungefähr bis zur Mitte des Verbindungstunnels. Der südliche Abschnitt verlief vom U-Bahnhof Klosterstraße ebenfalls bis zur Mitte des Verbindungstunnels.

Zuerst konzentrierte sich die Feuerwehr auf die Evakuierung der Fahrgäste und des Zugpersonals eines gerade in den stark verqualmten U-Bahnhof Klosterstraße eingefahrenen U-Bahn-Zuges. Gleichzeitig wurden vier weitere Lösch- und Tankzüge an den nördlichen Abschnitt zum Notausstieg E 13 angefordert. Nach Abschluss der Evakuierung näherten sich mehrere Feuerwehrtrupps vom nördlichen und südlichen Ende des Verbindungstunnels dem Brandherd. Die Rauchentwicklung aus den Notausstiegen der U-Bahn nahm sehr stark zu, so dass ein in der Nähe befindlicher Straßentunnel gesperrt werden musste. Die enorme Hitze, dichter Rauch und absolute Dunkelheit im Tunnel behinderten die Trupps zur Lageerkundung und Brandbekämpfung erheblich.

Jedem Trupp, der aus je fünf Feuerwehrmännern bestand, gelang es aufgrund der schwierigen Situation nur ein 20 m langes Schlauchstück von

Norden bzw. Süden in Richtung Brandherd zu verlegen. Danach erfolgte die Ablösung des Trupps durch einen neuen Trupp. Die verlegten Schläuche waren ein gutes Orientierungsmittel für das Vorgehen der nächsten Trupps. Gegen 14.00 Uhr, ungefähr zwei Stunden nach der Brandmeldung, war der Brandherd mit den fast völlig heruntergebrannten Wagenkästen des U-Bahn-Zuges erreicht. Von der Tunneldecke hatten sich mittlerweile Betonbrocken gelöst. Von beiden Enden des Tunnels begann die Feuerwehr mit C-Schläuchen den Löschangriff und hatte das Feuer gegen 14.15 Uhr unter Kontrolle.

Infolge der noch hohen Temperaturen im Tunnel entzündeten sich wiederholt Reste der Wagenausstattung und der hölzernen Wagenböden, was noch zu längeren Löschaufenthalten der Trupps im Tunnel führte.

Etwa um 22.00 Uhr waren Hitze und Rauch so weit abgeklungen, dass der Tunnel ohne Atemschutz und Schutzbekleidung begehbar war.

Insgesamt wurden bei dem Feuerwehreinsatz 600 m<sup>3</sup> Atemluft verbraucht. Fünf Feuerwehrmänner erlitten leichte Verletzungen (Prellungen, Risswunden).

(3) *Brandschäden [30, 142]*

Die neun Wagen des U-Bahn-Zuges brannten vollständig aus. Ferner wurden Betonabplatzungen an der Tunnelinnenschale im Bereich des Brandherdes festgestellt.

(4) *Fazit*

- a) Die Löscharbeiten der Feuerwehr wurden durch sehr starke Rauch- und Hitzeentwicklung behindert.
- b) Nur durch den Einsatz einer großen Anzahl von Feuerwehrtrupps (sieben Kommandos, zwei Ausbildungskommandos) und unter Verwendung von insgesamt 600 m<sup>3</sup> Atemluft konnte zum Brandherd vorgegriffen werden.

### 3.1.12 Ereignis U12: U-Bahnhof King's Cross, London, Großbritannien

(1) *Brandereignis [22]*

Am 18.11.1987, ca. um 19.25 Uhr entzündete sich Fett und Schmutz unter-

halb der Rolltreppe Nr. 4 (Piccadilly Line) in der Londoner Untergrundstation King's Cross durch ein auf dieser Rolltreppe weggeworfenes brennendes Streichholz. Der Brand wurde von einem Passanten entdeckt und einem U-Bahn-Mitarbeiter im Fahrkartenverkauf gemeldet (19.30 Uhr). Zeitgleich wurde von einem anderen Passanten der Notausknopf der Rolltreppe betätigt. Durch Zufall kamen zwei Polizisten vorbei, die auf den Brand aufmerksam wurden. Sie wollten per Funk die Feuerwehr informieren, stellten jedoch fest, dass der Funkkontakt nicht bis zur Oberfläche reichte. Deshalb musste ein Polizist zur Geländeoberfläche gehen, um die Feuerwehr zu verständigen (19.32 Uhr).

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [22]*

Der stellvertretende Stationsvorsteher traf gegen 19.35 Uhr an der Rolltreppe 4 ein und entdeckte in dem zugehörigen oberen Maschinenraum keine Anzeichen für einen Brand. Bahnmitarbeiter sahen eine Minute später Rauch aus der Rolltreppe Nr. 4 treten und schalteten alle Rolltreppen der Piccadilly Line ab.

Die Fahrgäste wurden gebeten, von der Piccadilly Line über die Victoria Line den U-Bahnbereich zu verlassen.

Um 19.38 Uhr konnte im oberen Maschinenraum von Rolltreppe Nr. 5 ein Brand entdeckt werden, der jedoch wegen der Hitze nicht mit einem Handfeuerlöscher gelöscht werden konnte. Die Feuerwehr erreichte den Brandort um 19.42 Uhr und versuchte mit den Löscharbeiten zu beginnen. Zeitgleich wurde das Personal der Fahrkartenschalter evakuiert. Die Viktoria und die Piccadilly Line ließen noch bis 19.44 Uhr am King's Cross Passagiere auf die Bahnsteige und in den Bahnhof aussteigen.

Erst dann erhielten sie die Anordnung, am King's Cross wegen des Brandes nicht mehr zu halten. Der Brand breitete sich nun schlagartig über die Decke der Fahrkartenhalle aus. Um 19.45 Uhr kam es zum Vollbrand. Die Feuerwehr musste sich aufgrund der starken Hitze und Rauchentwicklung schnell zurückziehen.

Etwa 200 Personen wurden zwischen 19.46 Uhr und 19.55 Uhr vom Bahnsteig der Viktoria Line von anhaltenden U-Bahnzügen mitgenommen und gerettet. Um 20:03 Uhr wurde der Löscheinsatz mit Verstärkung intensiv weitergeführt. Fünfzig Minuten später war das Feuer unter Kontrolle und um



1.46 Uhr gelöscht. 31 Personen kamen in den Flammen ums Leben, ungefähr 100 Personen wurden verletzt.

(3) *Brandschäden [22]*

Es entstand ein hoher Sachschaden am Bahnhofsgebäude King´s Cross, U-Bahnwagen wurden keine beschädigt.

(4) *Besonderheiten [22]*

In der Londoner U-Bahn traten im Zeitraum von 1976 bis 1987 insgesamt neun Brände auf. Die meisten Brände entstanden durch achtlos weggeworfene Zigarettenreste und Streichhölzer.

(5) *Fazit*

- a) Durch Fahrlässigkeit (weggeworfene Zigarettenkippe) geriet eine Rolltreppe in Brand.
- b) Die Gefährlichkeit des entstehenden Brandes wurde unterschätzt (Polizei, Bahnmitarbeiter). Die Evakuierung des Bahnhofs wurde erst spät angeordnet. 31 Personen konnten sich nicht mehr retten und starben.
- c) Die Funkeinrichtungen im Bahnhofsbereich waren unzureichend.
- d) Rauch und Hitze behinderten die Rettungs- und Löschmaßnahmen.

### 3.1.13 Ereignis U13: Hirschgrabentunnel, Zürich, Schweiz

(1) *Brandereignis [23, 24]*

Der Hirschgrabentunnel verbindet die beiden Bahnhöfe Stadelhofen und Hauptbahnhof. Am 16.4.1991 um 20.30 Uhr wurde der Zürcher S-Bahn-Betriebszentrale mitgeteilt, dass im vorletzten Wagen des in Richtung Stadelhofen fahrenden Zuges der S9 ein Feuer ausgebrochen sei. Das Feuer war möglicherweise auf Brandstiftung zurückzuführen.

Der Zug kam in dem ca. 1.400 m langen Hirschgrabentunnels ungefähr in Höhe des Hirschgrabenschachtes zum Stehen, da durch einen Fahrgast die Notbremse gezogen wurde. Ein entgegenkommender Zug der S5 konnte nicht rechtzeitig an der Tunneleinfahrt gehindert werden und musste im Hirschgraben-Tunnel gestoppt werden. Fünf Minuten nach der Brandentdeckung traten Flammen aus dem brennenden Wagen und erreichten die Tunneldecke.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [23, 24]*

Die 50 Insassen des brennenden S-Bahn-Zuges der S9 wurden aufgefordert, den Zug zu verlassen und zum ca. 700 m entfernten Tunnelportal am Bahnhof Stadelhofen zu gehen (20.35 Uhr). Beim Aussteigen musste ungefähr ein Höhenunterschied von 1 m überwunden werden. Die Handläufe im Tunnel wurden von den wenigsten Personen gefunden. Die meisten orientierten sich am Vordermann oder an der Tunnelwand.

Der im Tunnel vorübergehend gestoppte Zug der S5 setzte seine Fahrt wieder fort und hielt dann wieder an, um Fahrgäste des brennenden Zuges der S9 aufzunehmen.

Um 20.40 Uhr wurde der Fahrleitungsstrom ausgeschaltet und der Zug der S5 konnte seine Fahrt nicht wiederaufnehmen. Die Fahrgäste im Zug der S5 mussten nun auch zu Fuß den Tunnel verlassen. Fünfzehn Minuten nach der Brandentdeckung war der Rauch im Tunnel so dicht, dass die Tunnelbeleuchtung den Fluchtweg nicht mehr ausreichend beleuchten konnte.

Rauch trat an den Tunnelportalen aus. Zwanzig Minuten nach der Notbremsung des brennenden Zuges erreichte der letzte Fahrgast den Tunnelausgang am Bahnhof Stadelhofen (20.50 Uhr). Um 21.10 Uhr traf der Lösch- und Rettungszug "Zürich" (Diesellok) der Verkehrsbetriebe im Hauptbahnhof ein. Um 21.18 Uhr wurde mit den Löscharbeiten der brennenden zwei S-Bahnwagen und des Triebwagens begonnen. Der Brand schien gegen 22.30 Uhr gelöscht zu sein. Wegen blockierter Bremsen konnte der Zug nicht in den Hauptbahnhof abgeschleppt werden und das Feuer breitete sich plötzlich wieder aus.

Die Tunnellüftung im Hirschgrabenschacht wurde nach 2 Stunden von voller auf gedrosselte Leistung geschaltet. Blitzschnell war hierdurch der Tunnel wieder rauchgefüllt. Der um 23.12. Uhr im Bahnhof Stadelhofen eingetroffene Löschzug "Rapperswil" (Diesellok) wurde zur Unterstützung des Löschzuges "Zürich" zum Brandherd gerufen.

Der Brand wurde nun von der Hauptbahnhofseite und der Stadelheimer Seite aus gelöscht. Gegen Mitternacht wurde der Zug der S9 zum Hauptbahnhof geschleppt. Dort wurde das Feuer endgültig gelöscht. 58 Personen erlitten Rauchvergiftungen.

(3) *Brandschäden [23, 24]*

Zwei S-Bahnzüge und ein Triebwagen brannten aus. Weitere Schäden sind nicht bekannt. Der Sachschaden betrug etwa 10 Mio. DM.

(4) *Fazit*

- a) Wahrscheinlich durch Brandstiftung geriet ein S-Bahnwagen in Brand.
- b) Der Zug war nicht mit einer Notbremsüberbrückung ausgestattet. Die von einem Fahrgast ausgelöste Notbremsung führte daher zu einem Zwangshalt im Streckentunnel. Eine Weiterfahrt zur nächsten Haltestelle war nicht mehr möglich.
- c) Die Evakuierung der Fahrgäste mit Zügen und die Fahrstromabschaltung sind nicht miteinander koordiniert worden.
- d) Der Lösch- und Rettungszug des Verkehrsbetriebes konnte erst ca. 40 Minuten nach dem Brandausbruch mit den Löscharbeiten beginnen.
- e) Die Selbstrettung der Fahrgäste wurde durch die Verrauchung des Tunnels und fehlende Fluchtstollen verzögert. Die Fahrgäste mussten zu Fuß ca. 700 m bis zum Tunnelportal zurücklegen.

### 3.1.14 Ereignis U14: U-Bahnhof Karlsplatz, Wien, Österreich

(1) *Brandereignis [25]*

Bei einem in der Wendeanlage der Station Karlsplatz abgestellten U-Bahnzug der U2 (zwei Doppeltriebwagen) wurde am 2.12.1991 um 6.24 Uhr ein Kabelbrand unterhalb des Triebwagens mittig zwischen den Drehgestellen festgestellt. Der Brand befand sich in jenem Triebwagen, der unmittelbar vor dem Prellbock der Wendeanlage stand. Die Feuerwehr wurde sofort alarmiert und der Fahrleitungsstrom in der Wendeanlage abgeschaltet.

Ein durch den Abgang "Künstlerhaus" eintreffender Feuerwehrrkundungstrupp sichtete unterhalb des Triebwagens auf einer Länge von ca. 8 m etwa 10 cm hohe Flammen. Die Sicht in dem ca. 180 m langen Tunnelstutzen der Wendeanlage war zu diesem Zeitpunkt gut.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [25]*

Die Löschversuche der Feuerwehr mit einer mitgetragenen Kübelspritze und eines Pulverlöschers schlugen fehl. Deshalb wurden zwei C-Schläuche über den Abgang Künstlerhaus zur Brandstelle verlegt.

Jedoch auch mit den beiden C-Schläuchen konnte der Brand nicht gelöscht werden, da zwischen Gleisbett und der seitlichen Wagenverkleidung nur ein ca. 15 cm großer Zwischenraum war und die Löschschräuche deshalb nicht im richtigen Winkel angesetzt werden konnten, um die Flammen zu treffen.

Daraufhin wurde eine Möglichkeit gesucht, den Brand z. B. durch den Fußboden der U-Bahn zu löschen. Im Fußboden der U-Bahn befand sich jedoch keine Wartungsklappe o. ä, durch die man an den Brandherd hätte gelangen können. Wegen der großen Brandhitze schlug auch der Versuch fehl, den Boden des Triebwagens mit einer Trennsäge aufzusägen.

Das Feuer konnte sich somit ungehindert ausbreiten und die Brandintensität und Rauchentwicklung nahm nun auch im Bahnhof Karlsplatz sehr schnell zu, so dass auch innerhalb des Bahnhofsbereichs das Tragen von Atemschutzgeräten erforderlich wurde. Der U-Bahn Betrieb der U2 wurde daraufhin eingestellt.

Ungefähr 35 Minuten nach Entdeckung des Kleinbrandes hatte sich dieser zu einem Totalbrand entwickelt. Die Löschrupps mussten sich wegen der starken Brandhitze zurückziehen. Aufgrund eines abgebrannten Funkkabels bestand kein Kontakt zwischen Einsatzleiter und Einsatzkräften. Die Station Karlsplatz war mittlerweile so stark verraucht, dass dort keine Züge mehr anhalten durften. Der brennende Zug konnte auch nicht mit Hilfe einer Diesellok zum Löschen ins Freie geschafft werden, da ein Ankuppeln der Diesellok an den brennenden Zug aufgrund der Rauchverhältnisse und der Brandhitze sowie der blockierenden Druckluftbremsen bei fehlendem Fahrstrom unmöglich war. Um 9.21 Uhr, ungefähr drei Stunden nach Ausbruch des Feuers, wurde der Brand gelöscht.

(3) *Brandschäden [25]*

Das Feuer konnte auf den brennenden Triebwagen beschränkt werden.

Brandschäden am Tunnel wurden nicht festgestellt. Der Sachschaden be-

trug ca. 4,5 Mio. DM. Die Wendeanlage Karlsplatz blieb 8 Tage, bis zum 10.12.1991 gesperrt.

(4) *Fazit*

- a) Durch einen technischen Defekt entstand im Unterflurbereich eines unterirdisch abgestellten U-Bahnwagens ein Brand. Aufgrund der sehr dicht über dem Gleisbett liegenden Seitenverkleidung der Wiener U-Bahn-Wagen war es der Feuerwehr nicht möglich, mit den zur Verfügung stehenden Löschmitteln (kein Schaum) den Kleinbrand im Unterflurbereich zu löschen. Deshalb kam es zum Vollbrand des Triebwagens.
- b) Die Löscharbeiten wurden durch falsches Gerät (keine abgewinkelte Spritzdüse) sowie durch Hitze und Rauch behindert.
- c) Die Funkeinrichtungen (u. a. Antennenkabel) waren nicht ausreichend gegen ein Versagen im Brandfall gesichert.

### 3.1.15 **Ereignis U15: Metro-Station Uldus, Baku, Aserbaidshon**

(1) *Brandereignis [26, 27, 28]*

Am 28.10.1995 entstand um 17.55 Uhr durch einen Kurzschluss in den elektrischen Leitungen im vierten Wagen ein Brand in einem mit über 1000 Fahrgästen besetzten Metrozug.

Der in Richtung Narimanov fahrende Zug kam ca. 200 m hinter der Station Uldus zum stehen, da durch einen Defekt in der Druckluftbremse die Bremse ausgelöst wurde. Der Zugführer verließ den Zug und benachrichtigte mit dem Tunneltelefon die Leitzentrale über den Brand und bat sie, den Fahrstrom abzuschalten. Der Brand breitete sich sehr schnell im vierten Wagen aus und griff auf den fünften Wagen über. Es kam zu einer starken Rauchentwicklung im Tunnel.

Die ersten drei Wagen waren zu diesem Zeitpunkt noch rauchfrei, wurden im Verlauf des Brandes jedoch auch verraucht.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [26, 27, 28]*

Die Fahrgäste des vierten Wagens versuchten den Wagen zu verlassen, es gelang ihnen jedoch nicht, die Türen per Hand zu öffnen. Als Fluchtweg wurden Fenster zerstört.

Im dritten Wagen gelang es den Fahrgästen, die Türen per Hand zu öffnen. Durch das Zugpersonal wurden die Türen im ersten und fünften (letzten) Wagen sowie die Verbindungstüren zwischen den Wagen geöffnet. Der im Wagen Nr. 4 beim Kurzschluss entstandene Lichtbogen vergrößerte sich und zusammen mit der aus der defekten Druckleitung ausströmenden Luft kam es zu einem Lanzeneffekt, durch den sich das Feuer schlagartig im Wagen ausbreitete und ein Loch in den Fußboden brannte.

Das Feuer trat unter den Sitzen hervor und breitete sich nun außen an beiden Seiten des Zuges aus. Hierdurch wurde der nur ca. 200 m lange Rettungsweg zur Uldus-Station für die Insassen der vorderen Wagen versperrt.

Die Fahrgäste mussten sich zur ca. 2.000 m entfernten Narimanov-Station retten und die Insassen der Wagen Nr. 4 und Nr. 5 wechselten durch die Verbindungstüren in die vorderen Wagen. Gegen 18.10 Uhr brach Panik aus, durch die viele Personen niedergetrampelt wurden.

Plötzlich wurde von der Leitzentrale die Tunnellüftung in umgekehrte Richtung eingestellt, so dass der Rettungsweg zur Narimanov-Station schnell mit dickem Rauch gefüllt war.

Die Leitzentrale wollte durch die Umkehr der Lüftungsrichtung die Sauerstoffzufuhr zum Feuer verringern und so die Brandausbreitung eindämmen.

Die Feuerwehr traf ungefähr gegen 18.15 Uhr an der Station Uldus ein. Aufgrund fehlender Atemschutzgeräte konnte sie jedoch keinen wirkungsvollen Lösch- oder Rettungsangriff vornehmen, sondern nur den 70 Fahrgästen behilflich sein, die sich vor der starken Brandausbreitung in Wagen Nr. 4 noch zur Station Uldus gerettet hatten.

Die Fahrgäste, die sich zur Station Narimanov retten konnten, erhielten keine Hilfe seitens der Feuerwehr.

Auf dem 2.000 m langen Fluchtweg zur Station Narimanov starben 40 Personen infolge der Raucheinwirkungen und elektrischer Hochspannung, da die Fahrspannung erst 40 Minuten nach der Brandmeldung von der Leit-

stelle abgeschaltet wurde. In den Wagen Nr. 4 und Nr. 5 verbrannten 25 Personen. Infolge des Panikausbruchs und der starken Rauchentwicklung verloren in den ersten drei Wagen 220 Personen das Leben. Insgesamt wurden 285 Personen getötet und 256 verletzt, davon 62 Personen schwer.

(3) *Brandschäden [26, 27, 28]*

Vierter und der fünfter Wagen waren nach dem Brand vollständig ausgebrannt. Die anderen drei Wagen erhielten Rauchschäden, konnten aber wieder in Stand gesetzt werden.

Der Metro-Tunnel selbst hatte keinen Schaden genommen, allerdings wiesen die im Tunnel verlegten Kabel im Bereich der Standorte von Wagen Nr. 4 und Nr. 5 Schäden auf. Der Metro-Betrieb konnte nach 24 Stunden wieder aufgenommen werden.

(4) *Besonderheiten*

Der Metro-Brand von Baku war bis jetzt das schwerste U-Bahnunglück der Welt.

(5) *Fazit*

- a) Durch einen Kurzschluss geriet ein U-Bahnwagen in Brand. Die Druckluftbremse löste aus und brachte den Zug im Streckentunnel zum Stehen.
- b) Eine Panik der Fahrgäste konnte nicht verhindert werden.
- c) Die Ausrüstung der Feuerwehr war für Rettungs- und Löschmaßnahmen im Tunnel unzureichend (keine Atemschutzgeräte).
- d) Die Leitstelle reagierte unzulänglich auf die Brandsituation (Abschalten des Fahrstromes erst ca. 40 Minuten nach dem Brandausbruch, falscher Betrieb der vorhandenen Lüftungsanlage mit Verrauchung des einzigen Fluchtweges).
- e) Die Fluchtwege waren zu lang (bis ca. 2000 m). Insgesamt wurden 285 Personen getötet und 256 Personen verletzt.

### 3.1.16 Ereignis U16: U-Bahnhof "Auswärtiges Amt", Bonn

#### (1) Brandereignis [29]

Am 3.8.1996 bemerkte der Fahrer eines Stadtbahnzuges beim Durchfahren der Haltestelle "Auswärtiges Amt" eine Rauchentwicklung unter dem Bahnsteig. Die Betriebsleitstelle verständigte die Berufsfeuerwehr Bonn. Kurz danach ging auch über die automatische U-Bahn-Feuermeldeanlage eine Brandmeldung bei der Berufsfeuerwehr ein.

Beim Eintreffen der Berufsfeuerwehr war die Haltestelle bereits stark verrauchert. Der U-Bahn-Betrieb wurde umgehend eingestellt.

Der Brand ging von einem Kabelkanal aus. Durch den Brand wurden im erheblichen Umfang nachrichtentechnische Kabel zerstört .

Nachfolgende Untersuchungen zeigten, dass der Brand der Kunststoffkabel und -leitungen durch ein Feuer in einer Anhäufung von Zeitungen und Laubblättern ausgelöst wurde.

Diese Materialien gelangten durch Luftturbulenzen bei Druck-/Sogwirkungen der U-Bahn-Züge in die offenen Schlitze der Kabelkanalabdeckungen. Es wird vermutet, dass dieser Unrat durch z. B. eine weggeworfene Zigarettenspitze in Brand gesetzt wurde.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [29]

Der Brand im Kabelkanal konnte in kurzer Zeit gelöscht werden. Durch den Brand wurden keine Menschen gefährdet.

Es mussten zwei Stadtbahnzüge in angrenzenden Tunnelabschnitten gestoppt werden. Die Fahrgäste dieser Züge konnten aussteigen und sicher an die Oberfläche gebracht werden.

#### (3) Brandschäden [29]

Im Brandausgangsbereich kreuzte sich ein unter dem Gleiskörper befindlicher Kabelkanal mit einem neben dem Gleiskörper befindlichen Kabelkanal. In beiden Kabelkanälen lagen Steuer-, Signal-, Fernmelde-, und Kommunikationsleitungen.

Die Kabelgräben im Gleiskörperbereich waren mit Holzbohlen und die Kabelgräben neben den Gleiskörpern unterhalb des Bahnsteiges durch Gas-



Betonplatten abgedeckt. Zwischen den Holzbohlen und den Gas-Betonplatten war eine Schlitzöffnung mit einer Breite von ca. 10 mm - 35 mm vorhanden.

Im Kreuzungsbereich der beiden Kabelgräben waren die Kunststoffumhüllungen der Kabel und Leitungen teilweise bis auf die Kupferleitungen abgebrannt. Im Kabelgraben unter dem Gleiskörper waren die Kunststoffumhüllungen nur oberflächlich beschädigt.

Durch den Brand sind ausgefallen:

- Zugsicherungsanlage im Stadtbahntunnel
- Fernsteuerung für vier Stellwerke
- Funkverbindungen in einem Tunnelabschnitt
- Nachrichtentechnische Anlagen auf den Bahnsteigen mehrerer unterirdischer Haltestellen (Stadtgebiet Bonn: vier Haltestellen, Stadtgebiet Bad Godesberg: alle unterirdischen Haltestellen)

Die Behebung der Brandschäden verursachte Kosten in Höhe von ca. 780 TDM. Die Haltestelle "Auswärtiges Amt" blieb für zwei Wochen für den Fahrgastbetrieb geschlossen. Für die Behebung der Kabelschäden wurde ein Zeitraum von ca. 6 Wochen benötigt.

In dieser Zeit mussten die Schaltungen in den vier vom Brand betroffenen Stellwerken manuell von Personal vor Ort vorgenommen werden. Dies verursachte einen erheblichen Personalaufwand.

Schäden am Tunnelbauwerk sind nicht entstanden.

#### (4) *Fazit*

- a) Der Kabelbrand in der Haltestelle wurde durch eine Zigarettenkippe ausgelöst, die in einen nicht vollständig abgedeckten Kabelkanal geriet.
- b) Der Kabelbrand konnte von der Feuerwehr in kurzer Zeit gelöscht werden.
- c) Es fielen in erheblichem Umfang betriebsinterne Steuer- und Signaleinrichtungen für bis zu ca. 6 Wochen aus.

### 3.1.17 Ereignis U17: U-Bahnhof "Deutsche Oper", Berlin

(1) *Brandereignis [146]*

Am 8.7.2000 gegen 15.10 Uhr entstand am letzten Wagen eines Acht-Wagen-U-Bahnzuges ein Überschlag mit Lichtbogen zur Fahrzeugmasse. Wegen des relativ niedrigen Stromes und des gedämpften Stromanstieges wurde der Kurzschluss vom Unterwerk nicht erkannt. Die Fahrspannung blieb daher eingeschaltet, so dass der Lichtbogen stehen blieb und von außen den Wagenkasten in Brand setzen konnte.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [132, 146]*

Die Entzündung des Wagenkastens erfolgte unmittelbar nach der Einfahrt in den Bahnhof Deutsche Oper. Der Zugführer informierte die Leitzentrale, welche die Meldung an die Feuerwehr weiterleitete. Die durch ständige Schulung eingeprägte Handlungsweise des Zugführers, als erstes durch Betätigen des Kurzschliebers die Fahrspannung abzuschalten, schlug fehl, da der Lichtbogen bereits die Hauptluftleitung im Bereich des betroffenen Drehgestells zerstört hatte und damit keine Betätigungsluft für den Kurzschließer mehr zur Verfügung stand. Der Fahrer des auf dem Gegengleis inzwischen eingefahrenen Zuges, der die Rauchentwicklung bemerkte, betätigte ebenfalls seinen Kurzschließer. Auch dies führte aber nicht zur Abschaltung der Stromschiene an dem brennenden Zug, da es sich um einen anderen Speiseabschnitt handelte. Die Fahrspannung und damit die Zündquelle in Gestalt des stehenden Lichtbogens wurde daher erst mit erheblicher Verzögerung von der Leitstelle aus abgeschaltet.

Aufgrund einer Großveranstaltung war der brennende Zug mit 350 Fahrgästen für die Tageszeit ungewöhnlich stark besetzt. Die Fahrgäste verließen beide U-Bahnzüge. Die Rauchentwicklung konzentrierte sich auf den Bahnhofsbereich, an dem der brennende Wagen stand. Etwa die Hälfte des Bahnsteiges am anderen Ende blieb praktisch rauchfrei. In dem verrauchten Bereich befand sich jedoch die einzige Treppenanlage dieses in 1 ½ -facher Tiefe liegenden Bahnhofs, so dass die Fahrgäste den Bahnsteig über den regulären Ausgang nach kurzer Zeit nicht mehr verlassen konnten. Die Fahrgäste zogen sich zunächst in den rauchfrei-

en Teil des Bahnsteiges zurück und warteten auf Anweisungen. Von der Leitstelle abgesetzte Lautsprecherdurchsagen kamen jedoch auf dem Bahnhof nicht an.

Die ersten Fahrgäste begannen daher von sich aus – jedoch ohne Panik -, den Bahnhof über den anschließenden, inzwischen beleuchteten Streckentunnel in Richtung des benachbarten U-Bahnhofs Ernst-Reuter-Platz zu verlassen. Dies war ohne Gefahr möglich, weil mittlerweile die Stromschiene von der Leitstelle aus abgeschaltet worden war. Über den etwa 160 m entfernten Notausstieg gelangten die Fahrgäste ins Freie.

Um 15.20 Uhr trafen die ersten der 150 Feuerwehrleute am Einsatzort ein und halfen den Fahrgästen beim Verlassen der U-Bahnanlagen auf dem Weg durch den Streckentunnel. Etwa um 15.30 Uhr waren die Fahrgäste beider Züge in Sicherheit.

Die Feuerwehr hatte um 16.43 Uhr die Einsatzstelle unter Kontrolle. Mit mobilen Ventilatoren wurden die Bahnsteige vom Rauch befreit.

Der U-Bahn-Verkehr auf der Strecke der U 2 konnte um 15.40 Uhr auf Streckenabschnitten vor und hinter der Haltestelle "Deutsche Oper" wieder aufgenommen werden. Nach Mitternacht wurde auch die Durchfahrt der Linie U 2 durch den U-Bahnhof "Deutsche Oper" wieder ermöglicht. Der U-Bahnhof blieb etwa einen Monat wegen Sanierungsarbeiten geschlossen.

Bei den 30 Fahrgästen, die leichte Rauchvergiftungen erlitten, handelte es sich insbesondere um die Personen, die versuchten, die Haltestelle über den normalen Ausgang zu verlassen. Ein Fahrgast brach sich ein Bein.

(3) *Brandschäden [132, 146]*

Der letzte U-Bahn-Wagen war vollständig ausgebrannt. Durch die Hitzeentwicklung des Brandes kam es außerdem zu Schäden an der gekachelten Bahnhofsaukleidung. Der Sachschaden wurde auf etwa 7 Millionen DM geschätzt.

**(4) Fazit [146]**

- a) Unter bestimmten ungünstigen Voraussetzungen bei der Kurzschlussentstehung besteht die Möglichkeit, dass die Schutzeinrichtungen der Unterwerke nicht ansprechen. Hier besteht Untersuchungsbedarf.
- b) Das Fehlen jeglicher Information ist von den Fahrgästen als äußerst negativ bemängelt worden. Auch Gespräche über die von einzelnen Fahrgästen betätigten Notrufsäulen waren wenig hilfreich. Zwar haben die im übrigen günstigen Randbedingungen bewirkt, dass panische Reaktionen unterblieben, dennoch ist eine gute Information durch geschultes, qualifiziertes Leitstellenpersonal eine unabdingbare Voraussetzung, um derartige Situationen auch bei schlechteren Ausgangsbedingungen zu beherrschen.

**3.1.18 Weitere Brandereignisse bei U- und S-Bahnen**

Die nachfolgend beschriebenen Brandereignisse bei U-, S- und Stadtbahnen können leider nicht umfangreicher beschrieben werden, da hierzu der STUVA die entsprechenden Informationen trotz der intensiven Unterstützung durch die Verkehrsbetriebe fehlen:

**a) Ereignis U18: New York, USA****(1) Brandereignis und Schäden [131]**

Durch einen Kurzschluss im Triebwagen einer New Yorker U-Bahn entzündete sich am 21.8.1974 das Hauptstromversorgungskabel. Vier U-Bahn-Züge blieben im Tunnel liegen.

**(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [131]**

Ungefähr 200 Fahrgäste erlitten aufgrund des Brandes im U-Bahntunnel eine Rauchvergiftung und mussten ins Krankenhaus eingeliefert werden.

**b) Ereignis U19: Streckentunnel vor Kenmore Square Station, Boston, USA**

*(1) Brandereignis und Schäden [76]*

Durch eine gebrochene 600-V-Oberleitung entstand am 2.7.1975 ein Brand am Vorderteil einer Straßenbahn, die sich im Streckentunnel ungefähr 120 m vor der Kenmore Square Station befand.

Die Straßenbahn brannte vollständig aus. An der Tunnelinnenschale wurden leichte Oberflächenschäden festgestellt. Der Sachschaden betrug über 1 Mio. DM.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76]*

Der Zugführer ließ im Streckentunnel etwa 400 Fahrgäste aussteigen.

Die Feuerwehr verwendete Straßenhydranten für die Wasserversorgung des Löschangriffes.

Von den evakuierten Fahrgästen erlitten 34 Personen eine Rauchvergiftung

**c) Ereignis U20: Streckentunnel zwischen Metro-Station Almada und Arrolos, Lissabon, Portugal**

*(1) Brandereignis und Schäden [133]*

Durch einen technischen Defekt am Antriebsmotor entstand im Triebwagen eines Vierer-Zuges der Metro von Lissabon am 25.5.1976 um 17.35 Uhr ein Feuer. Der Vierer-Zug brannte vollständig aus, die elektrischen Kabel mussten über eine Länge von ca. 130 m und die Tunnelbeleuchtung über eine Länge von etwa 550 m erneuert werden. Es wurden leichte Betonschäden an der Tunnelinnenschale, geschmolzene Weichen und Rußablagerungen festgestellt. Der Sachschaden betrug ungefähr 1,2 Mio. US\$.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [133]*

Der Metro-Zug wurde wegen Brandgeruches noch rechtzeitig von Fahrgästen geräumt. Das Personal der Metro versuchte, den brennenden Zug zum nächsten Wartungsgleis zu schleppen, musste dieses Vorha-

ben jedoch wegen starker Rauch- und Hitzeentwicklung aufgeben. Die angeforderte Feuerwehr traf wegen des starken Berufsverkehrs erst etwa 30 Minuten nach der Alarmierung in der Nähe des Brandortes ein.

Aufgrund der starken Rauch- und Hitzeentwicklung konnte der Löschangriff nicht von der am nächsten gelegenen Metro-Station Almada vorgenommen werden, sondern musste von der etwa 550 m entfernten Station Arrolos erfolgen. Ferner musste das Löschwasser wegen fehlender Hydranten im Tunnel bzw. in der Metro-Station über Schlauchleitungen aus Straßenhydranten herangeführt werden. Deshalb konnte erst um 18.55 Uhr, etwa 1 ½ Stunden nach der Brandentdeckung mit der Brandbekämpfung begonnen werden.

**d) Ereignis U21: Christie Street Station, Toronto, Kanada**

*(1) Brandereignis und Schäden [134, 135]*

Durch Brandstiftung entstand an einem Sitzrücken eines U-Bahnwagens ein Feuer. Gegen 1.47 Uhr wurde der Brand entdeckt und um 1.54 Uhr der Feuerwehr gemeldet.

Vier der sechs Wagen des U-Bahn-Zuges brannten völlig aus. Über den ausgebrannten Wagen wurden Betonabplatzungen an der Tunneldecke festgestellt. Ferner entstanden Rußablagerungen an zahlreichen Stellen am Bahnsteig und im Verteilergeschoss. Der Sachschaden betrug etwa 5 Mio. DM.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [134, 135]*

Der Zugführer fuhr mit dem brennenden U-Bahn-Zug in den U-Bahnhof Christie Street ein und ließ den Zug von Fahrgästen räumen. Um 1.58 Uhr traf die Feuerwehr am U-Bahnhof Christie Street ein, konnte jedoch wegen starker Hitze- und Rauchausbreitung von dort nicht zum Bahnsteig vordringen. Die Feuerwehr gelangte deshalb von der benachbarten Haltestelle Bathurst über den Streckentunnel zum brennenden U-Bahn-Zug. Gegen 2.20 Uhr stellte die Feuerwehr einen Schlauchanschluss zu den Wandhydranten auf dem nördlichen Bahnsteig der Station Christie Street her und begann mit dem Löschangriff. Gegen 2.45 Uhr war der

Brand weitgehend gelöscht. Die Entrauchung der U-Bahnstation Christie Street wurde durch dort installierte Lüftungsventilatoren vorgenommen. Personen kamen nicht zu Schaden.

**e) Ereignis U22: Erie Street Station, Philadelphia, USA**

*(1) Brandereignis und Schäden [76,133]*

Am 6.9.1979 kam es gegen 17.30 Uhr aufgrund des Kurzschlusses eines Transformators in einem U-Bahnwagen zu einer Explosion, die den Wagen in Brand setzte. Der U-Bahn-Zug befand sich zu diesem Zeitpunkt teilweise in der Station Erie Street.

An dem U-Bahn-Wagen entstand ein Sachschaden von mehr als 15.000 US\$.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76,133]*

Zum Zeitpunkt des Brandes befanden sich etwa 1.100 Fahrgäste im Zug. Da die automatischen Türen nicht zu öffnen waren, entstand eine Panik und die Fahrgäste kletterten aus den Wagenfenstern.

Die Feuerwehr hatte den Brand gegen 19.00 Uhr gelöscht.

Bei der Panik aufgrund des U-Bahn-Zugbrandes wurden 91 Personen verletzt.

**f) Ereignis U23: Abstellgleis bei Grand Central Station, New York, USA**

*(1) Brandereignis und Schäden [76]*

Im Tunnel in der Nähe der U-Bahnhaltestelle Grand Central Station wurde am 8.9.1979 um 13.30 Uhr ein Brand in zwei der zwölf abgestellten U-Bahn-Wagen entdeckt. Ein U-Bahn-Wagen brannte vollständig aus und ein Wagen wurde beschädigt. Die Brandursache konnte nicht geklärt werden. Der Sachschaden betrug über 1 Mio. DM.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76]*

Der Bahnhof Grand Central Station wurde nach der Brandentdeckung von mehreren Hundert Personen evakuiert. Die Feuerwehr hatte den

Brand um 15.00 Uhr, etwa 1 ½ Stunden nach seiner Entdeckung, gelöscht.

Es wurden vier Personen als Folge des Brandes verletzt.

**g) Ereignis U24: Streckentunnel zwischen 12th Street und Oakland West, San Francisco, USA**

*(1) Brandereignis und Schäden [133]*

Am 12. Dezember 1979 entstand während der Fahrt im Streckentunnel zwischen 12th Street und Oakland West durch Brandstiftung ein Feuer im dritten U-Bahn-Wagen.

Der Wagen wurde vollständig und ein zweiter Wagen teilweise zerstört. Der Sachschaden betrug etwa 1 Mio. US \$.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [133]*

Der Brandherd befand sich unterhalb eines Sitzes im vorderen Teil des dritten Wagens. Da sich in unmittelbarer Nähe des Sitzes ein Lüftungskanal befand, breitete sich das Feuer schnell im Wagen aus. Wenige Minuten nach dem Erkennen des Brandes traf der Zug in der nächsten U-Bahn-Station ein und die 15 Fahrgäste wurden aus dem Zug evakuiert. Die eintreffende Feuerwehr konnte den Brand innerhalb von 15 Minuten löschen.

**h) Ereignis U25: Streckentunnel zwischen Metro-Station Apeadero und Rambla, Sabadell, Spanien**

*(1) Brandereignis und Schäden [133]*

Durch einen Kurzschluss entstand in einem Metro-Zug zwischen den Stationen Apeadero und Rambla am 8.4 1980 ein Feuer.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [133]*

Durch den Brand kamen fünf Personen ums Leben und viele Fahrgäste und einige Feuerwehrmänner wurden mit Rauchvergiftungen ins Krankenhaus eingeliefert.



**i) Ereignis U26: Metro-Station Mustek, Prag, Tschechien***(1) Brandereignis und Schäden [131]*

Am Samstag, den 24.1.1981 brach aufgrund eines Defektes in der Stromversorgung gegen 19.00 Uhr ein Brand im Fahrtreppentunnel der 30 m unter der Gelände-Oberfläche liegenden Metro-Station Mustek aus. Der Brandherd befand sich an der Decke des unteren Drittels der 53 m langen Rolltreppe.

Das Feuer beschädigte insbesondere die Decke des Fahrtreppentunnels mit den Elektroinstallationen, die Marmorauskleidung am Portal sowie technische Ausstattungen in verschiedenen angrenzenden Räumen. Der Sachschaden betrug etwa 1,1 Mio. Tschechische Kronen.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [131]*

Um 19.14 Uhr traf der erste Feuerwehrtrupp ein, der seine Arbeiten vom unteren Ende der Rolltreppe her aufnahm. Nach dem Abschalten der Stromversorgung um 19.33 Uhr wurde die Löschwasserversorgung durch einen Wandhydranten hergestellt und unter Atemschutz mit den Löscharbeiten begonnen. Ein weiterer Feuerwehrtrupp nahm um 19.20 Uhr vom oberen Ende der Rolltreppe her mit zwei Schläuchen und geschützt mit 4-Stunden-Atemgeräten die Löscharbeiten auf. Um 20.45 Uhr war das Feuer gelöscht. Bis 20.20 Uhr passierten die Metro-Züge den Untergrundbahnhof ohne Zwischenstopp. Danach musste der Fahrbetrieb aufgrund der starken Rauchentwicklung eingestellt werden.

Eine Passantin erlitt eine Rauchvergiftung.

**j) Ereignis U27: Metro-Station Oktyabrskaya, Moskau, Russland***(1) Brandereignis und Schäden [76]*

Durch den Kurzschluss des Akkumulators mit einem Metallgehäuse kam es am 10.6.1981 um 18.40 Uhr in der Metro-Station Oktyabrskaya zu einem Brand in einem Metro-Zug.

Durch den Brand wurden fünf Wagen des Metro-Zuges beschädigt. Der Sachschaden betrug mehr als 1 Mio. DM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76]*

Der Metro-Zug wurde in der Station Oktyabrskaya von Fahrgästen geräumt. Der Zug wurde auf ein Nebengleis gefahren und der Brand gelöscht. Eventuelle Personenschäden sind nicht bekannt.

**k) Ereignis U28: Streckentunnel vor Christopher Street Station, New York, USA**

(1) *Brandereignis und Schäden [76]*

Am 16.3.1982 entstand im dritten Wagen einer New Yorker U-Bahn im Streckentunnel vor der Christopher Street Station aufgrund eines technischen Defekts im Bereich des Motorschaltwerkes unter dem Fußboden ein Brand. Um 7.10 Uhr wurde der Brand entdeckt und zeitgleich fiel der Strom aus.

Der Sachschaden an dem beschädigten U-Bahn-Wagen betrug ca. 300.000 US \$.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76]*

Die etwa 400 Fahrgäste des U-Bahn-Zuges waren um 7.20 Uhr alle evakuiert. Erst um 7.27 Uhr wurde die Feuerwehr alarmiert, die um 7.31 Uhr am Brandort eintraf. Gegen 8.00 Uhr war der Brand gelöscht.

Aufgrund des U-Bahn-Brandes erlitten 86 Fahrgäste Rauchvergiftungen.

**l) Ereignis U29: Abstellgleis bei Exchange Place Station, New York**

(1) *Brandereignis und Schäden [76]*

Am 2.6.1982 entstand aus unbekannter Ursache ein Brand in einem abgestellten U-Bahn-Zug auf dem Abstellgleis in der Nähe der Station Exchange Place.

Durch den Brand wurden vier U-Bahn-Wagen stark beschädigt. Der Sachschaden betrug über 1 Mio. DM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76]*

Wegen sehr starker Rauchentwicklung konnte der Brand erst sechs Stunden nach seiner Entdeckung durch die Feuerwehr gelöscht werden.

Bei dem Löscheinsatz erlitten mehrere Feuerwehrleute eine Rauchvergiftung.

**m) Ereignis U30: Streckentunnel zwischen Station Wood Green und Bounds Green, London, Großbritannien**

*(1) Brandereignis und Schäden [76]*

Am 11.8.1982, um 16.28 Uhr entstand an einem Londoner U-Bahn-Wagen im Streckentunnel zwischen den Stationen Wood Green und Bounds Green ein Kurzschluss am Stromabnehmer, der zum Brand führte. Ein U-Bahn-Wagen wurde stark und einige Wagen leicht beschädigt. Der Sachschaden betrug etwa 0,8 Mio. DM.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [76]*

Die Betriebszentrale wurde sieben Minuten nach der Brandentstehung über den Brand informiert (16.35 Uhr). Um 16.54 Uhr erreichten die ersten Rettungsmannschaften den Einsatzort im Tunnel und begannen mit der Evakuierung der 55 Fahrgäste, die um 17.35 Uhr abgeschlossen wurde. Der Brand konnte erst gegen 22.30 Uhr von der Feuerwehr gelöscht werden.

Bei dem Brand erlitten 15 Personen eine Rauchvergiftung.

**n) Ereignis U31: U-Bahnstation „Miquelallee“, Frankfurt**

*(1) Brandereignis und Schäden [127]*

Am 7.8.1984, um 20.35 Uhr, stellte ein U-Bahn-Zugführer eine Rauchentwicklung an einer Holzhütte auf dem Bahnsteig der U-Bahn-Station "Miquelallee" fest und alarmierte die Leitstelle. Bis zum Eintreffen der Feuerwehr griff der Brand auf die Bahnhofsdeckenverkleidung (PVC) über und erfasste eine Fläche von ca. 100 m<sup>2</sup>. Aufgrund des „Zündschnureffektes“ breitete sich der Brand entlang der Kabelisolierungen in beiden Richtungen bis etwa 50 m vom Brandherd entfernt aus. Zusätzlich zu den 100 m<sup>2</sup> verbrannter Deckenverkleidung und den verschmorten Kabeln auf ca. 100 m Länge verformten sich aufgrund der großen Hitzeentwicklung die Deckenelemente aus PVC im gesamten Bahnhofs-

bereich (oberhalb des Bahnsteigs und der beiden Gleise). Die Kosten für die Brandsanierung des U-Bahnhofs betragen ca. 1,0 bis 1,5 Mio. DM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [127]*

Bei der Berufsfeuerwehr ging der Alarm um 20.38 Uhr ein. Beim Eintreffen der Feuerwehr war der U-Bahnhof mit den Treppenaufgängen bereits stark verraucht. Dennoch gelangte die Feuerwehr über einen Treppenabgang auf den Bahnsteig und begann dort mit den Löscharbeiten. Der Brand wurde in kurzer Zeit gelöscht. Da noch eine Person im verrauchten Bahnhofsgelände vermisst wurde, wurden weitere Einsatzeinheiten zur Personenrettung angefordert. Die vermisste Person konnte sich jedoch selbst retten. Ein Feuerwehrmann wurde verletzt.

**o) Ereignis U32: S-Bahn-Haltestelle „Landungsbrücken“, Hamburg**

(1) *Brandereignis und Schäden [100, 128]*

Vermutlich durch Brandstiftung wurde am 30.9.1984, gegen 22.07 Uhr der Wagenaufbau eines Halbzuges der Hamburger S-Bahn angezündet.

Im unterirdischen Bahnhof Landungsbrücken wurde der Zugführer des aus Richtung Reeperbahn kommende Zug von einem Fahrgast auf den Brand aufmerksam gemacht.

Insgesamt brannten zwei S-Bahnwagen aus. Die im Brandbereich abgehängte Bahnhofsdeckenkonstruktion wurde völlig zerstört. Ferner wurden Betonabplatzungen und freiliegende Bewehrungseisen im Decken- und Wandbereich festgestellt. Durch die Brandhitze entstand ein Wasserrohrbruch in einem Zwischendeckenbereich. Der gesamte Bahnhofsbereich war mit Rußablagerungen versehen und musste mit Hochdruck-Heißwasser gereinigt werden. Der Sachschaden belief sich auf ca. 6,8 Mio. DM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [100, 128]*

Die Löschversuche des Zugführers mit einem Handfeuerlöscher misslingen. Mittlerweile schlugen Flammen aus dem Wagen, woraufhin die ca. 40 Fahrgäste und der Zugführer den Bahnsteig verließen. Um 22.14 Uhr meldete die Bahnpolizei die Abschaltung des Fahrstroms. Die um 22.11 Uhr alarmierte Feuerwehr traf mit mehreren Löschzügen ein.

Der Löschangriff wurde von der Feuerwehr vom Eingang Hafentor vorbereitet. Wegen großer Hitze, schlechter Sicht und der relativ kurzen Tragezeit der Pressluftatmer wurde jedoch der Versuch, unter Pressluftatmern zum Brandherd zu gelangen nach ca. 8 bis 10 Minuten auf der Treppe zum Bahnsteig aufgegeben. Nachdem sich die Sichtverhältnisse besserten, drangen von den beiden Bahnhofszugängen Landungsbrücke und Hafentor Löschtrupps mit Langzeitatemgeräten zum Brandherd vor. Die Löschtrupps waren mit Sprechfunkgeräten, Schlauchhaspeln, Strahlrohren, Handscheinwerfern sowie Feuerwehräxten ausgerüstet. Gegen 22.42 Uhr wurden die Löscharbeiten aufgenommen.

Aufgrund mangelnder Ausstattung an Atemschutzgeräten wurden um 23.11 Uhr weitere Löschzüge angefordert. Mit diesen Löschzügen konnte der Brand um 23.31 Uhr unter Kontrolle gebracht werden.

Ein Fahrgast erlitt eine leichte Rauchvergiftung.

**p) Ereignis U33: U-Bahn-Station "Pino Suarez", Mexiko-Stadt**

*(1) Brandereignis und Schäden [136,137]*

Am 27.10.1985 kam es nachmittags bei einem U-Bahn-Zug zwischen den Stationen "Zocalo" und "Pino Suarez" aufgrund eines geplatzten Gummireifens zu einem Kurzschluss, der einen Brand auslöste. Der Brand wurde bei der Einfahrt in die U-Bahn-Station "Pino Suarez" entdeckt.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [136,137]*

Das Feuer im U-Bahn-Zug konnte durch die Feuerwehr schnell unter Kontrolle gebracht werden. Etwas mehr als eine Stunde benötigten Feuerwehr, Polizei, Armee und Freiwillige, um die mehr als 600 Fahrgäste aus dem brennenden U-Bahn-Zug zu bergen. Mehr als 100 Fahrgäste erlitten Rauchvergiftungen, Prellungen und Schnittwunden, 21 Personen mussten zur stationären Behandlung ins Krankenhaus eingeliefert werden.

**q) Ereignis U34: U-Bahnhof Heinrich-Heine-Allee, Düsseldorf****(1) Brandereignis und Schäden [129,130]**

Durch das U-Bahn-Personal wurde am 20.10.1991 um kurz vor sechs Uhr morgens ein Brand im zweiten Untergeschoss des U-Bahnhofs Heinrich-Heine-Allee auf einer Kabeltrasse unterhalb des Bahnsteiges entdeckt. Aufgrund fahrlässiger Brandstiftung brannte angesammeltes Holz und Laub und entzündete einen Kabelbaum der Verkehrsbetriebe.

Durch den Brand von chlorhaltigen Kunststoffen, wie z. B. der Kabelisolierung aus PVC kam es zu einer Bildung von polychlorierten Dibenzoparadioxinen, Dibenzofuranen und Salzsäure, die an die Rauchkondensate gebunden waren. Diese Rauchkondensate verursachten wegen der bei der Sanierung erforderlichen Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen Kosten in Höhe von 4,5 Mio. DM. Die eigentlichen Brandschäden durch das Feuer am Bauwerk waren verhältnismäßig gering.

**(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [129,130]**

Um 5.49 Uhr wurde die Feuerwehr durch die Leitstelle der Verkehrsbetriebe über den Brand benachrichtigt. Löschversuche mit Handfeuerlöschern des U-Bahnangestellten waren erfolglos und das Feuer griff auf die Isolierung von Signal- und Kommunikationskabeln sowie die abgehangene Deckenverkleidung über. Das Feuer hatte sich mittlerweile so weit ausgebreitet und Temperaturen bis zu ca. 800 °C erreicht, dass es zu Betonabplatzungen an der Stahlbetonwand und -decke kam. Die heißen Rauchgase zogen von Gleis 4 über den ganzen Bahnhof mit zwei Bahnsteigen und der Ladenebene U1 bis zum Ausgang Bolker Straße und kondensierten an der Decke.

Fünf bis zehn Minuten nach der Brandmeldung traf die Feuerwehr ein. Durch Kurzschließen der Fahrleitung wurde der Fahrstrom ausgeschaltet und drei Feuerwehrtrupps begannen unter Verwendung von Pressluftatmern den Löschangriff. Das Löschwasser wurde durch einen mitgeführten Tank bereit gestellt und das erste Untergeschoss des Bahnhof Heinrich-Heine-Allee wurde mittels drei Drucklüftern entrauchet. Die Feuerwehrtrupps näherten vom benachbarten U-Bahnhof Steinstraße durch die Tunnelröhre und vom Tunneleingang Ratinger Tor der Einsatzstelle.

Der Brand konnte von der Feuerwehr auf den Entstehungsraum beschränkt werden und wurde bald gelöscht.

Zwei Personen erlitten Rauchvergiftungen und wurden ins Krankenhaus eingeliefert. Ein Feuerwehrmann erlitt Prellungen beim Sturz vom Bahnsteig auf die Gleise.

**r) Ereignis U35: U-Bahnhof Alt-Tempelhof, Berlin**

*(1) Brandereignis und Schäden [114]*

Am 24.10.1991, gegen 12.15 Uhr brannten im U-Bahnhof Alt Tempelhof im Fahrtreppenbetriebsraum Kabelisierungen und Schmierstoffe einer Antriebswelle der Fahrtreppe. Hölzerne Abdeckbohlen wurden durch dieses Feuer ebenfalls entzündet.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [114]*

Mitarbeiter des Verkehrsbetriebes unternahmen einen Löschversuch, den sie jedoch wegen starker Rauchentwicklung aufgeben mussten. Die eintreffende Feuerwehr begann den Löschangriff mit einem C-Rohr und entrauchte den Bahnhofsbereich mit zwei Drucklüftern. Acht Personen wurden durch Feuerwehrtrupps mit Atemschutzgeräten in Sicherheit gebracht. Der Bahnhof wurde während des Löschangriffs für Fahrgäste gesperrt und die U-Bahnzüge passierten den Bahnhof Tempelhof ohne Zugstopp.

Um 12.59 Uhr war der Brand unter Kontrolle. Danach wurde das Bahnhofsgebäude noch mit Drucklüftern bis 13.30 Uhr entraucht. Um 14.30 Uhr wurde der Fahrgastverkehr im Bahnhof Tempelhof wieder aufgenommen

**s) Ereignis U36: U-Bahnlinie U 2, Berlin**

*(1) Brandereignis und Schäden [30, 115]*

Am 13.2.1994 gegen 5.52 Uhr wurde dem Zugführer eines U-Bahn-Zuges der U 2 (6 Wagen) ein Zugschaden im zweiten Wagen über die Zug-sicherheits-einrichtung automatisch gemeldet. Etwa eine Stunde später

stellte sich heraus, dass es sich um einen Kabelbrand im Unterflurbereich des Wagens handelte.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [30, 115]*

Ungefähr 35 Minuten nach der ersten Zugschadenmeldung ließ der Zugführer an der Haltestelle "Spittelmarkt" den U-Bahn-Zug von Fahrgästen räumen. Der Zug wurde zur Abstellanlage in der Nähe der Haltestelle gefahren. Eine weitere halbe Stunde später wurde bei genauerer Inspektion des U-Bahn-Zuges ein Brandherd unterhalb des zweiten Wagens gesichtet.

Die über Funk um 7.02 Uhr gerufene Feuerwehr traf etwa zehn Minuten später ein. Ein Wagen des ca. 170 m von Bahnhof Spittelmarkt entfernt abgestellten U-Bahn-Zuges brannte in ganzer Ausdehnung. Ein Übergreifen des Brandes auf die zwölf weiteren U-Bahn-Wagen konnte von der Feuerwehr unter Atemschutz (24 Beatmungsgeräte) verhindert werden. Der Löschangriff erfolgte mit einem C-Rohr. Der Tunnel wurde mittels 4 Drucklüftern entrauchet. Um 8.34 Uhr war der Brand unter Kontrolle. Der Zugverkehr der Linie U 2 wurde gegen 10.30 Uhr wieder aufgenommen.

Die Löscharbeiten der Feuerwehr wurden durch sehr starke Rauch- und Hitzeentwicklung erheblich behindert.

Personen wurden nicht verletzt.

**t) Ereignis U37: U-Bahnhof "Hauptbahnhof Nord" (U 2), Hamburg**

(1) *Brandereignis und Schäden [138]*

Am 27.7.1995 kam es gegen 15.10 Uhr in einem Reinigungsmittellager im Zwischengeschoss des U-Bahnhofes Hauptbahnhof Nord durch Fahrlässigkeit zu einer Verpuffung, die zu einer starken Rauchentwicklung führte.

Durch den Brand entstand ein Sachschaden im Bahnhofsgebäude von ca. 1,7 Mio. DM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [138]*

Aufgrund der starken Rauchentwicklung im Zwischengeschoss informierte ein Fahrgast über eine Notrufsäule um 15.00 Uhr die Leitstelle. Die sofort



benachrichtigte Feuerwehr begann um 15.18 Uhr mit den Löscharbeiten. Gleichzeitig wurde die gesamte Haltestelle durch die U-Bahn-Wache und Mitarbeiter des Verkehrsbetriebes geräumt. Der Brand war um 16.23 Uhr gelöscht.

Fünf Personen erlitten Rauchvergiftungen.

**u) Ereignis U38: U-Bahntunnel zwischen den Haltestellen Lohsestraße und Ebertplatz, Köln**

*(1) Brandereignis und Schäden [31]*

Durch einen Kurzschluss in den technischen Anlagen auf dem Dach eines Stadtbahnzuges riss am 3.1.1996 gegen 21.15 Uhr die Oberleitung. Hierdurch fing das Dach des Doppelzuges der Stadtbahn Feuer. Der Fahrer stoppte den Zug sofort und kam ca. 100 m vor dem U-Bahnhof Ebertplatz zum Stehen.

Drei Minuten nachdem der Brand entdeckt wurde, erfolgte durch den Zugführer die Brandmeldung an die Leitstelle.

Der Sachschaden belief sich auf mehrere Tausend DM.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [31]*

Die Feuerwehr traf erst ungefähr 20 Minuten nach der Brandmeldung am brennenden Stadtbahnzug ein, da sie wegen dichten Rauchs die Unglücksstelle nicht auf Anhieb finden konnte. Die etwa 30 Fahrgäste konnten sich schon vorher über einen Notausstieg (Agneskirche) oder über Fluchtgehwege zum Bahnhof selbst in Sicherheit bringen. Die Löscharbeiten erfolgten von den zwei nahegelegenen Bahnhöfen Lohsestraße und Ebertplatz sowie vom Notausstieg Agneskirche.

Die Löschwasserversorgung gestaltete sich schwierig, so dass eine 250 m lange Schlauchleitung verlegt werden musste.

Personenschäden sind keine bekannt.

**v) Ereignis U39: S-Bahntunnel zwischen Isartor und Marienplatz, München**

*(1) Brandereignis und Schäden [32]*

Aufgrund eines defekten Trafos brach am Abend des 10.5.1996 ein Feuer in einem mit Fahrgästen besetzten S-Bahntriebwagen aus. Die Brandmeldung erfolgte sofort durch den S-Bahnfahrer an die Feuerwehr.

Löschversuche des S-Bahnfahrers und der Fahrgäste mit vorhandenen Feuerlöschern waren vergeblich. Der Brand dauerte ca. 1 Stunde, bis er von der Feuerwehr vollständig gelöscht wurde.

Ein Triebwagen brannte völlig aus, mehrere Signalleitungen verschmorten und das Gleisbett wurde beschädigt.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [32]*

Es entstand eine starke Rauchentwicklung, weshalb die Personen in den angrenzenden Bahnhöfen Marienplatz und Rosenheimerplatz evakuiert werden mussten. Die Feuerwehr traf ca. 20 min nach der Brandmeldung an der Unglücksstelle ein.

Mit fünf Löschzügen und 130 Feuerwehrmännern konnte sie den Brand in 45 Minuten löschen. Der Rauch wurde durch die Feuerwehr mit Hochleistungslüftern abgesaugt.

Zwölf Menschen erlitten Rauchvergiftungen. Eine Person wurde anderweitig verletzt.

Der Trafo des Triebwagens war bei einem vorangegangenen Unfall mit Entgleisung beschädigt worden. Für den Triebwagen war dies die erste Fahrt nach seiner aufwendigen Reparatur am Trafo. Es wurde vermutet, dass der Triebwagen nicht ordnungsgemäß repariert wurde.

**w) Ereignis U40: U-Bahn-Linie 6 - Hallesches Tor / Mehringdamm, Berlin**

*(1) Brandereignis und Schäden [30]*

Am 30.5.1996, gegen 7.13 Uhr meldete ein Zugführer eine leichte Rauchentwicklung im U-Bahntunnel zwischen den Haltestellen Hallesches Tor und Meringdamm im Bereich einer Wehrkammer.

Der Zugführer des Folgezuges wurde aufgefordert, den Tunnelabschnitt mit reduzierter Geschwindigkeit (25 km/h) zu durchfahren und die Situation zu überprüfen. Dieser Zugführer hielt mit seinem Zug und versuchte vergeblich, den Brand mit einem Feuerlöscher zu löschen. Der Brand konnte erst durch die Feuerwehr gelöscht werden.

Es wurde vermutet, dass durch einen Flammenabriss an der Stromschiene, welche im Bereich der Wehrkammer wegen des Wehres nicht durchgehend war, Papierreste entzündet wurden.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [30]*

Da die Löschversuche des Zugführers mit einem Feuerlöscher erfolglos waren, nahm die Rauchentwicklung erheblich zu. Drei Minuten nach der ersten Rauchmeldung erreichte die Netzleitstelle eine Kurzschlussmeldung aus dem Bereich des Brandes. Der Fahrstrom wurde daraufhin in diesem Bezirk abgeschaltet. Zwei U-Bahn-Züge blieben deshalb im Tunnel stehen.

Die Fahrgäste dieser Züge wurden evakuiert und zu den Bahnhöfen Hallesches Tor bzw. Mehringdamm geführt. Die um 7.25 Uhr eintreffende Feuerwehr konnte den Brand löschen.

Zum Absaugen des Rauches wurde ein transportabler Lüfter von außen auf einen Notausstieg aufgesetzt.

Zwei Personen (ein Zugführer, ein Fahrgast) wurden mit Verdacht auf Rauchvergiftung in ein Krankenhaus gebracht.

**x) Ereignis U41: Haltestelle Wiener Platz, Köln**

(1) *Brandereignis und Schäden [33, 34]*

Durch Brandstiftung wurde am 7.12.1997 um 6.30 Uhr ein Sitz im hinteren Wagen eines Stadtbahndoppelzuges angezündet.

Der Brand wurde bemerkt, als der Zug in die Haltestelle Wiener Platz einfuhr. Die sofort alarmierte Berufsfeuerwehr konnte nicht verhindern, dass der hintere Wagen vollständig ausbrannte. Der Sachschaden an dem Fahrzeug betrug mindestens 4 Mio. DM.

Beschädigt wurden ferner Tunnel- und Haltestelleneinrichtungen (verrußte Wände, verschmorte Kunststoffverkleidungen, Geländer und Fuß-

bodenbeläge, Fahrdrahtschäden auf einer Länge von 200 m). Die U-Bahnstation Wiener Platz musste wegen der Reinigungs- und Aufräumarbeiten einen Tag gesperrt werden.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [33, 34]*

Die Berufsfeuerwehr bekämpfte den Brand über einen Haltestelleneingang und die Rampe zur Mülheimer Brücke. Aus den Haltestellenaufgängen drang beim Eintreffen der Feuerwehr bereits dichter Rauch hervor. Für die Lösch- und Rettungsarbeiten war die Berufsfeuerwehr mit fast 100 Mitarbeitern im Einsatz.

Die vier Fahrgäste und der Fahrer der Straßenbahn konnten sich vor Ausbruch des Vollbrandes in Sicherheit bringen. Menschen wurden daher durch das Feuer nicht verletzt.

**y) Ereignis U42: Zürichbergtunnel, Zürich, Schweiz**

(1) *Brandereignis und Schäden [139]*

Durch Funkenflug entzündeten sich am 1.5.1997 gegen 15.00 Uhr Papierreste und es kam zu einem Kabelbrand im Antoniusschacht im S-Bahntunnel "Zürichberg". Ein S-Bahnzugführer meldete der Leitstelle Rauchgeruch im Zürichbergtunnel.

Durch den Brand entstand ein Sachschaden von etwa 100 TDM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [139]*

Wegen des Kabelbrandes kam es gegen 15.10 Uhr zu einem Stellwerksausfall. Der S-Bahnverkehr wurde daraufhin eingestellt. Im Zürichbergtunnel befanden sich zu diesem Zeitpunkt keine S-Bahnzüge mehr.

Um 15.15 Uhr wurde die Berufsfeuerwehr alarmiert, die die Abschaltung der Fahrleitung im Zürichbergtunnel verlangte. Um ca. 15.35 Uhr traf die Feuerwehr am Antoniusschacht ein. Da Fahrleitung nicht durch die Leitstelle abgeschaltet werden konnte, wurde dies um 15.37 Uhr vor Ort durchgeführt.

Der Brand wurde daraufhin von der Feuerwehr gelöscht. Nach ersten Reparaturarbeiten konnte der S-Bahnbetrieb im Zürichbergtunnel am nächsten Tag morgens wieder aufgenommen werden.

**z) Ereignis U43: Bahnhof "Saalbau", Essen**

*(1) Brandereignis und Schäden [140]*

Am 24.3.1999 meldete ein Fahrer der U-Bahnlinie 107 über den Fahrer- notruf um 20.40 Uhr eine starke Rauchentwicklung im U-Bahnhof Saalbau. An einem Baugerüst brannte eine Kunststoffplane, vermutlich durch Brandstiftung. Durch brennend herab tropfenden Kunststoff wurden Holzbohlen und eine Sitzbank entzündet.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [140]*

Der Zugführer, der den Brand per Notruf gemeldet hatte, räumte den Bahnsteig, indem er alle wartenden Fahrgäste in der Haltestelle aufforderte, sein Fahrzeug zu betreten, um mit diesem dann den Bahnhof zu verlassen. Ein noch vor der Feuerwehr eingetroffener Mitarbeiter des Verkehrsbetriebes versuchte vergeblich, den Brand mit einem Handfeuerlöscher zu löschen.

Die um 20.50 Uhr mit zwei Löschzügen eingetroffene Feuerwehr begann, geschützt durch Atemschutzgerät, in dichtem Rauch mit den Löscharbeiten. Gleichzeitig wurde mit Überdrucklüftern verhindert, dass der Bahnhof weiter verrauchte. Jedoch kam es zu einer Verrauchung eines angrenzenden Bahnhofs, der daraufhin geräumt werden musste.

Um 21.16 Uhr wurde der Brand gelöscht. Personenschäden sind keine bekannt.

**ä) Ereignis U44: U-Bahnhof "An der Kreuzkirche" (U 35), Herne**

*(1) Brandereignis und Schäden [141]*

Durch einen Funkenflug eines offenen Feuers, das im Streckentunnel in der Nähe des U-Bahnhofs "An der Kreuzkirche" von Obdachlosen entzündet wurde, geriet am 6.12.1999 gegen 4.30 Uhr Papier, Laub und eine hölzerne Kabelabdeckung in einem U-Bahn-Schacht in Brand. Die Um-mantelung eines Kabels für Zugsicherung verschmorte auf einer Länge

von ca. 30 m. Bei diesem handelte es sich um ein 200-adriges Spezialkabel, für das beim Verkehrsbetrieb kein Ersatz vorrätig war. Das Kabel musste neu beschafft werden. Der Streckenabschnitt war deshalb über eine Woche außer Betrieb und musste durch einen Ersatzbusverkehr bedient werden. Die Kosten für den Ersatzbusverkehr betragen ca. 100 TDM. Insgesamt betrug der Schaden ca. 350 TDM.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [141]*

Angaben zum Brandverlauf und zu verletzten Personen liegen nicht vor. Am 16.12.1999 konnte der U-Bahn-Abschnitt wieder in Betrieb genommen werden.

**ö) Ereignis U45: Streckentunnel zwischen Virginia und Maryland, Washington, USA**

(1) *Brandereignis und Schäden [143]*

Durch einen technischen Defekt an einem Stromkabel im U-Bahntunnel zwischen den Stationen Farragut West und Foggy Bottom entstand Ende April des Jahres 2000 im abendlichen Berufsverkehr ein Brand.

Die Höhe des Sachschadens ist nicht bekannt.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten[143]*

Ein U-Bahn-Zug, der in Richtung Foggy Bottom Station fuhr, blieb in Höhe des George Washington University Campus im Tunnel stecken. Die Fahrgäste dieses Zuges mussten für zwei Stunden im Zug bleiben, bis der Brand gelöscht wurde. Danach konnten sie den Zug zu Fuß verlassen und gelangten durch den Tunnel zum Bahnsteig von Foggy Bottom. Infolge der starken Rauchentwicklung wurden die etwa 1000 Fahrgäste aus den beiden U-Bahn-Höfen Farragut West und Foggy Bottom evakuiert.

Nach ungefähr vier Stunden wurden die Bahnhöfe wieder geöffnet und der Fahrbetrieb wieder aufgenommen.

## 3.2. Brandereignisse in Fernbahntunneln

### 3.2.1 Ereignis F1: Summit-Tunnel, Großbritannien

#### (1) Brandereignis [35 bis 39]

Am 20.12.1984 entgleiste im Summit-Tunnel ein Güterzug, der Benzin transportierte [35 bis 39]. Ursache für die Entgleisung war ein festgefressenes Lager an der vorderen Achse am vierten Kesselwagen.

Der Güterzug bestand aus einer dieselelektrischen Lokomotive und dreizehn Kesselwagen, die insgesamt 835 Tonnen Benzin transportierten. Der Zug war mit Druckluftbremsen ausgerüstet. Die maximal zulässige Geschwindigkeit betrug ca. 90 km/h. Der Zug war mit dem Lokführer, einem Zugbegleiter und einem zufällig als Passagier mitfahrenden Bahninspektor besetzt. Die Kesselwagen waren mit dem UN-Code-Nr. 1203 und dem zusätzlichen Wort Benzin gekennzeichnet. Auch der Lösch-Code für die Feuerwehr war angebracht. Darin wurde ausgewiesen, dass die Brandbekämpfung mit Löschschaum erfolgen muss, dass die Gefahr einer Explosion besteht und dass für die Brandbekämpfung Atemschutzgeräte und besondere Schutzkleidung benötigt werden. Ferner enthielt das Schild den Hinweis, dass Anwohner der Bahntrasse evakuiert werden sollten.

Durch die Entgleisung wurde das Druckluftbremssystem des Zuges unterbrochen und die Notbremsung ausgelöst. Dadurch kamen die Diesellokomotive, die vorderen drei und der letzte Kesselwagen (Nr. 1 bis 3, Nr. 13) im Tunnel fahrbereit zum Stehen.

Die Kesselwagen Nr. 4 bis Nr. 12 (von der Diesellok aus gezählt) entgleisten. Ferner stürzten die Waggons Nr. 6 und Nr. 10 um (Bild 3/3).

Die Zugbesatzung zog sich, nachdem sie am Wagen Nr. 6 das Feuer bemerkt hatte und auch gedämpfte Explosionen hörte, aus dem Tunnel zurück. Sie mussten dabei eine Strecke von ca. 1500 m bis zum Tunnelportal zurücklegen.

Dort befand sich ein Streckentelefon, von dem aus das zuständige Stellwerk benachrichtigt wurde, das dann die Feuerwehren alarmierte und den Tunnel für weitere Züge sperrte.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [35 bis 39]*

a) Löschmaßnahmen

Das Unglück ereignete sich morgens um 5.50 Uhr. Um 6.08 Uhr wurden die Feuerwehren alarmiert, die mit ersten Einheiten bereits um 6.16 Uhr am Tunnel eintrafen.

Es wurde mit der Bekämpfung einiger kleinerer Feuer im Tunnel begonnen.

Gegen 8.40 Uhr begab sich die Zugbesatzung mit Unterstützung der Feuerwehreinheiten noch einmal in den Tunnel, löste die Kupplung zwischen dem dritten und vierten Kesselwagen und zog die drei vorderen unversehrt gebliebenen Kesselwagen mit der Lokomotive aus dem Tunnel. Da dieser Teil des Zuges augenscheinlich unversehrt geblieben war, konnte die Fahrt dieses Zugteiles fortgesetzt werden.

Trotz der eingeleiteten Brandbekämpfungsmaßnahmen entwickelte sich gegen 9.40 Uhr das Feuer wieder explosionsartig. Das Feuerwehrpersonal musste aus dem Tunnel zurückgezogen werden.

Diese schlagartige Feuerausbreitung ging vom Kesselwagen Nr. 6 aus. Wegen der möglichen Explosionsgefahr wurde nunmehr die Bevölkerung aus der unmittelbaren Nähe vor allem der Entlüftungsschächte des Tunnels evakuiert. Um 10.23 Uhr schlugen bis zu einer Höhe von 50 m Flammen aus dem Lüftungsschacht Nr. 9, sie gefährdeten u. a. eine Überlandleitung der Elektrizitätswerke.

Auch aus Schacht Nr. 8 kamen Flammen, während über Schacht Nr. 10 starke Rauchbildung erkennbar war. Am Höhepunkt der Brandentwicklung schlugen die Flammen aus dem Lüftungsschacht Nr. 8 bis zu ca. 130 m hoch. Die sich im Tunnelinnern entwickelnde Hitze wurde auf Temperaturen von über 1200 °C geschätzt.

Die Löscharbeiten konzentrierten sich nunmehr auf die Einleitung von Wasser und Schaum über die Lüftungsschächte Nr. 7, 10 und 11. Später wurde auch der Lüftungsschacht Nr. 9 in die Löscharbeiten einbezogen.



Auch außerhalb des Tunnels wurden Löscharbeiten erforderlich, weil Kraftstoff durch die Abflussrinne aus dem Tunnel abfloss. Zum Abfangen des Kraftstoffes wurden Ölbindemittel eingesetzt.

Erst nach über 24 Stunden war der Brand soweit abgeklungen, dass Erkundungstrupps in den Tunnel eindringen konnten. Es wurden immer noch Brandnester festgestellt. Erst nach drei Tagen war der Tunnel soweit abgekühlt, dass ein einfacherer Zugang möglich war.

Da zwei Kesselwagen immer noch Kraftstoff enthielten, musste der Feuerwehreinsatz noch fortgesetzt werden. Vollständig gelöscht war das Feuer erst am 24. Dezember 1984 gegen 18.00 Uhr.

*b) Kommunikation unter den Einsatzkräften*

Da bekannt war, dass eine Sprechfunkverbindung im Tunnelinnern nur bis zu einer Entfernung von ca. 200 m möglich war, verlegte man bereits in der ersten Einsatzphase Feldtelefonleitungen.

Nach dem Rückzug in Folge der Brandausbreitung wurden diese zerstört und mussten beim erneuten Vorgehen neu installiert werden.

Die Verbindung zwischen den beiden Einsatzabschnitten an den Tunnelportalen und dem mobilen Lagezentrum wurde per Funk aufrechterhalten. Zwischen der mobilen Leitstelle und der Feuerwehrzentrale baute die Telefongesellschaft innerhalb von zwei Stunden eine Standleitung auf. Diese Standleitung entlastete die Funkkanäle trotz einiger technischer Probleme.

*(3) Brandschäden [35 bis 39]*

Es wurden zehn Kesselwagen durch den Brand zerstört. Materialveränderungen an diesen Kesselwagen wiesen auf Temperaturbelastungen bis zu ca. 1500 °C hin. Schäden am Oberbau waren zwischen den Stationen 108 und 111 zu beobachten.

Schäden an der Tunnelauskleidung wurden in dem Bereich zwischen Station 113 (Position des Kesselwagens Nr. 13 bzw. des Schachtes Nr. 12) und Station 93 (Position der Diesellok, Position des Schachtes Nr. 8) festgestellt.

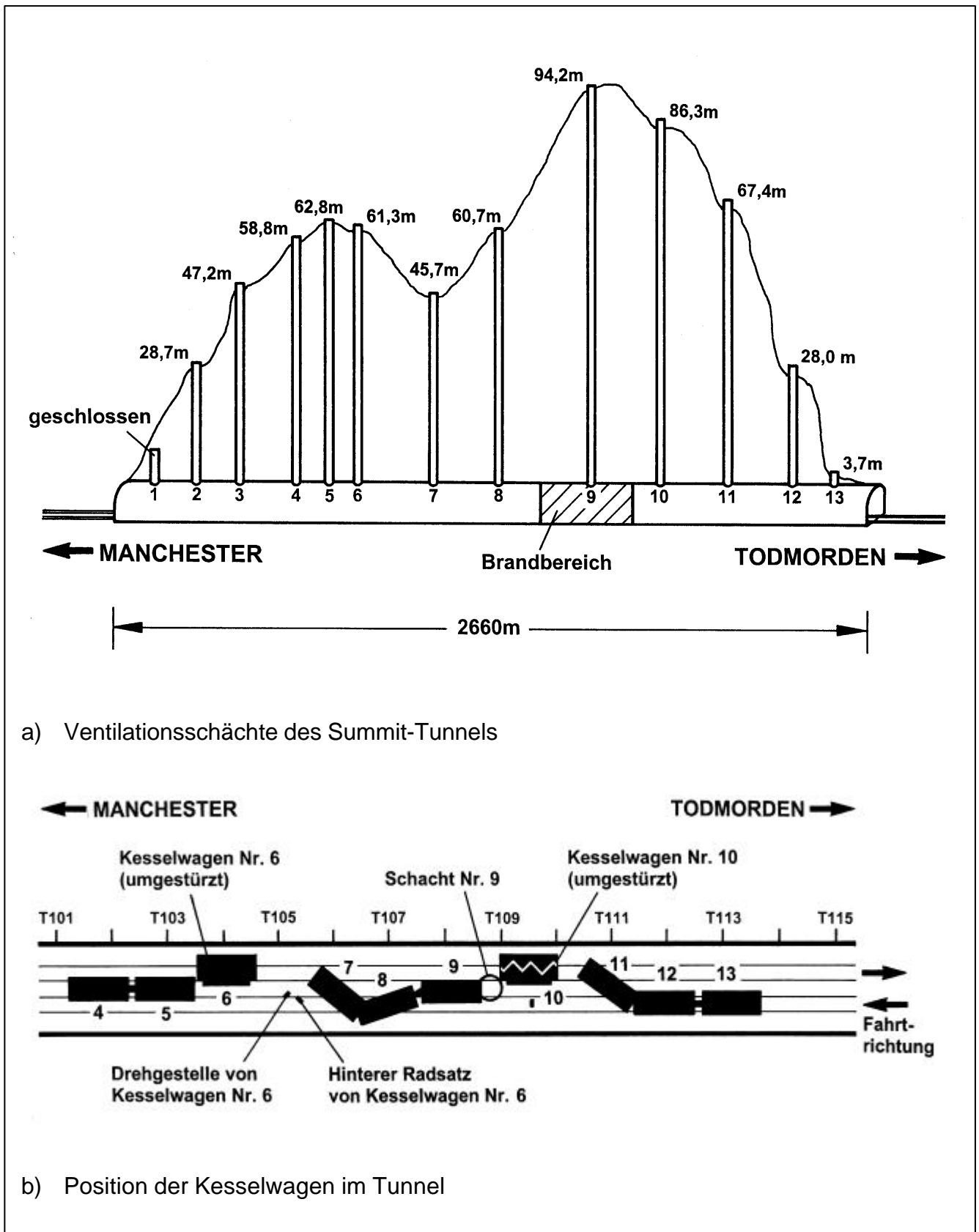


Bild 3/3: Güterzug-Brand im Summit-Tunnel [37]

In diesem Bereich war die Tunnelauskleidung (Ziegelausmauerung) teilweise herabgefallen. Die Ausmauerung des Schachtes Nr. 9 war teilweise geschmolzen, auf den Kesselwagen Nr. 9 herabgetropft und dort wieder erkaltet.

Abplatzungen an den Ziegeln reichten bis in eine Tiefe von ca. 15 mm. Die stärksten Schäden wurden im Bereich der Stationen 101 bis 104 beobachtet (Kesselwagen Nr. 4 bis Nr. 6). Hier war auch die Ausmauerung des Tunnels teilweise gesintert, was auf Temperaturen im Bereich von 1250 bis 1280 °C hindeutete. Der Sinter-Prozess erstreckte sich von der Schienenoberkante bis zur Tunnelfirste.

Ein Tunnelabschnitt zeigte hier auch Merkmale für extrem hohe Temperaturen (möglicherweise über 1500 °C). Die Ausmauerung war geschmolzen, von den Wänden auf die Tunnelsohle geflossen und dort erstarrt. Ferner war auch ein Teil der Schienen geschmolzen und zusammen mit dem flüssigen Gestein wieder erstarrt.

Außerdem war zu beobachten, dass älteres Mauerwerk eher zum Schmelzen neigte, während neueres Mauerwerk stärkere Abplatzerscheinungen zeigte.

Insbesondere bei Station 100 (Position des Kesselwagens Nr. 4) waren sehr starke Abplatzungen vorhanden. Die noch verbliebene Ausmauerung war stark aufgelockert. Eine Begehung dieses Abschnittes war wegen der abfallenden Gesteinsbrocken gefährlich.

Es dauerte vier Monate, bis der Tunnel wieder in Betrieb genommen werden konnte. Der Sachschaden betrug ca. 3 Mio. DM. Das Zugpersonal kam nicht zu Schaden.

#### (4) *Fazit*

- a) Der Brand wurde durch ein festgefressenes Lager ausgelöst, das zu einer Entgleisung und Zerstörung mit Benzin beladener Kesselwagen führte.
- b) Die Tunnelausmauerung wurde örtlich durch Temperaturen bis ca. 1.500 °C zermürbt.
- c) Die Brandmeldung wurde durch fehlende Funkverbindungen bzw. Telefone im Tunnel verzögert.

- d) Der Brand konnte erst durch Einpumpen von Wasser und Löschschaum über die Lüftungsschächte unter Kontrolle gebracht werden.

### 3.2.2 Ereignis F2: Xiang-Yu-Bahnlinie, China

#### (1) Brandereignis [40]

Am 03.07.1990 kam es in einem Tunnel der Xiang-Yu-Bahnlinie in China zu einem Brand eines mit Leichtöl beladenen Güterzuges [40]. Güterzüge mit Leichtöl-Kesselwagen verkehren auf dieser Bahnlinie in einem Abstand von etwa einer halben Stunde.

Als Ursache für den Brand wird deshalb angenommen, dass sich Öldämpfe im Tunnel sammelten und durch Funkenbildung, z. B. am Stromabnehmer-system der elektrischen Lokomotive, explodierten. Für die Öl-Verdampfung wurden folgende Möglichkeiten angeführt:

- a) gelockerte Verschlüsse an den Tankwagen
- b) Öffnen von Entlastungsventilen durch einen zu hohen Druck in den Kesselwagen. Dieser Überdruck könnte durch eine Öltemperatur von mehr als 50 °C entstanden sein, wenn der Zug über eine längere Zeit der starken Sonne (Sommer, südliches China) ausgesetzt war.
- c) Die Ansammlung von Öldämpfen wurde möglicherweise auch durch den engen Kurvenradius des Tunnels von 700 m begünstigt.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [40]

Die Explosion der Öldämpfe führte zu Kesselwagenbränden. Über Lösch- und Rettungsarbeiten liegen keine Angaben vor.

#### (3) Brandschäden [40]

Zur Reparatur der Brandschäden musste der Tunnel für 17 Tage geschlossen werden. Der finanzielle Schaden wird als erheblich bezeichnet.

#### (4) Fazit

- a) Der Brand wurde durch undichte Kesselwagen ausgelöst, aus denen Öldämpfe austraten und explodierten.
- b) Für die Behebung der Schäden musste der Tunnel für ca. 2 ½ Wochen gesperrt werden.

### 3.2.3 Ereignis F3: Brand im Kanaltunnel, Frankreich / Großbritannien

#### (1) Brandereignis [41 bis 44]

Am 18. November 1996 kam es in der Südröhre des unter dem Ärmelkanal verlaufenden Bahntunnels zum Brand eines LKW auf einem Pendelzug. Als Brandursache wird ein Kurzschluss im Kühlaggregat des mit Polystyrol beladenen LKW oder aber auch Brandstiftung vermutet.

Der vom Brand betroffene Pendelzug hatte eine Länge von ca. 800 m und bestand aus zwei Gruppen von je 14 Eisenbahnwagen für LKW, einem Personenwagen und je einer Lokomotive an der Zugspitze und am Zugende.

Der geschlossene Personenwagen befand sich unmittelbar hinter dem Triebfahrzeug des in Richtung Großbritannien fahrenden Zuges. In diesem Wagen hielt sich das LKW-Personal und das Zugpersonal auf.

Die LKW-Waggons waren im Gegensatz zum Personenwagen offen und wurden seitlich durch großmaschige Gitter begrenzt. Der brennende LKW befand sich auf einem Transportwagen ungefähr in der Mitte des Pendelzuges.

Bereits bei der Einfahrt des Pendelzuges in den südlichen Fahrtunnel wurde Rauch am Zug entdeckt.

Kurz darauf gingen Brandmeldungen von den automatischen Brandmeldern als auch von Personen, die den Rauch beobachtet hatten, ein. Gegen 21.45 Uhr am Abend des 18.11.1996 wurde Feueralarm gegeben.

In der Folge des Brandes kam es zu einer dreitägigen völligen Sperrung der Südröhre des Tunnels. Bis zur Mitte des Jahres 1997 konnte der Tunnel nur eingeschränkt genutzt werden. Erst ab dem 15. Juni 1997 konnte der volle fahrplanmäßige Betrieb wieder aufgenommen werden.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [41 bis 44]

Da die Rollfähigkeit der LKW-Transportwaggons im Brandfall für mindestens dreißig Minuten erhalten bleibt, sollte der Triebfahrzeugführer den gesamten Zug aus dem Tunnel herausfahren, hierfür wäre eine Fahrdauer von ca. 35 Minuten erforderlich gewesen. Dem Fahrzeugführer wurde jedoch durch Warnsignale angezeigt, dass einige der Teleskopstützen nicht vollständig

eingefahren seien, die während des Beladens der Waggons deren Federung entlasten. Deshalb hielt er den LKW-Pendelzug nach einer Fahrt von ca. 18 km im Tunnel an. Er wollte dadurch vermeiden, dass der Zug durch auf die Schienen herabragende Teleskopbeine entgleiste.

Für diesen Fall war vorgesehen, dass das Triebfahrzeug zusammen mit dem Personenwaggon vom übrigen Zug abgekoppelt wird und alleine aus dem Tunnel fährt, um zumindest die Personen in Sicherheit zu bringen. Die Brandintensität war jedoch mittlerweile so groß geworden, dass im Brandbereich sofort die Fahrleitung wegschmolz und der Fahrstrom unterbrochen wurde. Damit lag der LKW-Pendelzug im südlichen Fahrtunnel fest.

Andere noch im Tunnel fahrende Züge verursachten einen Sog, durch den Rauch vom Brandherd nach vorne zum Personenwaggon und zu der Lokomotive an der Zugspitze gelangte. Da hier die Türen vorübergehend geöffnet worden waren, drang dieser Rauch auch in das Innere der Lokomotive und des Personenwaggons ein. Es kam dadurch zu Rauchvergiftungen der sich hier aufhaltenden Personen.

Das Zugkontrollzentrum in Folkstone sorgte dafür, dass

- a) im südlichen Fahrtunnel keine Züge mehr verkehrten und
- b) die Druckentlastungsstollen zwischen den beiden Fahrtunneln geschlossen wurden, um das Eindringen von Rauch in den nördlichen Fahrtunnel zu unterbinden.

Die französischen und englischen Feuerwehreinheiten rückten durch den Rettungstunnel zum Brandort vor:

- a) Französische Feuerwehreinheiten:

Abfahrt 21.56 Uhr, Eintreffen am Brandort: 22.18 Uhr

- b) Englische Feuerwehreinheiten:

Abfahrt: 22.04 Uhr, Eintreffen am Brandort: 22.36 Uhr

Zunächst wurden die LKW-Fahrer und das Zugpersonal evakuiert (insgesamt 34 Personen). Hilfreich dabei war, dass beim Öffnen der Tore zwischen Tunnelröhre und Rettungstunnel Luft aus dem unter Überdruck stehenden Rettungstunnel in den Fahrtunnel strömte und den Rauch soweit verdrängte, dass eine ausreichende Sicht für die Evakuierung herrschte.

Die zum Teil erhebliche Rauchvergiftungen aufweisenden Personen wurden zu einem im nördlichen Fahrtunnel wartenden PKW-Pendelzug gebracht und zurück nach Frankreich gefahren. Insgesamt verbrachten diese Personen 86 Minuten im Tunnel.

Der Brand konnte erst nach ca. 8 Stunden von den französischen und englischen Feuerwehren vollständig gelöscht werden. Während des Brandes traten Temperaturen im Bereich von ca. 800 – 1000 °C auf.

(3) *Brandschäden [41 bis 44]*

Es brannten 15 LKW zusammen mit ihren Pendelzugwaggons aus. Weitere LKW wurden beschädigt. Auch das Triebfahrzeug am Schluss des Zuges wurde zerstört.

Der Beton platzte auf einer Länge von ca. 500 m teilweise ab, die Abplatztiefe betrug dabei bis zu ca. 30 cm. Ortsfeste Betriebseinrichtungen mussten auf einer Länge von ca. 3 km erneuert werden. Rauchverschmutzungen traten über eine Länge von ca. 3-5 km auf.

Ferner mussten verbogene Schienen erneuert werden. Ebenso mussten die Betriebswasserleitungen im Fahrtunnel wieder instandgesetzt werden.

Für die Instandsetzungsarbeiten wurden zwei Arbeitszüge gleichzeitig eingesetzt. Von diesen Zügen aus wurden je nach Schädigungsgrad des Tunnels folgende Arbeitsschritte ausgeführt:

- a) Rückverankerung der durch Abplatzungen in ihrem Tragverhalten stark beeinträchtigten Stahlbetontübbings in der umgebenden Kreide
- b) Einbringen von Tunnel- bzw. Gitterbögen zum Abstützen der Tunnelauskleidung
- c) Säubern der Tunnelauskleidung von Brandrückständen
- d) Abtransport des Brandschuttes
- e) Ausbessern der Bewehrung der Stahlbetontübbings (je nach Zustand und Brand-Beanspruchung)
- f) Vorbereitung der Betonflächen für einen Spritzbetonauftrag
- g) Auftragen des Spritzbetons und gegebenenfalls Einbau von Bewehrungsmatten

Die Beseitigung der Brandschäden kostete insgesamt ca. 115 Mio. DM. Die Instandsetzungsarbeiten der Tunnelröhre machen dabei einen Betrag von ca. 15 Mio. DM aus. Die übrigen Kosten verteilen sich auf die Erneuerung der Tunnelinfrastruktur im Brandabschnitt. Dazu gehören z. B. Oberbau, Fahrleitung und Signalanlagen.

Rechnet man die Kosten für den Ersatz der durch den Brand geschädigten Eisenbahnfahrzeuge, die Einnahmeverluste durch die teilweise Schließung des Tunnels und die Schadensansprüche (LKW-Fahrzeuge, Frachten) hinzu, so betragen die durch den Brand entstandenen Kosten ca. 600 Mio. DM.

(4) *Fazit*

- a) Der Brand ging von einem LKW aus (Kurzschluss oder Brandstiftung)
- b) Die Rettung der eingeschlossenen Personen verlief u. a. wegen der Nutzung des Servicetunnels problemlos (Anfahrt der englischen und französischen Feuerwehr, Zusatzlüftung während der Personenrettung).
- c) Es waren keine Brandmeldesysteme vorhanden, die den Zug wegen der Rauchentwicklung der LKW schon bei der Einfahrt in den Tunnel stoppen konnten.
- d) Teile des Rettungskonzeptes (Weiterfahrt trotz Brand) konnten nicht wie vorgesehen verwirklicht werden (Alarm über eine Entgleisungsgefahr verhinderte Weiterfahrt).
- e) Beim Anhalten drang weiterströmender Rauch in das Triebfahrzeug und in den Personenwaggon ein und verursachte Rauchvergiftungen.
- f) Am Tunnel und an den technischen Einrichtungen traten erhebliche Sachschäden auf, deren Beseitigung ca. 115 Mio. DM kostete.

### 3.2.4 Ereignis F4: Leinebusch-Tunnel

(1) *Brandereignis [45 bis 47]*

Auf der ICE-Strecke Hannover-Würzburg entgleiste am 1. März 1999 gegen 23.20 Uhr ein Waggon eines Eil-Güterzuges vor dem Leinebusch-Tunnel in der Nähe von Göttingen [45 bis 47]. Der entgleiste Waggon wurde vom Zug,



dessen Reisegeschwindigkeit 120 km/h betrug, noch mit in den Tunnel gezogen. Der Güterzug kam im Tunnel zum Stehen.

Gegen 1.00 Uhr bemerkte der Triebfahrzeugführer Brandgeruch und stellte fest, dass der entgleiste, ungefähr in Zugmitte befindliche, mit Papier und Zellstoff beladene Waggon in Brand geraten war. Er kuppelte daraufhin die ersten dreizehn Waggon der insgesamt 24 Güterwagen ab und fuhr mit ihnen aus dem rund 1,7 km langen Tunnel. Elf Waggon, darunter auch der brennende Waggon, blieben im Tunnel stehen.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [45 bis 47]*

Die Alarmierung der Feuerwehr erfolgte mit dem Stichwort: "Es brennt ein Güterzug bei Kilometer 109,4." Aufgrund dieser Meldung ging die Feuerwehreinsatzleitung in Göttingen von einem Brand auf freier Strecke aus und alarmierte drei naheliegende Ortsfeuerwehren und eine Stützpunktfeuerwehr.

Diese Feuerwehren rückten gegen 1.20 Uhr aus. Erst vor Ort wurde durch eine erste Erkundung durch zwei Trupps mit schwerem Atemschutz klar, dass sich der brennende Güterwagen ca. 650 m tief im Tunnel befand. Daraufhin forderte der Feuerwehreinsatzleiter über Funk den Rettungszug aus Kassel an (1.51 Uhr). Dieser Rettungszug ist speziell für den Einsatz bei Zugunglücken in Tunneln ausgerüstet. Er führt u. a. Löschmittelwagen und Transportwaggon für Feuerwehrgeräte mit sich. Das Bahnpersonal unterrichtete die Feuerwehr, dass der brennende Wagen mit Zellulose und Papier beladen sei. Die Ladung der übrigen zehn im Tunnel stehenden Waggon war zunächst nicht bekannt.

Zur Vorbereitung des Rettungszugeinsatzes und des Einsatzes der anderen Feuerwehren wurde die Oberleitungsanlage von Notfallmanager der DB AG und Beamten des Bundesgrenzschutzes geerdet. Diese Arbeiten wurden gegen 2.31 Uhr abgeschlossen.

Um 2.55 Uhr lagen erste Unterlagen über die Ladung der noch im Tunnel stehenden Waggon vor. Die Ladung bestand u. a. aus pyrotechnischen Gegenständen (Gefahrenklasse UN 0432), Gurtstraffern (Gefahrenklasse UN 3268), Auto-Airbags und Papier.

Um 3.05 Uhr traf der Rettungszug am Tunnelportal ein. Um 3.39 Uhr fuhr der Rettungszug in den Tunnel ein und begann gegen 3.51 Uhr mit den Löscharbeiten.

Gegen 12.08 Uhr war das Feuer unter Kontrolle und gegen 14.20 Uhr vollständig gelöscht. Bei den Löscharbeiten waren bis zu ca. 230 Feuerwehrmänner im Einsatz. Alle Löscharbeiten im Tunnel konnten nur unter schwerem Atemschutz durchgeführt werden.

Da sich Papier und Zellulose nur schwer löschen lassen, wenn sie aufeinander gestapelt sind, musste der ganze Waggon leergeräumt werden, um das brennende Transportgut löschen zu können. Die Löscharbeiten wurden zum größten Teil außerhalb des Waggons vorgenommen.

Der Wasservorrat des Rettungszuges reichte für eine Einsatzdauer von ca. 45 Minuten aus. Für die weitere Löschwasserversorgung musste eine ca. 3,6 Kilometer lange Schlauchleitung verlegt werden.

Die Lüftung im Tunnel war sehr schwach, eine Rauchbewegung war kaum spürbar.

(3) *Brandschäden [45 bis 47]*

Schäden durch den Brand wurden an den Güterzugwaggons, der Ladung, dem Tunnelbauwerk und der Tunnelausstattung festgestellt. Ferner zerbrachen Hunderte von Beton-Schwellen, weil der entgleiste Güterwaggon über eine größere Strecke mitgezogen wurde.

(4) *Fazit*

- a) Als Folge der Entgleisung des mit Papier und Zellstoff beladenen Güterwaggons geriet die Ladung in Brand. Der sich zunächst entwickelnde Schmelbrand wurde erst spät bemerkt.
- b) Bei der Alarmierung der Feuerwehr und der Tunnelrettungszüge traten Verzögerungen auf, ebenso bei der Fahrt der Rettungszüge zum Tunnel und bei der Information der Feuerwehr über die Beladung des Güterzuges.
- c) Die Weisungsbefugnis zur Anforderung der Rettungszüge war nicht eindeutig geregelt.

- d) Die Löschwasserversorgung war für die Ablöschung dicht gepackter, schwelender Materialien zunächst nicht ausreichend.

### 3.2.5 Weitere Brandereignisse in Fernbahntunneln

Die nachfolgend beschriebenen Brandereignisse in Fernbahntunneln können leider nicht umfangreicher beschrieben werden, da hierzu der STUVA die entsprechenden Informationen trotz intensiver Bemühungen fehlen:

#### a) Ereignis F5: Monte-Adone-Tunnel, Italien

(1) *Brandereignis und Schäden [48]*

Am 08.02.1960 geriet durch einen Kurzschluss im Monte-Adone-Tunnel ein Personenzug in Brand und kam durch die Notbremsung im Tunnel zum Stehen.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [48]*

Bei dem Brand wurden 66 Personen verletzt.

#### b) Ereignis F6: Bonassola-Tunnel, Italien

(1) *Brandereignis und Schäden [48]*

Durch einen Kurzschluss geriet am 30.03.1961 im Bonassola-Tunnel ein Personenzug in Brand und kam durch die Notbremsung im Tunnel zum Stehen.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [48]*

Bei dem Brandereignis wurden 5 Personen getötet.

#### c) Ereignis F7: Simplon-Tunnel, Italien

(1) *Brandereignis und Schäden [48]*

Durch einen technischen Mangel geriet am 08.11.1968 im Simplon-Tunnel ein Personenzug in Brand.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [48]*

Nähere Angaben zu den Personen- und Sachschäden fehlen.

**d) Ereignis F8: Tunnel in Zentral-Jugoslawien***(1) Brandereignis und Schäden [49]*

Ursache des Brandereignisses im Jahre 1971 war ein technischer Defekt an der Diesellok. Nähere Angaben zu Schäden am Tunnelbauwerk und am Personenzug sind nicht bekannt.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [49]*

Bei dem Brandereignis starben 34 Personen, weitere 120 Personen wurden verletzt.

**e) Ereignis F9: Hokuriku-Tunnel, Japan***(1) Brandereignis und Schäden [48, 92]*

Am 06.11.1972 geriet ein Personenzug im Hokuriku-Tunnel in Japan in Brand. Der Brand ging von der Küche des Speisewagens aus.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [48, 92]*

Bei dem Brand starben 30 Personen, weitere 714 Personen erlitten Rauchvergiftungen.

**f) Ereignis F10: Congostinas-Tunnel, Spanien***(1) Brandereignis und Schäden [50]*

In den frühen Morgenstunden des 17.09.1978 fuhr im Congostinas-Tunnel bei Leon eine Diesellok auf einen hinter einer Kurve stehenden Güterzug mit 2 Triebwagen (elektrisch) und 13 Kesselwagen auf. Der im letzten Kesselwagen befindliche Kraftstoff fing sofort Feuer.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [50]*

Die Brandgase erreichten stellenweise Temperaturen von ca. 1.450 °C. Im Bereich des Brandherdes brachen ca. 300 m<sup>3</sup> Gestein in den Tunnel ein.

Der Brand konnte erst 2 Tage nach Entstehung vollständig gelöscht werden. Der Tunnelbetrieb konnte ungefähr drei Wochen nach dem Brand wieder aufgenommen werden.

Drei der vier Zugführer des Tankzuges konnten über einen in 250 m Entfernung befindlichen Notausgang flüchten. Die sechs Insassen der

Diesellok konnten dem Feuer nicht mehr entkommen. Insgesamt gab es 7 Tote.

### **g) Ereignis F11: Tunnel in Asturien, Spanien**

#### *(1) Brandereignis und Schäden [51]*

Am 02. August 1993 stieß in einem Tunnel in Asturien in Nordspanien ein Personenzug mit einem mit Kohle beladenen Güterzug zusammen, weil der Lokführer des Güterzuges an einer Ausweichstelle nicht die Vorbeifahrt des Personenzuges abgewartet hatte.

#### *(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [51]*

Der Personenzug brannte aus. Durch die Kollision und das nachfolgende Feuer starben insgesamt 12 Personen. Weitere 7 Reisende wurden verletzt, einige von ihnen schwer.

## **3.3 Brandereignisse in Straßentunneln**

### **3.3.1 Ereignis S1: Holland-Tunnel, New York, USA**

#### *(1) Brandereignis [52, 53]*

Der Brand ereignete sich am 13. Mai 1949 im 2550 m langen, aus 2 Röhren bestehenden Holland-Tunnel in New York. Ein mit Schwefelkohlenstoff (80 Fässer, Inhalt jeweils 210 Liter, Lademenge insgesamt ca. 11 Tonnen) beladener Lastzug fuhr trotz des Durchfahrverbotes für Gefahrgüter bei dichtem, teilweise stockendem Verkehr in den Tunnel ein.

Die Fässer befanden sich auf einem rundum geschlossenen Sattelaufleger. Der Lastzug war nicht als Gefahrgut-Transporter gekennzeichnet.

Etwa 900 m hinter der Tunneleinfahrt fielen Fässer von der Ladefläche und platzten auf. Der austretende Schwefelkohlenstoff entzündete sich. Der Schwefelwasserstoff-Transporter hielt auf dem linken Fahrstreifen an.

Zum Zeitpunkt des Brandausbruches befanden sich insgesamt 125 Fahrzeuge auf den beiden Fahrstreifen des im Richtungsverkehr betriebenen Tunnels.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- sowie Rettungsarbeiten [52, 53]*

Das Feuer griff auf 4 LKW auf dem rechten Fahrstreifen in der Nähe des brennenden Schwefelkohlenstoffs über. Im Laufe des Brandes geriet dann auch eine Gruppe von 5 LKW in Brand, die in ca. 120 m Entfernung vom Brandherd angehalten hatte.

Im Tunnel auf der Durchfahrt befindliche Polizisten meldeten den Brand um 8.48 Uhr an die Tunnelbetriebszentrale und halfen anschließend Tunnelnutzern bei der Flucht in die Nordröhre des Holland-Tunnels. Das Tunnelpersonal half ebenfalls sofort bei der Evakuierung (führte Tunnelnutzer zu Fuß aus dem Tunnel, begann Fahrzeuge aus dem Tunnel herauszufahren).

Brandmeldungen gingen telefonisch bei der Feuerwehr in New Jersey um 9.05 Uhr und bei der Feuerwehr in New York um 9.12 Uhr ein. Nach dem erste Feuerwehrkräfte am Tunnel eingetroffen waren, wurde gegen 9.30 Uhr weiterer Alarm ausgelöst, um zusätzliche Feuerwehrkräfte zum Tunnel zu bringen.

Die Atemschutzausrüstung der Feuerwehrleute war ungenügend, einige Feuerwehrleute entgingen einer Rauchvergiftung nur dadurch, dass sie an den Zuluftöffnungen für den Fahrraum Frischluft aus der Tunnelbelüftungsanlage einatmen konnten. Mit der Auslösung des Zweitalarms wurden dann auch Sauerstoffmasken angefordert.

Gegen 9.45 Uhr wurde die Tunnellüftung auf volle Leistung geschaltet. Zwei Abluftventilatoren fielen durch die Temperatureinwirkung (ca. 540 °C) aus.

Ein dritter Abluftventilator konnte nur durch Kühlen mit Löschwasser in Betrieb gehalten werden.

Das Löschwasser musste durch Schlauchleitungen, die über eine Entfernung von ca. 800 m zwischen verlassenen Fahrzeugen verlegt werden mussten, zu den Brandorten im Tunnel gebracht werden.

Feuerlöschboote auf dem Hudson-River beobachteten die Trasse des Holland-Tunnels auf Anzeichen für ein Versagen der Tunnelröhre hin.

Nicht brennende Fahrzeuge konnten gegen 10.15 Uhr aus dem Tunnel gebracht werden. Das Feuer war gegen 13.00 Uhr unter Kontrolle (ca. 4 Stunden nach Ausbruch des Brandes). Gegen 18.50 Uhr flackerte der Brand in Resten von Schwefelkohlenstoff und Terpentin noch einmal bei den Auf-

räumarbeiten auf, konnte aber sofort mit Schaumlöschern wieder gelöscht werden.

An der Brandbekämpfung waren insgesamt mehr als 250 Personen beteiligt. 66 Personen erlitten Rauchvergiftungen.

(3) *Brandschäden [52, 53]*

Insgesamt wurden 10 LKW und deren Ladungen komplett, 13 PKW teilweise zerstört. Am Tunnelbauwerk wurden die Decke und die Tunnelwandung auf eine Länge von ca. 200 m beschädigt.

Die Tunnelzischendecke stürzte auf eine Länge von 170 m ein. Im gesamten Brandbereich wurde die Tunnelbetriebseinrichtungen vollständig zerstört. An einigen Stellen war die Tunnelwand bis zu den Gusseisentübingen weggeplatzt.

Für die Instandsetzung mussten ca. 650 Tonnen Brandschutt aus dem Tunnel entfernt werden. Die vom Brand betroffene Tunnelröhre konnte 56 Stunden nach dem Brandbeginn wieder für den Verkehr freigegeben werden. Die Kosten für den entstandenen Schaden werden auf ca. 1 Mio. US Dollar geschätzt.

(4) *Fazit*

- a) Das Durchfahrtsverbot für Schwefelkohlenstoff wurde missachtet.
- b) Die Ladung war unzureichend gegen ein Verrutschen gesichert.
- c) Die Gefahr war für die im Tunnel befindlichen Polizisten nicht erkennbar, weil die Gefahrgut-Kennzeichnung am LKW fehlte.
- d) Die Atemschutzausrüstung der Feuerwehr war unzureichend.
- e) Die Abluftventilatoren waren nicht genügend vor den hohen Rauchgastemperaturen geschützt.
- f) Die Tunnelzischendecke stürzte im Brandbereich ein.

### 3.3.2 Ereignis S2: Moorfleet-Tunnel, Hamburg

(1) *Brandereignis [52, 53]*

Ein mit 14 Tonnen Polyäthylen-Granulat beladener Lastzug hielt am 31.08.1968 nachts im ca. 240 m langen Moorfleet-Tunnel an, um das Fahr-

zeug zu inspizieren. Dabei entdeckte der Fahrzeugführer einen Reifenbrand am Anhänger.

Das Zugfahrzeug konnte noch aus dem Tunnel herausgefahren werden. Der Anhänger brannte völlig aus. Weitere Fahrzeuge waren am Brand nicht beteiligt.

Bei der Ladung handelte es sich nicht um einen Gefahrgut-Transport.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52, 53]*

Der Fahrzeugführer erkannte den Reifenbrand gegen 0.30 Uhr. Der Versuch des Fahrzeugführers schlug fehl, den Reifenbrand mit einem Handfeuerlöscher zu löschen. Der Brand griff auf die Ladung des Hängers über.

In seiner Aufregung dachte der Fahrzeugführer nicht daran, über eines der Notruftelefone entlang der Straße die Feuerwehr zu alarmieren, sondern fuhr mit dem Zugfahrzeug aus dem Tunnel, um Hilfe zu holen. Auch bei dieser Fahrt benutzte er keines der Notruftelefone.

So erfuhr die Feuerwehr erst gegen 1.10 Uhr über die Taxizentrale vom Brand, also erst ca. 40 Minuten nach Brandbeginn.

Als die Feuerwehr am Tunnel ankam, drang dichter Rauch aus den Tunnelportalen hervor. Eine Luftschicht von etwa 1 m Höhe unmittelbar über der Straßenoberfläche führte hingegen klare Luft, die zum brennenden Anhänger im Tunnel hinströmte.

Die Feuerwehr begann gegen 1.15 Uhr mit den Löscharbeiten und konnte durch die Benutzung von Löschschaum das Feuer nach wenigen Minuten unter Kontrolle bringen.

Löschwasser für die Kühlung des Fahrzeugwracks konnte nur aus einem ca. 1,6 km vom Tunnelportal entfernten Hydranten entnommen werden. Da erst Schlauchleitungen zu diesem Hydranten gelegt werden mussten, stand dieses Löschwasser für den eigentlichen Löschangriff nicht zur Verfügung.

Es kam mehrfach zu einem Wiederaufflammen des Brandes.

Während der Löscharbeiten wurden die Einsatzkräfte durch herabfallende Teile aus der Tunneldecke gefährdet.



(3) *Brandschäden [52, 53]*

Bei dem Brand wurde die Spannbetondecke des Tunnels auf eine Länge von 34 m total zerstört, Bewehrungseisen hingen herunter und der Beton war bis zu einer Tiefe von ca. 30 cm abgeplatzt.

Die gesamte Beleuchtungsanlage und die Elektroinstallationen in der vom Brand betroffenen Weströhre des Tunnels mussten erneuert werden.

(4) *Fazit*

- a) Der Reifenbrand an einem LKW-Anhänger führte zum Brand der Polyäthylen-Ladung.
- b) Nach der Erkennung des Reifenbrandes im Tunnel hat der Fahrzeugführer durch sein Fehlverhalten (nur Zugmaschine aus dem Tunnel gefahren, Notruftelefon nicht benutzt) die Auswirkungen des Brandes vergrößert.
- c) Durch die Verzögerung bei der Alarmierung der Feuerwehr kam es zum Vollbrand des Anhängers.
- d) Als vorteilhaft beim Löschen erwies sich die Verwendung von Löschschaum.
- e) Hydranten waren zu weit vom Tunnelportal entfernt.
- f) Betonabplatzungen gefährdeten die Feuerwehrkräfte.

### 3.3.3 Ereignis S3: Nihonzaka-Tunnel, Japan

(1) *Brandereignis [52 bis 56]*

Der Nihonzaka-Tunnel befindet sich auf etwa halbem Weg zwischen den Städten Tokio und Nagoya. Der Tunnel besteht aus zwei ca. 2 km langen Röhren, die im Richtungsbetrieb betrieben werden. Es gab keine Durchfahrtsbeschränkungen für Gefahrgüter bis zum Brandereignis.

Der Brand wurde am 11.07.1979 durch einen Auffahrunfall ausgelöst, an dem 4 LKW und 2 PKW beteiligt waren. Durch den Unfall wurden Tanks an den Fahrzeugen undicht, so dass Kraftstoff (Benzin, Diesel) auslief. Dieser Kraftstoff entzündete sich und löste dadurch einen Großbrand an insgesamt 173 Fahrzeugen aus.

Unter den ausgebrannten Fahrzeugen befanden sich zwei Tanklastzüge, die Neopren und zugehöriges Lösungsmittel geladen hatten. Die Ladung eines weiteren am Unfall beteiligten LKW bestand aus 10 Fässer mit Äther. Diese wurden durch den Unfall ebenfalls undicht. Der austretende Äther begann sofort intensiv zu brennen. Darüber hinaus verbrannten Kunstharz und Kunststoffladungen.

Die im Tunnel vorhandene Sprühflutanlage wurde durch Feuermelder automatisch ausgelöst. Nach ca. 10 Minuten schien der Brand gelöscht zu sein. Nach ca. einer Viertelstunde flammte der Brand jedoch erneut auf.

Dabei entwickelte sich dichter schwarzer Rauch. In der Folge breitete sich der Brand auf eine Länge von mehr als 1100 m aus.

Obwohl am Tunnelportal auf ein Notfallereignis im Tunnel hingewiesen wurde, fuhren weitere Fahrzeuge in den Tunnel. Insgesamt stauten sich dann 231 Fahrzeuge vor dem Brandherd auf.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52 bis 56]*

Der Nihonzaka-Tunnel wird von zwei Kontrollzentren aus überwacht (Shizuoka, Kawasaki). Das Feuer wurde zunächst vom Kawasaki-Kontrollraum aus bemerkt.

Irrtümlicherweise wurde von hier aus zunächst die weiter entfernte Feuerwehr des Shizuoka-Bezirktes alarmiert. Eine viel näher gelegene Feuerwehreinheit wurde erst 40 Minuten nach Ausbruch des Brandes benachrichtigt.

Im Tunnel versuchten zunächst die Tunnelnutzer das Feuer selbst zu löschen und rollten dazu die an Hydranten angeschlossenen Schlauchleitungen der Notfallboxen aus.

Es gelang jedoch nicht, die Löschwasserversorgung zu aktivieren, weil nicht bekannt war, dass zusätzlich zu dem normalerweise ausreichenden Umliegen eines Hebels ein weiterer Knopf gedrückt werden musste. Personal aus dem Shizuoka-Kontrollzentrum scheiterte mit dem Versuch, zum Unfallort vorzudringen, konnte aber 42 Fahrzeugen beim Verlassen des Tunnels helfen.

Gegen 20.30 Uhr hatten 208 Tunnelnutzer den Tunnel zu Fuß verlassen (ca. 50 Minuten nach Wiederausbruch des Brandes).

Die eintreffenden Feuerwehrkräfte konnten zunächst nur wenig gegen den Brand ausrichten, weil ihre Atemschutzgeräte nur eine Einsatzzeit von 30 Minuten pro Mann erlaubten.

Der Löschwasservorrat des Tunnel (ca. 170 m<sup>3</sup>) war ca. 1½ Stunden nach dem Ausbruch des Feuers verbraucht, ohne dass der Brand gelöscht werden konnte. Als die Löschwasserversorgung aussetzte, drifteten vom Brandherd aus brennbare Gase und Dämpfe zu zwei Fahrzeuggruppen im Tunnel und setzten diese Fahrzeuggruppen in Brand.

Die Löscharbeiten konnten erst wieder aufgenommen werden, nachdem mit 7 Löschzügen ein Pendelverkehr zu offenen Gewässern eingerichtet worden war.

Der Brand konnte erst 2 Tage nach dem Ausbruch unter Kontrolle gebracht werden. Endgültig war das am 11.07.1979 ausgebrochene Feuer erst am 18.07.1979, (also ca. eine Woche nach dem Auffahrunfall) gelöscht.

Während des Brandes arbeitete die Halbquerlüftung des Tunnels mit voller Kraft im Absaugmodus. Die Leistung reichte jedoch nicht aus, um genug Rauch und heiße Brandgase abzusaugen, damit die nur mit einem begrenzten Atemschutz ausgestatteten Feuerwehreinheiten den Brand effektiv bekämpfen konnten.

### (3) *Brandschäden [52 bis 56]*

Von den 230 im Tunnel befindlichen Fahrzeugen wurden 173 durch den Brand zerstört. Bei dem Brandereignis starben 7 Personen, weitere 2 Personen wurden verletzt.

Die Tunnel-Auskleidung und die zusätzliche, 4,5 mm dicke Bekleidung der Tunnelwände wurde auf einer Länge von ca. 1.100 m zerstört. Die größten Schäden traten in einem Bereich von ca. 500 m zu beiden Seiten des Brandherdes auf. Der Straßenbelag war stellenweise im Mittel bis zu einer Tiefe von 2-3 cm und maximal bis zu einer Tiefe von ca. 7 cm geschmolzen. In einem Kabelkanal im Fahrbahnbeton verlegte Elektrokabel und Rohre waren in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt.

Bei den Instandsetzungsarbeiten wurde der Beton der Tunnelauskleidung bis zu einer Tiefe von ca. 3 cm abgetragen. Dann wurden Drahtgitter aufgelegt und mit Stahlfaserbeton im Trockenspritzverfahren eingespritzt.

Die Auftragdicke hing von den Schäden am Tunnel ab und trug im Mittel ca. 5-10 cm.

Nachdem die Wiederherstellungsarbeiten der Fahrbahn am 07.08. abgeschlossen worden waren, begannen auch die Arbeiten an der Instandsetzung der Tunnelausrüstung. Diese Arbeiten dauerten ca. 1 Monat. Sie umfassten u. a.

- a) Erneuerung der Überwachungs- und Brandmeldesysteme
- b) Umbau des Lüftungssystems
- c) Erneuerung und Ergänzung der Feuerlösch-ausrüstung
- d) Einbau eines Fluchtleitsystems (u. a. Lautsprecher)

(4) *Fazit*

- a) Der Brand wurde durch einen Auffahrunfall ausgelöst.
- b) Die Alarmierung der Feuerwehren war fehlerhaft (falsche Feuerwehr, zu spät).
- c) Die Tunnelnutzer konnten die im Tunnel vorhandenen Feuerlöscher wegen unklarer Gebrauchsanweisung nicht in Betrieb nehmen.
- d) Die Löschmaßnahmen der Feuerwehr wurden durch die mangelnde Ausrüstung mit Atemschutzgeräten erheblich verzögert.
- e) Die saugende Halbquerlüftung des Tunnels reichte nicht für die Absaugung des Rauches und der heißen Brandgase aus.
- f) Die heißen Brandgase verursachten Feuerübersprünge zwischen Fahrzeuggruppen.
- g) Bei dem Brand starben 7 Personen, der Tunnel wurde über eine Länge von ca. 1100 m beschädigt und es wurden 173 Fahrzeuge zerstört.

### 3.3.4 Ereignis S4: Caldecott-Tunnel, Oakland, Kalifornien

(1) *Brandereignis [52, 53]*

Der Brand ereignete sich am 07. April 1982 kurz nach Mitternacht bei wenig Verkehr. Ein angetrunkener PKW-Fahrer verlor die Kontrolle über sein Auto und stieß mehrfach streifend mit der Tunnelwandung zusammen. Hinter einer Rechtskurve im Tunnel hielt er auf dem linken Fahrstreifen, um den an-

gerichteten Schaden zu inspizieren. Zwei oder drei PKW passierten anschließend das stehende Fahrzeug, ohne dass es zu einem Unfall kam. Dann jedoch setzte ein leerer Bus zum Überholen eines vollen Benzintanklastzuges an, ohne den auf dem linken Fahrstreifen stehenden Pkw zu bemerken.

Als das Zugfahrzeug des Benzintanklastzuges auf gleicher Höhe mit dem stehenden PKW war, kam es zu einem Zusammenstoß der drei Fahrzeuge. Der Busfahrer wurde durch den Zusammenstoß aus dem Bus geschleudert. Der Bus selbst setzte seine Fahrt führerlos fort und prallte außerhalb des Tunnels gegen einen Betonpfeiler. Dadurch wurde das Tunnelbetriebspersonal auf den Unfall im Tunnel aufmerksam.

Der Tanklastzug führte insgesamt 33.300 Liter Benzin mit sich, davon 20.400 Liter im Anhänger, der bei der Kollision aufgerissen wurde. Das Benzin lief aus und entzündete sich.

Weil es keine Lichtsignalregelung am Tunnelportal gab, fuhren auch nach dem Brandausbruch noch Fahrzeuge in den Tunnel hinein. Einige gerieten noch in den Einflussbereich des Brandes, so dass insgesamt 2 LKW und 4 PKW verbrannten.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52, 53]*

Das Tunnelpersonal versuchte zunächst, die Situation im Tunnel zu klären. Es dauerte daher ca. 7 Minuten, bis die Feuerwehr alarmiert wurde. Erste Feuerwehreinheiten erreichten das westliche Tunnelportal ca. 11 Minuten nach dem Zusammenstoß der Fahrzeuge. Am Ostportal kamen Feuerwehreinheiten erst ca. 19 Minuten nach dem Unfallereignis an.

Die Lüftung des Tunnels schaltete sich zu diesem Zeitpunkt ab. Der weitere Brandverlauf wurde daher von der natürlichen Lüftung beeinflusst. Der Tunnel füllte sich innerhalb von drei Minuten nach dem Zusammenstoß mit über 150 °C heißem Rauch zwischen dem Ostportal und dem brennenden Tanklastzug.

Weil die Fluchtwege zu den Nachbarröhren nicht besonders gekennzeichnet waren, wurden sie von der Tunnelnutzern nicht bemerkt. Sie blieben bei ihren PKW und wurden vom Rauch eingeschlossen.

Einige von den nachträglich in den Tunnel eingefahrenen Fahrzeugen fuhren rückwärts wieder aus dem Tunnel heraus.

Weil die natürliche Lüftströmung die Brandgase zum Ostportal trieb, konnten auf der gegenüberliegenden Seite des Feuers die Feuerwehrleute bis auf 25 m an das Feuer herankommen. Sie unternahmen zu diesem Zeitpunkt jedoch keinen Löschangriff.

Als sie ein Ventil bedienen wollten, um das Wasser/ Benzingemisch in der Tunnelentwässerung von einem nahen See fernzuhalten, stellte sich heraus, dass dieses Ventil korrodiert war und nicht bewegt werden konnte.

Als ca. 75 Minuten nach dem Zusammenstoß mit Löscharbeiten begonnen wurde, fiel der Wasserdruck ab, und die Löschwasserversorgung im Tunnel brach zusammen.

Möglicherweise war dies auf beschädigte Löschwasseranschlüsse in der Nähe des brennenden Tanklastfahrzeuges zurückzuführen, da Feuerwehrleute beobachteten, dass hier Wasser aus den beschädigten Anschlüssen floss. Das Restfeuer wurde schließlich mit Schaumlöschmitteln und Löschpulver abgelöscht. Nach ca. 2  $\frac{3}{4}$  Stunden (gerechnet ab dem Zusammenstoß) war das Feuer schließlich unter Kontrolle.

### (3) *Brandschäden [52, 53]*

Tunnel- und Tunneleinrichtungen sowie die Fahrbahn wurden auf eine Länge auf ca. 580 m schwer beschädigt. Die Reparaturkosten beliefen sich auf über ca. 3 Mio. US Dollar.

### (4) *Fazit*

- a) Auslösend für das Brandereignis war ein angetrunkener PKW-Fahrer, der einen Auffahrunfall (Bus, Benzin-Tanklastzug) im Tunnel verursachte.
- b) Der Tunnel verrauchte innerhalb von ca. 3 Minuten.
- c) Weil der Tunnel nicht gesperrt werden konnte, wurden zusätzliche Personen durch den Brand gefährdet.
- d) Fluchtwege zu der Nachbarröhre wurden wegen der mangelnden Kennzeichnung nicht genutzt.

- e) Die Löschwasserversorgungsleitungen des Tunnels wurden durch den Fahrzeugaufprall beschädigt (kein Aufprallschutz).
- f) Als vorteilhaft beim Löschen erwiesen sich Schaumlöschmittel und Löschpulver.

### 3.3.5 Ereignis S5: Gotthard-Tunnel, Schweiz (1994)

#### (1) Brandereignis [58 bis 60]

Vom Brand am 05.07.1994 war ein Lastwagen mit Anhänger betroffen, dessen Ladung aus ca. 750 Kinderfahrrädern mit Zubehörteilen und Verpackungen aus Kartons und Plastikmaterial bestand.

Etwa 5 km vor der nördlichen Tunnelausfahrt bemerkte der Lastzugführer zwischen Zugfahrzeug und Anhänger einen Brand. Durch einen technischen Defekt hatte im Bereich der Zwillingräder ein Rad an der Ladebrücke gescheuert und war in Brand geraten. Der Fahrzeugführer beschleunigte seine Fahrt, um noch aus dem Tunnel herauskommen zu können. Der Motor verlor jedoch 3 Kilometer vor dem Tunnelportal an Leistung und der Lkw blieb stehen.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [58 bis 60]

Der Brand konnte durch den Fahrer mit einem Bordfeuerlöscher und dem Feuerlöscher eines zu Hilfe eilenden Fahrers nicht gelöscht werden. Über die Notruftelefonanlage des Tunnels wurde die Tunnelbetriebszentrale alarmiert.

Mit dem Eingang des Brandalarms wurde das Brandprogramm für die Verkehrs- und Lüftungssteuerung eingeschaltet. Die Lichtsignale bei den Tunnelleinfahrten in Göschenen und in Airolo wurden auf Rot geschaltet, die Abluft-Ventilation im Brandsektor verstärkt, die Tunnelbeleuchtung auf die hellste Stufe gestellt, die Tunnelnotbeleuchtung eingeschaltet und die Betriebsfeuerwehren des Tunnels alarmiert.

Erste Kräfte der Tunnelfeuerwehr waren 11 Minuten nach dem Eingang des Feuealarms am Brandort. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der LKW mit dem Anhänger bereits im Vollbrand.

Bei der Anfahrt der Feuerwehren zur Brandstelle wurde eine Verrauchung des Tunnels über eine Länge von ca. 700 m nördlich der Brandstelle und ca. 1000 m südlich der Brandstelle festgestellt.

Die Löscharbeiten wurden durch große Hitze und starkem Rauch behindert. Ferner war die Tunnelbeleuchtung im Brandbereich ausgefallen und lag teilweise am Boden.

Die Funkverbindungen waren schlecht. Des Weiteren wurden die Feuerwehrrkräfte durch von der Zwischendecke herunterfallende Betonstücke gefährdet.

Die Sichtverhältnisse am Brandort wechselten, weil der Rauchpfropfen im Tunnel hin und her pendelte. Die Feuerwehrrkräfte im Nordabschnitt konnten zunächst ohne Atemschutz arbeiten, nach dem Wechsel der Strömungsrichtung im Tunnel musste jedoch auch diese Feuerwehreinheit Atemschutzgeräte anlegen.

Bei dem Löschangriff wurden elektronische Sichtgeräte zur besseren Orientierung im dichten Rauch eingesetzt.

Der erste Löschangriff wurde mit Pulver und "Leicht-Wasser" durchgeführt. Zusätzlich wurden Leitungen zur Löschwasserversorgungsanlage des Tunnels verlegt.

Es wurde mit der Kühlung der Zwischendecke und der Tunnelwände begonnen. Ferner wurde ein Wasservorhang errichtet, hinter dem die Feuerwehrrkräfte zum LKW vorrücken konnten.

Die weiteren Löscharbeiten erstreckten sich dann auf das Ablöschen und Kühlen des LKW und der glühenden Ladung. Um 7.40 Uhr (54 Minuten nach Eingang des Feueralarmes) war das Feuer unter Kontrolle. Gegen 9.00 Uhr wurde eine Notbeleuchtung am Brandort installiert und mit den Aufräumarbeiten begonnen.

Um die vor dem Brandort aufgestauten Fahrzeuge aus dem Tunnel herauszubringen, mussten sie gewendet werden. Dies war für PKW-Fahrzeuge relativ einfach möglich. LKW und Lastzüge hingegen mussten in Richtung Süden ca. 2,8 km rückwärts aus dem Tunnel herausfahren.



In Richtung Norden konnte der vorhandene Platz bei der Lüftungszentrale „Bäzberg“ für Wendemanöver genutzt werden. Daher waren hier Rückwärtsfahrten nur über eine Länge von maximal 500 m erforderlich.

Die vorhandenen Schutzräume im Tunnel wurden durch die Tunnelnutzer kaum benutzt.

(3) *Brandschäden [58 bis 60]*

Durch den Brand wurde der Lastzug samt Ladung vollständig zerstört. Schäden am Tunnelbauwerk und den Tunneleinrichtungen traten auf eine Länge von etwa 50 m auf. Insbesondere wurde die festbetonierte Zwischendecke deformiert (Aufwölbungen bis zu ca. 9 cm nach unten).

Durch abgeplatzten Beton war die Bewehrung freigelegt. Der Fahrbelag war auf eine Länge von ca. 50 m beschädigt.

Umfangreiche Schäden traten auch an den elektrischen Tunneleinrichtungen auf. Bei den Instandsetzungsarbeiten am Tunnelbauwerk wurden u. a. Anker gesetzt und Betonschäden durch Spritzbetonauftrag beseitigt. Ferner wurden die defekten Wandelemente ausgetauscht.

Die Fahrbahn musste auf eine Länge von 50 m erneuert werden. Bei den elektrischen Anlagen wurden Installationsarbeiten an den nachrichtentechnischen Anlagen, Brandmeldeanlagen, Videoanlagen, Beleuchtungsanlagen, CO-Messgeräten, der Antennenanlage und den Kabelrohren erforderlich.

Die Instandsetzungsarbeiten dauerten ca. 2 ½ Tage und kosteten ca. 1,9 Mio. DM. Während der Tunnelschließung kam es auf den Ausweichstrecken zu zahlreichen Verkehrsstörungen.

(4) *Fazit*

- a) Der Lastzug geriet durch einen technischen Defekt in Brand.
- b) Trotz der schnellen Reaktion der Tunnelfeuerwehr (in 11 Minuten am Brandort) konnte ein Vollbrand nicht mehr verhindert werden.
- c) Rauch breitete sich über mehrere hundert Meter Länge im Tunnel aus.
- d) Beim Löschangriff erwiesen sich elektronische Sichtgeräte, Pulver- und Schaumlöschmittel und der mit Löschwasser zum Schutz des Feuerwehrpersonals im Tunnel errichtete Wasservorhang als vorteilhaft.

- e) Behindert wurden die Löscharbeiten durch Hitze, Rauch und schlechte Funkverbindungen.
- f) Es waren nicht genügend Wendemöglichkeiten für LKW vorhanden.
- g) Auch nicht als Gefahrgut eingestufte Frachten können durch eine hohe Brandlast zu erheblichen Schäden (Personen, Tunnelbauwerke) führen.

### 3.3.6 Ereignis S6: Pfänder-Tunnel, Österreich

#### (1) Brandereignis [120, 121]

Am 10.04.1995 ereignete sich im Tunnel ein Verkehrsunfall, in dessen Folge drei Fahrzeuge ausbrannten. Der Brandort befand sich ca. 4,3 km von Nordportal bzw. 2,4 km vom Südportal entfernt. Der Unfall wurde durch den Sekundenschlaf des Fahrers eines in Richtung Süden fahrenden PKW ausgelöst. Er geriet auf die Gegenfahrbahn und prallte gegen ein mit Toastbrot beladenes Sattelkraftfahrzeug. Dieser LKW begann zu schleudern, geriet seinerseits auf die Gegenfahrbahn, glitt etwa 130 m an der Tunnelwand entlang und prallte schließlich auf einen entgegenkommenden, mit drei Personen besetzten Kleinbus mit Wohnanhänger. Der Kleinbus fing sofort Feuer und setzte umgehend auch das Sattelkraftfahrzeug sowie einen nachfolgenden PKW in Brand.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [120, 121]

Um 8.41 Uhr sprachen die automatischen Brandmelder im Tunnel an. In der Tunnelzentrale wurde das rechnergesteuerte Brandprogramm sofort gestartet. Ferner wurde der Alarm sofort an die zuständige Stadtpolizei und die Rettungsabteilung in Bregenz weitergeleitet. Von hieraus erfolgte um 8.45 Uhr die Alarmierung der für das Südportal zuständigen Feuerwehr und um 8.47 Uhr die Alarmierung der für das Nordportal zuständigen Feuerwehr. Bereits um 8.48 Uhr wurde von der Feuerwehr in der Tunnelzentrale am Südportal die Einsatzleitung übernommen.

Während der Alarmierungsphase wurde auf den Monitoren der Tunnelzentrale ein explosives Aufflammen des Feuers beobachtet. In der Folge verrauchte der Unfallort sekundenschnell, so dass an den Bildschirmen in der Tunnelzentrale der weitere Verlauf den Brandes nicht mehr beobachtet werden konnte.

Die freiwilligen Feuerwehren der Stadt Bregenz fuhren gegen 8.57 Uhr von beiden Portalen aus ohne eine genaue Kenntnis der Situation am Brandort in den Tunnel ein. Einige Minuten später wurden vier in Richtung der Südka-verne des Tunnels flüchtende Personen gerettet (Unfallverursachender Lenker des PKW, Lenker des verunglückten Sattelschleppers und zwei von Süden noch in den Gefahrenbereich eingefahrene LKW-Lenker). Diese Personen und die Rettungsmannschaften wurden bei der Bergung von der nach Süden driftenden Rauchfront eingeholt.

Der Tunnel war vom Unfallort aus gesehen Richtung Norden auf ca. 270 m und Richtung Süden auf ca. 800 m total verrauchte. Trotz dieser starken Rauchentwicklung und der im Tunnel hörbaren Detonationen versuchten vier Feuerwehrmänner, den Brandort mit einem speziellen Rüstlöschfahrzeug für Tunneleinsätze zu erreichen. Weil bei den Detonationen keine Druckwellen spürbar waren, entschlossen sich die Feuerwehrmänner, zu Fuß vor dem Einsatzfahrzeug in Richtung Brandort zu gehen. Dadurch sollte vermieden werden, dass eventuell am Boden liegende verletzte Personen möglicherweise in der Dunkelheit von dem Einsatzfahrzeug überrollt würden. Der Fahrer des Löschfahrzeuges konnte sich im Tunnel nur orientieren, indem er mit den Reifen an der Gehsteigkante entlang streifte, um die Richtung nicht zu verlieren. Wegen fehlender Sicht konnten die Feuerwehrmänner auch in gebückter Haltung, teils am Boden kriechend, im dichten Rauch den Mittelstreifen nicht finden. Ein vor dem Löschfahrzeug hergehender Feuerwehrmann prallte in dem Rauch auf einen abgestellten LKW, weil er das Hindernis nicht rechtzeitig erkennen konnte. Ferner war es wegen der starken Sichtbehinderung sehr schwierig, mit dem Löschfahrzeug zwischen den im Tunnel im Stau stehenden LKW und PKW hindurchzufahren.

Um schließlich am Brandort mit den Löscharbeiten beginnen zu können, musste in dem raucherfüllten Tunnel zunächst eine Feuerlösch-Nische ertastet werden, um dort einen vor dem Hydranten befindlichen Wasserschieber zu öffnen. Ferner wurden die Löscharbeiten durch die Hitze an Brandort stark behindert. Dennoch war der Brand ca. 1 Stunde nach Alarmierung der Feuerwehren unter Kontrolle.

Die Koordinierung der Brandbekämpfungsmaßnahmen wurde auch durch den Ausfall der Funkanlage im Tunnel stark behindert.

Die drei Insassen des Kleinbusses verbrannten in ihrem Fahrzeug. Alle übrigen Personen (Insassen der zum Zeitpunkt des Unfalles ca. 60 im Tunnel befindlichen Fahrzeuge) konnten den Tunnel unverletzt verlassen.

(3) *Brandschäden [120, 121]*

Der Sattelzug, ein PKW und ein Kleinbus wurden bei dem Brand total zerstört.

Die Tunneldecke zeigte am Brandort Abplatzungen und Risse. Auch die Auflagerkonsolen der Zwischendecke am Innengewölbe wurde durch die Hitzeeinwirkung zermürbt. Diese baulichen Schäden erstreckten sich über eine Länge von insgesamt ca. 24 m. Darüber hinaus war, vom Unfallort aus gesehen, der Tunnel in Richtung Norden auf einer Länge von 35 m und in Richtung Süden auf einer Länge 70 m vollkommen vom Ruß geschwärzt.

An den Betriebseinrichtungen, wie z. B. der Tunnelbeleuchtung, den Antennenkabeln für den Tunnelfunk und den in einem Kabelkanal an der Tunneldecke geführten Versorgungsleitungen traten Schäden auf einer Länge von ca. 360 m auf.

Für eine provisorische Wiederinbetriebnahme des Tunnels wurde die Zwischendecke zunächst mit Holzstämmen und Holzbohlen abgestützt. Ferner wurde an der Decke im schadhaften Bereich ein engmaschiges Stahlnetz aufgedübelt. Nach ca. zwei Tagen konnte der Tunnel wieder für den Verkehr freigegeben werden.

Die eigentlichen Sanierungsarbeiten wurden im Mai 1995 durchgeführt. Die Sanierungskosten wurden auf ca. 2,5 Mio. Österreichische Schilling geschätzt.

(4) *Fazit*

- a) Übermüdete Fahrer gefährden andere Verkehrsteilnehmer erheblich.
- b) Die Löscharbeiten wurden durch Rauch, Hitze und den Ausfall der Funkverbindungen behindert.
- c) Dichter Rauch breitete sich über mehrere hundert Meter im gesamten Tunnelquerschnitt aus.
- d) Durch den dichten Rauch war eine Videobeobachtung des Brandverlaufs nicht möglich.

### 3.3.7 Ereignis S7: Ekeberg tunnel, Norwegen

#### (1) Brandereignis [122]

Am 21.08.1996 geriet ein Gelenkbus der Verkehrsbetriebe Oslo im Tunnel in Brand. Dieser Bus wurde erst drei Monate zuvor in Dienst gestellt. Der Bus befand sich auf einer Überführungsfahrt zum Betriebshof und hatte daher keine Fahrgäste an Bord. Die Überführungsfahrt wurde notwendig, weil der Busfahrer beobachtet hatte, dass Dieselkraftstoff aus dem Motor-/Getriebebereich tropfte. Um zum Betriebshof zu kommen, wählte der Busfahrer eine Route, die durch den Ekeberg tunnel führte. Im Tunnel beobachtete der Busfahrer gegen 18.22 Uhr über die Rückspiegel des Busses, dass Flammen aus dem Motorraum schlugen. Er stellte daraufhin den Bus ca. 500 m innerhalb des Tunnels ab. Das stehende Fahrzeug wurde von der computerunterstützten Auswertung des Fahrzeugerkennungssystems und der Videobilder um 18.23 Uhr erkannt. Brandalarm wurde um 18.26 Uhr ausgelöst.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [122]

Gegen 18.30 Uhr traf Polizei am brennenden Bus ein und sperrte den Bereich ab. Auch die unmittelbar folgende Feuerwehr hatte noch keine Schwierigkeiten, zum Bus vorzudringen. Die Beleuchtung des Tunnels war noch intakt und die Lüftungsanlage konnte den Brandrauch ausreichend absaugen. Wegen der guten Luftverhältnisse entschieden sich die Feuerwehrleute dazu, keinen Atemschutz anzulegen. Auch mehrere Schaulustige, die sich in einer Entfernung von ca. 50 bis 100 m vom Brand versammelt hatten, fühlten sich nicht gefährdet.

Während der Vorbereitungen der Feuerwehr zum Löschangriff breitete sich der Brand gegen 18.35 Uhr auf den gesamten Bus aus.

Nach einer heftigen Explosion im Bus füllte sich der Tunnel vorübergehend mit Rauch- und Brandgasen. Bedingt durch diese Sichttrübung schalteten sich jetzt auch die Strahlventilatoren der Lüftungsanlage ein. Dadurch wurden die heißen Rauchgase jedoch zurück zum Brandort und den Rettungskräften getrieben. Einige der Feuerwehrleute konnten noch ihre Atemschutzmasken aufsetzen, während andere in der Nähe der Fahrzeuge Schutz suchten oder zum Tunnelportal flüchteten. Da jedoch der Rauch re-

lativ schnell zum Tunnelportal herausgeblasen wurde, kam es zu keinen Verletzungen. Gegen 19.00 Uhr war das Feuer weitgehend unter Kontrolle. Es flackerte jedoch noch mehrfach wieder heftig auf, so dass der Brand erst gegen 20.15 Uhr vollständig gelöscht werden konnte. Gegen 21.00 Uhr war der Tunnel von dem ausgebrannten Buswrack geräumt.

Die Evakuierung der sich im Tunnel stauenden Fahrzeuge wurde durch die zu Beginn des Brandes an den Portalen herabgelassenen Schranken behindert. Weil Probleme bei der Fernbedienung der Schranken von der Betriebszentrale aus auftraten, wurden die Schranken teilweise von der Polizei niedergerissen. Gegen 18.40 Uhr hatten alle Fahrzeuge den Tunnel verlassen.

Etwa 12 Stunden nach dem Brandereignis konnte der Tunnel am 22. August 1996 gegen 6.00 Uhr morgens wieder provisorisch für den Verkehr freigegeben werden.

Weil das feuerwehreigene Funksystem im Tunnel nicht funktionierte, musste der Funkbetrieb über die Funkeinrichtungen der Polizei abgewickelt werden.

### (3) *Brandschäden [122]*

Die Untersuchungen an dem Buswrack und an dem Tunnelbauwerk zeigten, dass bei dem Brand eine mittlere Energiefreisetzungsrate von ca. 13,4 MW und eine maximale Energiefreisetzungsrate über einen Zeitraum von 6 bis 10 Minuten von 36 MW auftraten. Die Maximaltemperaturen an der Tunnelfirste wurden zu ca. 1100 °C abgeschätzt. Mit dem Einschalten der Strahlventilatoren ging die Temperatur an der Tunnelfirste auf ca. 500 bis 600 °C zurück. Dennoch beschränkten sich die Brandschäden im Wesentlichen auf die Tunnelausrüstung, die auf einer Länge von ca. 170 m zerstört wurde. Die Reparaturkosten beliefen sich auf ca. 2,9 Mio. Norwegische Kronen.

### (4) *Fazit*

- a) Die Feuerwehrleute haben sich durch den anfänglichen Verzicht auf Atemschutz erheblich gefährdet. Acht Feuerwehrleute mussten wegen Rauchvergiftungen ins Krankenhaus gebracht werden.
- b) Das Tunnelbetriebspersonal muss insbesondere im Hinblick auf den Betrieb der Lüftungsanlage besser geschult werden.
- c) Die Funkeinrichtungen der Feuerwehr müssen verbessert werden.

- d) Bei einer Sperrung des Tunnels mit Schranken kann die Evakuierung der Fahrzeuge erschwert werden.
- e) Die Insassen der im Stau stehenden Fahrzeuge müssen klare Anweisungen z. B. von Polizeibeamten für das Verlassen des Tunnels erhalten.

### 3.3.8 Ereignis S8: Gotthard-Tunnel, Schweiz (1997)

#### (1) Brandereignis [119]

Am 31.10.1997 geriet ein Transport-LKW für Personenwagen im Tunnel in Brand. Der Transporter hatte 8 neue PKW geladen. Der Fahrer hielt, nachdem er den Brand bemerkt hatte, ca. 1 km vor dem Ausfahrtportal im Tunnel an und forderte über die nächstgelegene Notrufstation Hilfe an. Die automatische Brandmeldeanlage des Tunnels registrierte den Brand ca. eine Minute nach dem Notruf des LKW-Fahrers.

Bei Brandausbruch befanden sich 60 Fahrzeuge einschließlich 20 LKW im Tunnel. Etwa die Hälfte dieser Fahrzeuge fuhr in Richtung des Brandes und musste deshalb gestoppt werden.

Aus Messdaten des Tunnelüberwachungssystems und aus den Angaben der Rettungskräfte war es nach dem Brand möglich, die maximale Energiefreisetzungsrate des Brandes zu ca. 22 MW abzuschätzen.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [119]

Der Brandalarm ging um 7.21 Uhr in der Tunnelbetriebszentrale ein. Ca. 1 min später waren alle Notsysteme aktiviert, z.T. automatisch und z.T. von Hand. Vier Minuten nach dem Alarm fuhr die Tunnelfeuerwehr vom Südportal aus (dem Brand am nächsten gelegen) in den Tunnel ein. Die Tunnelfeuerwehr des Nordportals fuhr 9 Minuten nach dem Alarm in den Tunnel ein. Erste Hilfskräfte waren bereits 3 Minuten nach dem Notruf im Tunnel und kümmerten sich vorrangig um die aufgestauten Fahrzeuge. Sie wiesen die PKW-Fahrzeuge an, umzudrehen und aus dem Tunnel herauszufahren. Von den LKW-Fahrern suchten nur wenige die im Tunnel vorhandenen Schutzräume unaufgefordert auf. Die meisten Fahrer wollten trotz der unmittelbaren Gefahr durch den Brandrauch ihre Fahrzeuge nicht verlassen. In der Regel mussten die Fahrzeuginsassen von den Rettungskräften zum Verlassen der

Fahrzeuge aufgefordert werden und auch zu den nächstgelegenen Schutzräumen begleitet werden. Insgesamt wurden 60 Personen in die Schutzräume gebracht. Nur eine Person erlitt Rauchvergiftungen.

Am Brandort wurden die Rettungskräfte durch Betonabplatzungen gefährdet. Ferner war es schwierig, die Restfestigkeit der beschädigten Zwischendecke einzuschätzen. Dazu trug auch bei, dass die Zwischendecke wegen des dichten Rauches kaum sichtbar war.

Die Rettungsmaßnahmen wurden durch die relativ langsame Entwicklung des Brandes und die langsame Rauchausbreitung begünstigt. Etwa 1 Stunde nach Brandbeginn war das Feuer unter Kontrolle und nach einer weiteren halben Stunde vollständig gelöscht. Abschließend musste das Fahrzeugwrack jedoch noch für etwa 2 Stunden gekühlt werden.

### (3) *Brandschäden [119]*

Die Abplatzungen an der Zwischendecke erstreckten sich über eine Fläche von ca. 90 m<sup>2</sup> bis 100 m<sup>2</sup>. Die Tiefe der Abplatzungen reichte bis zum Bewehrungsstahl. Die vertikale Verformung der Zwischendecke betrug bis zu ca. 10 cm. Spätere Laboruntersuchungen zeigten, dass die Festigkeit der Deckenelemente durch die Einwirkung der hohen Brandtemperaturen und des Löschwassers auf ca. 50 % der Werte für neue Deckenelemente abgefallen war.

Auch die Beschädigung der Tunnelausrüstung war umfangreich. Durch den bis zu ca. 700 °C heißen Rauch und die unmittelbare Brandeinwirkung wurden Videokameras, Antennenkabel, Kommunikationskabel, Beleuchtungsanlagen, Verkehrszeichen und eine Notruf-Station beschädigt.

Durch den Brandrauch wurde die Zwischendecke und deren Bewehrung außerhalb des unmittelbaren Brandbereiches auf maximal ca. 500 °C erwärmt.

Die Reparaturarbeiten begannen unmittelbar nach dem Ablöschen des Brandes und wurden zu Beginn parallel zu den Räummaßnahmen im Tunnel (Entfernen des Fahrzeugwracks, Wenden und Herausfahren der aufgestauten LKW) durchgeführt. Durch Sofortmaßnahmen wurde eine schnelle Wiedereröffnung des Tunnels angestrebt. Diese Maßnahmen konnten bereits ca. 13 Stunden nach Brandbeginn abgeschlossen werden. Diese Sofortmaßnahmen umfassten die Entfernung der beschädigten Elektroeinrichtun-



gen über eine Länge von ca. 100 m und Montage einer Notbeleuchtung, Berräumung der Tunnelwände von lockerem Material und Stützung der beschädigten Zwischendecke sowie Räumen der beschädigten Fahrbahn-Oberfläche und Montage einer provisorischen Fahrbahn. Zu dem schnellen Abschluss der Sofortmaßnahmen trugen folgende Maßnahmen bei:

- a) Vorhalten von Stahlteilen für eine vorübergehende Abstützung der Zwischendecke
- b) Schulung des Tunnelpersonals für die Durchführung von Sofortmaßnahmen.

Durch diese vorbeugenden Maßnahmen entfielen nennenswerte Zeiten für die Planung der Maßnahmen und die Beschaffung der Baumaterialien. Im Vergleich zu früheren LKW-Bränden mit ähnlichen Auswirkungen auf den Tunnel konnte die Zeit zur Absicherung der Tunnelzwischen- decke in etwa halbiert werden.

Die abschließenden Reparaturarbeiten wurden während der ohnehin für Erhaltungsmaßnahmen vorgesehenen Zeitabschnitte durchgeführt. Bei diesen Erhaltungsmaßnahmen wird der Tunnel für eine Zeitdauer von 15 bis 20 Nächten jeweils von 20 Uhr bis 5 Uhr gesperrt. Während dieser Zeit wird der Verkehr über den Gotthard-Pass umgeleitet. Es wurden Deckenelemente ausgetauscht bzw. mit Spritzbeton ausgebessert. Diese Maßnahmen umfassten eine Firstfläche von ca. 120 m<sup>2</sup> bzw. eine Länge von 24 m. Ferner mussten die Betonelemente der Seitenwände über eine Länge von 136 m durch neue Elemente ersetzt werden.

Die Gesamtkosten für die Reparaturmaßnahmen beliefen sich einschließlich der Reparaturen an der Tunnelausstattung auf ca. 1,7 Mio. Schweizer Franken.

#### (4) *Fazit*

- a) Die Fahrzeuginsassen waren in der Regel nur nach Aufforderung durch das Rettungspersonal im Tunnel bereit, die Schutzräume des Tunnels aufzusuchen.
- b) Die Lösch- und Rettungsarbeiten wurden durch Betonabplatzungen behindert.

- c) Das Personal der Tunnelfeuerwehr war binnen weniger Minuten am Brandort.
- d) Durch das Vorhalten von Materialien für Notreparaturen und die Schulung des Tunnelpersonals für die Durchführung dieser Notreparaturen konnte die Zeitdauer der Tunnelsperrung deutlich verkürzt werden.

### 3.3.9 Ereignis S9: Mont-Blanc-Tunnel, Frankreich/Italien

#### (1) Brandereignis [61 bis 64]

Vor dem Großbrand am 24.03.1999 waren bereits seit der Inbetriebnahme des Mont-Blanc-Tunnels im Jahre 1965 insgesamt 17 LKW-Brände aufgetreten. Die meisten dieser Brände wurden mit den an Bord der LKW oder den im Tunnel befindlichen Feuerlöschern gelöscht. Bei mindestens 5 Bränden erfolgte ein Einsatz der Feuerwehr.

Bei diesen Bränden konnte die Feuerwehr gut zum Brandort vordringen und das brennende Fahrzeug löschen. Bei 4 von den 5 Brandereignissen, bei denen die Feuerwehr eingreifen musste, handelte es sich um LKW mit überhitztem Motor. Diese Überhitzung kann auf die Höhenunterschiede zurückzuführen sein, die zum Erreichen des Tunnels überwunden werden müssen.

Keiner der 17 Brände hat auf andere Fahrzeuge übergegriffen. Obwohl somit Erfahrungen mit Fahrzeugbränden im Mont-Blanc-Tunnel vorlagen, geriet der LKW-Brand am 24.03.1999 außer Kontrolle.

Der Brand ging von einem Sattelzug aus, der 9 Tonnen Margarine und 12 Tonnen Mehl transportierte. Neben der Ladung waren am LKW als weitere Brandlasten ca. 550 Liter Dieselkraftstoff und die leicht entflammbare Schaummasse der thermischen Isolierung des Kühl-Sattelauflegers vorhanden.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [61 bis 64]

Der Brand entstand unterhalb der Fahrerkabine und griff, nachdem der Sattelzug angehalten hatte, sehr schnell auf den gesamten LKW über. Im Laufe des Brandes schmolz die geladene Margarine und verwandelte sich in außerordentlich leicht entflammbares Öl. Zudem ist die flüssige Margarine höchstwahrscheinlich auf die Fahrbahn geflossen und setzte durch die so vergrößerte Oberfläche eine beträchtliche Brandleistung frei.

Der erste Brandalarm ging gegen 10.55 Uhr ein. Die Ampeln an den Tunnel-einfahrten wurden auf Rot geschaltet. Auf der italienischen Seite wurde auch die Schranke vor dem Tunnel geschlossen.

Der Versuch des LKW-Fahrers, den beginnenden Brand selbst zu löschen, schlug fehl. Bereits 2 bis 4 Minuten nach Brandmeldung waren bereits 1200 m des Tunnels so stark verraucht, dass einfahrende Feuerwehrfahrzeuge des Tunnelbetreibers anhalten mussten.

Die französische und die italienische Feuerwehr kam etwa gleichzeitig um ca. 11.10 Uhr am Tunnel an.

Eine Viertelstunde nach dem Ausbruch des Brandes wurde ein einfahrendes Tanklöschfahrzeug der Feuerwehr aus Chamonix schon ca. 2700 m vom brennenden LKW entfernt vom Rauch eingeschlossen (11.10 Uhr). Ein um 11.36 Uhr eingedrungenes Tank-Löschfahrzeug wurde dann bereits in einer Entfernung von 4800 m vom Brandort vom Rauch erfasst.

Die Lüftungsanlage des Tunnels wurde auf volle Zuluftleistung gestellt, um die im Bereich des Brandes befindlichen Personen mit Frischluft zu versorgen. Durch diese Maßnahme wurde jedoch das Feuer zusätzlich angefacht und heiße Brandgase durch den Tunnel gedrückt.

Diese Lüftungsmaßnahme bedeutete dadurch keine Hilfe, sondern eine zusätzliche Gefährdung der Tunnelnutzer. Es kam zu Feuerübersprüngen über Strecken bis zu ca. 300 m. Insgesamt griff der Brand auf folgende Fahrzeuggruppen über:

a) Französische Seite

Es brannte eine Kolonne von 26 Kraftfahrzeugen (15 LKW mit Sattelaufleger und/oder Anhänger, 1 Lieferwagen, 9 PKW, 1 Motorrad). Die Kolonne hatte einen Abstand von etwa 100 m zum Brandort und eine Länge von ca. 500 m.

b) Italienische Seite

Hier brannte eine Kolonne von 8 LKW. Der Abstand der LKW-Kolonne zum Brandort betrug ca. 290 m. Die PKW in der Kolonne konnten wenden und aus dem Tunnel herausfahren.

## c) Rettungsfahrzeuge auf französischer Seite

Ein ca. 450 m hinter dem letzten LKW auf der französischen Seite abgestelltes Tank-Löschfahrzeug geriet noch in Brand. Ein zweites Tank-Löschfahrzeug, das noch 230 m weiter entfernt vom Brandherd stand, wurde stark erhitzt und beschädigt, brannte aber nicht.

Die Rauchausbreitung zur italienische Seite hin war geringer als in Richtung Frankreich. Gegen 11.05 Uhr konnte sich eine Motorradstreife von der italienischen Seite aus dem brennenden Sattelzug noch bis auf eine Entfernung von etwa 10 m nähern.

Zwischen 11.20 und 11.30 Uhr konnten die italienischen Feuerwehrleute sich dem LKW noch bis auf ca. 300 m nähern. Die auf der italienischen Seite in Brand geratenen LKW konnten früher abgelöscht werden als der umfangreichere LKW-Pulk auf der französischen Seite.

Die günstigeren Lüftungsbedingungen auf der italienischen Seite wurden jedoch nicht für eine durchgreifende Brandbekämpfung auf französischem Gebiet genutzt.

Günstig für die Löscharbeiten auf der italienischen Seite war auch der Einsatz von Schaumlöschgeräten, die von Marseille herangeholt wurden. Negativ auf die Lösch- und Rettungsarbeiten wirkten sich aus:

- a) Fast keine Sicht
- b) Extreme Hitze
- c) Sehr beschwerliche Nutzung der Atemschutzgeräte mit geschlossenem Kreislauf in einer überhitzten Umgebung
- d) Fehlende Kompatibilität zwischen den Atemschutzgeräten der Tunnelbetreibergesellschaft und denen der Feuerwehr
- e) Unzureichender Wasserdruck in der französischen Tunnelhälfte
- f) Löschwasserpumpen-Ausfall
- g) Kommunikationsprobleme im Tunnelinneren, weil ein Teil der Kommunikationseinrichtungen sehr rasch vom Feuer zerstört wurde.
- h) Fehlende Kompatibilität der Schlauchanschlüsse für die verschiedenen Einsatzkräfte

Zwei Tunnelnutzer flüchteten in der Nähe des Brandortes in einen der im Tunnel vorhandenen Schutzräume. Diese Räume bieten Schutz für ca.

2 Stunden vor einem Brand. Da das Brandereignis jedoch weitaus länger dauerte (ca. 53 Stunden), konnten diese Tunnelnutzer nicht aus dem Schutzraum gerettet werden und starben.

Insgesamt kamen bei dem Brandereignis 39 Menschen ums Leben.

29 Opfer wurden in Kraftfahrzeugen gefunden, 9 Opfer außerhalb der Kraftfahrzeuge. Außerdem starb einer der Feuerwehrleute an seinen im Tunnel erlittenen Verletzungen.

(3) *Brandschäden [61 bis 64]*

Am Tunnelgewölbe entstanden Schäden auf einer Länge von über 900 m. Die Fahrbahn und die Platten unter der Fahrbahn wurden auf eine etwas kürzere Distanz beschädigt.

Zudem wurden die Tunneleinrichtungen aufgrund der erreichten Temperaturen oder der durch den Brand entstandenen Absonderungen auf eine lange Strecke zerstört oder unbrauchbar.

Die Kosten für die Reparaturen und die Modernisierung der Tunnelröhre wurden auf ca. 300 Mio. DM geschätzt. Die Wieder-Inbetriebnahme ist für den Herbst des Jahres 2000 vorgesehen.

(4) *Fazit*

- a) Der Brand wurde durch einen Fahrzeug-Defekt ausgelöst.
- b) Die auf volle Zuluft-Leistung gestellte Lüftungsanlage fachte den Brand an und verursachte Feuerübersprünge über Strecken bis ca. 300 m.
- c) Die Feuerwiderstandsdauer der Schutzräume (ca. 2 Stunden) war nicht ausreichend.
- d) Die Lösch- und Rettungsarbeiten wurden durch Rauch und Hitze behindert.
- e) Die Lösch- und Rettungsarbeiten wurden verzögert (Geräte von Feuerwehren und Tunnelbetreiber nicht kompatibel, Kommunikationsprobleme, Geräte-Ausfall)
- f) Die Brandbekämpfung konnte durch den Einsatz von Löschschaum verbessert werden.
- g) Die Brandschutzmaßnahmen der Betreibergesellschaften (Frankreich, Italien) waren nicht aufeinander abgestimmt.

### 3.3.10 Ereignis S10: Tauern-Tunnel, Österreich

#### (1) Brandereignis [65 bis 68, 98, 107]

Im Tauern-Tunnel war ca. 800 m vor dem Nordportal eine Baustelle eingerichtet. An der auf Rot geschalteten Ampel im Tunnel vor dieser Baustelle hielt ein mit Lackfarben beladener LKW und hinter ihm 4 PKW.

Ein nachfolgender Sattel-Schlepper bemerkte zu spät, dass die vor ihm befindlichen Fahrzeuge standen. Der Fahrer schaffte es nicht mehr, rechtzeitig zu bremsen. Er schob 2 PKW unter den mit Lackfarben beladenen Laster und 2 PKW gegen die Tunnelwandung.

Die Fahrzeuge gerieten sofort in Brand. Anschließend griff das Feuer auf die mittlerweile im rückwärtigen Tunnel aufgestauten Fahrzeuge über. Insgesamt verbrannten 16 LKW und 24 PKW.

#### (2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [65 bis 68, 107]

Der Brand brach am 29.05.1999 gegen 5 Uhr morgens aus. Die wenige Minuten nach dem Feuersalarm im Tunnel eintreffende Tunnelfeuerwehr musste sich sofort wieder zurückziehen. Es wurden dichter Qualm und große Hitze angetroffen. Außerdem ereigneten sich Explosionen. Erst gegen Mittag konnten weitere Erkundungstrupps in den Tunnel eindringen.

Noch am späten Nachmittag brannte ein Feuer auf eine Länge von 50 bis 60 m. Vollständig abgelöscht werden konnte der Brand erst gegen 21.45 Uhr.

Der Brand forderte insgesamt 12 Todesopfer. Weitere 57 Personen wurden verletzt.

#### (3) Brandschäden [65 bis 68, 107]

Der Tunnel und die Tunneleinrichtungen mussten über eine Länge von ca. 1,5 km saniert werden.

Es wurden folgende Instandsetzungsarbeiten vorgenommen:

- a) Reinigung des Zu- und Abluftkanals mit Hochdruckwasser
- b) Erneuerung der Zwischendecke auf einer Gesamtlänge von 350 m
- c) Instandsetzung des Ulmen-Betons mit Spritzbeton

- d) Sanierung der Fahrbahn auf einer Länge von ca. 1 km (Abtrag bis zu einer Tiefe von 1 m und anschließende Neubetonierung)
- e) Umstellung des Lüftungssystems für die Brandluftabsaugung auf eine punktuelle Absaugung (Einbau von Jalousien mit Abmessungen von 2,3 x 2,2 m im Abstand von 48 m).
- f) Aufhellender Anstrich der Tunnelröhre auf beiden Seiten über eine Höhe von 3 m auf die gesamte Tunnellänge von 6,4 km
- g) Einbau einer Frischluftversorgung für jede Notrufnische, damit diese Nischen auch im Brandfall noch genutzt werden können
- h) Einziehen eines zweiten, zusätzlichen Funkkabels zur doppelten Absicherung und Aufrechterhaltung der Kommunikation während eines Brandfalles
- i) Einbau einer Bildspeicheranlage, die im Abstand von 5 Sek. eine lückenlose Aufzeichnung des Geschehens im Tunnel über eine maximale Zeitdauer von maximal 24 Stunden zulässt.

Im Zuge der Sperrung des Tauern-Tunnels wurden auch für später eingeplante Erhaltungsmaßnahmen, wie z. B. die Sanierung des örtlich teils schadhaften Mittelkanals der Tunnelhauptentwässerung auf eine Länge von rund 500 m, vorgezogen.

Insgesamt kosteten die Maßnahmen:

- a) Sanierungsmaßnahmen: ca. 80 Mio. ÖS
- b) Verbesserungsmaßnahmen: ca. 30 Mio. ÖS
- c) Vorgezogene Erhaltungsmaßnahmen: ca. 10 Mio. ÖS

Zu diesen Kosten müssen noch entgangene Mauteinnahmen hinzuaddiert werden, die auf ca. 263 Mio. ÖS geschätzt werden.

Der Tunnel konnte am 28. August 1999 ca. 3 Monate nach dem Brandereignis wieder für den Verkehr freigegeben werden.

#### (4) *Fazit*

- a) Ursache des Brandes war ein Auffahrunfall an einer Baustellenampel im Tunnel.
- b) Die Lösch- und Rettungsarbeiten wurden durch Rauch und Hitze behindert.

- c) Die Lüftungsanlage war für die Beherrschung des Brandes unzureichend.

### 3.3.11 Weitere Brandereignisse in Straßentunneln

Die nachfolgend beschriebenen Gefahrgut-Brände bzw. Brände mit hohen Brandlasten in Straßentunneln können leider nicht umfangreicher beschrieben werden, da hierzu der STUVA die entsprechenden Informationen trotz intensiver Bemühungen fehlen:

#### a) Ereignis S11: Chesapeake Bay Tunnel, USA

##### (1) *Brandereignis und Schäden [53]*

Am 03.04.1974 verlor der Fahrer eines Kühllasters nach dem Platzen eines Reifens die Kontrolle über das Fahrzeug. Das Fahrzeug streifte die Tunnelwandung und kippte um. Dabei wurden beide Fahrspuren des Tunnels blockiert. Bei dem Unfall explodierte der Fiberglas-Kraftstofftank und setzte das Fahrzeug in Brand. Bei dem Brand wurde die Fahrzeugkarosserie vollständig zerstört, während die Ladung unbeschädigt blieb. Durch den Brand wurden Kacheln an der Tunnelfirste zerstört. Ferner wurde das Antennenkabel für die Funkversorgung des Tunnels beschädigt. Der Tunnel konnte ca. 4 ½ Stunden nach dem Brandalarm wieder für den Verkehr freigegeben werden.

##### (2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [53]*

Der Unfall wurde von einem Polizisten beobachtet und um 12.18 Uhr gemeldet. Der Polizist fuhr anschließend zum Brandort, brachte den Fahrzeugführer in Sicherheit und stoppte den Verkehr im Tunnel. An den Tunnelportalen stationierte Hilfsfahrzeuge fuhren um 12.19 Uhr bereits in den Tunnel ein und nahmen die Brandbekämpfung auf. Zusätzlich wurde die örtliche Feuerwehr alarmiert. Der Brand konnte innerhalb von 6 bis 7 Minuten unter Kontrolle gebracht werden. Während des Brandes sammelte sich im Brandbereich an der Tunneldecke dichter Rauch. Das Rettungspersonal legte dennoch während der Rettungsarbeiten keinen Atemschutz an. Der verletzte Fahrzeugführer wurde gegen 12.50 Uhr in ein Krankenhaus gebracht.



**b) Ereignis S12: Guadarrama-Tunnel, Spanien**

(1) *Brandereignis und Schäden [52, 57]*

Am 14.08.1975 geriet ein mit Pinienharz gefüllter LKW in dem in Richtungsverkehr betriebenen Straßentunnel in Brand. Durch den heftigen Brand kam es zu Betonabplatzungen an Tunneldecke und -wand und zu einer Zerstörung der Tunnelbetriebseinrichtungen (Beleuchtungs-, Video-, Lautsprecher- und Lüftungsanlage) auf einer Länge von ca. 120 m.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die Feuerwehr wurde um 11.35 Uhr alarmiert und erreichte um 11.55 Uhr den Tunnel. Zu diesem Zeitpunkt waren die Beleuchtung und die Tunnellüftungsanlage ausgefallen. Die Richtung der Luftströmung im Tunnel hatte sich umgekehrt.

Durch die heißen Brandgase und die Verrauchung der Tunnelröhre war es der Feuerwehr zunächst nicht möglich, an den brennenden LKW heranzukommen. Mit den Löscharbeiten konnte erst kurz nach 12.45 Uhr begonnen werden. Insgesamt dauerte der Brand ca. 2  $\frac{3}{4}$  Stunden.

**c) Ereignis S13: San-Bernardino-Tunnel, Schweiz**

(1) *Brandereignis und Schäden [52]*

Am 21.07.1976 geriet ein mit 33 Personen besetzter holländischer Reisebus in Brand. Infolge der Hitzestrahlung des Unterflurmotors fing eine Isolationswand zwischen Motor- und Gepäckraum Feuer. Der Brand konnte durch den schnellen Einsatz der Feuerwehr auf den Motor- und Gepäckraum begrenzt werden. Dadurch kam es zu keinem Schaden an den Tunnelbetriebseinrichtungen.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die Feuerwehr wurde um 11.22 Uhr über manuelle Feuermelder alarmiert. Bereits um 11.26 Uhr konnte mit den Löscharbeiten begonnen werden. Der Brandrauch konnte durch die Lüftungsanlage des Tunnels abgesaugt werden. Alle Insassen des Busses konnten das Fahrzeug

und den Gefahrenbereich unversehrt unter Führung der Reiseleitung verlassen.

**d) Ereignis S14: Velsen-Tunnel, Niederlande**

*(1) Brandereignis und Schäden [52]*

Der Brand ereignete sich im August 1978. Ein Lastkraftwagen verlor sein Reserverad und verursachte dadurch eine Kollision von 2 LKW und 4 PKW im Tunnel. Durch auslaufenden Kraftstoff gerieten alle am Unfall beteiligten Kraftfahrzeuge in Brand. Das Tunnelbauwerk wurde auf einer Länge von 30 m beschädigt (Betonabplatzungen im Deckenbereich). Auch wurden die Betriebseinrichtungen im Brandbereich zerstört.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die Löscharbeiten konnten ca. 4 Minuten nach dem Unfall aufgenommen werden. Die Tunnellüftungsanlage konnte den Brandrauch soweit absaugen, dass die Feuerwehr nahe genug an den Brandherd herankommen konnte, um das Feuer zu löschen.

Trotz des schnellen Einsatzes der Feuerwehr starben bei diesem Unfall mit Brandfolge 5 Menschen, weitere 5 Personen wurden zum Teil erheblich verletzt.

**e) Ereignis S15: Kajiwara-Tunnel, Japan**

*(1) Brandereignis und Schäden [52, 57]*

Dem Brand vom 17.04.1980 ging ein Unfall voraus, an dem 2 LKW beteiligt waren. Der kleinere LKW (4 t), der 200 Kanister mit insgesamt 3.000 l Farbe geladen hatte, kollidierte zudem mit einer Tunnelwand und kippte um.

Der Tunnel wurde auf einer Länge von 280 m beschädigt.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52, 57]*

Bei dem Unfall kam ein Fahrzeuginsasse ums Leben. Weitere Angaben zu Lösch- und Rettungsarbeiten liegen nicht vor.

**f) Ereignis S16: Fréjus-Tunnel, Italien/Frankreich**

(1) *Brandereignis und Schäden [52, 57]*

Am 03.02.1983 geriet durch einen Getriebebeschaden ein mit Kunststoffmaterial beladener Lastkraftwagen im Tunnel in Brand. Trotz des schnellen Löscheinsatzes der Feuerwehr brannte der LKW vollständig aus. Die Decken- und Wandverkleidung des Tunnels sowie die technischen Betriebseinrichtungen wurden auf einer Länge von ca. 200 m zerstört oder stark beschädigt.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Der Brand konnte nach ca. 1 Stunde und 50 Minuten gelöscht werden. Personen kamen nicht zu Schaden.

**g) Ereignis S17: St. Gotthard-Tunnel, Schweiz**

(1) *Brandereignis und Schäden [52, 57, 69]*

Durch einen Motorbrand blieb am 02.04.1984 ein mit Kunststofffolien beladener Lastwagen im Tunnel liegen und brannte aus. Im Brandbereich traten Betonabplatzungen an der Tunnelzwischenendecke und der Tunnelwand auf. Ferner wurden die Tunnelbetriebseinrichtungen (Beleuchtung, Kameras, Kabel, Funkantennen) in diesem Bereich zerstört.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52, 57, 69]*

Durch den Einsatz der Tunnelfeuerwehr konnte der Brand bereits 24 Minuten nach dem Erkennen gelöscht werden. Günstig wirkten sich das Einschalten der Tunnelnotbeleuchtung, des Brandrauchlüftungsprogrammes und die sofortige Sperrung des Tunnels aus.

**h) Ereignis S18: Felbertauern-Tunnel, Österreich**

(1) *Brandereignis und Schäden [52, 57]*

Am 01.07.1984 geriet kurz nach dem Passieren des Südportals des einröhrigen Tunnels ein holländischer Reisebus wegen defekter Bremsen in Brand. Der Bus brannte vollständig aus. An der Tunnelzwischenendecke traten Betonabplatzungen auf. Ferner wurden Tunnelbe-

triebseinrichtungen wie Beleuchtung und Versorgungsleitungen beschädigt. Die Schäden erstreckten sich über eine Länge von ca. 100 m.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Der Brandrauch zog durch die Luftströmung im Tunnel über das Südportal ins Freie ab. Dadurch war jedoch der kürzere Fluchtweg (ca. 30 m) bis zum Südportal nicht mehr benutzbar. Die Businsassen mussten daher den Tunnel über die ca. 5 km lange Strecke zum Nordportal verlassen. Anfangs mussten sie zu Fuß gehen. Später wurden sie mit Kraftfahrzeugen der Tunnelbetreibergesellschaft zum Nordportal gebracht.

Die Feuerwehr wurde gegen 12.00 Uhr alarmiert und konnte gegen 12.27 Uhr mit den Löscharbeiten beginnen. Die Alarmierung verzögerte sich, weil im Tunnel keine Brandmeldeanlage installiert war und auch eine automatische Fernsehüberwachung fehlte. Ferner kam erschwerend hinzu, dass die alarmierten Feuerwehren einen ca. 12 km langen Anfahrtsweg mit erheblichen Steigungen zurückzulegen hatten. Bei ihrem Eintreffen war die gesamte Tunnelbeleuchtung ausgefallen und der Fahrraum war erheblich verraucht.

Die Brandbekämpfung wurde durch fehlende Langzeit-Atemschutzgeräte bei den Feuerwehren und nicht ausreichendem Schlauchmaterial in den Wandhydrantenschränken erschwert. Der Brand konnte nach ca. 1 ½ Stunden gelöscht werden. Personen kamen nicht zu Schaden.

**i) Ereignis S19: L'Arme-Tunnel, Frankreich**

(1) *Brandereignis und Schäden [52]*

Am 9.09.1986 verlor ein LKW-Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug, rammte mehrmals die Tunnelwand und drei PKW. Danach stieß der LKW mit einem PKW frontal zusammen. Der PKW wurde unter der Zugmaschine eingeklemmt, begann zu brennen und setzte auch den LKW in Brand. Beide Fahrzeuge brannten vollständig aus. Am Tunnelbauwerk entstanden nur geringe, an den Tunnelbetriebseinrichtungen dagegen erhebliche Schäden.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die drei Fahrzeuginsassen im eingeklemmten PKW wurden getötet. Weitere fünf Personen wurden z.T. schwer verletzt.

**j) Ereignis S20: Herzogberg-Tunnel (1986), Österreich**(1) *Brandereignis und Schäden [52]*

Am 30.12.1986 geriet durch einen Defekt an der Bremsanlage das Zugfahrzeug eines Sattelschleppers im Tunnel in Brand.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die Brandmeldung bei der Feuerwehr erfolgte um 18.19 Uhr. Durch den langen Anfahrtsweg der Feuerwehr (bis ca. 30 km) konnte erst gegen 18.57 Uhr mit der Brandbekämpfung begonnen werden. Beim Eintreffen der Feuerwehr war der Tunnel schon stark verraucht. Die Lüftungsanlage benötigte ca. 30 Minuten, um den Brandrauch so weit abzusaugen, dass mit Feuerwehrfahrzeugen in den Tunnel eingefahren werden konnte. Der noch auf das Zugfahrzeug beschränkte Brand konnte sehr rasch mit den im Tunnel eingebauten Wandhydranten gelöscht werden. Personen kamen nicht zu Schaden.

**k) Ereignis S21: Gumefens-Tunnel, Schweiz**(1) *Brandereignis und Schäden [52, 57]*

Durch Glatteisbildung im Tunnel kam es am 18.02.1987 zu einer Massenkollision von 3 LKW und 5 PKW. Durch auslaufenden Kraftstoff, der sich entzündete, gerieten die LKW und ein PKW in Brand. Bei diesem Brand wurde eine Röhre des Tunnelbauwerkes erheblich beschädigt. Weil in dem ca. 340 m langen Tunnel keine Lüftungsanlage vorhanden war, konnte der Brandrauch über einen Lüftungskurzschluss am Tunnelportal auch auf die zweite Röhre übergreifen. Dadurch kam es in dieser Röhre zu einem weiteren Unfall, an dem ein Reisebus und drei PKW beteiligt waren.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die Feuerwehr wurde um 17.04 Uhr alarmiert. Obwohl Löschwasser aus dem nächsten Dorf (Entfernung ca. 200 m) über Schlauchleitungen

zum Tunnel transportiert werden musste, konnte mit den Löscharbeiten um 17.25 Uhr begonnen werden. Der Brand dauerte insgesamt ca. 2 Stunden. In den Fahrzeugtrümmern starben 2 Personen. Fünf weitere Personen wurden verletzt.

**l) Ereignis S22: Måbø-Tunnel, Norwegen**

*(1) Brandereignis und Schäden [123]*

Am 20.07.1990 wurde von Tunnelnutzern gegen 19.35 Uhr ein Feuer an einem Viehfuttertransporter gemeldet.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [123]*

Der Fahrer des Futtertransporters hatte den Brand bereits um 18.30 Uhr bemerkt und daraufhin versucht, den Tunnel mit dem Fahrzeug noch zu verlassen. Wegen der sehr späten Brandmeldung traf die Feuerwehr erst gegen 19.50 Uhr am Tunnel ein, konnte aber wegen der starken Sichtbehinderung durch den Rauch erst gegen 20.45 Uhr in den Tunnel eindringen. Zunächst wurde sichergestellt, dass sich keine Personen mehr im Tunnel befanden. Die Löscharbeiten unter Verwendung von Löschschaum wurden um 21.30 Uhr begonnen. Während des Brandes wurde eine Umkehr der Strömungsrichtung des Brandrauches im Tunnel beobachtet. Gegen 22.30 Uhr konnte das ausgebrannte Fahrzeug aus dem Tunnel geschleppt werden.

**m) Ereignis S23: Herzogberg-Tunnel (1992), Österreich**

*(1) Brandereignis und Schäden [52]*

Am 14.07.1992 gerieten durch einen Unfall ein mit Holz beladener Sattelzug und ein PKW in Brand. Beide Fahrzeuge brannten vollständig aus. An der Tunneldecke und -wand kam es zu großen Betonabplatzungen. Im Brandbereich wurden die Tunnelbetriebseinrichtungen zerstört.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [52]*

Die Feuerwehr wurde um 06.04 Uhr alarmiert. Da die Rauchentwicklung auf der Tunnelportalwestseite verhältnismäßig gering war, konnten von hier aus Feuerwehrfahrzeuge zur ca. 300 m entfernten Einsatzstelle im Tunnel fahren und um ca. 6.25 Uhr mit der Brandbe-

kämpfung beginnen. Am Ostportal war eine Einfahrt der Feuerwehrfahrzeuge durch den starken Rauchaustritt nicht möglich. Der eingeklemmte PKW-Fahrer konnte erst nach dem Zurückziehen des LKW-Anhängers mit schwerem Bergungsgerät (hydraulisches Schneid- und Spreizwerkzeug) aus dem Wrack geborgen werden.

Bei dem Unfall kam eine Person ums Leben.

Die Aufräumarbeiten im Tunnel waren schwierig, da wegen der geringen Höhe des Tunnels z. B. kein Kran eingesetzt werden konnte, um die Holzreste auf einen anderen LKW umzuladen.

#### **n) Ereignis S24: Huguenot Toll Tunnel, Südafrika**

##### *(1) Brandereignis und Schäden [125]*

Am 27.02.1994 geriet ein mit 45 Insassen voll besetzter Bus durch einen Schaden an der Kupplung im Tunnel in Brand. Der Beifahrer versuchte, die Flammen mit Kleidungsstücken zu ersticken, die aber sofort Feuer fingen. Daraufhin gerieten einige Insassen in Panik, sprangen vom fahrenden Bus und verletzten sich dabei. Etwa in der Tunnelmitte verlor der Fahrer die Kontrolle über den Bus, geriet auf die Gegenfahrbahn und kollidierte mit der Tunnelwandung. Ein entgegenkommender LKW konnte nur durch eine Notbremsung einen Zusammenstoß mit dem Bus verhindern. Bei der Notbremsung stellte sich jedoch der LKW-Anhänger quer, so dass der Tunnel blockiert wurde.

Nach dem Brand wurden an der Tunneldecke auf einer Länge von ca. 18 m Risse und Betonabplatzungen festgestellt. Ferner war die Zwischendecke bis zu ca. 24 mm vertikal verformt. Auch an der Fahrbahnoberfläche waren Abplatzungen vorhanden. Ferner waren Teile der Tunnelbetriebeinrichtungen zerstört.

Bei dem Brand kam der Busfahrer ums Leben. In den umliegenden Krankenhäusern wurden 28 verletzte Businsassen behandelt. Die Reparaturkosten für die Schäden am Tunnel beliefen sich etwa auf 1,5 Mio. Rand.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [125]*

Die Tunnelbetriebszentrale wurde um 16.18 Uhr alarmiert, weil Detektoren in der mittleren Pannenbucht anzeigten, dass sich dort Personen aufhielten. Um 16.19 Uhr sprachen dann auch die Branddetektoren im Tunnel an und lösten damit die Brandbekämpfung aus.

Der Brand war zunächst klein genug, so dass die noch im Bus verbliebenen Passagiere geordnet ausstiegen und versuchten, ihr Reisegepäck vom Dach des Busses zu holen.

Weder von den Fahrern noch von den Passagieren wurden die im Bus bzw. im Tunnel vorhandenen Feuerlöscher zu einem Löschversuch benutzt. Sehr bald entwickelte sich dichter Rauch. Durch die Rauch- und Hitzeeinwirkung fiel in dieser Brandphase die Videoanlage aus, so dass der Brand nicht mehr von der Betriebszentrale aus verfolgt werden konnte.

Wegen vorausgegangener Fehlalarme der Brandmeldeanlage wurde von der Tunnelbetriebzentrale zunächst ein Hilfsfahrzeug geschickt, um die Vorgänge im Tunnel zu überprüfen. Dieses Rettungspersonal erreichte den Brandort um 16.22 Uhr, gab über Funk dann endgültig Feueralarm. Der Versuch, den Brand mit einem 9-kg-Feuerlöscher zu bekämpfen, schlug fehl. Gegen 16.33 Uhr erreichte dann auch die Feuerwehr den Brandort, brachte den Brand gegen 17.00 Uhr unter Kontrolle und löschte ihn gegen 17.30 Uhr vollständig. Es dauerte jedoch bis ca. 18.40 Uhr, bis der Brandrauch mit der Tunnellüftungsanlage völlig aus dem Tunnel abgesaugt werden konnte. Beim Abschleppen des ausgebrannten Busses flackerte das Feuer noch einmal auf, wurde aber sofort wieder unter Kontrolle gebracht. Bei den Bergungsarbeiten versuchten auch nicht vom Tunnelbetreiber zugelassene Unternehmen in den Tunnel zu gelangen.

Gegen 21.00 Uhr war der Tunnel von den Brandrückständen geräumt.



**o) Ereignis S25: Kingsway-Tunnel, Großbritannien**

(1) *Brandereignis und Schäden [126]*

Am 15. Oktober 1994 geriet gegen 21.30 Uhr ein mit 40 Passagieren besetzter Bus im Tunnel in Brand. Der Brand ging vom Motorraum des Busses aus. Der Brand wurde über Monitore von einem Polizisten in der Kontrollzentrale bemerkt. Er alarmierte die Feuerwehr über Telefon, gab die Brandmeldung über Polizeifunk an Verkehrsstreifen weiter und sperrte den Tunnel für den Verkehr. Zu diesem Zeitpunkt hielt der Busfahrer im Tunnel an. Es ist unklar, ob er den Rauch bemerkte oder aber auf die Stoppsignale der Verkehrszeichen reagierte.

Bei dem Brand wurden keine Personen verletzt. Schäden an dem Tunnelbauwerk und den Tunneleinrichtungen traten nicht auf.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [126]*

Eine Polizeistreife in der Nähe des Tunnels hörte die Funkmeldung und fuhr sofort zum Brandort. Der Brandort wurde mit dem Polizeifahrzeug und dessen Blaulichtern gesichert. Die Insassen konnten den Bus unverletzt verlassen und wurden von der Polizei angewiesen, zum Tunnelportal zu gehen. Weil die Passagiere jedoch alkoholisiert waren, mussten die Polizeikräfte intensiv darauf achten, dass diese Anweisung auch befolgt wurde.

Der Brand konnte mit den großen, auf dem Polizeifahrzeug mitgeführten Pulverfeuerlöschern gelöscht werden. Die eintreffenden Feuerwehrkräfte übernahmen die Sicherung und Bergung des Busses. Gegen 22.40 Uhr konnte der Tunnel wieder für den Verkehr freigegeben werden. Die Dauer der Tunnelsperrung betrug damit ca. 1 ¼ Stunden.

**p) Ereignis S26: Hitra-Tunnel, Norwegen**

(1) *Brandereignis und Schäden [123]*

Am 24.01.1995 geriet ein durch den Tunnel fahrender Mobilkran in Brand.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [123]*

Der Brand begann gegen ca. 7.55 Uhr. Der Fahrer des Mobilkranes

versuchte, den Brand mit einem im Tunnel angebrachten Feuerlöscher zu bekämpfen. Wegen der Rauch- und Hitzeentwicklung musste er die Löschversuche jedoch aufgeben. Gegen 8.05 Uhr wurde die örtliche Feuerwehr von Tunnelnutzern alarmiert, eine Minute später dann auch vom Fahrer selbst. Zunächst wurde das Personal einer nahegelegenen Baufirma aufgefordert, zum Tunnel zu fahren und ihn zu sperren. Die nächstgelegene Feuerwehr konnte den Tunnel erst gegen 8.55 Uhr erreichen. Um 9.05 Uhr wurde eine erste Inspektion des Brandortes vorgenommen. Dabei wurde keine Sichtbehinderung durch Rauch festgestellt. Wegen fehlender Atemschutzausrüstung kehrten die Feuerwehrleute jedoch zum Tunnelportal zurück. Um 9.35 Uhr wurde die Lüftungsanlage des Tunnels auf Volllast geschaltet, die Feuerwehrleute drangen wieder in den Tunnel ein und konnten schließlich den Brand um 9.50 Uhr vollständig löschen.

Nachdem die Bergungs- und Reinigungsarbeiten abgeschlossen worden waren, konnte der Tunnel gegen Mittag wieder für den Verkehr freigegeben werden

**q) Ereignis S27: Tunnel Isola Delle Femmine, Italien**

*(1) Brandereignis und Schäden [70]*

Im Tunnel (Palermo, Länge 150 m) hatte sich am 18.03.1996 durch einen Unfall ein Stau gebildet.

Am Stauende befand sich ein Tanklastfahrzeug mit Flüssiggasladung. Auf diesen Tanklastwagen fuhr ein Kleinbus auf, der wegen der nassen Straße nicht mehr rechtzeitig bremsen konnte.

Es ereignete sich eine Explosion mit einem nachfolgenden Brand, bei dem insgesamt 18 PKW, 1 Bus und das Tanklastfahrzeug verbrannten. Die Tunnelauskleidung und die Beleuchtungseinrichtungen wurden bei dem Brand beschädigt.

*(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [70]*

Bei dem Feuer verbrannten 5 Personen, 20 Personen wurden verletzt. Weitere Angaben zu Lösch- und Rettungsarbeiten liegen nicht vor.

**r) Ereignis S28: Gleinalm-Tunnel, Österreich****(1) Brandereignis und Schäden [118]**

Am 08.09.1998 geriet um ca. 1.30 Uhr nachts ein Doppeldeckerbus durch einen technischen Defekt im Motorraum in Brand. Wahrscheinlich trat bereits bei der Einfahrt am Südportal Rauch aus dem Bus aus, ca. 700 m vor der Ausfahrt am Nordportal entfernt hatte sich der Brand auf den gesamten Bus ausgebreitet.

An der Tunnelzwischenendecke traten Betonabplatzungen auf.

**(2) Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [118]**

Die Löschversuche der beiden Busfahrer blieben erfolglos. Die Busfahrer und die 6 weiteren Businsassen flüchteten in Richtung Süden durch den Brandrauch, wurden dabei aber nicht verletzt.

Als der Brand begann, war die Lüftungsanlage des Tunnels wegen des geringen Verkehrsaufkommens in der Nacht nicht in Betrieb. Durch die Luftdruckunterschiede an den Tunnelportalen war im Tunnel ein leichter Luftstrom mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 m/s vom Nord- zum Südportal vorhanden. Für das Anlaufen der Lüftungsanlage wurden mehrere Minuten benötigt, weil die Ventilatoren erst eingeschaltet und auf ihren vom Brandprogramm her vorgesehenen Luftvolumendurchsatz hochgefahren werden mussten.

Der Tunnel verrauchte südlich vom Brandort auf einer Länge von 2 km und nördlich vom Brandort auf einer Länge von ca. 150 m. Daher wurde der Löschangriff vom Nordportal aus unternommen. Das Vorrücken der Feuerwehr wurde durch den Brandrauch behindert. Die Löscharbeiten selbst wurden durch die anhaltenden Betonabplatzungen an der Zwischenendecke ebenfalls behindert.

Insgesamt dauerte der Brand ca. 2 Stunden.

**s) Ereignis S29: Tauern-Tunnel (2000), Österreich****(1) Brandereignis und Schäden [124]**

Am 10. Januar 2000 geriet ein LKW im Tunnel in Brand. Der Fahrer wurde von einem entgegenkommenden LKW auf diesen Brand aufmerksam gemacht und fuhr daraufhin in eine etwa 1500 m vom Nord-

portal entfernte Pannenbucht. Die Ladung des LKW bestand aus nicht brennbarem Schleifschlamm (kein Gefahrgut), ferner war der LKW mit rund 900 l Dieselkraftstoff vollgetankt.

Bei dem Brand wurde das Fahrerhaus des LKW vollständig zerstört. Der Treibstofftank geriet jedoch nicht in Brand.

Am Tunnel entstanden nur geringe Sachschäden (Verrußung und geringfügige Betonabplatzungen). Ferner wurden im Brandbereich einige Leuchten, Verkehrszeichen und das Funkkabel beschädigt.

Personen kamen beim Brand nicht zu Schaden.

(2) *Brandverlauf sowie Lösch- und Rettungsarbeiten [124]*

Der Fahrer versuchte zunächst, den Brand selbst zu löschen, musste jedoch aufgeben, setzte einen Notruf an die Tunnelbetriebszentrale ab und flüchtete in Richtung Nordportal. Der Tunnel wurde daraufhin sofort gesperrt und die im Tunnel befindlichen Kraftfahrzeuge wurden zum Halten aufgefordert. Durch die nach der Brandkatastrophe im Jahre 1999 eingebauten Abluftjalousien konnten die Brandgase im unmittelbaren Brandbereich abgesaugt werden. Es kam zu keiner Verqualmung im Tunnel, und die Tunnelfeuerwehren konnten ohne Sichtbehinderung bis zum Brandort vorrücken. Ca. 45 Minuten nach dem Eingang des Notrufs war der Brand durch die Feuerwehr gelöscht.

Durch den Brand und die anschließenden Aufräumarbeiten war der Tunnel weniger als 4 Stunden gesperrt.

#### 4. **Auswertung der analysierten Brandereignisse**

Nennenswerte Brände in Verkehrstunnelanlagen sind relativ selten. Um dennoch eine ausreichende Anzahl von Tunnelbränden zur Ermittlung von Brandschwerpunkten zu haben, war es erforderlich, Brände aus verschiedenen Ländern (z. B. USA, Japan, Großbritannien) und auch zeitlich weiter zurückliegende Brände (von ca. 1970 bis 1997) in die Analyse der Brandereignisse einzubeziehen. Es muss jedoch bei der Bewertung der ermittelten Brandschwerpunkte beachtet werden, dass ein Brandereignis im Ausland (z. B. Aserbaidschan) nicht uneingeschränkt auf deutsche Verhältnisse übertragbar ist, da in Deutschland andere Sicherheitsstandards gelten. Analoges gilt für den Auswertungszeitraum. So würde ein 1970 stattgefunden Brand möglicherweise heute aufgrund von z. B. zahlreichen Verbesserungen an den Fahrzeugen gar nicht mehr oder nicht mehr im gleichen Ausmaß entstehen.

Dennoch erscheint es gerechtfertigt, alle in Kapitel 3 beschriebenen Tunnelbrände in die Auswertung einzubeziehen, da die meisten in die Auswertung einbezogenen Brände im Ausland stattfanden und dort in den letzten Jahren keine wesentlichen Maßnahmen zur Verbesserung des Brandschutzes ergriffen wurden, wie jüngste Untersuchungen des ADAC zeigten [71, 72].

Ferner muss berücksichtigt werden, dass die Brandereignisse in den vorhandenen Quellen (z. B. Untersuchungsberichte, Einsatzberichte von Feuerwehren, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Zeitungsartikel) nicht immer umfassend genug dargestellt werden, um aufgetretene Probleme beim Brandschutz und der Brandbekämpfung ausreichend bewerten zu können.

Vor diesem Hintergrund wurden insgesamt 85 Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen beschrieben und analysiert. Davon entfallen:

- 45 Brände auf U-, S- und Stadtbahn-Tunnel (Tabelle 4/1, Nr. U1 bis U45),
- 11 Brände auf Fernbahn-Tunnel (Tabelle 4/2, Nr. F1 bis F11) und
- 29 Brände auf Straßentunnel (Tabelle 4/3, Nr. S1 bis S29).

Diese Brände sind in dem Kapitel 3 sowie im Anhang Nr. 1 bis Nr. 3 näher beschrieben.

Die Analyse dieser Brände ergab die in den Tabellen 4/1 bis 4/3 aufgeführten Brandursachen und Probleme bei der Brandbekämpfung. Insgesamt wurden folgende Schwerpunkte erkennbar:

## (1) Brandursachen

Ein nennenswerter Anteil der ausgewerteten Brände in den drei Tunnel-Kategorien wurde durch Fahrzeug-Defekte ausgelöst:

- a) ca. 40 % der untersuchten Brände (18 von 45) in U- und Stadtbahntunneln (Tabelle 4/1 ,Teil a und b, Bild 4/1)
- b) ca. 82 % der untersuchten Brände (9 von 11) in Fernbahn-Tunneln (Tabelle 4/2, Bild 4/1)
- c) ca. 62 % der untersuchten Brände (18 von 29) in Straßentunneln (Tabelle 4/3, Bild 4/1)

Bei Straßentunneln wurden somit ca. 62 % der von der STUVA untersuchten Bränden durch technische Defekte am Fahrzeug ausgelöst. Weitere ca. 34 % der untersuchten Brände wurden durch Auffahrunfälle in Straßentunneln verursacht (Bild 4/3). Diese Ergebnisse bestätigen im wesentlichen die Auswertungen der PIARC/OECD zu Bränden in Straßentunneln aus den letzten 40 Jahren (Bild 4/3) [81]. Die geringfügigen Abweichungen zur STUVA-Analyse (Bild 4/3) dürften auf die verschiedene Anzahl der untersuchten Brandereignisse (STUVA 29 Brände; PIARC/OECD 33 Brände) und die teilweise unterschiedlichen in die Analyse einbezogenen Brände zurückzuführen sein.

Bei U-, S- und Stadtbahntunneln wurde neben Fahrzeug-Defekten auch Brandstiftung als häufige Brandursache ermittelt (insgesamt 17 von 45 Ereignissen, je etwa zur Hälfte in den Fahrzeugen und in den Haltestellen).

## (2) Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten

## a) Sichtverhältnisse

Am häufigsten wurde in der ausgewerteten Literatur für Nahverkehrs- und Straßen-Tunnel eine schlechte Sicht in den verrauchten Tunnelanlagen genannt, die zu Verzögerungen bei den Lösch- und Rettungsarbeiten führte (Tabellen 4/1 und 4/3):

- 23 von 45 Bränden in U-, S- und Stadtbahn-Tunneln (Bild 4/2)

Die häufige Nennung von schlechten Sichtverhältnissen kann in erster Linie durch die Art der Belüftung in U-, S- und Stadtbahn-Tunnel erklärt werden.

- 12 von 29 der untersuchten Brände in Straßentunneln

Schlechte Sichtverhältnisse in Straßentunneln entstanden

hauptsächlich durch unzureichende Tunnellüftungsanlagen und Brandlüftungsprogramme.

Bei den Brandereignissen in Fernbahntunneln konnten keine Angaben zu den Sichtverhältnissen während der Lösch- und Rettungsarbeiten in den für die Auswertung zur Verfügung stehenden Unterlagen gefunden werden.

b) Feuerwehrtechnische Einrichtungen

Probleme bei feuerwehrtechnischen Einrichtungen sind vorwiegend bei Brandereignissen in Nahverkehrstunneln und in Straßentunneln aufgetreten. Im wesentlichen wurden genannt (Tabellen 4/1 und 4/3):

- Probleme bei der Löschwasserversorgung (9 von 45 Bränden bei Nahverkehrstunneln, 7 von 29 Bränden in Straßentunneln)
- Ungenügende Atemschutzausrüstung (4 von 45 Bränden bei Nahverkehrstunneln, 5 von 29 Bränden in Straßentunneln)
- Unzureichende Funkeinrichtungen (5 von 45 Bränden bei Nahverkehrstunneln, 4 von 29 Bränden in Straßentunneln).

In den verfügbaren Unterlagen über Brandereignisse in Fernbahntunneln waren keine nennenswerten Angaben zu Problemen mit feuerwehrtechnischen Einrichtungen enthalten (Tabelle 4/2).

(3) Sachschäden

Durch Brände entstanden vielfach Schäden am Tunnelbauwerk und an den Tunneleinrichtungen:

a) Betonabplatzungen

Betonabplatzungen wurden bei insgesamt 34 von 85 Brandereignissen festgestellt. Davon entfallen 11 Schadensfälle auf U- und Stadtbahntunnel (Tabelle 4/1), 3 Schadensfälle auf Fernbahntunnel (u. a. beim Kanaltunnel) (Tabelle 4/2) und 20 Schadensfälle auf Straßentunnel (Tabelle 4/3).

b) Schäden an Tunneleinrichtungen

Bei 42 von 85 Brandereignissen traten Schäden an den Tunneleinrichtungen (z. B. Elektrokabel, Beleuchtung, Ventilatoren) auf. Davon entfallen 19 Schadensfälle auf U-, S- und Stadtbahntunnel (Tabelle 4/1), 2

Schadensfälle auf Fernbahntunnel (Tabelle 4/2) und 21 Schadensfälle auf Großbrände in Straßentunneln (Tabelle 4/3).

(4) Probleme beim Tunnelbetrieb

Probleme beim Tunnelbetrieb im Vorfeld und während des Brandes sind im wesentlichen aufgetreten bei:

a) Organisation des Tunnelbetriebes im Brandfall

Bei 21 der 85 analysierten Brandereignisse sind Probleme bei der Organisation der Rettungs- und Löscharbeiten aufgetreten (Tabellen 4/1 bis 4/3).

b) Fahrzeugbetrieb in Schienenverkehrstunneln

Bei 12 von 56 Bränden in Schienenverkehrstunneln traten Probleme bei der Abwicklung des Fahrbetriebes im Brandfall auf (z. B. beim rechtzeitigen Anhalten nicht vom Brand betroffener Fahrzeuge). Von diesen 12 Bränden entfallen 8 Brände auf Tunnelanlagen für U-, S- und Stadtbahnen und 4 Brände auf Fernbahn-Tunnel (Tabellen 4/1 und 4/2, Bild 4/2). In Deutschland traten im U-, S- und Stadtbahnbereich nur bei 2 Bränden Probleme mit dem Fahrbetrieb auf:

- bis einschließlich 1987: 1 Brand (1983, München)
- ab 1988 nach Einführung der neuen BOStrab: 1 Brand (1991, Herne)

c) Lüftung in Straßentunneln

Bei 14 der 29 untersuchten Großbrände in Straßentunneln erwies sich die Lüftungsanlage bzw. der Betrieb der Anlage im Brandfall als unzureichend (Tabelle 4/3, Bild 4/2).



Jahr	Brandereignis <sup>1)</sup>	Brandursache						Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten					Personenschäden		Sachschäden			Probleme beim Tunnel-Betrieb		
		unbekannt	Brandstiftung Fahrzeug	Haltestelle	Fahrzeugdefekt	Funkenstromschiene/ Oberleitung	Sonstiges	Fluchtweg	Sicht	Löschwasser	Atemschutz	Funk	Tote	Verletzte	Versagen Bauwerk	Abplatzungen	Tunnelleinrichtung	Fahrbetrieb	Organisation	Selbstrettung
1972	U2	X						X				0	5	X						
1978	U4		X					X	X		X	0	0		X	X				
1980	U6		X					X	X		X	0	3		X					
1981	U7				X							0	0		X					
1983	U8				X			X			X	0	4				X			
1984	U31			X				X				0	1			X		X		
1984	U32		X					X		X		0	1		X	X				
1986	U11				X			X				0	5							
1991	U34			X				X				0	3			X				
1991	U35						Kurzschluss	X				-	-				X			
1994	U36				X							0	0							
1995	U37			X				X				0	5			X		X		
1996	U16			X								0	0			X				
1996	U38				X			X	X			0	0					X		
1996	U39				X							0	13			X				
1996	U40					X						0	2							
1997	U41		X					X				0	0			X				
1999	U43			X				X				0	0							
1999	U44			X								0	0			X				
2000	U17				X			X				0	31		X	X				
<b>Summe</b>		<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>73</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>

1) Ausführliche Beschreibung der Brandereignisse siehe Kapitel 3

Tabelle 4/1 a : Analyse der Brandereignisse in ausgewählten Tunnelanlagen für U-, S- und Stadtbahnen in Deutschland

Jahr	Land	Brandereignis 1)	Brandursache						Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten					Personenschäden		Sachschäden			Probleme beim Tunnel-Betrieb		
			unbekannt	Brandstiftung		Fahrzeugdefekt	Funken Stromschiene/ Oberleitung	Sonstiges	Fluchtweg	Sicht	Löschwasser	Atemschutz	Funk	Tote	Verletzte	Versagen Bauwerk	Abplatzungen	Tunnelleinrichtung	Fahrbetrieb	Organisation	Selbstrettung
1971	Kanada	U1																			
1974	Kanada	U3				X				X	X			0	0		X	X	X		
1974	USA	U18				X								0	200					X	X
1975	USA	U19					X							0	34			X		X	X
1976	Portugal	U20				X				X	X			0	0		X	X			
1976	Kanada	U21		X						X	X			0	0		X	X			
1979	USA	U5				X						X		1	56				X	X	
1979	USA	U22				X								0	91				X	X	X
1979	USA	U23	X											0	4						
1979	USA	U24		X										0	0						
1980	Spanien	U25		X										5	viele						
1981	Tsche.	U26						Kurzschluss		X				0	1			X	X		
1981	RUS	U27				X								-	-						
1982	USA	U28				X								0	86					X	
1982	USA	U29	X							X				0	mehrere						
1982	GB	U30				X								0	15						
1984	GB	U9			X									0	14		X	X			
1985	USA	U10		X						X	X			0	15					X	
1985	Mexiko	U33				X								0	100					X	X
1987	GB	U12			X					X		X	31	100		X	X	X			
1991	CH	U13		X					X	X				0	58				X	X	X
1991	A	U14				X					X			0	0						
1995	Aserb.	U15				X			X		X			285	256					X	X
1997	CH	U42					X							0	0			X		X	
2000	USA	U45					X			X				0	0					X	X
<b>Summe</b>			<b>2</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>ca. 323</b>	<b>ca. 1030</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

1) Ausführliche Beschreibung der Brandereignisse siehe Kapitel 3

Tabelle 4/1 b : Analyse der Brandereignisse in ausgewählten Tunnelanlagen für U-, S- und Stadtbahnen im Ausland

Jahr	Brandereignis 1)	Brandursache		Probleme bei Löscharbeiten und Rettungsarbeiten		Personenschäden		Sachschäden		Probleme beim Tunnel-Betrieb		
		Fahrzeugdefekt	Auffahrunfall	Löschwasser	Funk	Tote	Verletzte	Abplatzungen	Tunnelleinrichtung	Fahr-Betrieb	Alarmierung	Organisation
1960	F5	X				0	66					
1961	F6	X				5	0					
1968	F7	X				-	-					
1971	F8	X				34	120					
1972	F9	X				30	714					
1978	F10		X			7	0	X				
1984	F1	X				0	0	X		X	X	
1990	F2	X			X	-	-		X			
1993	F11		X			12	7			X		
1996	F3	X				0	34	X	X	X		X
1999	F4	X		X		0	0			X	X	X
<b>Summe</b>		<b>9</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>88</b>	<b>941</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

1) Ausführliche Beschreibung der Brandereignisse siehe Kapitel 3

**Tabelle 4/2:** Analyse der Brandereignisse in ausgewählten Tunnelanlagen für Fernbahnen

Jahr	Land	Brandereignis <sup>1)</sup>	Ladung <sup>2)</sup>	Brandursache			Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten					Personenschäden		Sachschäden		Probleme beim Tunnel-Betrieb			
				Fahrzeugdefekt	Auf-fahr-unfall	Ladung	Flucht-weg	Sicht	Lösch-wasser	Atem-schutz	Funk	Tote	Verletzte	Abplat-zungen	Tunnel-ein-richtung	Tunnel-sperrung	Lüftung	Alar-mierung	Organi-sation
1949	USA	S1	SG			X				X		0	66	X	X				
1968	D	S2	SH	X					X			0	0	X	X			X	
1974	USA	S11	SH	X								0	1	X	X				
1975	Spanien	S12	SH	X				X				0	0	X	X		X		
1976	CH	S13	SB	X								0	0						
1978	NL	S14	SH		X							5	5	X	X				
1979	J	S3	SG		X				X	X		7	2			X	X	X	
1980	J	S15	SG		X							1	0	X	X				
1982	USA	S4	SG		X			X	X			7	2	X	X	X	X		X
1983	F / I	S16	SH	X								0	0	X	X				
1984	CH	S17	SH	X								0	0	X	X				
1984	A	S18	SB	X			X	X	X	X		0	0	X	X		X	X	
1986	F	S19	SH		X							3	5	X	X				
1986	A	S20	SH	X				X				0	0				X	X	
1987	CH	S21	SH		X			X	X			2	5	X	X		X		
1990	N	S22	SH	X				X				0	0				X	X	
1992	A	S23	SH		X			X				1	0	X	X		X		
1994	CH	S5	SH	X							X	0	0	X	X		X		
1994	Südafrika	S24	SB	X				X	X			1	28	X	X	X	X		X
1994	GB	S25	SB	X								0	0						
1995	A	S6	SH		X			X	X		X	3	0	X	X		X		
1995	N	S26	SH	X						X		0	0					X	X
1996	N	S7	SB	X						X	X	0	8		X	X			X
1996	I	S27	SG		X							5	20						
1997	CH	S8	SH	X			X					0	1	X	X				
1998	A	S28	SB	X			X	X				0	0	X			X		
1999	F / I	S9	SH	X			X	X				39	14	X	X		X		
1999	A	S10	SG		X			X			X	12	57	X	X		X		X
2000	A	S29	SH	X								0	0		X				
<b>Summe</b>				<b>18</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>86</b>	<b>214</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>5</b>

2) SG = Gefahrgut; SH = Güter mit hoher Brandlast; SB = Bus

Tabelle 4/3: Analyse von ausgewählten Groß-Bränden in Straßentunneln

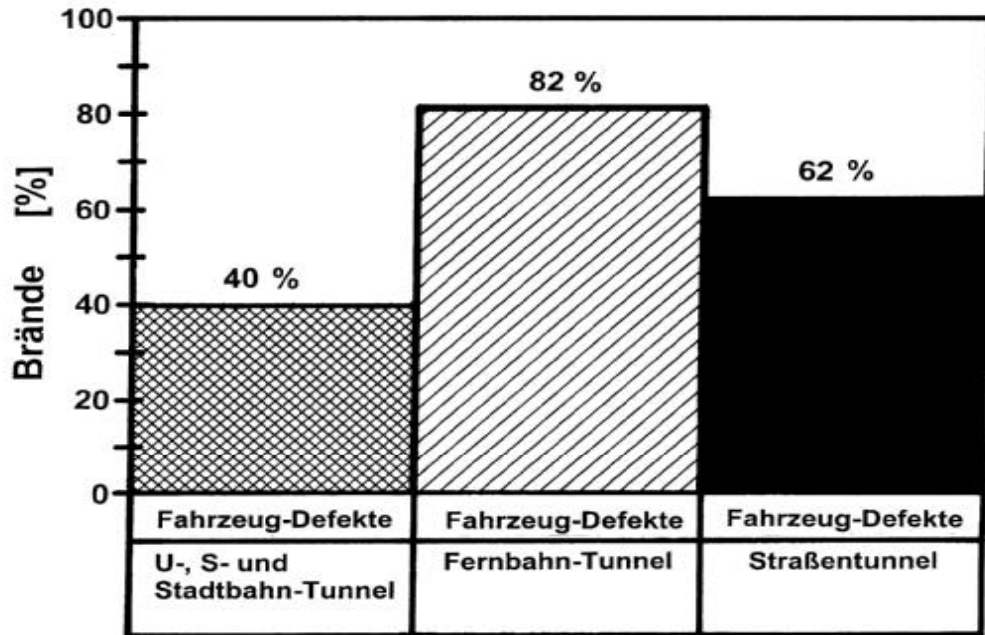


Bild 4/1: Haupt-Ursachen der ausgewählten Brände in Verkehrstunneln (Bezugsgrößen siehe Tabellen 4/1 bis 4/3)

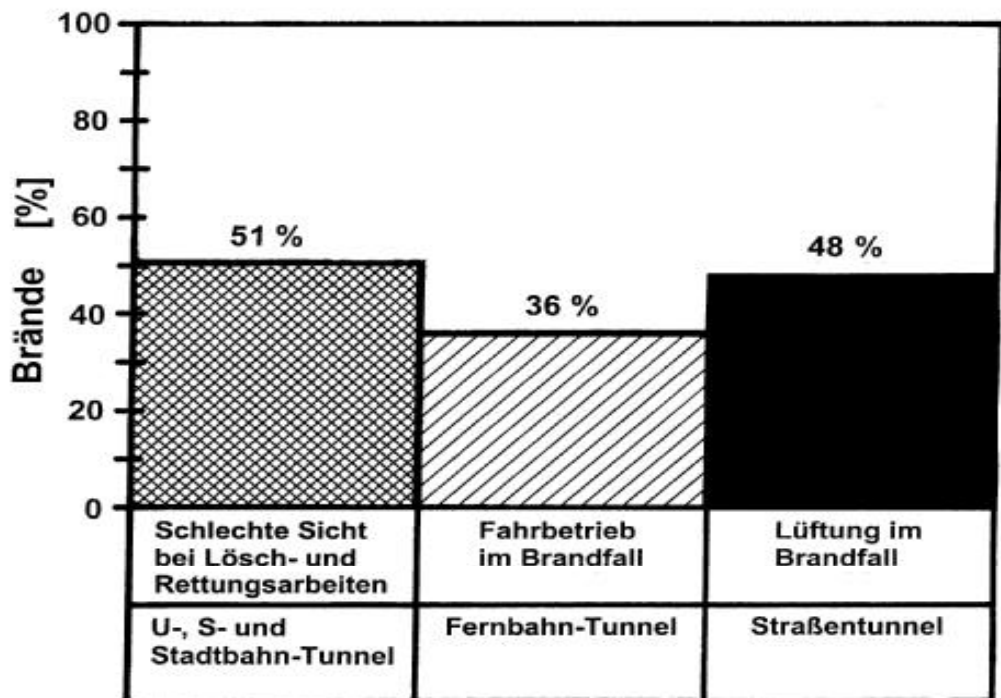


Bild 4/2: Haupt-Probleme bei der Brandbekämpfung der ausgewählten Brände in Verkehrstunneln (Bezugsgrößen siehe Tabellen 4/1 bis 4/3)

## Gegenüberstellung der Auswertungen

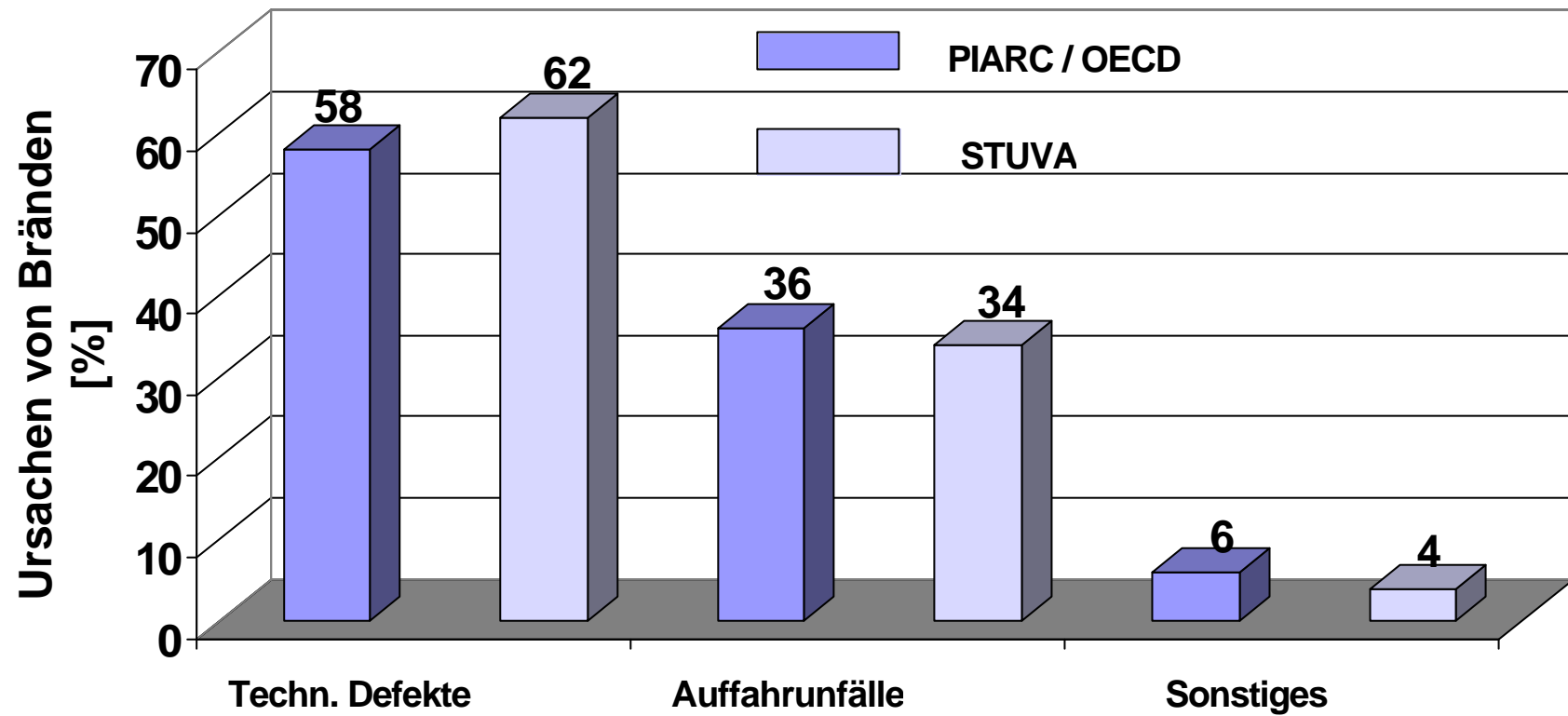


Bild 4/3: Ergebnisse der STUVA- und PIARC / OECD-Analysen zu Ursachen von Bränden in Straßentunneln

Die Analyse der Brandereignisse ergab somit folgende Schwerpunkte:

- (1) Schwerpunkt bei Brandursachen:
  - a) Fahrzeug-Defekte
  - b) Brandstiftung (Nahverkehrstunnel)
  - c) Auffahrunfälle (Straßentunnel)
- (2) Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten:
  - a) Schlechte Sicht für die Einsatzkräfte (Nahverkehrstunnel, Straßentunnel)
  - b) Unzureichende Funkverbindungen beim Feuerwehreinsatz (vorwiegend in Nahverkehrs- und Straßentunnel)
- (3) Schwerpunkte bei Sachschäden
  - a) Schäden an der Tunnelauskleidung des Betonausbaues
  - b) Schäden an Betriebseinrichtungen
- (4) Probleme beim Tunnelbetrieb
  - a) Unzureichende Organisation des Tunnelbetriebes im Brandfall
  - b) Lüftung in Straßentunneln bei Großbränden nicht optimal

Die Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall (Kapitel 6) und die Empfehlungen zur Überarbeitung der Regelwerke (Kapitel 7) orientieren sich an diesen Schwerpunkten.

## **5. Ergebnisse des Workshops „Sicherheit in Tunneln“**

### **5.1 Allgemeines**

Es wurden bereits umfangreiche Maßnahmen zum Personenschutz im Brandfall an Tunnelanlagen, an Betriebseinrichtungen von Tunneln und an Fahrzeugen ergriffen. In Deutschland existiert daher bereits für den Personenschutz im Brandfall ein sehr hoher Sicherheitsstandard in Verkehrstunneln. Brandereignisse – auch in jüngster Zeit – haben verschiedentlich zu großen Sach- und Personenschäden bei Bränden in Tunneln geführt (z. B. Mont-Blanc-Tunnel und Tauern-Tunnel). Deshalb hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) einen Workshop zum Thema „Sicherheit in Tunneln“ veranstaltet [7]. In diesem Workshop haben Fachleute verschiedene Vorschläge zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln erarbeitet. Die auf dem Workshop diskutierten Themenbereiche werden erläutert und die Diskussionsergebnisse in den Kapiteln 5.2 bis 5.4 wiedergegeben.

Im Kapitel 6 werden unter Berücksichtigung dieses Workshops und der durchgeführten Analyse von Brandereignissen Vorschläge zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln gemacht. Zu beachten ist jedoch, dass viele Vorschläge nur nach oder im Rahmen einer EU-Harmonisierung durchgesetzt werden können.

### **5.2 Schienen-Personen-Nahverkehrstunnel**

Zum Schienen-Personen-Nahverkehr gehören sowohl die U- und Stadtbahnen als auch die von der Deutschen Bahn AG betriebenen S-Bahnen. Der Betrieb dieser Bahnen ist in zwei unterschiedlichen Betriebsordnungen geregelt:

#### **(1) BOStrab [6]**

Die Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab) gilt für U- und Stadtbahnen. Ergänzt wird die BOStrab durch Richtlinien wie z. B. die BOStrab-Tunnelbau-Richtlinien.



## (2) EBO [8]

Die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) gilt für den Bereich der S- und Fernbahnen.

Auf dem Workshop wurde der Brandschutz in Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln ausschließlich für U- und Stadtbahnen diskutiert, für die die BOStrab gilt. Die besondere Situation bei S-Bahnen wurde im Workshop nicht speziell angesprochen. Es muss daher geprüft werden, ob die für U- und Stadtbahn-Tunnel (Betrieb nach BOStrab) in der Diskussion vorgeschlagenen Maßnahmen zur Erhöhung des Brandschutzes auch auf S-Bahntunnelanlagen (Betrieb nach EBO) übertragen werden können.

## 5.2.1 Gefährdungspotential und Brandlasten der Fahrzeuge

### 5.2.1.1 Forderungen der BOStrab

Die Forderungen der Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) [6] zum Brandschutz an den Fahrzeugen lauten :

- § 33, Abs. 3

*(3) Die Baustoffe und die Konstruktion von Personenfahrzeugen müssen dem Stand der Technik im Brandschutz entsprechen. Insbesondere müssen*

1. *die Baustoffe und Bauteile in Fahrgasträumen einen ausreichenden Widerstand gegen die Entstehung und Ausbreitung von Bränden bieten.*
2. *Einrichtungen mit erhöhter Brandgefahr so beschaffen und eingebaut sein, dass mit dem Übergreifen eines Brandes auf Fahrgasträume nicht zu rechnen ist.*
3. *Im Brandfall der Entwicklung und Ausbreitung von Hitze und Schadstoffen soweit vorgebeugt sein, dass der Zug noch verlassen werden kann.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zum Gefährdungspotential und zu Brandlasten von Fahrzeugen besprochen:

1. Wie weit wurde durch den Einsatz neuzeitlicher Materialien das Gefährdungspotential durch Fahrzeuge verringert?
2. Welche Brandlasten weisen heutige Fahrzeuge auf?

3. Haben Festlegungen in Rechtsverordnungen (BOStrab, BOStrab-Fahrzeugbrandschutz-Richtlinien etc.) zur Erhöhung der Sicherheit und des Schutzes der Verkehrsteilnehmer im Brandfall beigetragen?
4. Welche Ereigniswahrscheinlichkeiten sind anzunehmen?
5. Liegen Erfahrungen über den Feuerübersprung vom zuerst in Brand geratenen Fahrzeug auf das Nachbarfahrzeug vor?

Die Ergebnisse dieser Diskussion sind in den folgenden Kapiteln 5.2.1.2 und 5.2.1.3 zusammengefasst.

### **5.2.1.2 Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential von Fahrzeugen**

Die Erfahrungen mit den Fahrzeugbränden Anfang der 80-iger Jahre, die BOStrab-Brandschutz-Richtlinien von 1985, die Novellierung der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) Ende 1987 und die Einführung der DIN 5510 „Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen“ haben die Fahrzeug-Konstruktionen brandschutztechnisch nachhaltig beeinflusst. Die genannten Vorschriften haben wesentlich zur Erhöhung der Sicherheit und des Schutzes der Verkehrsteilnehmer und Sachwerte beigetragen.

Folgende Themenbereiche wurden diskutiert:

#### **(1) Entflammbarkeit**

Es wurden verschiedene Zündlasten (z. B. Benzin, Butan) untersucht, um realistische Brandstiftungen zu simulieren. Benzin erwies sich als ungeeignet. Es verdampft bzw. verbrennt sehr schnell. Erwogen wurden ferner kleine Propan- bzw. Butan-Brenner mit einem Inhalt von ca. 200 bis 300 g. Diese Brenner können wie ein Schweißbrenner wirken. Versuche zeigten, dass auch mit diesen Brennern moderne, schwerentflammbare Kunststoffe nicht dauerhaft brannten. Es kommt aber auch darauf an, dass keine Kunststoffe eingesetzt werden, die schon bei ca. 80 bis 90 °C ausdunsten und dadurch eine Weiterleitung des Brandes fördern. Ziel ist es daher, schwer entflammbare Materialien und Kunststoffe zu finden, die erst bei einer relativ hohen Temperatur Weichmacherdämpfe abgeben.

Letztlich wurde das UIC-Kissen als Standard-Zündquelle eingeführt. Das UIC-Kissen besitzt lange (bis zu ca. 7 Minuten) eine sehr hohe Temperatur. Die Brandenergie des Kissens strahlt nach allen Seiten ab.

Kunststoffe werden im Fahrzeugbau nur noch eingesetzt, wenn sie sich als schwer entflammbar bei einem Zündversuch mit diesem vom internationalen Eisenbahnverband UIC vorgeschlagenen Kissen („UIC-Kissen“) erwiesen haben.

## (2) Fahrzeug-Bauweise

### a) Neue Fahrzeuge

Fahrzeugdächer werden aus Stahl oder aus Aluminium/Kunststoff-Sandwich-Bauteilen hergestellt. Reine Kunststoff-Konstruktionen kommen bei Fahrzeugdächern nicht mehr zum Einsatz. Ferner werden in Dortmund Versuche mit einer GFK-Karosserie für B-Wagen durchgeführt. Die GFK-Karosserie könnte brandsicherer sein als verschiedene Aluminiumkonstruktionen. Moderne Kunststoffe sind gegenüber früheren im Fahrzeugbau eingesetzten Kunststoffen schwerer entflammbar. Durch moderne Konstruktionen (z. B. Verbundbauweisen, Fahrzeugköpfe aus verbessertem glasfaserverstärktem Kunststoff) konnte das Gefährdungspotential gegenüber früheren Fahrzeugkonstruktionen deutlich gesenkt werden.

### b) Alt-Fahrzeuge

Auch bei älteren Fahrzeugen wird im Zuge von Generalüberholungen modernes Material eingesetzt. Dabei werden unter anderem die Elektroanlagen auf den neuesten Stand gebracht. Für Kabelummantelungen und Schalteinrichtungen werden moderne schwer entflammbare Kunststoffe gewählt.

## (3) Verkabelung

Früher sind Fahrzeuge oft durch zu heiß gewordene Kabel in Brand geraten. Diese Brände sind in den letzten Jahren immer weniger geworden, weil für die Isolierung der Kabel Kunststoffe eingesetzt werden, die sich auch bei höheren Temperaturen nicht entzünden und zudem halogenfrei sind.

#### (4) Verhinderung einer Brandausbreitung

Anfang der achtziger Jahre wurden verschiedene konstruktive Maßnahmen ergriffen, um Brandstiftungen zu erschweren. Diese Ergebnisse flossen in die DIN 5510 und in die BOStrab-Fahrzeugbrandschutz-Richtlinien ein. Die Umsetzung dieser Vorschriften im Fahrzeugbau erschwerten Brände durch Brandstiftung erheblich. Ferner verhindern heute Konstruktionsprinzipien und Materialien im Brandfall z. B. die Entstehung kaminartiger Durchbruchgassen und Kanäle, die zu einer stärkeren Anfachung des Brandes durch Luftzufuhr führen könnten.

Ein Feuerübersprung zwischen benachbarten Wagen eines Fahrzeuges ist insbesondere dann zu erwarten, wenn der Brand vom Fahrgastraum nach außen durchbricht. Durch die Luftzufuhr (Kaminwirkung) kann der Brand so weit angefacht werden, dass sich auch Materialien der Nachbarwagen entzünden. So haben z. B. unter der Brandeinwirkung schmelzende Aluminiumtüren einen Feuerübersprung ermöglicht, da Aluminium bereits bei ca. 600 °C bis 800 °C zu schmelzen beginnt. Dies war z. B. in Frankfurt der Fall, wo ein Brand über die Aluminium- und Kunststofftüren zwischen Fahrzeugen übersprang.

Die Bauweise von in früheren Jahren eingesetzten Fahrzeugen hat einen Feuerübersprung zwischen den einzelnen Fahrzeugwagen durch den Einsatz von nach heutigen Maßstäben nicht ausreichend brandhemmenden Kunststoffen für die Fahrzeugköpfe, Türen und Decken begünstigt. Reine Kunststoffdächer sollten in der Regel heute nicht mehr vorgesehen werden, wenngleich auch heute noch Fahrzeugköpfe aus verbesserten Kunststoffen gebaut werden. Die Hamburger DT2- und DT3-Fahrzeuge mussten jedoch innen nach der DIN 5510 umgerüstet werden, um einem Feuerübersprung über die nicht austauschbaren Kunststoffdächer vorzubeugen.

Durch diese Maßnahmen werden auch Brände in unterirdischen Abstellanlagen für Fahrzeuge vermieden, in denen der geringe Abstand der abgestellten Fahrzeuge voneinander einen Feuerübersprung begünstigt.

Heute treten durch die brandtechnisch verbesserte Fahrzeugkonstruktion und -ausstattung kaum noch Feuerübersprünge auf.

(5) Redundante Einrichtungen

Es gab mehrere Brände durch Heizungen und Lüftungen, die entstanden, weil z. B. ein Heizrelais nicht abgeschaltet hat oder die Lüftung nicht angelaufen ist. Der VDV hat daraufhin eine Redundanz bei der Abschaltung von solchen Aggregaten vorgesehen, die auch in europäischen Normen aufgenommen wurde. Brände durch Fehler an Fahrzeugeinrichtungen (Heizungsanlagen, Bremsen, Elektronikanlagen) kommen daher kaum noch vor, seitdem diese redundanten Überwachungs- und Schalteinrichtungen eingeführt wurden. Diese Schalteinrichtungen und Temperaturfühler stellen sicher, dass z. B. die Heizaggregate in den Fahrgasträumen bei einer Überhitzung sicher abgeschaltet und Bremsen frühzeitig und zuverlässig belüftet werden.

(6) Brandstiftung

Bis vor ca. 5 bis 10 Jahren machte im ÖPNV der Anteil der gelegten Brände, der Brandstiftungen, etwa 50 % aller Brände aus. Dabei traten mehrere Wagenverluste und größere Reparatur-Aufwendungen auf. Mittlerweile sind Brände durch Brandstiftung in den Fahrzeugen rückläufig. Dazu tragen die verbesserte, schwer entflammbare Innenausstattung nach DIN 5510 und die übersichtliche Raumaufteilung in den Zügen bei. Weil geschlossene Abteile in der Regel fehlen, ist es für Brandstifter nicht mehr möglich, unbemerkt einen Brand zu legen.

Gegenüber der Situation um das Jahr 1980 wurde durch den Einsatz moderner Konstruktionsprinzipien und Materialien das Gefährdungspotential der Fahrzeuge deutlich vermindert. Die Ereigniswahrscheinlichkeit von Bränden für den Bereich des Nahverkehrs ist daher geringer geworden.

### 5.2.1.3 Diskussionsergebnisse zu Brandlasten von Fahrzeugen

Durch das gesamte Fahrzeugkonzept muss verhindert werden, dass ein Vollbrand entstehen kann. Hierdurch werden der Personenschutz und auch der Sachschutz verbessert.

Es wurden folgende Themenbereiche diskutiert:

(1) Energieinhalte und -freisetzungsraten

In Norwegen wurden in Brandversuchen ein U-Bahn-Fahrzeug mit Aluminiumkarosserie und ein U-Bahn-Fahrzeug mit Stahlkarosserie getestet. Die Brandlast des Fahrzeugs mit Stahlkarosserie lag bei 31.000 MJ und die mit Aluminium bei 44.000MJ. Die aus den Versuchen zurückgerechnete Energiefreisetzungsrates lag in beiden Fällen bei ca. 35 MW. Das Material hatte also keinen großen Einfluss auf die freigesetzte Energie. Die Energieinhalte der neuesten Fahrzeuge liegen demgegenüber nur noch bei ca. 25.000 MJ und deren Energiefreisetzungsrates bei ca. 20 bis 25 MW. Durch die systematische Minderung von Brandlasten machen brennbare Materialien, bezogen auf das Gesamtgewicht der Fahrzeuge, derzeit weniger als ca. 5 % aus. Damit wurde eine deutliche Reduktion der Brandlast gegenüber früheren Fahrzeugen erreicht. Ältere U-Bahn- und Stadtbahnfahrzeuge hatten ca. 50 bis 80 kg/m<sup>2</sup> brennbares Material. Bei neuen Fahrzeugen wird dies um die Hälfte unterschritten, weil trotz der Wünsche der Designer nach sphärischer Formgebung und nach komfortabler Innenausstattung viel Metall und wenig brennbares Material eingesetzt wird. In die Berechnung der Energieinhalte wurde alles einbezogen, was im Bereich des Fahrgastraumes und der Kabine als brennbar eingestuft werden kann wie z. B. Sitzpolsterungen, Fußbodenaufbau, Decken- und Wandverkleidungen und Gummieinfassungen für Fenster. Nicht berücksichtigt wurden die in den geschlossenen metallisch gekapselten Gehäusen unter dem Wagen befindlichen Elektro-Geräte.

(2) Stahl- bzw. Aluminium-Karosserie

Die Temperatur, die maximal auftritt, hängt davon ab, ob ein Stahlwagenkasten oder ein Aluminiumwagenkasten brennt und wie schnell die brennbare Masse thermisch umgesetzt wird. Durch Brandversuche wurde festgestellt, dass Aluminium bei ca. 600 bis 800 °C anfängt zu schmelzen und hierdurch bedingt Durchbrüche im Wagenkasten entstehen, die eine Kaminwirkung zur Folge haben können. Dies hat dazu geführt, dass Aluminium überall dort nicht mehr eingesetzt wird, wo es wegschmelzen und so

eine Kaminwirkung fördern kann. Wenn jedoch das Fahrzeug innen mit entsprechenden schwer entflammaren Materialien ausgerüstet ist, dann ist auch Aluminium aus brandschutztechnischen Gründen in einem Fahrzeug nicht abzulehnen. Zu beachten ist jedoch, dass es in Berlin und Nürnberg Brände gegeben hat, bei denen Teile von Aluminium-Fahrzeugen tatsächlich weggeschmolzen sind.

### (3) Laufzeit der Alt-Fahrzeuge

Die Fahrzeuge haben eine Abschreibungszeit von etwa 30 Jahren, ihre Nutzungsdauer beträgt ca. 40 Jahre und mehr. Eine Neuanschaffung von Fahrzeugen erfordert hohe Investitionen, daher wird immer abgewogen, ob sich noch alte Fahrzeuge ertüchtigen lassen. Eine Grundüberholung der Innenausstattung der Fahrzeuge erfolgt vielfach nach ca. 25 Jahren. Dabei werden u. a. alte Schalensitze durch Sitze mit Sitzpolster ersetzt. Diese neuen Sitzpolster sind z. B. schwer entflammbar. Oft wird auch ein neuer Innenausbau eingezogen. Die Verkabelung hingegen muss regelmäßig zwischen 8 und 15 Jahren erneuert werden. Die Verkabelung des B-Wagens, der im Ruhrgebiet vielfach läuft (besonders die erste Serie) hielt nicht allzu lange (ca. nur 10 Jahre). Durch bessere Kabelmaterialien konnten jedoch die Erneuerungsintervalle ausgedehnt werden. Wenn ein Fahrzeug regelmäßig gut instand gehalten wird, so wird dadurch auch in vielen Fällen automatisch die Brandlast gesenkt. Zur Zeit wird in Karlsruhe eine Serie von 12 Wagen komplett (Elektronik und Aufbau) modernisiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese erneuerten Fahrzeuge, wenn sie fertig sind, vom Brandverhalten und/oder von der Brandlast günstiger einzustufen sind als der Ursprungstyp.

Alte Fahrzeuge mit Laufzeiten von 30 Jahren und teilweise bis 50 Jahren sind damit eigentlich gar keine alten Fahrzeuge. Nur Gehäuse und Drehgestelle sind alt, aber die Innenausstattung, Kabel, Elektro-Anlagen usw. wurden in der Regel mehrfach erneuert (z. B. jeweils nach 15 bis 20 Jahren).

## 5.2.2 Gefährdungspotentiale und Brandlasten der Tunnelanlagen

### 5.2.2.1 Forderungen der BOStrab

Die Forderungen der BOStrab [6] zum Brandschutz an den Tunnelanlagen lauten:

- § 3, Abs.1  
*(1) Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so gebaut sein, dass ihr verkehrsüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet oder behindert. Sie müssen insbesondere so gebaut sein, dass*
  3. *die Entstehung und Ausbreitung von Bränden durch vorbeugende Maßnahmen erschwert werden und im Brandfall die Möglichkeit zur Rettung von Personen sowie zur Brandbekämpfung besteht.*
  
- § 30, Abs. 1  
*(1) Tunnel müssen so gebaut sein, dass*
  2. *bei einem Brand die Standsicherheit seiner tragenden Bauteile gewährleistet bleibt.*
  
- § 31, Abs. 11  
*(11) Verkaufsstände, Werbeanlagen und sonstige Anlagen dürfen den Betrieb nicht stören und insbesondere eine schnelle Verteilung der Fahrgäste auf den Bahnsteigen nicht behindern.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zum Gefährdungspotential und zu Brandlasten von Tunnelanlagen besprochen:

1. Welchen Einfluss haben bahnfremde Einrichtungen in Tunnelanlagen (Läden, Kioske etc.) auf das Gefährdungspotential?
2. Welche Brandlasten weisen heutige Tunnelanlagen auf?
3. Wie weit wurde durch den Einsatz neuzeitlicher Materialien das Gefährdungspotential verringert?
4. Welche Ereigniswahrscheinlichkeiten sind anzunehmen?
5. Sind U-Bahn-Tunnel bezüglich des Gefährdungspotentials im Vergleich zu anderen Tunneln als sicherer anzusehen?
6. Haben Festlegungen in Rechtsverordnungen (BOStrab, BOStrab-Tunnelbaurichtlinien etc.) zur Erhöhung der Sicherheit und des Schutzes der Verkehrsteilnehmer im Brandfall beigetragen?



Die Ergebnisse dieser Diskussion sind in den folgenden Kapiteln 5.2.2.2 und 5.2.2.3 zusammengefasst.

### **5.2.2.2 Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential von Tunnelanlagen**

Es wurden folgende Themenbereiche diskutiert:

#### **(1) Rettungsmöglichkeiten**

Im Hinblick auf die Evakuierung einer unterirdischen Haltestelle ist das Gefährdungspotential groß, da u.U. sehr viele Personen aus der Station fliehen müssen. Gerade bei älteren Haltestellen sind nicht überall sehr breite Treppen in den Aufgängen vorhanden.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalles ist bei einem Mischverkehr wie z. B. in Straßen- und Eisenbahntunneln höher als in einem reinen für Personenbetrieb ausgelegten Nahverkehrssystem.

In der Stadt sind die Entfernungen zwischen den Haltestellen relativ kurz, d.h. in der Regel sind die Züge bei einem Brand in der Lage bis in die nächste Haltestelle zu fahren, anders kann dies bei einem sehr langen Eisenbahntunnel sein. Die Anrückzeiten der Feuerwehren sind im Innenstadtbereich wesentlich kürzer sind als bei einem Tunnel, der z. B. 20 km oder 25 km von der nächsten Feuerwehr entfernt liegt.

#### **(2) Verkaufseinrichtungen**

Durch den zunehmenden Aufbau von Kiosken oder die Einrichtung von Geschäften wurden die Brandlasten in den Zwischenebenen und auf den Bahnsteigen in den letzten Jahren stetig vergrößert. Diese Läden sind u. a. auch eingeführt worden, um eine bessere soziale Kontrolle des Bahnsteigs zu erreichen. Wenn ein Laden vorhanden ist, gibt es auch weniger Schlägereien oder Vandalismus, weil dann die Gefahr für die Täter viel größer ist, entdeckt zu werden.

Bahnfremde Verkaufseinrichtungen in den Haltestellen Zwischen - geschossen und teilweise auch auf den Bahnsteigen führen aber zu einer Erhöhung des Gefährdungspotentials in diesen Bereichen. Sie erhöhen die

Anzahl der möglichen Zündquellen für einen Brand. So wurden z. B. in Hannover in den letzten 20 Jahren 10 Brände in unterirdischen Haltestellenbereichen registriert. Davon brachen 7 Brände in Verkaufseinrichtungen aus. Nur die restlichen 3 Brände waren Kabelbrände des Verkehrsbetriebes.

(3) Rauchverbot

Seitdem in Hannover die ÜSTRA in den unterirdischen Stationen ein Rauchverbot erlassen hat, ist dort die Zahl der Brände an Papierkörben erheblich zurückgegangen. Durch Lautsprecherdurchsagen und Einblendungen in die Zugzielanzeiger wird regelmäßig auf das Rauchverbot aufmerksam gemacht. So wie in Hannover besteht mittlerweile bei fast allen Nahverkehrsunternehmen ein Rauchverbot. Insgesamt wurde die Gefahr von Papierkorbbränden erheblich reduziert.

(4) Brandschau

Es wird laufend an Bauwerken und an Betriebseinrichtungen geändert, gebaut und ergänzt. Es ist daher sehr wichtig, von Zeit zu Zeit nachzusehen, ob, bedingt durch die Baumaßnahmen, brennbare Materialien gelagert werden und ob auch bauliche Änderungen vorgenommen worden sind, die das Brandschutzkonzept gefährden. Es können z. B. Kabel nachgezogen worden sein oder an neuen Wanddurchbrüchen Brandabschottungen fehlen. Die Brandschau kann abgestuft erfolgen, insbesondere wenn mehrere Geschosse und Verkaufsflächen über 1.000 m<sup>2</sup> angrenzen.

In Bochum sind die Betreibergesellschaft (BOGESTRA) und der Eigentümer, die Stadt Bochum, vertreten durch das Tiefbauamt und die Städtische Berufsfeuerwehr, an den Brandschauen für die Tunnelstrecken beteiligt. In Hamburg und Berlin werden ebenfalls regelmäßig Brandschauen unter Beteiligung der Technischen Aufsichtsbehörde durchgeführt. Die Brandschauen werden in einem zwei- bis dreijährigen Turnus durchgeführt.

### 5.2.2.3 Diskussionsergebnisse zu Brandlasten von Tunnelanlagen

Es wurden folgende Themenbereiche diskutiert:

(1) Bauwerk

Der Rohbau aus Beton ist nicht brennbar. Einbauten hingegen wie Holz-Schwellen oder Kabelkanalabdeckungen aus Holz sind brennbar. Diese Teile sind jedoch nicht als sehr kritisch anzusehen.

(2) Lagerung von Betriebsstoffen und Baumaterialien

Nach Reparaturen bleiben Schmutz und alte Bauteile häufig liegen, oft auch in Verbindung mit Fetttöpfen und alten Putzlappen. Dieses Material wird z. B. von Stadtstreichern in Stationsnähe an kalten Wintertagen zum Aufwärmen verbrannt. Ferner wird bei Tunnelbegehungen immer wieder festgestellt, dass häufig große Mengen brennbaren Materials in Nebenräumen unzulässig gelagert werden.

(3) Verkaufseinrichtungen

Brandlasten in den Verteilerebenen sind nicht nur die betriebstechnischen Einbauten, sondern auch Läden und Kioske mit ihren Zeitschriften, Büchern oder Lebensmittel. Es ist nie auszuschließen, dass dort größere Mengen gut brennbarer Materialien lagern.

(4) Papierkörbe

Kunststoffpapierkörbe brennen wegen des enthaltenen Abfalls wie z. B. Papier sehr intensiv. Ein einziger brennender Papierkorb kann ausreichen, um eine kleinere Station mit dichtem Rauch zu füllen.

Deswegen wurde vor ca. 10 Jahren ein doppelwandiger Papierkorb entwickelt mit einem äußeren Niro-Mantel und einem preiswerteren inneren Stahlbehälter, der weggeworfen werden kann. Die Einwurfsöffnung wurde relativ klein gehalten. Ein eventueller Brand erzeugt dadurch nur wenig Rauch. Durch den Luftzwischenraum zwischen den beiden Einsätzen greift der Brand auch nicht auf die Umgebung über, selbst wenn der Papierkorb z. B. an der Wand angebracht ist.

(5) Zeitungen

In Berlin und mittlerweile auch in einigen anderen Städten werden seit einiger Zeit gratis Zeitungen verteilt. Viele werfen diese Zeitung einfach weg oder verlieren sie unbeabsichtigt. Dadurch fliegen diese Zeitungen auf dem Bahnsteig herum. Der Fahrtwind der Züge zieht das Papier mit, das sich deshalb im Einfahr-Ausfahrbereich, unter dem Bahnsteig und im Bereich der Gleise ansammelt. Es müssen heute viel häufiger als früher auch diese Bereiche gesäubert werden. Das ist nicht ganz ungefährlich und nur mit Sicherheitsposten und Begleitpersonal möglich, weil sonst die Reinigungsarbeiter dort gefährdet werden könnten. Dieser Aufwand ist notwendig, um gerade im Bereich von Kabeln ein Brandrisiko zu vermeiden.

(6) Kabel

a) Leistungskabel

Häufig kam es zu Bränden an frei liegenden Kabeln durch Vandalismus. Betroffen waren aber nicht die an der Wand befestigten Kabel, sondern in Kanälen auf der Tunnelsohle verlegte Kabel. Durch Schlitze und fehlende Deckel geriet brennbarer Abfall in die Kanäle und sammelte sich dort an. Durch eine brennende Zigarettenkippe kam es dann zum Kabelbrand.

An den bisherigen Bränden waren häufig PVC-Kabel beteiligt. Wegen der schweren Entflammbarkeit von PVC wurden früher gerne PVC-ummantelte Kabel eingebaut. Gegenüber noch älteren Kabeln war dies ein Fortschritt. Nachdem jedoch die Nachteile des PVC beim Brand bekannt wurden, hat der VDV für Leistungskabel empfohlen, möglichst halogenfreie Kabel einzusetzen. Dies erfolgte u. a. in Abstimmung mit der Industrie, da eine ausreichende Lieferbarkeit sichergestellt sein musste.

b) Kommunikationskabel

Kommunikationskabel müssen leicht biegsam sein. Es gibt dafür keine preiswerten PVC-freien Kabel oder halogenfreien Kabel auf dem Markt für den Kommunikationsbereich. Aber genau die PVC-ummantelten Kommunikationskabel nehmen in letzten Jahren im-

mens zu, nicht nur für die Signaltechnik, sondern auch für die Kommunikations- und Werbeanlagen. Dadurch ist in den letzten Jahren eine deutliche Erhöhung der Brandlast durch diese Kabel aufgetreten.

(7) Oberbau

Der Oberbau ist in Bezug auf einen Brand unkritisch. Zwar sind im U-Bahn-Bereich noch mehr Holzschwellen als Betonschwellen vorhanden, vielfach wird aber auch der schotterlose Oberbau mit sehr geringer Brandlast verwendet. Die einzige Brandlast ist die Gummizwischenlage in der Schienenbefestigung. Die für den Erschütterungsschutz verwendeten Unterschottermatten stellen zwar eine Brandlast dar, sind aber geschützt (durch den Beton bzw. Schotter) verlegt. Bei der sonstigen Ausstattung des Oberbaus werden nicht brennbare Materialien verwendet.

(8) Gehflächen

In vielen Stationen liegt noch Gussasphalt. Diese Beläge werden systematisch entfernt, um besser zu reinigende Fußböden einbauen zu können. Dadurch ergibt sich auch ein besserer Brandschutz.

(9) Rolltreppen

Stahlrolltreppen enthalten Fette, Hydrauliköle und Rückstände dieser Schmiermittel, die eine Gefahr darstellen können. Schmiermittelreste werden auch nach den verschiedensten Wartungsarbeiten hinterlassen. Die eingeschalteten Fremdfirmen gehen wesentlich großzügiger mit solchen Rückständen um, während die Mitarbeiter der Verkehrsbetriebe vorsichtiger mit solchen Brandlasten sind. Die Fremdfirmen müssen daher kontrolliert werden.

## 5.2.3 Löschanlagen in Fahrzeugen

### 5.2.3.1 Forderungen der BOStrab

Die BOStrab [6] fordert vorbeugende Brandschutz-Maßnahmen in Fahrzeugen:

- § 3, Abs. 1

*(1) Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so gebaut sein, dass ihr verkehrsüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet oder behindert. Sie müssen insbesondere so gebaut sein, dass*

3. *die Entstehung und Ausbreitung von Bränden durch vorbeugende Maßnahmen erschwert werden und im Brandfall die Möglichkeit zur Rettung von Personen sowie zur Brandbekämpfung besteht.*

Im Hinblick auf diese Forderung wurden folgende Fragestellungen diskutiert:

1. Wie sind Sprinkleranlagen in den Fahrzeugen zu beurteilen?
2. Sind Halon-Löschanlagen in den Fahrzeugen akzeptabel?

Die Ergebnisse dieser Diskussion sind im folgenden Kapitel 5.2.3.2 zusammengefasst.

### 5.2.3.2 Diskussionsergebnisse zum Einsatz von Löschanlagen in Fahrzeugen

In der Regel ist der Fahrgast der beste Brandmelder, insbesondere wenn die Fahrzeuge wie in einigen Städten mit einer Sprechleinrichtung ausgestattet sind. Ferner kann der Fahrer einen Brand der Leitstelle umgehend melden. Auch die Entnahme von Feuerlöschern in fahrerlosen Fahrzeugen muss sofort gemeldet werden. Auch ein missbräuchlich entnommener Feuerlöscher muss geprüft und im Fahrzeug wieder ergänzt werden.

Immer häufiger werden heute bei Schienenfahrzeugen Temperaturfühler in den Elektrocontainern installiert. Auch Heizeinrichtungen im Fahrgastraum, die Bremsanlage und die Wicklungen der Fahrmotoren sollten mit Temperaturfühlern ausgestattet werden. Die heutige Leittechnik kann die Signale der Temperaturfühler gut verwalten. Insbesondere in Berlin werden bereits Brandmeldeanlagen und Temperaturüberwachungen in die Fahrzeuge eingebaut.

Von der Gesetzgebung wurden um 1980 quantifizierbare Werte für Rauch, Toxizität und Abtropfbarkeit und alle parallelen Brand-Nebenerscheinungen gefordert. Eine Sprinkleranlage in den Fahrgasträumen der Schienenfahrzeuge jedoch würde die ganzen Fragen der Toxizität, des Rauches, des Abtropfens usw. beim Übergang zum Vollbrand gar nicht erst entstehen lassen. Auch könnten für den Fahrzeugbau wesentlich billigere, preiswertere Materialien verwendet werden. Deswegen wurden in Hamburg Sprinkleranlagen erprobt.

Ferner wurden in Hamburg auch Halonanlagen diskutiert. Dabei wurde festgestellt, dass Halon-Anlagen nur dann funktionieren, wenn der zu flutende Raum dicht ist. Stehen z. B. Fenster oder Türen offen, fließt das Halon ohne Löschwirkung ab. Halonanlagen wurden deshalb verworfen.

Mit der Feuerwehr Hamburg und der Industrie haben die Hamburger Verkehrsbetriebe gemeinsam eine Sprinkleranlage entwickelt. Dabei ging es darum, möglichst einen dünnen Sprühnebel zu erzeugen, die aus Kunststoffen diffundierenden Gasmengen gering und die Temperatur niedrig zu halten, um so Zeit zum Heranführen von Rettungskräften zu gewinnen. Ein völliges Löschen eines Brandes war nicht beabsichtigt. Die Versuchsergebnisse zeigten, dass ca. 70 Liter Wasser pro Fahrzeug zur Brandbekämpfung bereits ausreichten. Die Ansprechtemperatur des Sprinklerkopfes sollte ca. 75 °C bis ca. 90 °C betragen. Um den totalen Ausfall der Sprinkleranlage eines Wagens bei Brandstiftung weitestgehend zu verhindern, muss ein zweiter Sprinkler mit einem eigenen Wasserbehälter im Wagen vorgesehen werden. Die ersten untersuchten Sprinklerflüssigkeiten enthielten eine Salzlösung zum Frostschutz. Dies führte zu Korrosionserscheinungen. Ferner war der pH-Wert zu hoch. Mittlerweile konnten jedoch Sprinklerflüssigkeiten entwickelt werden, die diese Nachteile nicht mehr haben.

Parallel zu Entwicklungsarbeiten an Sprinkleranlagen hat sich jedoch z. B. durch die DIN 5510 auch der konstruktive Aufbau der Fahrzeuge verbessert und es wurden zur Wirksamkeit von Sprinkleranlagen gleichwertige Brandschutzmaß-

nahmen (z. B. schwer entflammbare Materialien, Temperaturfühler in Heizgeräten und Elektronik-Container) eingeführt. Die Wahl der Maßnahmen ist daher mittlerweile auch vom Fahrzeug-Brandschutzkonzept des jeweiligen Verkehrsbetriebes abhängig.

Es können sich folgende Einsatzmöglichkeiten ergeben:

(1) Einsatzmöglichkeiten bei Neufahrzeugen

Neufahrzeuge, die durch ihre Konstruktion die DIN 5510 vollumfänglich erfüllen, müssen nicht unbedingt zusätzlich eine Sprinkleranlage erhalten. Da aber Sprinkleranlagen auch Entstehungsbrände in nicht beaufsichtigten Fahrzeugen löschen können (z. B. bei Fahrzeugen in unterirdischen Abstellanlagen), sollte der Nutzen einer zusätzlichen Sicherheit durch die Sprinkleranlage immer geprüft werden.

(2) Einsatzmöglichkeiten bei älteren Fahrzeugen

Bei älteren Fahrzeugen, die die DIN 5510 nicht vollumfänglich einhalten, können nachträglich eingebaute Sprinkleranlagen den Brandschutz vorteilhaft ergänzen.

In jüngster Zeit ist von Barcelona eine größere Zahl von U-Bahn-Fahrzeugen bestellt worden, die mit Sprinkleranlagen ausgestattet werden sollen. Die Kosten für diese Anlagen betragen ca. 8000 bis 10.000 DM pro Wagen .

Sprinkleranlagen stellen mittlerweile ein schlüssiges Brandschutzkonzept für Schienenfahrzeuge dar. Ein besonderes Anwendungsgebiet kann sich ergeben, wenn z. B. Designer Materialien verwenden wollen, die aus Brandschutzgründen nicht unbedingt geeignet sind.

Durch die Ausführung von Schienenfahrzeugen nach DIN 5510 sind Sprinkleranlagen in Fahrzeugen nicht erforderlich. Ihr Einsatz sollte daher nur in Ausnahmefällen erwogen werden.



## 5.2.4 Brandmelde- und Löschanlagen in Tunnelanlagen

### 5.2.4.1 Forderungen der BOStrab

Die Forderungen der BOStrab [6] zum vorbeugenden Brandschutz an den Tunnelanlagen lauten:

- § 3, Abs. 1

*(1) Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so gebaut sein, dass ihr verkehrsüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet oder behindert. Sie müssen insbesondere so gebaut sein, dass*

3. *die Entstehung und Ausbreitung von Bränden durch vorbeugende Maßnahmen erschwert werden und im Brandfall die Möglichkeit zur Rettung von Personen sowie zur Brandbekämpfung besteht.*

- § 31, Abs. 4

*(4) Soweit es die betrieblichen Verhältnisse erfordern, müssen Haltestellen versehen sein mit*

4. *Feuerlöscheinrichtungen, Löschwasserversorgung*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen diskutiert:

1. Wie sind Sprinkleranlagen, Sprühflutanlagen oder Wassernebelanlagen in Tunneln zu beurteilen? Sollten derartige Anlagen in den unterirdischen Haltestellen angeordnet werden und/oder in den Streckentunneln oder nur in unterirdischen Abstellanlagen?
2. Sind Linienbrandmelder in U-, S- und Stadtbahntunneln erforderlich?

Die Ergebnisse dieser Diskussion sind im folgenden Kapitel 5.2.4.2 zusammengefasst.

### 5.2.4.2 Diskussionsergebnisse zum Einsatz von Brandmeldern und Löschanlagen in Tunnelanlagen

Folgende Themenbereiche wurden diskutiert:

(1) Positionsbestimmung im Tunnel

Alle U-Bahnen müssen entsprechend der BOStrab nach Zugsicherung fahren, so dass das Stellwerk genau weiß, wo sich das Fahrzeug befindet.

Durch die moderne Linienzugbeeinflussung ist dabei die Position eines Zuges der Betriebszentrale immer mindestens auf ca. 25 Meter genau bekannt. Diese Genauigkeit reicht bei weitem aus, um Rettungsmaßnahmen zu koordinieren.

(2) Brandmelder in Streckentunneln

a) Brandmelder bei einem Fahrbetrieb mit Fahrzeugführer

Wenn im Tunnel ausschließlich fahrerbesetzte Züge verkehren, sind keine Brandmelder im Streckentunnel erforderlich, weil die Fahrer eine Rauchentwicklung im Tunnel bemerken und der Leitzentrale dies über Funk zusammen mit einer genauen Positionsbeschreibung melden können.

b) Brandmelder bei einem Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer

Bei einem Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer hingegen können Brandmelder im Streckentunnel erforderlich werden, weil kein Fahrer mehr eine eventuelle Rauchentwicklung melden kann. Die Brandmelder sollten jedoch auf Tunnelabschnitte, in denen eine erhöhte Gefährdung vorhanden sein könnte (z. B. umfangreiche elektrische Ausrüstung), beschränkt werden. Ferner sind bei einem Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer in den Fahrzeugen selbst ebenfalls Brandmelder erforderlich, um die Zentrale zu alarmieren (Kap. 5.2.3.2).

(3) Brandmelder in Stationen

Brandmeldeanlagen sollten in Stationen, in Abstellanlagen und in den Fahrzeugen installiert werden. Dafür sollten bundesweit einheitliche Kriterien gelten.

#### (4) Löschwasserversorgung

Hinsichtlich der fest in Tunnelanlagen eingebauten Löscheinrichtungen wurden in der Arbeitsgruppe U- und Stadtbahnen folgende Systeme und Einsatzbereiche diskutiert:

##### a) Hydranten an der Erdoberfläche

In mehreren Städten (Hannover, Köln) wurden positive Erfahrungen mit dem Anschluss von Schlauchleitungen an oberirdischen Hydranten gemacht. Dies setzt jedoch voraus, dass in der Nähe der Haltestellen und Notausstiege Hydranten vorhanden sind. Die Entfernung beträgt vielfach nicht mehr als ca. 25 m. Je nach den Örtlichkeiten werden Überflurhydranten (vorzugsweise) oder Unterflurhydranten verwendet.

##### b) Steigleitungen in Haltestellen und Notausstiegen

Die Erfahrungen der Feuerwehr mit Trockenleitungen sind ungünstig. Bis zur Inbetriebnahme vergeht viel Zeit, weil die Leitungen erst mit Wasser gefüllt werden müssen. Die Feuerwehr fordert daher immer Nassanlagen, bei denen auch sofort erkannt wird, wenn eine Leckage vorhanden oder ein Ventil offen ist.

Betrieblich bereiten Nassleitungen verschiedene Probleme. Dazu gehören u. a. die Entkoppelung vom Netz, weil Bakterien übertragen werden können und der Frostschutz.

Eine Statistik des Städtetages aus dem Jahr 1983 führt Löscheinrichtungen in Notausstiegen und bei Betriebsanlagen auf. Wenn Gleichrichterwerke oder Stellwerke in Stationen oder Zwischenstationen eingebaut sind, sind Trocken-, bzw. Nassleitungen eingebaut worden, im Streckenbereich nicht.

Zur Bahnsteigebene bzw. zum Streckentunnel führen in der Regel trockene Steigleitungen hinunter, die im Brandfall erst mit Wasser aus den Hydranten gefüllt werden müssen. Nasse Steigleitungen werden nur selten verwendet, weil z. B. Missbrauch, Korrosion, Frostschäden und eine Keimabgabe an Trinkwasser bei Verbundanlagen nicht ausgeschlossen werden können. Auf den Bahnsteigen enden die Steig-

leitungen in Trockenhydranten oder auch Wandhydranten zum Anschluss von Schläuchen und Strahlrohr.

c) Löschwasserleitungen in Streckentunneln

Die Stadtbahn Stuttgart rüstet alle Tunnel mit Trockenlöschleitungen aus. Die Entnahmestellen haben einen Abstand von 100 m untereinander. Probleme sind nicht bekannt. Bei den Temperaturverhältnissen im Stuttgarter Raum im Winter ist Frostschutz erforderlich, der zur Zeit nur mit einer Trockenleitung gewährleistet werden kann.

In Gelsenkirchen musste eine Drainagewasserleitung durch den Tunnel geführt werden, die jetzt auch als Löschwasser-Nassleitung genutzt wird. Entsprechend der BOStrab sind die Haltestellen und Notausstiege mit Steigleitungen ausgestattet. Auch die Tunnel werden mehr und mehr mit Trockenleitungen versehen.

Der neueste Tunnel in Bielefeld, die Universitätsstrecke, hat auf gesamter Länge eine Trockenlöschleitung, um den Zeitverlust durch das Ausrollen von Schläuchen zu verringern.

Probleme mit Trockenleitungen können durch offene Kupplungen entstehen. Der Angriffstrupp geht vor so weit er kann, kuppelt den Schlauch an und gibt dann das Kommando zum Öffnen des Sperrhahns. Wenn unterwegs Kupplungen offen sind, kommt beim Löschrupp kein Wasser an. Nun müsste die gesamte Leitung überprüft werden, ob irgendwo Wasser austritt. Dies kann zu erheblichen Verzögerungen bei der Brandbekämpfung führen.

(5) Stationäre Sprinkleranlagen und Sprühflutanlagen

a) Streckentunnel

Die Wirksamkeit einer im Streckentunneltunnel eingebauten Sprinkleranlage ist sehr fraglich:

- In den betrieblichen Anweisungen für die Fahrzeugführer ist geregelt, bei einem Brand mit dem Zug in die nächste Haltestelle zu fahren.

- Einen Entstehungsbrand wird der stationäre Sprinkler im Tunnel überhaupt nicht bemerken, weil der Brandherd zu dieser Zeit noch durch das Fahrzeuggehäuse abgeschirmt ist.
  - Ein weiter entwickelter Brand würde vom Sprinkler vielleicht detektiert. Bis der Sprinkler jedoch reagiert, ist der Zug schon weitergefahren.
  - Die Brände beginnen in 95 % der Fälle innerhalb des Fahrzeuges und sind daher in dieser Phase gar nicht außen sichtbar bzw. zu detektieren, d.h. der Sprinkler hat keine Möglichkeit wirksam zu werden. Der Sprinkler wäre erst wirksam, wenn die Fahrzeuge stehen und die Flammen aus dem Fahrzeug austreten. Dann jedoch ist die Löschwirkung des Sprinklers möglicherweise schon zu gering.
- b) Unterirdische Abstellanlagen  
Da die meisten Fahrzeuge keine Sprinkler besitzen, sollte überlegt werden, ob Abstellanlagen in Tunneln mit Sprühflutanlagen ausgestattet werden sollten.
- c) Haltestellen  
Haltestellen sollten in Bereichen von Kiosken, Verkaufsständen usw. mit Sprinkleranlagen ausgestattet werden.

## 5.2.5 Fluchtwege und Notausstiege

### 5.2.5.1 Forderungen der BOStrab

Im einzelnen lauten die Forderungen der BOStrab [6]:

- § 19, Abs. 1, 2, 3

*(1) Zum Schutz von Personen muss neben jedem Gleis außerhalb der Lichtraumumgrenzung ein Sicherheitsraum vorhanden sein. Er muss vom Gleis aus und durch Türen der Fahrzeuge erreichbar sein. Zwischen zwei Gleisen genügt ein gemeinsamer Sicherheitsraum.*

(2) Sicherheitsräume müssen mindestens 0,7 m breit und 2,0 m hoch sein und lotrecht stehen. Bei Abweichungen des Tunnelquerschnitts von der Rechteckform darf die Breite des Sicherheitsraumes im oberen und unteren Bereich geringfügig eingeschränkt sein.

(3) Unterbrechungen von Sicherheitsräumen durch Einbauten, insbesondere durch Stützen oder Signalanlagen, sind auf kurze Längen zulässig, wenn dabei zwischen den Einbauten und dem Fahrzeug ein Abstand von mindestens 0,45 m vorhanden ist. Dieser Abstand braucht bei Einbauten in gemeinsamen Sicherheitsräumen nach Absatz 1 Satz 3 nur auf einer Seite vorhanden zu sein.

- § 27, Abs. 4 u. 5

(4) Eine Sicherheitsbeleuchtung ist erforderlich für

1. Bahnsteige, soweit es die Verkehrsbedeutung oder die betrieblichen Verhältnisse erfordern, insbesondere bei Haltestellen in Hoch- oder Tieflage,
2. Rettungswege,
3. Sicherheitsräume in Tunneln, ausgenommen Sicherheitsräume unter Bahnsteigen und Laufstegen,
4. Notausstiege,
5. Räume, in denen Fahrgäste bedient werden,
6. Zu- und Abgänge von Bahnsteigen nach Nummer 1 und von Räumen nach Nummer 5.

(5) Die Sicherheitsbeleuchtung muss so beschaffen und angeordnet sein, dass die Betriebsanlagen nach Absatz 4 ausreichend beleuchtet werden können. Sie muss 0,5 Sekunden nach Ausfall der netzabhängigen Beleuchtung in betriebsnotwendigem Umfang eingeschaltet sein. Bei Tunneln und Notausstiegen darf diese Zeit bis zu 10 Sekunden betragen.

- § 30, Abs. 5, 6, 7, 9

(5) Im Tunnel müssen ins Freie führende Notausstiege vorhanden und so angelegt sein, dass der Rettungsweg bis zum nächsten Bahnsteig, Notausstieg oder bis zur Tunnelmündung jeweils nicht mehr als 300 m lang ist. Notausstiege müssen auch an Tunnelenden vorhanden sein, wenn der nächste Notausstieg oder der nächste Bahnsteig mehr als 100 m entfernt ist.

(6) Notausstiege müssen durch blaues Licht kenntlich gemacht sein

(7) Notausstiege müssen für die Beförderung von Verletzten auf Tragen geeignet sein.

*(9) Reicht in Tunneln der Luftaustausch über Haltestellen, Tunnelmündungen und Notausstiege nicht aus oder sind Belästigungen der Fahrgäste durch Luftschwall zu erwarten, sind zusätzliche Maßnahmen zu treffen.*

- Abschnitt 2.1.2 BOStrab-Tunnelbaurichtlinie

*Liegt die Standfläche mehr als 0,5 m höher oder tiefer als die begehbare Fläche des Bahnkörpers, so müssen mindestens alle 6 m Stufen oder andere Maßnahmen ein Überwinden des Höhenunterschiedes ermöglichen.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen diskutiert:

1. Ist die mit BOStrab/BOStrab-Tunnelbaurichtlinie vorgegebene mittlere Fluchtweglänge von 300 m für die Verhältnisse des schienengebundenen öffentlichen Personennahverkehrs in Tunneln ausreichend? In anderen Ländern werden zum Teil erheblich kürzere Fluchtweglängen angesetzt. Welche Beurteilungskriterien sind maßgebend?
2. Welche maximalen Höhenunterschiede sind für die Notausstiegsschächte akzeptabel? Ist hier eine Begrenzung vorzunehmen?
3. Ist die durch BOStrab/BOStrab-Tunnelbaurichtlinie vorgegebene Ausbildung der Fluchtwege bezüglich Breite, Höhenlage über SO, baulicher Gestaltung, Notbeleuchtung usw. akzeptabel oder zu korrigieren?
4. Benötigen wir in unterirdischen Haltestellen generell Rauchabzugs- und Ventilationsanlagen?

Die Ergebnisse der Diskussionen sind in den folgenden Kapiteln 5.2.5.2 bis 5.2.5.5 zusammengefasst.

### **5.2.5.2 Diskussionsergebnisse zur mittleren Fluchtweglänge**

Folgende Themenbereiche wurden diskutiert:

(1) Haltestellenabstand

Die derzeit in der BOStrab festgelegte Rettungsweglänge von 300 m (mittlere Fluchtweglänge) ist ein Kompromiss aus den durchschnittlichen

Haltestellenabständen bei den Straßenbahn-Unternehmen. Eine besondere Überprüfung z. B. im Sinne der Feuerwehr wurde nicht vorgenommen.

(2) Evakuierungszeit

Die mittlere Fluchtweglänge von 300 m ist aus folgender Überlegung für halbwegs mobile Menschen in Ordnung:

Die Fluchtgeschwindigkeit liegt zwischen 1 und 1,5 m/s, so dass sich bei 300 m Fluchtweglänge eine Marschzeit von 5 Minuten ergibt. Dazu muss eine Reaktionszeit von 3 bis 5 Minuten hinzugerechnet werden, bis der Brand bemerkt wird und die Evakuierung beginnt. Bis alle Fahrgäste das Fahrzeug verlassen haben, können etwa weitere 5 bis 7 Minuten vergehen. Bei diesem Szenario ist der letzte, gehfähige Fahrgast nach ca. 15 Minuten am Notausstieg angekommen.

Der Tunnel ist nicht total verraucht. Zu den genannten 15 Minuten kann daher die Verrauchungszeit, bis der Querschnitt am Notausstieg verraucht ist, noch hinzugerechnet werden. Von daher sind 300 m Fluchtweglänge ausreichend.

(3) Einsatzdauer der Rettungskräfte unter Atemschutz

Die Fluchtweglänge muss auch unter dem Aspekt der persönlichen Schutzausrüstung der Feuerwehrleute gesehen werden. Die persönliche Schutzausrüstung inklusive Pressluftatmer wiegt ca. 20 bis 25 kg. Der Pressluftatmer besitzt eine Einsatzzeit von ca. 20 bis 30 Minuten. Wenn dann noch körperliche Arbeit verrichtet werden muss wie z. B. Schläuche verlegen und Personen tragen, dann ist der Luftvorrat sehr begrenzt. Zudem muss die gesamte Einsatzzeit (Hin- und Rückweg) beachtet werden. Durch die begrenzte Einsatzzeit sind größere Fluchtweglängen aus der Sicht der Feuerwehr unakzeptabel.

(4) Bauliche Möglichkeiten zur Verkürzung von Fluchtweglängen

a) Brandsichere Trennwände

Baden-Württemberg hat sich mit den Rettungsdiensten darauf verständigt, dass eine Evakuierung stets über die Haltestellen erfolgen soll, da hier auch die Feuerwehrkräfte konzentriert sind. Es wird daher weitestgehend versucht, auf die Benutzung von Notausstiegen zu



verzichten. Evakuierungen über Notausstiege können u.U. sehr zeitaufwendig sein. Es sollten in einem solchen Fall daher besser etwas längere Wege in Kauf genommen werden, um schneller in gesicherte Bereiche zu kommen. Wichtig ist hierbei, dass nur horizontale bzw. sehr gering geneigte Wege benutzt werden. In den Streckentunneln sind keine sehr großen Längsneigungen vorhanden, so dass letztendlich ein schnelleres Evakuieren sichergestellt ist.

Die gesamte Tunnelbreite steht für die Evakuierung zur Verfügung. Beengte Notausstiege sollten nur in Ausnahmefällen für die Evakuierung benutzt werden.

In Stuttgart gibt es einen ca. 2,5 km langen Tunnel mit einer relativ hohen Überdeckung mit teilweise bis zu 50 m. Von der Möglichkeit, dort einen Treppenhausschacht einzubauen, wurde Abstand genommen. Um Notausstiege zu vermeiden, wurde ein größerer Tunnelquerschnitt gewählt, in dem mit einer brandsicheren Trennwand F 90 ein Fluchtweg abgemauert wurde. Es wurden auch Strahlventilatoren im Fluchtweg installiert, die den Fluchtweg auf jeden Fall rauchfrei halten. Es ergibt sich dann allerdings ein relativ langer Fluchtweg von ca. 500 m. Vorteilhaft ist aber, dass dieser Fluchtweg im Gefahrenfall von fliehenden Fahrgästen eher angenommen wird als ein Notausstieg mit hohem Treppenhaus.

Mit dieser Konstruktion wurde die mittlere Fluchtweglänge von 300 m eingehalten. Dabei wird davon ausgegangen, dass zu Beginn dieses geschützten Fluchtweges der gesicherte Bereich beginnt. Formal wird so die BOStrab eingehalten, da der Fluchtweg dann der geschützte Bereich ist.

Auch in Bensberg bei Köln wurde eine ähnliche Lösung an der Endhaltestelle verwirklicht. Die Verlängerung der Stadtbahn Köln endet in Bensberg im Tunnel. Die Abstellanlage hätte dann einen Notausstieg am Tunnelende haben müssen. Das ging aus verschiedenen Gründen nicht. Deshalb wurde dort neben der Abstellanlage der sichere Raum in Form eines abgeschotteten zweiten Tunnels innerhalb des

Gesamtprofils gebaut, um die Forderung der BOStrab zu Fluchtweglängen von 100 m am Ende einer Strecke zu erfüllen.

b) Querschläge

Bei anderen Verkehrsträgern werden Querschläge zu anderen Einzeltunneln als Notausgänge gebaut. Dies ist bei den von der BOStrab geforderten Notausstiegen so nicht vorgesehen. Die BOStrab fordert einen Weg direkt an die Oberfläche. Es wäre daher eine Anregung für die BOStrab, ohnehin für den Bau eines Tunnels benötigte Querschläge für die Nutzung als Fluchtweg zuzulassen.

Stadt- oder U-Bahnen fahren teilweise unter Bebauung hindurch. Ferner sind in Straßenbereichen vielfach Versorgungsleitungen vorhanden. Es ist deshalb nicht immer möglich, den geforderten Abstand der Notausstiege von 600 m untereinander bzw. zur nächsten Haltestelle exakt einzuhalten.

(5) Mittlere und größte Fluchtweglänge

Die BOStrab fordert, dass der Rettungsweg bis zum nächsten Bahnsteig, Notausstieg oder Tunnelportal nicht länger als 300 m ist. Die Interpretation dieser Regelung bereitet manchmal Schwierigkeiten. So ist z. B. ein Szenario vorstellbar, bei dem ein Fahrzeug 20 m außerhalb der Haltestelle im Streckentunnel brennt, und die Fahrgäste zur anderen, fast 600 m entfernten Haltestelle flüchten müssen, weil durch das Feuer der Weg zur nur 20 m entfernten Haltestelle versperrt ist. Obwohl die Fliehenden in diesem Fall nahezu 600 m im Tunnel zurücklegen müssen, ist die Forderung der BOStrab erfüllt, weil sie sich auf einen mittleren Rettungsweg von 300 m bezieht und damit im ungünstigsten Fall auch einen Fluchtweg von 600 m zulässt. Dies ist in der BOStrab jedoch nicht klar genug ausgedrückt. Bei einer Überarbeitung sollte zwischen dem Notausstiegsabstand und der mittleren Fluchtweglänge unterschieden werden.

### 5.2.5.3 Diskussionsergebnisse zur baulichen Ausbildung der Fluchtwege

Folgende Themenbereiche wurden diskutiert:

(1) Verfügbarer Fluchtweg

Da in der Regel zwischen dem Unfallfahrzeug und der Station kein weiterer Zug steht, kann der gesamte Tunnel-Querschnitt als Fluchtraum genutzt werden. Dieser Weg ist nicht immer gut begehbar. Häufig sind die Fluchtwege und auch die Sicherheitsräume nicht mit einem ebenen Belag versehen.

(2) Sicherheitsraum

Auch der Sicherheitsraum-Querschnitt (mindestens 70 cm breit und 2 m hoch) gehört zum Fluchtweg für die Fahrgäste, ist gleichzeitig aber auch Angriffsweg für die Feuerwehr. Für diese beiden Aufgaben ist die Breite des Sicherheitsraumes in der Regel nicht ausreichend, selbst wenn bei stehenden Fahrzeugen noch der 15 cm breite Wandraum hinzugenommen werden kann. Es sollten daher bei einer Novellierung der Regelwerke für neue Tunnel breitere Sicherheitsräume vorgesehen werden.

Der Sicherheitsraum muss vom Gleis und vom Fahrzeug aus erreichbar sein. Der Sicherheitsraum ist einmal dazu gedacht, Fahrgäste aus Fahrzeugen zu evakuieren. Dazu muss die Gehfläche möglichst in der Höhe des Fahrzeugfußbodens liegen. Der Sicherheitsraum dient aber nach den Vorschriften der Berufsgenossenschaften auch dazu, dass Arbeiter im Tunnel beim Herannahen von Zügen das Gleis verlassen können. Dazu muss die Gehfläche tief liegen. In dieser Situation wird teilweise eine Regelung getroffen, bei der die Gehfläche in einer Höhe von 50 cm über Schienenoberkante angeordnet wird. Diese Höhe kann in einigen Tunneln u.U. auf etwa 15 cm bis 35 cm über SO reduziert werden. In kreisförmigen Tunnel-Querschnitten ist die Gehfläche geometrisch bedingt etwas höher angeordnet als in Rechtecktunneln.

Für die Evakuierung der Fahrgäste ist insbesondere die Lage des Sicherheitsraumes zum Fahrzeug wichtig. Es müssen niederflurige, mittelflurige und hochflurige Fahrzeuge unterschieden werden. In Stuttgart z. B. sind in erster Linie Hochflurfahrzeuge ohne Klapptrittstufen als Standard-

Fahrzeuge im Einsatz. Diese Fahrzeuge besitzen jedoch für eine bessere Evakuierung einen Trittschlitz. Dieser ermöglicht einen relativ niedrig angeordneten Sicherheitsraum (Gehfläche ca. 30 bis 35 cm über SO). Ein hochliegender Sicherheitsraum, von dem Fahrgäste abstürzen können, wird so vermieden. Ferner kann so ein größerer Firstabschnitt zum Auffangen von Brandrauch genutzt werden.

Die BOStrab sollte keine Einengungen im Sicherheitsraum gestatten, wie z. B. durch Signale, Schaltkästen und Stützen. Solche Einengungen behindern das Bergen von Fahrgästen. Auch das sogenannte Durchquetschmaß von derzeit 45 cm als geringsten Abstand zwischen stehendem Fahrzeug und diesen Tunneleinbauten sollte für neue Tunnel vergrößert werden.

Wo der Sicherheitsraum auch Arbeitsweg ist, wie z. B. bei Betriebsraumzugängen in den Tunneltrompeten, gelten berufsgenossenschaftliche Vorschriften (keine Einbauten, 1 m Breite, Geländer, Handlauf). Geländer müssen in diesem Bereich herausnehmbar sein. Alternativ kann ein wandseitiger Handlauf vorgesehen werden.

Ein Handlauf wäre auch im Brandfall zur Orientierung im verrauchten Tunnel vorteilhaft. Nachteilig ist jedoch, dass der Tunnel größer ausgeführt werden muss, um den Handlauf im Querschnitt unterbringen zu können. In zweigleisigen Tunneln ohne Stützen verläuft der Fluchtweg vielfach zwischen den Gleisen und ist aus Platzgründen nur markiert. Hier können in der Regel keine Handläufe angeordnet werden.

Der Sicherheitsraum muss am Übergang vom Streckentunnel zur Haltestelle sicher verlassen werden können. Dazu werden z. B. Notbahnsteige oder Notlaufwege zwischen der Gleisebene und einem Hochbahnsteig angeordnet. Die Wege sind in diesem Bereich teilweise nur ca. 45 cm bis 50 cm breit und weisen zum Bahnsteig einen Höhenunterschied von bis zu ca. 80 cm auf. Alte oder behinderte Fahrgäste können daher u.U. nicht vom Streckentunnel in die Haltestelle gelangen. Bei einer Novellierung der BOStrab sollte deshalb die bauliche Ausführung dieses Abschnittes des

Sicherheitsraumes neu geregelt werden (breitere Wege, geringere Höhenunterschiede).

(3) Sicherheitsbeleuchtung

In der Regel ist die Beleuchtung im Tunnel ausgeschaltet. Daher ist es nur im Umfeld einer Bahn einigermaßen hell. Die Sicherheitsbeleuchtung schaltet sich erst an, wenn die Fahrspannung abgeschaltet wird. Diese Schaltung wird i.d.R. von der Leitstelle vorgenommen.

Nur in vier deutschen U-Bahnen und der Wiener U-Bahn sind Kurzschließer in den Fahrzeugen eingebaut, mit denen der Fahrer im Notfall sofort per Knopfdruck einen Kurzschluss zwischen Stromschiene und Fahrschiene herstellen kann. In Sekundenschnelle wird durch das Unterwerk der Fahrstrom ab- und die Sicherheitsbeleuchtung eingeschaltet. Ferner wird diese Fahrstromunterbrechung sofort in der Leitstelle, in der Stellwarte oder in der Warte der Unterwerke angezeigt.

Die Beleuchtung des Fluchtweges sollte nach der die BOStrab erläuternde VDV-Schrift 535 „Planung und Bau von Beleuchtungsanlagen im Gleisbereich von Bahnen nach BOStrab“ erfolgen.

#### **5.2.5.4 Diskussionsergebnisse zu den Höhenunterschieden in Notausstiegen**

Stadt- und U-Bahnen werden möglichst oberflächennah angelegt. Höhenunterschiede in den Notausstiegen sind daher für U- und Stadtbahnen i.d.R. nicht relevant. In Nordrhein-Westfalen kommen z. B. keine Notausstiegshöhen über 30 m vor. Daher sind weder in der BOStrab noch in der BOStrab-Tunnelbaurichtlinie Maßangaben zu zulässigen Höhenunterschieden in Notausstiegen vorhanden.

Stuttgart mit seiner Kessellage ist eine Ausnahme. So führt z. B. die S-Bahn durch Talhänge hoch zur Universität. Hier wurden jedoch Lösungen mit separaten Fluchttunneln mit kurzen Fluchtwegen und geringen Höhenunterschieden gefunden (Kapitel 5.2.5.2).

In Fällen, wo senkrechte hohe Notausstiege nicht vermieden werden können, sollte eine zur EBA-Richtlinie vergleichbare Regelung angewandt werden. Dort heißt es, dass Rettungsschächte höchstens einen Höhenunterschied von 60 m

aufweisen dürfen. Bei einem Höhenunterschied von mehr als 30 m muss in den Rettungsschächten zusätzlich zur Treppe ein Aufzug mit einer Mindestabmessung von 1,1 m x 2,1 m eingebaut werden, um z. B. Tragen mit verletzten Personen im Schacht transportieren zu können.

#### **5.2.5.5 Diskussionsergebnisse zu Rauchabzugs- und Ventilationsanlagen**

In Brand geratene Züge sollen grundsätzlich bis zur nächsten Haltestelle weiterfahren. Der Brandrauch muss über besondere Rauchabzugsöffnungen oder Treppenaufgänge abziehen können. In Ausnahmefällen, wie z. B. mehrgeschossigen Haltestellen können eventuell auch Rauchabzugs- und Ventilationsanlagen erforderlich sein.

Folgende Themenbereich wurden diskutiert:

(1) Rauchschrürzen in Tunneln

Durch Rauchschrürzen an der Decke soll der Rauch dort möglichst lange gehalten werden, um Zeit für die Evakuierung der Haltestelle zu gewinnen.

(2) Ventilationsöffnungen an Haltestellen-Decken

In Stuttgart erhalten Stationen seit vielen Jahren, wenn die Tiefenlage es zulässt, vertikale, offene Schächte zur Erdoberfläche. Wenn ein Fahrzeug brennend in der Haltestelle zum Stehen kommt, kann der Rauch unmittelbar zur Erdoberfläche abziehen. Wo diese Lösung nicht anwendbar ist, werden verschließbare Entrauchungsöffnungen mit Abmessungen von 1,1 m x 1,1 m gefordert. Bei einem Brandfall werden die Abdeckungen entfernt. Anschließend können z. B. mobile Absauganlagen auf die Öffnung aufgesetzt werden.

Direkt zur Erdoberfläche durchgehende Öffnungen können manchmal u. a. aus architektonischen Gründen nicht vorgesehen werden. Dies ist z. B. der Fall bei Haltestellen mit größeren Zwischengeschossen. Diese Zwischengeschosse sind Fluchtwege, die solange wie möglich rauchfrei gehalten werden müssen. Offene Durchbrüche sind brandschutztechnisch unzuläs-

sig, diese Öffnungen müssen mindestens mit brandfesten Gläsern verglast sein.

(3) Strahlventilatoren

In Stuttgart wurde der Tunnel zwischen Bopser und Waldau mit Strahlventilatoren ausgerüstet. Der Tunnel ist 2,5 km lang und hat 70 ‰ Steigung. Es wurde ein Entrauchungsgutachten erstellt, um zu klären, wie die topographischen, thermischen und klimatischen Verhältnisse zu einer Kaminwirkung im Brandfall beitragen. Bei Versuchen im Tunnel wurde ferner festgestellt, dass der Rauch, je nach der Temperaturschichtung im Tunnel, auch talwärts treiben kann. Daher wurde eine Lüftung mit Strahlventilatoren entworfen, die den Rauch gezielt abführen kann und dabei die Rettungswege rauchfrei hält. Auch Fluchtwege und Notausstiege wurden mit Strahlventilatoren ausgerüstet, um auch diese Rettungswege rauchfrei zu halten.

(4) Mobile Entrauchungscontainer

In Berlin werden von der Feuerwehr Entrauchungscontainer eingesetzt, um Tunnel nach einem Brand für die Bergungsarbeiten schneller zu entrauchen. In diesen Containern ist eine leistungsstarke Lüftungsanlage eingebaut, die von einem Dieselstromaggregat angetrieben wird. Die Feuerwehr braucht etwa 30 Minuten, um den Container mit einem LKW zum Brandherd zu transportieren. Zum Abladen wird ein Kran benötigt. Wenn das Gerät zum Einsatz kommt, sind die Fahrgäste i.d.R. schon in Sicherheit.

(5) Kolbenwirkung fahrender Züge

Der Luftsog fahrender Züge wurde bei einigen Bränden dazu benutzt, Rauch aus dem Tunnel abzusaugen. Dies wurde z. B. auch bei London Underground während des Kings Cross-Brandes versucht. Dabei wurden jedoch die Fahrgäste dieser Züge auch durch den Brand in der Haltestelle gefährdet. Teilweise blieben die Züge auch im Tunnel liegen, weil der Fahrstrom ausfiel. Auf Entrauchung von Tunneln oder Haltestellen mit Hilfe der Kolbenwirkung von Zügen sollte daher verzichtet werden.

## 5.2.6 Kommunikationseinrichtungen

### 5.2.6.1 Forderungen der BOStrab

Die Forderungen der BOStrab [6] zu Kommunikationseinrichtungen in Tunnelanlagen lauten :

- § 23, Abs. 1, 3, 4

*(1) Für die Verständigung von Betriebsbediensteten mit Betriebsstellen müssen in betriebsnotwendigem Umfang nachrichtentechnische Anlagen vorhanden sein. Besonders wichtige Meldungen an zentrale Betriebsstellen sollen vorrangig übermittelt werden können.*

*(3) Bei Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer müssen nachrichtentechnische Anlagen vorhanden sein, die eine vorrangige Sprechverbindung zwischen Fahrgästen und einer Betriebsstelle ermöglichen.*

*(4) Im Tunnel müssen Einrichtungen vorhanden sein, die eine rasche und sichere wechselseitige Verständigung zwischen Polizei, Feuerwehr, Rettungsdiensten, deren Einsatzzentralen und den zentralen Betriebsstellen ermöglichen.*

- § 46, Abs. 4

*(4) Fahrzeuge müssen Einrichtungen für eine Sprechverbindung zwischen Fahrzeugführer und einer Betriebsstelle haben. Notfall-Informationen sollen vorrangig durchgegeben werden können.*

- § 54, Abs. 5, 6

*(5) Über Betriebsstörungen von längerer Dauer sollen die Fahrgäste an Haltestellen und in Zügen unterrichtet werden; dabei ist insbesondere auf Ersatzbeförderungen oder Umleitungen hinzuweisen.*

*(6) Nachrichtentechnische Anlagen und Informationseinrichtungen dürfen nicht zu anderen als zu betrieblichen Zwecken benutzt werden.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zur Sicherheit und zum Schutz der Tunnelnutzer im Brandfall (Ausmaßbegrenzung) diskutiert:

1. Können moderne Fahrgastinformationseinrichtungen die Sicherheit und den Schutz der Verkehrsteilnehmer im Brandfall verbessern?



2. Ist eine ausreichende Kommunikation zwischen Rettungskräften und Bahnbetreiber gewährleistet?
3. Werden die heute verfügbaren Telekommunikationseinrichtungen genügend genutzt?
4. Brauchen wir bessere Informationen für die vorbeugende Verkehrserziehung der Fahrgäste? Sind hierzu Werbespots im Fernsehen, in Funk oder Presse erforderlich?

Die Ergebnisse der Diskussion sind in den folgenden Kapiteln 5.2.6.2 und 5.2.6.3 zusammengefasst.

### **5.2.6.2 Diskussionsergebnisse zu den Fahrgast-Informationseinrichtungen**

Folgende Themenbereiche wurden diskutiert:

- (1) Vorbeugende Verkehrserziehung
  - a) Werbespots  
Werbespots über Sicherheit haben einen sehr hohen Aufmerksamkeitswert, können aber auch den Eindruck vermitteln, dass dadurch fehlende Brandschutzmaßnahmen des Verkehrsbetriebes aufgefangen werden sollen.
  - b) Zeitung des Verkehrsbetriebes  
Einige Verkehrsbetriebe verteilen monatlich kostenlos eine eigene Zeitung an ihre Fahrgäste. Darin sind u. a. auch kleine Aufsätze zur Sicherheit z. B. zum Verhalten im Brandfall enthalten. Ferner werden andere gerade aktuelle Themen angesprochen.
  - c) Sicherheitsbroschüre  
In Hamburg wird eine Sicherheitsbroschüre herausgegeben, die alle Fahrgäste darüber informiert, welche Sicherheitseinrichtungen in den Fahrzeugen und Haltestellen vorhanden sind. Es werden Handlungsanweisungen z. B. zu Feuerlöschern gegeben und Hinweise, wo weitere Informationen zu bekommen sind. Die Broschüre ist sehr gut bei den Fahrgästen angekommen.
  - d) Information älterer Menschen

In Hamburg wurde vor 3 bis 4 Jahren begonnen, Bewohner von Altersheimen zu einem Besuch des Verkehrsbetriebes einzuladen. Die Leute werden direkt vor Ort gebracht, d.h. nicht nur auf die Leitstellen, die Sicherheitszentralen, sondern auch in die Haltestellen. Dort werden ihnen die jeweiligen Einrichtungen erklärt. Die Vorgehensweise hat sich sehr bewährt. Anerkennung und Dankschreiben gingen von den älteren Menschen ein, die erstaunt über die Sicherheitsmaßnahmen bei der U-Bahn und im Nahverkehr waren und sich nach dem Besuch wesentlich sicherer fühlten.

Auch in Köln und Düsseldorf wird bewusst auf ältere Mitbürger zugegangen, um vorsichtig und höflich mit entsprechender Betreuung zu erläutern, was sie im Notfall machen sollen. Dabei werden Themen angesprochen wie z. B. "Wie komme ich aus einer Straßenbahn heraus, wenn sie auf der Strecke stehen bleibt?", "Wie bediene ich moderne Einrichtungen wie Aufzüge zu Stationen?" oder "Wie vermeide ich Panik"?

e) Information von Schülern

In Hannover gibt es z. B. für Schulklassen (2. und 3. Klasse) ein Informationsprogramm, das sehr gern genutzt wird. Vielfach liegen Voranmeldungen vor. Den Kindern werden die Gefahren beim U-Bahnverkehr, richtige Verhaltensweisen (nicht abspringen, ordnungsgemäße Bewegung) und Sicherheitshinweise vermittelt.

(2) Elektronische Fahrgast-Informationen

a) Multimedia-Anzeigesysteme in Fahrzeugen

Multimediasysteme werden z. B. in Hamburg schon in den DT4-Fahrzeugen eingesetzt. Dies sind Bildschirme, die vorrangig Werbung zeigen, aber auch Betriebsinformationen und Sicherheitshinweise bringen.

b) Anzeigesysteme in Haltestellen

Es muss sichergestellt sein, dass im Brandfall im richtigen Moment die richtige Information an die Fahrgäste gegeben wird. Falsche Informationen können zur Katastrophe führen.

c) Neue Kommunikationseinrichtungen

Neue Kommunikationseinrichtungen im öffentlichen Nahverkehr befinden sich noch am Anfang ihrer Entwicklung. Die heute bereits verfügbaren Kommunikationseinrichtungen werden noch nicht ausreichend genutzt, u. a. weil noch nicht bekannt ist, wie weit sie wirklich auch von den Fahrgästen angenommen werden. Dabei gibt es auch Effekte, mit denen gar nicht gerechnet wurde wie z. B. der drastische Rückgang des Vandalismus in den Fahrzeugen in Hamburg seit die Infoscreen-Einrichtungen eingebaut wurden.

### 5.2.6.3 Diskussionsergebnisse zur Kommunikation zwischen Rettungskräften und Bahnbetreibern

In Berlin können sich die Feuerwehr oder die Polizei in das Funkantennensystem der BVG einkoppeln. Sie können damit praktisch unabhängig kommunizieren, weil verschiedene Frequenzen für den Betriebsfunk der BVG, für die Polizei und die Feuerwehr vorgesehen sind. Im Tunnel wird die Kommunikation über die Schlitzbandantenne der BVG abgewickelt. Mit diesem System wurden gute Erfahrungen gemacht. Es befindet sich jedoch ein neues Digitalfunk-System in der Planung. Erste Tests wurden bereits durchgeführt.

Die Hamburger Hochbahn verfügt ebenfalls über eigene Funkmöglichkeiten im Tunnel, bei denen zunächst keine Sprechmöglichkeiten mit den Rettungskräften der Feuerwehr und der Polizei vorgesehen waren. Vor ca. 12 Jahren wurde mit dem System IGNIS der BOS-Kanal eingeführt, der die Möglichkeit schafft, dass alle miteinander kommunizieren können, d.h. die Rettungskräfte, die Feuerwehr und Hochbahn. Trotz der intensiven Überprüfung der Funkausleuchtung werden immer noch wieder Funkschatten festgestellt, so z. B. noch 1999 bei Rettungsübungen, wo sich die Rettungsmannschaften in der Haltestelle und am Notausstieg nicht miteinander verständigen konnten. Dies hängt auch damit zusammen, dass der BOS-Kanal nicht mehr den heutigen Anforderungen entspricht. Wie in Berlin wurde die Diskussion um die Modernisierung und Digitalisierung des BOS-Kanals aufgenommen. Bisher gibt es noch keine Entscheidung der

Länder in Deutschland untereinander oder auf europäischer Ebene, auf welcher Frequenz der digitale BOS-Kanal in Zukunft arbeiten soll. Im Moment können keine Modernisierungen durchgeführt werden, weil die technischen Festlegungen für den künftigen BOS-Funk (Funk für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) nicht geklärt sind. Unstrittig ist, dass es auch künftig einen gemeinsamen Funk-Kanal geben muss.

Auch in Hannover behindert die Diskussion über künftige digitale oder analoge Funkssysteme eine schnelle Verbesserung der Funksysteme der ÜSTRA. Der Funkverkehr bei Rettungsmaßnahmen wird z. Z. immer mit den ÜSTRA-Funkgeräten abgewickelt (so wie auch in Berlin).

In Stuttgart wurden Probleme bei der Funkausleuchtung bzw. beim BOS-Funk festgestellt. Auch hier besteht Klärungsbedarf über die künftigen Funkssysteme und großer Handlungsbedarf bei der Verbesserung der Funkversorgung.

Der Einsatz von Mobiltelefonen wurde kontrovers diskutiert:

In Hamburg werden Mobiltelefone für Nachrichtenübermittlungen, bei den z. B. Rettungskräfte miteinander arbeiten, nicht als geeignetes Instrumentarium angesehen. Vielmehr ist es eine zusätzliche Möglichkeit für die Fahrgäste, die Bediensteten des Verkehrsbetriebes auf etwas aufmerksam zu machen. Das Handy wird auch in Zukunft, selbst wenn die Tunnel funktechnisch ausgeleuchtet sind, nicht den Sicherheitskanal ersetzen.

Demgegenüber ist die Situation in Hannover etwas anders. Außer der Feuerwehr sind die Sicherheitskräfte inzwischen mit Handys ausgestattet. Dadurch kommt es auch zu einer Entlastung des Betriebsfunks der ÜSTRA, der vorher durch die gemeinsame Nutzung von Feuerwehr und Betriebsbediensteten stark ausgelastet war.

Auf Grund anderer Erkenntnisse sollte man sich bei Rettungsmaßnahmen nicht alleine auf Handys stützen. So wurde z. B. im Bereich des Straßenbaus im Zusammenhang mit den Telefoneinrichtungen an Bundesautobahnen davon ausgegangen, dass man mittelfristig darauf verzichten könnte. Jetzt gibt es Erkenntnisse, dass z. B. bei großen Staus die Handy-Netze innerhalb von Sekunden zusammengebrochen sind, da viele Autofahrer gleichzeitig mit Handys telefonierten. Es wird in erster Linie nicht wegen Hilfeleistungen, sondern wegen

der Änderung von Terminen telefoniert. Deshalb müssen ein separater leistungsfähiger Sicherheitsfunk und leistungsfähigere Netze aufgebaut werden.

## **5.2.7 Rettungskonzepte**

### **5.2.7.1 Forderungen der BOStrab**

Die Forderungen der BOStrab [6] zum sicheren Verlassen von Fahrzeugen lauten:

- § 36, Abs. 9

*(9) In Personenfahrzeugen müssen Einrichtungen vorhanden sein, mit denen Fahrgäste im Notfall eine Bremsung einleiten können (Notbremsung). Auf Strecken ohne Sicherheitsraum und in Tunneln darf die Betätigung dieser Einrichtungen außerhalb von Haltestellen erst am nächsten Bahnsteig zum Halt führen.*

- § 43, Abs. 6

*(6) Türen müssen in geschlossener Stellung festgehalten sein. Sie müssen jedoch von Fahrgästen im Notfall geöffnet werden können.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurde folgende Frage diskutiert:

Wie ist die Situation im unterirdisch geführten Nahverkehr bezüglich Selbstrettungs- und Fremdrettungskonzept zu beurteilen? Sind diesbezüglich besondere Vorkehrungen für Behinderte zu treffen?

Die Ergebnisse der Diskussion sind im folgenden Kapitel 5.2.7.2 zusammengefasst.

### **5.2.7.2 Diskussionsergebnisse zum Selbstrettungs- und Fremdrettungskonzept**

Die Ausarbeitung von Einsatzplänen für den Gefahrenfall wird in vielen Städten bereits durchgeführt. Feuerwehrplan, gemeinsamer Einsatzplan und gemeinsame Übungen sind jedoch auch sehr wichtig. In Hamburg werden der Feuerwehr u. a. Fahrzeuge zur Verfügung gestellt, mit denen echte Feuerwehrübungen gemacht werden können. Die Rettungspläne und Einsatzpläne für die einzelnen Haltestellen werden mit der Feuerwehr gemeinsam bearbeitet. Um einen schnellen Zugang zu Haltestellenanlagen zu gewährleisten, wurde in Hamburg

inzwischen ein großer Teil der Neubauhaltestellen (andere werden nachgerüstet) außen mit einem Feuerwehrtresor ausgestattet. Die Feuerwehr kann diesen Tresor mit ihren Schlüsseln öffnen und auf dem Brandmelder-Tableau sehen, wo es brennt und die für den Zugang zum Brandort erforderlichen Schlüssel entnehmen. Die intensive Zusammenarbeit und Übung mit der Feuerwehr ist ein ganz entscheidender Punkt für ein Brandschutzkonzept.

Das Rettungskonzept der Verkehrsbetriebe sieht vor, dass durch die Notbremsüberbrückung ein Zwangshalt der Fahrzeuge in den Streckentunneln vermieden wird. Das brennende Fahrzeug wird zur Evakuierung noch in die nächstgelegene Haltestelle gefahren. Dazu sind nur wenige Minuten erforderlich, da die Haltestellenabstände kurz sind. In der Regel stehen in den Haltestellen ausreichend große Fluchtwege zur Verfügung, über die auch mehrere 100 Personen aus vollbesetzten Bahnen in kurzer Zeit ins Freie gelangen können.

Das Gesamt-Rettungskonzept der Verkehrsbetriebe ist in zwei Stufen vorgesehen:

(1) Selbstrettung

Bis zum Eintreffen der Feuerwehr sind die Fahrgäste und das Personal der Verkehrsbetriebe hinsichtlich der Rettungsmaßnahmen auf sich allein gestellt. Vom Verkehrsbetrieb wird in dieser Phase angestrebt, das brennende Fahrzeug in die nächste Haltestelle einfahren zu lassen (Notbremsüberbrückung). In der Haltestelle können dann die Fahrgäste das Fahrzeug bei guter Beleuchtung verlassen. Die weitere Flucht ins Freie ist über die Treppenanlagen möglich.

Bleibt das Fahrzeug jedoch brennend in einem Streckentunnel liegen, so sind die Fahrzeugführer aufgefordert, eine geordnete Flucht zu organisieren. In U-Bahnfahrzeugen gehört dazu z. B. auch die Auslösung des wageninternen Kurzschließers, um die Stromschienen spannungsfrei zu machen. Bei Stadtbahn- und S-Bahn-Fahrzeugen müssen die Fahrzeugführer per Funk die Abschaltung der Fahrspannung über die Betriebsleitzentrale veranlassen.

Mit der Abschaltung der Fahrspannung schaltet sich dann die Sicherheitsbeleuchtung ein, die eine bessere Orientierung auf der Flucht ermöglicht.

Das Verhalten und die erforderlichen Handlungsabfolgen bei Selbstrettungsmaßnahmen sind Teil der betrieblichen Ausbildung der Fahrzeugführer.

(2) Fremdrettung

Die Maßnahmen für eine Fremdrettung müssen zwischen Verkehrsbetrieb und Rettungsorganisationen abgestimmt sein. Hierzu sind detaillierte Einsatz- und Alarmpläne der beteiligten Institutionen erforderlich. Ferner müssen gemeinsame Streckenbegehungen (Brandschau) und Notfallübungen durchgeführt werden, damit die gegenseitigen Möglichkeiten und Handlungsweisen bei Fremdrettungsmaßnahmen bekannt und aufeinander abgestimmt sind.

In Nordrhein-Westfalen ist hier das im Februar 1998 erlassene Gesetz zum Feuerschutz und zur Hilfeleistung im Brandfall zu berücksichtigen. Dieses Gesetz bestimmt, dass Brandschauen zwingend durchzuführen sind. Bei diesen Brandschauen festgestellte Mängel müssen umgehend abgestellt werden.

### **5.2.8 Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse**

Die in der Arbeitsgruppe „U- und Stadtbahn-Tunnel“ des Workshops „Sicherheit in Tunneln“ geführten Diskussionen zum Brandschutz in den Fahrzeugen und Tunnelanlagen sowie zur Sicherheit der Fahrgäste im Brandfall können wie folgt zusammengefasst werden:

(1) Gefährdungspotential der Fahrzeuge

Gegenüber der Situation um das Jahr 1980 wurde durch den Einsatz moderner Konstruktionsprinzipien und Materialien das Gefährdungspotential der Fahrzeuge deutlich vermindert. Die Ereigniswahrscheinlichkeit von Bränden für den Bereich des Nahverkehrs ist daher geringer geworden.

(2) Brandlast von Fahrzeugen

Die Energieinhalte der modernen Fahrzeuge wurden auf ca. 25000 MJ verringert. Die Energiefreisetzungsraten der heutigen Fahrzeuge sind mit ca.

20 bis 25 MW anzusetzen. Dies ist ein deutlicher Rückgang gegenüber der Fahrzeugflotte zu Beginn der 80-ziger-Jahre

(3) Gefährdungspotential der Tunnelanlagen

Verkaufseinrichtungen in den Haltestellen unterirdischer Verkehrsanlagen sollten nur zugelassen werden, wenn sie die Fluchtwege nicht einschränken und außerdem soweit erforderlich mit Sprinkleranlagen ausgestattet werden.

(4) Brandlasten in Tunnelanlagen

Die Brandlasten sind in Verkaufseinrichtungen und betriebstechnischen Verkabelungen konzentriert. Ferner können sich durch den Luftschwall der Fahrzeuge leicht entzündliche Materialien im Tunnel ansammeln, die eine Brandauslösung durch Fahrlässigkeit bzw. Brandstiftung begünstigen.

(5) Verwendung von automatischen Löschanlagen in Fahrzeugen

Es sollten keine Löschgasanlagen in den Fahrgasträumen der Fahrzeuge installiert werden. Der Einsatz im Unterflurbereich der Fahrzeuge sollte geprüft werden. Sprinkleranlagen in Fahrzeugen können Entstehungsbrände sehr wirkungsvoll bekämpfen, müssen jedoch im Nutzen gegenüber anderen Brandschutzmaßnahmen (z. B. Materialauswahl für den Fahrzeugbau) sorgfältig abgewogen werden.

(6) Linienbrandmelder in Tunnelanlagen

Linienbrandmelder sind in Streckentunneln von U-, S- und Stadtbahnen nicht erforderlich.

(7) Löscheinrichtungen in Tunnelanlagen

Zur Löschwasserversorgung sind in der Regel Trockenleitungen mit passenden Kupplungen für die Schlauchleitungen der Feuerwehr in den Tunneln vorhanden.

Verkaufsbereiche in Haltestellen müssen in jedem Falle mit Sprinkleranlagen ausgestattet werden. Stationäre Sprinkleranlagen im Bereich der Streckentunnel werden nicht empfohlen. Automatische Löscheinrichtungen



(Sprühfluranlagen) in unterirdischen Abstellanlagen sollten im Rahmen des Brandschutzkonzeptes des jeweiligen Verkehrsbetriebes gesehen werden.

(8) Mittlere Fluchtweglänge

Die Rettungsweglänge von 300 m sollte für den Bereich des öffentlichen Nahverkehrs in Tunneln beibehalten werden. Es sollte in der BOStrab zusätzlich zum Rettungsweg auch der zulässige Abstand der Notausstiege (600 m) und die maximale mittlere Fluchtweglänge (300 m) aufgenommen werden.

(9) Bauliche Ausbildung von Fluchtwegen

Für neue Tunnel sollten breitere Sicherheitsräume vorgesehen werden. Es sollten ferner möglichst wenig Einbauten in die Gehfläche des Sicherheitsraumes hineinragen. Das zugehörige Durchquetschmaß sollte vergrößert werden. Die Gehfläche selbst sollte einen rutschfesten Belag haben. Der Sicherheitsraum sollte ferner einen Handlauf für eine bessere Orientierung der Flüchtenden haben. Die Höhendifferenz zwischen den Gehflächen des Sicherheitsraumes und dem Fahrzeug bzw. Bahnsteig muss gering gehalten werden, um Stürze von flüchtenden Personen möglichst zu vermeiden und außerdem den Transport von Feuerwehrgeräten zu vereinfachen.

(10) Höhe von Notausstiegsschächten

Die BOStrab-Tunnelbaurichtlinie sollte hinsichtlich der maximalen Höhenunterschiede von Notausstiegsschächten im Sinne der EBA-Richtlinie ergänzt werden, dabei aber auch eine Einzelfallbewertung nicht ausschließen. Ferner sollte bei einer zukünftigen Überarbeitung der BOStrab/BOStrab-Tunnelbaurichtlinie die Möglichkeit von Querschlägen zwischen zwei Tunnelröhren, sicheren Aufenthaltsräumen bzw. von Fluchtstollen explizit zugelassen werden.

(11) Entrauchungsanlagen

Rauchabzugs- und Ventilationsanlagen sollten in der Regel nur in großen Kreuzungsbahnhöfen, in tiefliegenden Bahnhöfen und in Streckentunneln mit nennenswerten Steigungen vorgesehen werden.

(12) Fahrgast-Information

Fahrgäste sollten durch eine vorbeugende Verkehrserziehung mit Sicherheitseinrichtungen in Fahrzeugen und Haltestellen vertraut gemacht werden, damit sie im Notfall richtig reagieren können. Die elektronischen Fahrgast-Informationen-Einrichtungen müssen für den Einsatz im Brandfall weiter verbessert werden.

(13) Kommunikationseinrichtungen

Die Kommunikationseinrichtungen zwischen Rettungskräften untereinander wie auch zwischen den Rettungskräften und dem Verkehrsbetrieb müssen weiter verbessert werden. Dazu gehören u. a. Maßnahmen wie die Ausleuchtung eventuell noch vorhandener Funkschatten und die Einführung moderner z. B. digital arbeitender Funkgeräte.

(14) Rettungskonzept

Das Rettungskonzept der Verkehrsbetriebe sieht vor, dass durch die Notbremsüberbrückung ein Zwangshalt von Fahrzeugen im Streckentunnel vermieden wird. Ein brennendes Fahrzeug soll noch in die nächste Haltestelle einfahren und dort evakuiert werden.

Für einen Feuerwehreinsatz müssen Alarm- und Einsatzpläne bereitliegen. Ferner müssen die geplanten Rettungsmaßnahmen von Bediensteten der Verkehrsbetriebe, der Feuerwehr und der Rettungsdienste immer wieder geübt werden.

Die genannten Maßnahmen sollten in die Brandschutzkonzepte der Verkehrsbetriebe übernommen werden.

### **5.3. Fernbahntunnel**

#### **5.3.1 Allgemeines**

In deutschen Fernbahntunneln ist bereits ein hoher Sicherheitsstandart seit vielen Jahren erreicht worden. Hierzu haben u. a. folgende Maßnahmen beigetragen:

- (1) den konsequenten Begegnungsausschluss zwischen Reise- und Güterzügen
- (2) die Begrenzung der Fluchtweglänge auf 500 m
- (3) den Funktionserhalt aller Systeme
- (4) die Sicherheitsbeleuchtung
- (5) die Abschaltung und Noterdung der Oberleitung
- (6) die Verfügbarkeit des BOS-Funks,
- (7) die Bereitstellung von Löschwasser und elektrischer Energie,
- (8) die Anlage von Zufahrtswegen und Rettungsplätzen
- (9) die Vorhaltung von Transporthilfen.

Auf dem Workshop der BAST [7] sollten jedoch Anregungen zu einer Erhöhung des Brandschutz gegeben werden. Diskutiert wurden von den Fachleuten u. a. die Themenbereiche:

- (1) Ein- oder zweigleisige Röhren?
- (2) Unter welchen Bedingungen sind Belüftungs- oder Entrauchungsanlagen erforderlich?
- (3) Welche Vor- und Nachteile haben Leiteinrichtungen?

In den folgenden Kapiteln 5.3.2 bis 5.3.4 werden die Diskussionsergebnisse des Workshops wiedergegeben.

## 5.3.2. Gefährdungspotential und Vermeidung von Bränden in Eisenbahntunneln

### 5.3.2.1 Forderungen der EBA-Richtlinie

In der EBA-Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“ [5] hinsichtlich des Gefährdungspotentials und der Vermeidung von Bränden in Eisenbahntunneln lauten u. a. wie folgt:

#### a) Sicherheitsmaßnahmen, Rettungskonzept

##### - Abschnitt 1.3: Sicherheitsmaßnahmen, Rettungskonzept

*Die Eintrittswahrscheinlichkeit und das mögliche Ausmaß eines Schadensfalls sind angemessen zu berücksichtigen. Hierfür sind typische Primärereignisse zugrunde zu legen.*

*Die Sicherheitsmaßnahmen müssen dem Schutz der Reisenden, des Eisenbahnpersonals und der Rettungskräfte in ausreichendem Maße Rechnung tragen.*

*Absolute Sicherheit ist weder technisch noch wirtschaftlich erreichbar. Da die möglichen Folgewirkungen eines Unfalls in ihrer Kombination zu einer Vielzahl nicht völlig auszuschließender, aber entsprechend unwahrscheinlicher Szenarien führen, müssen die Sicherheitsmaßnahmen einer allgemeinen Konzeption folgen, die für die Mehrzahl der Fälle Erfolg verspricht. Dabei kann der Erfolg von Rettungsmaßnahmen im Einzelfall durch extreme Bedingungen in Frage gestellt sein.*

*Für Tunnel ist ein Rettungskonzept aufzustellen, das die Selbst- und Fremdreitung gewährleistet.*

*Die nach dem Rettungskonzept notwendigen Maßnahmen sind bereits während der Planung mit den zuständigen Stellen abzustimmen.*

*Die Ausgestaltung des Rettungskonzeptes hat unmittelbaren Einfluss auf die bauliche Gestaltung des Tunnelbauwerks. Deshalb müssen die Einzelheiten vor Einleitung des Planfeststellungsverfahrens festgelegt sein.*

##### - Abschnitt 3.3: Pflichten des Verkehrsunternehmers

*Der Eisenbahnverkehrsunternehmer hat für Züge, die lange und sehr lange Tunnel befahren, Dienstanweisungen aufzustellen, die gewährleisten, dass*

- *Brände und Betriebsstörungen, sowie insbesondere die Betätigung und Überbrückung der Notbremse dem Zugpersonal und der betriebsüberwachenden Stelle unverzüglich bekannt wird,*

- *die Ursache der Notbremsung umgehend ermittelt wird,*
- *ein Brand sachgerecht und zielgerichtet mit Löschmitteln bekämpft wird.*

*Die Dienstanweisungen müssen auf die Besonderheiten der eingesetzten Züge abgestimmt sein.*

*Der Eisenbahnverkehrsunternehmer ist dafür verantwortlich, dass*

- *die vorgeschriebenen Löschmittel und die vorgeschriebene Notfallausrüstung bei der Abfahrt eines Zuges vorhanden und funktionstüchtig sind und*
- *das Zugpersonal in der Brandbekämpfung und den darüber hinaus erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen unterwiesen ist.*

*Über die regelmäßige Unterweisung des Zugpersonals sind Aufschreibungen zu führen.*

### - **Abschnitt 3.3: Pflichten des Infrastrukturunternehmers**

*Der Eisenbahninfrastrukturunternehmer hat die technischen Voraussetzungen zu schaffen und Dienstanweisungen zu erlassen, die sicherstellen, dass*

- *ein Zug, von dem die Betätigung einer Notbremse gemeldet wird, schnellstmöglich den Tunnel verlassen kann,*
- *nach dem Stillstand der Standort des Zuges durch die betriebsüberwachende Stelle auch ohne Mitwirkung des Zugpersonals festgestellt werden kann,*
- *die zur Hilfeleistung erforderlichen Maßnahmen ohne Verzögerung eingeleitet werden,*
- *Züge in Paralleltunneln, die sichere Bereiche für eine andere Tunnelröhre sind, sofort informiert, angehalten oder zum Verlassen des Tunnels aufgefordert werden,*
- *die Oberleitung, sowie ggf. parallel geführte Speiseleitungen unverzüglich abgeschaltet und geerdet werden.*

### - **Abschnitt 4: Betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan**

*Für die Zusammenarbeit mit den Rettungsdiensten hat der Eisenbahninfrastrukturunternehmer für jeden Tunnel einen betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplan einschließlich der Feuerwehrpläne gemäß DIN 14095 zu erstellen. Die Pläne sind mit den Landkreisen und kreisfreien Städten abzustimmen und ihnen zur Verfügung zu stellen.*

### - **Abschnitt 1.1: Ausnahmen**

*Abweichungen von dieser Richtlinie sind zulässig, wenn*

- *die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht und dies nachgewiesen wird oder*

- *die Einhaltung einzelner Bestimmungen im Einzelfall unverhältnismäßig wäre.*

*Bei Entscheidung über Ausnahmen sind insbesondere die örtlichen Gegebenheiten, wie Überdeckung, Lage des Tunnels, sowie Anrückzeit und –weg der Rettungsdienste zu beurteilen.*

## b) Bestandsschutz

### - Abschnitt 1.1: Vorhandene Tunnel

*Bei vorhandenen Tunneln ist unter dem Aspekt des rechtlichen Bestandsschutzes zu prüfen, inwieweit die genannten Maßnahmen sinngemäß anzuwenden sind. Eine pauschale Forderung nach Angleichung vorhandener Tunnelbauwerke an den Stand dieser Richtlinie würde dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit widersprechen. Diese Richtlinie gilt deshalb nur insoweit, als im Rahmen einer umfassenden Erneuerung wesentliche Elemente der Tunnelkonstruktion verändert werden. Beispielsweise ist bei Aufweitung/Erneuerung eines Tunnelgewölbes stets zu prüfen, inwieweit eine Annäherung an die Anforderungen dieser Richtlinie möglich ist. Dies gilt insbesondere auch für betriebsorganisatorische Maßnahmen, die sich in der Regel kostengünstig einführen lassen.*

## c) Eingleisige Tunnel

### - Abschnitt 2.1: Eingleisigkeit und Fahrbahn

*Auf zweigleisigen Strecken sind bei langen und sehr langen Tunneln die Fahrtunnel als parallele, eingleisige Tunnel anzulegen, wenn das Betriebsprogramm einen uneingeschränkten Mischbetrieb von Reise- und Güterzügen (vgl. Ziff. 3.1) vorsieht. In diesem Fall erfolgt die Flucht der Personen und der Einsatz der Rettungsdienste über Verbindungsstollen und die benachbarte Tunnelröhre.*

*Die Fahrbahn in Tunneln muss für Straßenfahrzeuge befahrbar sein, wenn bei parallel verlaufenden Tunnelröhren eine Rettung über die jeweils benachbarte Tunnelröhre vorgesehen ist.*

*Fahrestreifen innerhalb von Tunneln, die nach dem betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplan erforderlich sind, sind deutlich und dauerhaft zu markieren.*

*Bei zweigleisigen Tunneln ist das Einfahren mit Straßenfahrzeugen nur möglich, wenn und soweit dies nach den für die Rettungsdienste maßgebenden Sicherheitsbestimmungen (Erkundung, Sichtmöglichkeit, Atemschutz) zulässig ist. Die Befahrbarkeit der Fahrbahn für Straßenfahrzeuge stellt somit nicht in jeden Fall sicher, dass die Unfallstelle erreicht werden kann. Sie kann deshalb nur als zusätzliche Möglichkeit zur Rettung über Notausgänge gewertet werden, falls die Voraussetzungen für das Befahren des Tunnels erfüllt sind.*

*Zu berücksichtigen ist ferner, dass ein zweigleisiger Tunnel durch die Folgewirkung des Ereignisses völlig blockiert sein kann. In diesem Fall müssten die Rettungsmaßnahmen von beiden Seiten aus erfolgen. Das dazu notwendige Wenden der Straßenfahrzeuge und der Begegnungsverkehr im Tunnel muss unter den Randbedingungen eines Rettungseinsatzes als nicht praktikabel angesehen werden.*

*Bei getrennten Tunnelröhren kann die vom Schadensereignis nicht betroffenen Röhre als „sicherer Bereich“ angesehen werden, von dem aus die Rettungsmaßnahmen über Querverbindungen zur Nachbarröhre vorgenommen werden. Für die Logistik der Einsatzstelle eröffnet sich die Möglichkeit eines Durchgangsverkehrs.*

*Eine vorausschauende Einteilung der verfügbaren Flächen ist notwendig, weil eine freizügige Aufstellung von Fahrzeugen im Tunnel zu einer Blockade führen würde.*

#### d) Gefahrgut

##### - Abschnitt 3.1: Gefahrgut

*Bei zweigleisigen Tunnel dürfen fahrplanmäßige Begegnungen zwischen Reise- und Güterzügen nicht vorgesehen werden.*

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wurden folgende Fragen zum Gefährdungspotential und der Vermeidung von Bränden diskutiert:

1. Wie kann das Gefährdungspotential abgeschätzt werden?
2. Wie können Zugbrände im Tunnel verhindert werden?
3. Was ist das Standardereignis, auf das die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bezogen werden sollen?
4. Welche Infrastruktur und Geräteausstattung (z. B. Feuerwehr) ist im Falle eines Standardereignis erforderlich und was müssen Sicherheits- und Rettungskonzepte enthalten?

### **5.3.2.2 Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential und zur Vermeidung von Bränden in Eisenbahntunneln**

Netzbetreiber, wie die Deutsche Bahn AG trennen die Verkehrsarten zur Betrachtung des Gefährdungspotentials, da Güterverkehr (z. B. Gefahrguttransporte, kein Transport von Reisenden) anders betrachtet werden muss als der

Personenverkehr. Die folgende Diskussion befasste sich deshalb so gut wie ausschließlich mit dem Personenverkehr.

#### 5.3.2.2.1 Unfallszenarien als Standardereignis

Als Grundlage für die Diskussion über Unfallszenarien wurden folgende zwei Standardereignisse vorgestellt, die bei der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (VFDB) 1998 festgelegt worden sind [117]:

a) Brand ohne Entgleisung

Es wird angenommen, dass der Zug mit ungefähr 300 Fahrgästen besetzt ist und nach einem Entstehungsbrand, der sich bis zum Eintreffen der Rettungskräfte zum Vollbrand entwickelt hat, etwa 10 % der Fahrgäste (30 Personen) einer Hilfe bedürfen.

b) Entgleisung ohne Brand

Hierbei wird davon ausgegangen, dass der verunglückte Zug ebenfalls mit etwa 300 Personen besetzt ist und ungefähr 20% der Fahrgäste (60 Personen) einer Hilfe bedürfen.

Bei der Festlegung von Standardszenarien musste die Ereigniswahrscheinlichkeit von Ereignissen berücksichtigt werden. Es wurde davon ausgegangen, dass Szenarien wie Elsterwerda und Eschede nicht zusammen am gleichen Ort zur gleichen Zeit stattfinden. Solche Szenarien sind für keinen beherrschbar und können nicht der Maßstab für Standard-Szenarien sein. Deshalb wurden die oben genannten Standard-Szenarien entwickelt.

Seit Eschede gilt die Aufmerksamkeit in Deutschland ganz besonders dem ICE. Es ist jedoch zu bedenken, dass es vom ICE 1 nur 59 und vom ICE 2 nur 44 Exemplare gibt und durch alle anderen Tunnel viele andere Nahverkehrszüge fahren. Allen ist gemeinsam, dass die durchschnittliche Fahrgast-Besetzung nur bei etwa 50 % liegt.

Mit Ausnahme von Eschede gab es in Deutschland solche Unfälle in den letzten zehn Jahren nicht. Das schwerste Zugunglück vor Eschede geschah in Nordrhein. Das Unglück passierte (wie in Eschede) auf der freien Strecke. Es gab etwa 13 schwerverletzte Personen. Das heißt, beim ersten Szenario (30 ver-



letzte Personen) wurde im Vergleich zum genannten Unfall von einem sehr ungünstigen Ansatz ausgegangen .

Das erste Szenario, mit 300 Fahrgästen, einem brennenden Zug und 10 % Verletzten (entspricht 30 schwerverletzten Personen) ist ein statistisches Problem, da es nicht beweisbar ist. Die Annahme des Szenarios geht davon aus, dass sich der Brand bis zum Eintreffen der Feuerwehr maximal im Brandentstehungswaggon ausgebreitet hat. Dies bedeutet, dass die Feuerwehr etwa 40 bis 45 Minuten nach der Brandentstehung am Unfallort erscheinen muss.

Beim zweiten Szenario handelt es sich um einen „kalten Unfall“. Bei der Entgleisung ohne Brand wird von einem höheren Anteil verletzter Personen ausgegangen. Hier werden 20 % verletzte Fahrgäste angesetzt, weil die dynamischen Kräfte bei der Entgleisung höher sind. Das schlimme Szenario ist eigentlich eine Entgleisung mit einem Stauch-, Zollstock- oder Ziehharmonika-Effekt im Tunnel.

Darüber hinaus können natürlich auch 500 oder 600 Personen von einem Ereignis betroffen sein. Solch eine Katastrophe wurde z. B. in Stuttgart mit 1.900 Beteiligten geübt. Nach deutschem und europäischem Recht gibt es nämlich die Möglichkeit, keine Standard-Szenarien zu verwenden, sondern spezielle Katastrophenfälle anzusetzen. Eine Katastrophe sollte jedoch nicht als Standard-Szenario definiert werden. Eine Katastrophe hat vollkommen andere Grundvoraussetzungen und andere gesetzliche Vorgaben. Standard-Szenarien müssen unterhalb der Katastrophenschwelle liegen, wie dies auch von verschiedenen Landesrettungsgesetzen und den Katastrophenschutzgesetzen angegeben wird. Selbst schwerwiegende Unfälle wie z. B. Eschede liegen unterhalb der Katastrophenschwelle. Dort wurden die etwa 100 Verletzten nicht im Sinne eines Katastrophenfalls versorgt, sondern primär nur auf der Ebene des Rettungsdienstes bei der Feuerwehr. Deshalb sollten nur die beiden Standard-Szenarien betrachtet werden, ohne die bisherigen Maßnahmen der Prävention zu vergessen.

Der Fokus richtet sich bei den zukünftigen Tunneln auf die Personenrettung, vor allem bei langen Tunnelanlagen, langen Fluchtwegen und ohne Begegnung von Güter- und Reisezügen. Es bleibt jedoch noch die Betrachtung des Gefahrguttransportes, für den ein drittes Szenario von den entsprechenden Gremien in

Abstimmung mit den Bundesländern entwickelt werden sollte. Dieses dritte Szenario mit Gefahrguttransporten soll jedoch nicht speziell für den Tunnel entworfen werden, sondern allgemein für den Eisenbahnverkehr. Problematisch ist hierbei, dass hieraus u.U. absolut überzogene Forderungen entstehen könnten.

#### 5.3.2.2.2 Gefährdungspotential

Folgende Punkte wurden diskutiert:

##### (1) Allgemeines

Bei der Definition von Sicherheit wird nicht nur betrachtet, wie groß das Ereignis ist und wie viele Verletzte es gibt, sondern Sicherheit wird als Reziprokwert des Risikos gesehen und zwar als Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit dem Schadensausmaß. Es gibt zwei Möglichkeiten die Sicherheit zu erhöhen bzw. das Risiko zu verringern: Entweder wird die Eintrittswahrscheinlichkeit minimiert oder aber das Schadensausmaß. Die Erfahrung zeigt, dass der Weg der Minimierung der Eintrittswahrscheinlichkeit bei gleichem Mitteleinsatz der erfolgsversprechendere ist.

Laut einer älteren Statistik können in Deutschland keine schwerwiegenden Unfälle in Eisenbahntunneln nachgewiesen werden. Insofern ist es richtig, dass in der ganzen Entwicklung der letzten Jahre, beginnend in den 70er, 80er Jahren und auch heute noch zunächst einmal sehr großer Wert auf die Prävention gelegt wird. Vom Grundsatz ist z. B. die Vermeidung eines Brandfalls im Tunnel auch in den EBA-Richtlinien fixiert, da dort gefordert wird, technische und auch betriebliche Maßnahmen zu treffen, so dass ein brennender Zug im Tunnel nicht zum Stehen kommt

Die Eisenbahn unterscheidet sich insofern von der Straße dadurch, dass sie ein geschlossenes System darstellt, das eine hohe Systemsicherheit besitzt. Hieraus folgt, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ereignis stattfinden wird, relativ gering ist. Im Vergleich zum Straßenverkehr ist die Ereigniswahrscheinlichkeit bei der Eisenbahn 20-fach geringer. Jedoch ist zu beachten, dass bei einem Ereignisfall bei der Eisenbahn meist wesent-

lich mehr Verletzte zu versorgen sind als bei einem Ereignisfall im Straßenverkehr.

(2) Tunnel im Altnetz

Bei den Tunneln im Altnetz besteht ein anderes Gefährdungspotential als bei den Tunneln von Neubaustrecken, da diese Altnetzunnel einem anderen Sicherheitsstandard entsprechen. Im Altnetz sind 29 Tunnel über 1.000 m lang. Die längsten von diesen Tunneln sind 4,2 km bzw. 3,6 km lang.

Für einen Tunnel im Altnetz läuft zur Zeit eine Kompletterneuerungsplanung. Für einen anderen Alttunnel mit etwas mehr als 900 m Tunnellänge wird ebenfalls eine Kompletterneuerung geplant. Für die anderen Tunnel im Altnetz wird auch eine gewisse Anpassung an den Stand der Technik durchgeführt. Bei den in Frage kommenden Nachrüstungsmaßnahmen im Altnetz wird jedoch vom Bestandsschutz ausgegangen.

Es gibt ein verabschiedetes Konzept, bei dem zwar keine Notausgänge zusätzlich gebaut oder die Lichtraumprofile aufgeweitet werden, aber solche Maßnahmen wie z. B. Nachrüstung von Notbeleuchtung, Fluchtweg-Piktogrammen, Wasserversorgung für die Feuerwehr oder auch die Schaffung von Zugangsmöglichkeiten für Zweiwegefahrzeuge der Feuerwehr.

(3) Brandlast im Tunnel

Beim Brandunfall mit einem LKW im Mt. Blanc Tunnel zeigte sich, dass die Brandausbreitung möglicherweise durch die bituminöse Fahrbahndecke unterstützt wurde. Frage ist, ob diese Möglichkeit der Brandausbreitung im Zusammenhang mit Asphalt bei der festen Fahrbahn auch für den Eisenbahnbereich relevant ist.

In einer aktuellen Studie des Eisenbahnbundesamtes wurde die Brennbarkeit bzw. Brandüberleitung der bituminösen Auskleidung der festen Fahrbahn intensiv untersucht. Es wurden unter anderem Brandversuche vorgenommen mit dem Ergebnis, dass diese Fahrbahn nicht selbst brennt. Jedoch verdampfen und verbrennen die bituminösen Bindemittel und insofern zerbröckelt allmählich die Asphaltoberfläche. In diesen Versuchen

konnte nicht nachgewiesen werden, dass sich hierdurch möglicherweise ein Brand ausbreiten kann.

Ferner kann nach einem Brandgutachten von Dr. Achilles davon ausgegangen werden, dass auch bei der festen Fahrbahn mit Asphalttragschichten im Tunnel keine Erhöhung der Brandlast auftritt. Der brennbare Anteil ist vergleichsweise gering und ist nicht so offen an der Oberfläche, dass er brandfördernd und brandweiterleitend wirkt. Beim Gussasphalttestrich tritt nachweislich keine Brandfortleitung bzw. eine erwähnenswerte Temperaturweiterleitung ein. Der hohe Splitanteil oder mineralische Anteil scheint den Brand relativ schnell zu begrenzen. Feste Fahrbahnen mit Asphalttragschichten können somit in Eisenbahntunneln bezüglich der Sicherheit im Brandfall ohne Bedenken eingebaut werden.

Dies wird durch Beobachtungen aus dem Straßenverkehr untermauert, die zeigen, dass bei größeren Lkw-Bränden auf bituminösen Straßenfahrbahnen nicht die Fahrbahn selbst brennt, sondern es zu einer Zerstörung der Fahrbahn von einigen Quadratmetern um das brennende Fahrzeug herum kommt.

Im Vergleich zu den oben genannten Aussagen ist jedoch zu beachten, dass Bitumen grundsätzlich als Erdölprodukt brennbar ist und nicht nur die festen Fahrbahnen mit Asphalttragschichten aus Bitumenanteilen bestehen. Auch die Fahrbahnen mit Holzschwellen, die mit Bitumen getränkt sind, dürften entflammbar sein.

Unter dem Gesichtspunkt des Arbeitsschutzes für die Rettungskräfte ist jedoch ein anderer Aspekt zu beachten. Asphalttragschichten verglühen. Es entstehen zwar keine giftigen Gase in größerem Ausmaß, sondern in erster Linie  $\text{CO}_2$  und Wasser. Für die Rettungskräfte und die Verletzten kann hierdurch jedoch eine besondere Belastung entstehen.

### 5.3.2.2.3 Prävention

Folgende Punkte wurden diskutiert:

(1) Allgemeines

Neuere Schienenfahrzeuge nach DIN 5510 "Brandschutz an Schienenfahrzeugen" besitzen eine deutlich geringere Brandlast. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zug brennend im Tunnel zum Halten kommt, ist deshalb sehr gering.

Als weitere Präventivmaßnahme gibt es in der EBA-Richtlinie (Abschnitt 2.1, "Längsneigung") die Vorgabe, dass Tunnel eine einseitig gerichtete Längsneigung aufweisen sollen, die den Rollwiderstand der eingesetzten Züge überwindet. Hierdurch soll verhindert werden, dass ein Zug im Tunnel liegen bleibt.

(2) Notbremsüberbrückung

Ein wichtiger Punkt ist die Brandentstehung bzw. Brandentdeckung im Tunnel. Der Brand wird beispielsweise von einem Reisenden relativ schnell entdeckt und die Notbremse wird gezogen. Hier ist bei den Reisezügen, die auf Strecken mit langen Tunneln verkehren, eine Möglichkeit geschaffen, diese Notbremsung zu überbrücken. Der Lokführer bekommt durch Reflektoren an der Kilometrierung angezeigt, wo eine solche Strecke im Tunnel ist, an der er die Notbremse überbrücken muss. Sobald diese Reflektoren aufhören, betätigt der Zugführer die Bremse und bringt den Zug außerhalb des Tunnels zum Stehen.

Es kann jedoch aus irgendeinem Grund der Fall eintreten, dass der Brand oder die Auslösung der Notbremse am Anfang eines 15 km langen Tunnels stattfindet und in diesem Tunnel bereits ein anderer Zug steht. Dann muss der Zug im Tunnel halten. Das Feuer breitet sich innerhalb des Waggons aus. Es dauert dann immer noch eine gewisse Zeit, auch unter Berücksichtigung der Querschnittshöhe des Tunnels, bis die Rauchschiebung so weit abgesunken ist, dass sie bis zum Fußboden reicht. Erst dann wird die Situation für Rettungsmannschaften und Flüchtende kritisch.

### (3) Sprinkleranlagen

Eine Sprinkleranlage kann im Fahrzeug oder aber auch im Tunnel eingesetzt werden. Sprinkleranlagen in Tunneln können in Verbindung mit hoch verlegten Löschwasserleitungen mit Sprinklerköpfen installiert werden.

Sprinkleranlagen in Eisenbahntunneln werden erst wirksam, wenn das Feuer die Wagenhülle bei Aluminiumfahrzeugen oder Stahlfahrzeugen durchbrochen hat und bis zur Tunneldecke durchschlägt. Beim Löschen von Güterzügen ist zu beachten, dass es viele Stoffe gibt, die im Brandfall mit Wasser nicht löslich sind. Durch das Wasser einer intakten Sprinkleranlage können solche Brände noch intensiviert werden. Bei Sprinkleranlagen im Tunnel ist es auch wesentlich schwieriger, den richtigen Zeitpunkt für die Auslösung zu finden als bei einer Sprinkleranlage im Fahrzeug. Beim Eisenbahntunnel muss außerdem grundsätzlich die heutzutage immer vorhandene Elektrifizierung mit Starkstrom beachtet werden. Dies bedeutet für die Unterbringung von Sprinkleranlagen im Tunnel und die Vorhaltung von Nasswasserleitungen generell zusätzlich erhebliche Probleme.

Im Grunde machen Sprinkleranlagen nur innerhalb von Fahrzeugen Sinn. Dort wäre zu prüfen, inwieweit hierdurch eine möglicherweise notwendige Reduzierung bzw. Verlängerung der Zeiten für die Selbstrettung möglich ist. Es ergeben sich allerdings auch Probleme hinsichtlich des europäischen Wagenaustausches, d.h. es würde eine sehr lange Phase entstehen, in der Fahrzeuge mit und ohne Sprinkleranlagen gemischt verkehren würden. Ferner ist zu beachten, dass durch bauliche Maßnahmen im präventiven Bereich (DIN 5510), das Brandrisiko unter Umständen anders als noch vor wenigen Jahren beurteilt werden muss.

#### **5.3.2.2.4 Sicherheits- und Rettungskonzepte**

Folgende Punkte wurden diskutiert

##### (1) Allgemeines:

Sicherheits- und Rettungskonzepte im Eisenbahntunnel beziehen sich in erster Linie auf den Personenverkehr. Wünschenswert wären hier einheitli-

che Sicherheits- und Rettungskonzepte für alle Eisenbahntunnel. Historisch bedingt gibt es jedoch mindestens folgende drei unterschiedliche Sicherheitskonzepte für deutsche Eisenbahntunnel:

a) Tunnel im Altnetz

Die Tunnel im Altnetz sind besondere Objekte des Bestandes mit den unterschiedlichsten Sicherheits- und Rettungskonzepten. So z. B. der Kaiser-Wilhelm-Tunnel, bei dem das Rettungskonzept auf dem Einsatz von Zweiwegefahrzeugen basiert.

b) Vorhandene Schnellfahrstreckentunnel

Hier werden u. a. Rettungszüge für die Fremdrettung eingesetzt.

c) ICE-Neubaustrecke Köln-Rhein-Main

Das Sicherheitskonzept für die ICE-Neubaustrecke Köln-Rhein-Main sieht weitere bauliche, betriebliche Maßnahmen vor (z. B. Notausgänge alle 1000 m).

Im Vergleich zu Neubaustrecken haben Bestandstunnel naturgemäß Einschränkungen, die durch betriebsorganisatorische Maßnahmen abgefangen werden müssen oder überhaupt nicht beherrscht werden können.

Bei der Konzeption von Sicherheits- und Rettungskonzepten werden insbesondere die Prävention, die Ausmaßminderung und die Selbstrettung berücksichtigt. Der Netzbetreiber Deutsche Bahn AG sieht die Selbstrettungskomponente als eine der wichtigsten Komponenten überhaupt.

(2) Gotthard-Basistunnel

In der Schweiz wurde bei der Entwicklung des Rettungskonzeptes für den Gotthard-Basis Tunnel ebenfalls als erstes die Selbstrettung konkretisiert. Wenn die Selbstrettung so organisiert ist, dass eine faire Rettungschance sichergestellt ist, dann kann auch die entsprechende Fremdrettung organisiert werden.

Die Konkretisierung des Sicherheitskonzeptes ist von großer Bedeutung. Dies gilt vor allem in Bezug auf das Lüftungskonzept und die Sicherstellung eines verträglichen Klimas, damit in einem Brandfall das Überleben im Tunnel möglich ist. Wenn garantiert bzw. nachgewiesen werden kann,

dass alle definierten Szenarien eine faire Überlebenschance ermöglichen, dann ist die Schnittstelle zur Fremdrettung geschaffen.

(3) Neuester Stand des Sicherheitskonzepts für Schnellfahrstreckentunnel

Der neueste Stand des Sicherheitskonzepts für Schnellfahrstreckentunnel sieht bei einer Tunnellänge von mehr als 1.000 m grundsätzlich zwei Röhren vor. Diese zwei eingleisigen Tunnelröhren besitzen mindestens einen Querschlag, so dass die maximale Flucht- oder Rettungsweglänge 500 m beträgt. Durch diese Tunnel fahren Schienenfahrzeuge, die der DIN 5510 entsprechen. Dies bedeutet, dass die Anforderungen des baulichen Brandschutzes der eingesetzten Schienenfahrzeuge erfüllt sind. Ferner besitzen die Tunnel an jedem Portal einen Rettungsplatz. Dieser Rettungsplatz ist über besondere Zufahrten an das öffentliche Straßennetz angeschlossen.

Die Logistik an der Unfallstelle hat eine große Bedeutung. Es müssen Material, Gerät und Personal zur Unfallstelle im Tunnel und umgekehrt auch Verletzte herausgebracht werden können. Dies sind Aktivitäten, die einen ganz erheblichen Umfang an Personalkapazität erfordern und diese auch binden. Deswegen ist vorgesehen, so weit es geht, mechanische Förderhilfen sowohl vertikal als auch horizontal bereit zu stellen. Nach EBA-Richtlinie (Abschnitt 2.2 „Rettungsschächte“) sind beispielsweise Förderhilfen vorzusehen, wenn bei der Benutzung eines Notausganges eine größere Höhe als 30 m überwunden werden muss. Als horizontale Förderhilfen sind nach dem derzeitigen Stand zwei Rollpaletten vorgesehen, die auf den beiden vorhandenen Gleise geschoben werden können. Wenn mehrere Paletten eingesetzt werden, muss der reibungslose Einsatz durch einen speziellen Ablaufplan organisiert werden.

Für den Brandfall steht die Löschwasserversorgung, d.h. ein Löschwasserreservoir an der Oberfläche, die Löschwasserzuleitung in den Tunnel und nach einer neuesten Entscheidung auch eine Löschwasserverteilung im Tunnel zur Verfügung. Bezüglich der Energieversorgung ist im Tunnel alle 125 m eine relativ hohe Leistungsentnahme möglich (8 kVA an zwei benachbarten Entnahmestellen).



In einem Brandfall soll es den Fahrgästen möglich sein, auf den, im Vergleich zu U-Bahntunneln, komfortablen Wegen der Fernbahntunnel den gefährdeten Bereich zu verlassen. Es wird dabei angenommen, dass sich die Rauchentwicklung im Anfangsstadium befindet und sich der Brand auf das Innere des Fahrzeuges beschränkt. Die Fahrgäste können bereits vom brennenden Wagen in die Nachbarwagen fliehen, bevor der Zug zum Halten kommt. Die ICE-Fahrzeuge sind druckdicht. Es wird am Anfang kein Rauch nach außen in den Tunnel austreten. Es wird angenommen, dass die Fahrgäste soweit sie gefähig sind, den Zug verlassen können ohne durch Rauchgase beeinträchtigt zu werden. Sie können auf dem Randweg weiter zum Notausgang gehen. Problematisch wird es im Brandfall nicht für die Fahrgäste, die sich selbst retten können, sondern für die Feuerwehr. Diese wird erst den brennenden Zug im Tunnel erreichen, wenn der Tunnel bereits vollkommen verraucht ist. Die Feuerwehr muss im Brandfall davon ausgehen, dass sie den Tunnel nur mit Atemschutzgeräten betreten kann. Im Vergleich zur Auffassung, dass die 300 bis 600 Fahrgäste eines ICE-Zuges bei einem Brand die Gefahrenzone im Tunnel nahezu geordnet verlassen können, wurde die Meinung vertreten, dass diese Annahme der Selbstrettung eher dem "best case" und nicht dem "worst case" entspricht. Die zuständige Feuerwehr wird praktisch erst in einer halben Stunde nach Brandmeldung am Einsatzort konkrete Maßnahmen ergreifen können. Bereits etwa 10 Minuten nach der Brandentstehung kommt es jedoch zum Vollbrand und kurze Zeit später zum Durchbrennen der Wagenhülle. Letzteres hat eine Verrauchung des Tunnels zur Folge. Aufgrund des relativ späten Eintreffens der Rettungskräfte nach Brandausbruch sollte im ungünstigsten Fall davon ausgegangen werden, dass sich 300 bis 600 Fahrgäste aus einem Zug selber retten müssen, ohne dass die Rettungskräfte hierbei wesentlich helfen können.

Die Fremdrettung erfolgt bei zwei parallelen Tunnelröhren über die Querschläge. Die Feuerwehr und die Rettungsdienste fahren in die nicht betroffene Röhre ein und dringen über die Querschläge zum Brandherd in der betroffenen Röhre vor. Bedingt durch die im Tunnel stehenden Fahrzeuge und Geräte sowie für Fahrzeugbewegungen wird entsprechender Platz im

Tunnel benötigt. Der Tunnelquerschnitt der bestehenden Schnellfahrstrecken wurde u. a. auch für diese Rettungsmaßnahmen konzipiert.

Für die Einsatzkräfte ist die Versorgung mit Kommunikationseinrichtungen von besonderer Bedeutung, insbesondere mit BOS-Funkgeräten. Zur Zeit ist diese Forderung nicht überall realisiert.

(4) Selbstrettung

Zu den wichtigsten Elementen der Selbstrettung zählen die Sicherheitsbeleuchtung im Tunnel, der Handlauf am Notgehweg und die Notruftelefone. Diese sind sicher ausgeführt. Das heißt, wenn durch die Folgen des Ereignisses ein Kabel unterbrochen werden sollte, wird automatisch auf eine Ersatzleitung, die auf einem anderen Kabelweg geführt wird, umgeschaltet. Diese Sicherheitseinrichtungen wie Beleuchtung und Telefon überwachen sich selbst, d.h. ein Systemfehler wird bemerkt. Nach den Erfahrungen ist der Handlauf eines der wichtigsten Elemente bei der Selbstrettung.

### 5.3.2.2.5 Einröhrige und zweiröhrige Tunnel

Folgende Punkte wurden diskutiert:

(1) Allgemeines

Bei der Auslegung der Tunnel und für die Beurteilung der Sicherheit z. B. im Katastrophenfall ist von großer Bedeutung, ob der Tunnel ein- oder zweigleisig ist:

(a) Zwei eingleisige Tunnel

Vorteile von zwei eingleisigen Tunnelröhren mit Querschlägen im Vergleich zu einer zweigleisigen Tunnelröhre

- Der Zugverkehr in Gegenrichtung ist bei einem Unfall, einer Entgleisung, einem Brand oder bei Instandsetzungsarbeiten nicht gefährdet.
- Günstigere Bedingungen für die Selbst- und Fremddrettung, da die sicheren Bereiche (nicht betroffene Tunnelröhre) im allgemeinen

ohne Überwindung von Höhenunterschieden (keine Treppen) von den Fahrgästen erreicht werden können.

Nachteile von zwei eingleisigen Tunnelröhren im Vergleich zu einer zweigleisigen Tunnelröhre

- In eingleisigen Röhren bestehen aufgrund des geringeren Tunnelquerschnitts schlechtere Bewegungsmöglichkeiten z. B. für Rettungs- und Löscheinsätze als bei einer zweigleisigen Röhre. Ferner steht im Brandfall weniger Raum zur Rauchausbreitung zur Verfügung. Dies führt zu einem dichteren Rauch in der eingleisigen Tunnelröhre. Deshalb wird für eingleisige Tunnelröhren eine geringere Fluchtweglänge (z. B. 100 m) gefordert (Kosten!).
- Zwei eingleisige Tunnel sind i.d.R. teurer in der Herstellung als ein zweigleisiger Querschnitt.

(b) Ein zweigleisiger Tunnel

Vorteile von einer zweigleisigen Tunnelröhre im Vergleich zu zwei eingleisigen Tunnelröhren

- Bessere Bewegungsmöglichkeiten z. B. bei Instandhaltungsarbeiten und bei Rettungseinsätzen sowie bessere aerodynamische Verhältnisse für die Züge im Tunnel.

Nachteile von einer zweigleisigen Tunnelröhre im Vergleich zu zwei eingleisigen Tunnelröhren

- Bei Rettungs- oder Instandsetzungsarbeiten sowie bei Löscheinsätzen besteht eine Gefährdung durch den Zugverkehr auf dem Nachbargleis.
- Wenn im Brandfall die Fremdrettung oder der Löscheinsatz über den Streckentunnel erfolgt, werden aufgrund der Brandgase z. B. die Rettungseinsätze erschwert.
- Ungünstigere Bedingungen für die Selbst- und Fremdrettung, da die Fahrgäste teilweise nur über hohe Schächte (Treppen!) an die Geländeoberfläche gelangen können.

Generell muss bei beiden Tunnelanlagen (zwei eingleisige Röhren bzw. eine zweigleisige Röhre) im Katastrophenfall der Zugverkehr auf dem Gleis der Gegenrichtung eingestellt werden, damit Fahrgäste nicht durch einen fahrenden Zug zu Schaden kommen.

(2) Stand der Technik

Nach dem derzeitigen Stand der Richtlinien werden zwei eingleisige Röhren bei mehr als 1.000 m lange Tunnel nur bei Begegnung von Personen- und Güterverkehr gebaut. Bei reinem Personenverkehr ist beim derzeitigen Richtlinienstand nur eine Röhre mit zwei Gleisen vorzusehen.

(3) Trends

In Deutschland wird die Diskussion um ein- oder zweigleisige Tunnel schon bei sehr viel geringeren Längen als in den Alpenländern geführt. Es ist beabsichtigt, in Tunneln den Verkehr von Reisezügen insbesondere von Gefahrguttransporten zu trennen. Die zwei eingleisigen Tunnel werden ab Tunnelängen von 1.000 m diskutiert. Das Ziel ist es, Begegnungen von Reise- und Güterzügen mit Gefahrgut in der selben Tunnelröhre zu unterbinden, auch wenn sie in gleicher Richtung fahren (wie z. B. beim Mainzer Tunnel). Bei dieser Lösung ist jedoch zu hinterfragen, ob es realistisch ist, Tunnelanlagen mit einem hohen Investitionsaufwand künftig nur noch für den Personenverkehr vorzusehen. Der Güterverkehr wird zunehmen und deshalb sollten in Zukunft auch andere Sicherheitskonzepte entwickelt werden, die den Güterverkehr mit einbeziehen.

(4) Rettungskonzepte

Die Rettungskonzepte bei ein- und zweiröhriigen Tunneln unterscheiden sich grundlegend.

Bei einröhriigen Tunneln mit zwei Gleisen gibt es in der Regel alle 1.000 m einen Zugang von draußen. Der Gleisbereich im Tunnel ist nicht mit Straßenfahrzeugen befahrbar. Der Einsatzort kann weder vom Noteinstieg im Tunnel noch vom Portal mit Straßenfahrzeugen auf dem Gleisbereich erreicht werden. Die Unbefahrbarkeit des Gleisbereichs wird insbesondere von Seiten der Feuerwehr wegen der fehlenden Möglichkeit eines Schnelrückzuges bemängelt.

Bei zwei eingleisigen Röhren unterscheiden sich die deutschen Rettungskonzepte wieder von der schweizerischen oder österreichischen Lösung. In Deutschland ist vorgesehen, dass der Gleisbereich beider Röhren mit Straßenfahrzeugen befahren wird, da hier nicht alle 1000 m ein Ausgang ins Freie vorhanden ist, sondern nur alle 1000 m ein Querschlag zur Parallelröhre. Die Feuerwehr und Rettungsdienste rücken über die nicht betroffene Röhre bis zum Querschlag an. Von dort kann der Einsatzort dann im Tunnel auf dem mit Straßenfahrzeugen befahrbaren Gleisbereich erreicht werden. Durch diese Vorgehensweise ergeben sich bei zwei eingleisigen Tunnelröhren etwa gleich lange Fluchtweg- und Zugangslängen wie bei einer zweigleisigen Röhre.

Zu bedenken ist jedoch, dass bei Tunneln von 6 km oder 10 km Länge bei der Anfahrt der Feuerwehr auf dem Gleis im Tunnel enorme Anfahrtszeiten entstehen können. Es ist dann ein vollkommen neues Rettungskonzept zu erstellen. Dieses neue System muss neu bewertet und die Frage der Löschwasserversorgung und der sonstigen Infrastruktur gegebenenfalls neu festgelegt werden.

Bei der Selbstrettung wird das Eintreffen von Fahrgästen in die nicht betroffene Röhre unterschiedlich bewertet. Zum einen wird die Meinung vertreten, dass Türen in den Querschlägen, die den Zugang zur Parallelröhre ermöglichen, solange verschlossen bleiben müssen, bis der Zugverkehr eingestellt ist. Andererseits wird bei einem Ereignisfall angenommen, dass der Zugverkehr in der Parallelröhre umgehend angehalten werden kann. Die Wahrscheinlichkeit wurde deshalb als nicht sehr hoch bewertet, dass Fahrgäste überhaupt aus einem Zug aussteigen, bevor der Zugverkehr in der Parallelröhre eingestellt wurde. Verschlossene Türen in den Querschlägen wären unter diesem Gesichtspunkt nicht erforderlich. Anders gestaltet sich dies aus dem Blickwinkel des Arbeitsschutzes. Zum Beispiel bei Instandhaltungsarbeiten muss davon ausgegangen werden, dass in der Parallelröhre der Zugverkehr aufrecht erhalten wird. Als Schutz könnten deshalb die Verbindungstüren verschlossen sein.

### 5.3.3. Sicherheit und Schutz der Tunnelnutzer im Brandfall

#### 5.3.3.1 Fluchtwege

##### 5.3.3.1.1 Forderungen der EBA-Richtlinie

Die Forderungen der EBA-Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“ [5] hinsichtlich der Fluchtwege in Eisenbahntunneln lauten u. a. wie folgt:

#### a) Entfernung

*Von jeder Stelle eines Fahrtunnels muss ein sicherer Bereich in höchstens 500 m Entfernung erreichbar sein.*

*Nach der Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab) darf diese Entfernung bei U- und Straßenbahnen höchstens 300 m lang sein. Dieser Wert begründet sich durch die gegenüber Eisenbahnen dichtere Besetzung der Züge, die höhere Zugfolge, sowie insbesondere dadurch, dass bei Betriebsanlagen nach BOStrab das (gesperrte) Gleis als Fluchtweg dient, wodurch Behinderungen durch die Beschaffenheit des Fluchtweges, so wie ggf. durch Stromschienen zu berücksichtigen sind.*

#### b) Beschaffenheit

*Neben jedem Gleis ist ein eigener Fluchtweg anzulegen. Dieser muss eben, frei und ausreichend beleuchtet sein.*

#### c) Höhe

*Über Fluchtwegen muss eine lichte Durchgangshöhe von mindestens 2,20 m vorhanden sein.*

#### d) Breite des Fluchtweges

*Die Breite des Fluchtweges ist der Abstand zwischen dem breitesten, mit geöffneten Türen stehenden Schienenfahrzeug und der Leiteinrichtung an der Tunnelwand, gemessen in Höhe der Gehfläche.*

*Fluchtwege müssen mindestens 1,20 m breit sein.*

#### e) Handlauf

*Im Bereich von Fluchtwegen sind Handläufe anzubringen.*

*Branderfahrungen haben gezeigt, dass taktile Leiteinrichtungen wesentlich dazu beitragen, auch bei Sichtbehinderung durch Rauch den Fluchtweg aufzufinden.*

In weiteren Regelwerken bzw. im europäischen Ausland werden u. a. folgende Anforderungen an Fluchtwege in Eisenbahntunneln gestellt:

- a) DS 800.01 "Ausbildung von Tunneln"  
Für jedes Gleis muss ein durchgehender 1,20 m breiter Rettungsweg vorhanden sein. Die Länge der Rettungswege soll 500 m nicht überschreiten. Die Gehfläche des Rettungswegs soll auf Sollhöhe der Schienenoberkante (SO) liegen.
- b) Empfehlungen des Österreichischen Bundesfeuerwehrverbandes  
Für Tunnelneubauten soll der Abstand der Notausgänge 250 m betragen.
- c) Schweiz  
Der Abstand der Notausgänge beträgt beim Gotthard-Basistunnel 325 m.
- d) Frankreich  
Bei der Strecke des TGV sind in Tunneln alle 1600 m Notausstiege angeordnet.

#### **5.3.3.1.2 Diskussionsergebnisse zu Fluchtwegen**

Folgende Punkte wurden diskutiert:

##### (1) Allgemeines

Die maximale Fluchtweglänge wird seit mehr als 10 Jahren diskutiert. In dieser Diskussion hat sich mittlerweile ein Maximalwert von 500 m etabliert. Dieser Wert stellt einen Kompromiss zwischen dem Bestreben

- nach kurzer Fluchtweglänge einerseits (Schutz der Betroffenen, Atemschutz der Helfer) und
- nach möglichst großen Abständen zwischen zwei Notausgängen (Investitionskosten, Umweltschutz)

dar.

Dessen ungeachtet wird insbesondere von Praktikern immer wieder vorgebracht, dass eine Wegstrecke von 2 x 500 m für den Hin- und Rückweg unter Berücksichtigung der maximalen Einsatzdauer von Atemschutzgeräten (Pressluftatmern) sehr lang ist.

In Kenntnis der bisherigen Entwicklung erscheint eine erneute Diskussion der Fluchtweglänge wenig zielführend. Im Rahmen des Workshops sollten die technischen Grenzen von Pressluftatmern aufgezeigt und ggf. Alternativvorschläge für die Atemluftversorgung während des Einsatzes gemacht werden.

(2) Fluchtweglänge

Die Fluchtweglänge richtet sich u. a. nach dem Zeitbedarf für die Selbstrettung. Dieser setzt sich zusammen aus der Zeit für das Aussteigen aus dem Zug und die Zeit bis zum Erreichen des nächsten Notausganges. Nachfolgend beginnen die Rettungs- und Löscheinsätze der Feuerwehr.

Es gibt einige Unterschiede zwischen Eisenbahntunneln und Straßen- bzw. U-Bahn-Tunneln, die Einfluss auf die Fluchtweglängen haben. Im Gegensatz zum Personenverkehr auf der Schiene können z. B. in Straßentunneln bei einem Brand auch Gefahrgüter beteiligt sein. Die Fluchtweglängen sind deshalb in Straßentunneln kürzer (350 m Abstand der Notausgänge).

Im Hochgeschwindigkeitsbereich sind heute z. B. 5 km absoluter Zugabstand festgelegt. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit sehr gering ist, dass sich mehr als ein Zug im Tunnel befindet. Es gibt nur zwei Eisenbahntunnel in Deutschland, wo dies theoretisch möglich ist. Auch bei den im Bau befindlichen Tunneln ist der längste nur ca. 4,5 km. Die Fluchtweglängen betragen etwa 300 m bis 400 m, da ab 1000 m Tunnellänge Notausgänge anzuordnen sind. Fluchtweglängen von 500 m werden daher in der Regel nicht erreicht. Im Gegensatz hierzu können in Nahverkehrstunneln bei dichter Zugfolge mehrere Züge gleichzeitig im Tunnel sein.

Der österreichische Bundesfeuerwehrverband hat einen Abstand der Notausgänge von 250 m gefordert. Die Umsetzung dieser Forderung wird angezweifelt.

Auch in der Schweiz wurde beim Gotthardbasistunnel die Fluchtweglänge verkürzt. Hier sind Querschläge zur Nachbarröhre alle 325 m vorgesehen (max. theoretische Fluchtweglänge etwa 163 m).



(3) Fluchtweglänge und Rauchfreihaltung

Fluchtweglänge und Rauchfreihaltung gehören zusammen und sind nicht zu trennen. Wenn die EBA-Richtlinie verändert oder ergänzt würde, sollte ein Passus aufgenommen werden, der besagt, dass bezogen auf den jeweiligen Tunnel, ein Lüftungstechnischer Nachweis zu führen ist. Dieser Lüftungstechnische Nachweis sollte darlegen, dass die Rauchfreihaltung über einen Zeitraum, der noch definiert werden müsste, gewährleistet ist.

Erschwerend hierbei ist, dass die Lüftungsverhältnisse im Tunnel aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (z. B. Tunnellänge, Längsneigung) sehr unterschiedlich sein können. Von Stuttgarter Tunneln ist bekannt, dass sogar tagsüber zum Teil mehrfach die Luftströmungsrichtung im Tunnel wechselt.

Die Rauchfreiheit kann nur durch ein Lüftungstechnisches Gutachten nachgewiesen werden. Aufgrund dieses Gutachtens kann im Einzelfall eine Reduzierung der Fluchtweglänge erforderlich werden.

Die Fluchtweglänge von 500 m ist technisch-wissenschaftlich überhaupt nicht nachgewiesen. Es muss berücksichtigt werden, dass es sich um Bahntunnel handelt, die unter Gebirgen verlaufen. Dies sind ganz andere Verhältnisse als bei U- oder S-Bahntunneln, die in der Regel nur eine geringe Überdeckung besitzen. Hierdurch bedingt ist es möglich, den Tunnel schneller zu verlassen als bei Eisenbahntunneln.

Trotzdem wurde die Fluchtweglänge von 500 m akzeptiert, da ein spezielles Konzept in der EBA-Richtlinie verankert ist. Die Summe aller dort genannten Maßnahmen, wie betriebliche Maßnahmen, Überwachung, Notbremsüberbrückung usw. muss in die Bewertung einbezogen werden. Es bestand Konsens darin, dass ein Brandfall im Zug nur noch ein Restrisiko darstellt.

(4) Fluchtweglänge und Pressluftatmer

Die maximale Fluchtweglänge wurde auf 500 m begrenzt, um die Selbstrettung nicht zu erschweren und weil die Pressluftatmer nur eine begrenzte Reichweite besitzen. Die Atemschutzgeräte sind seit Ende der 80er Jahre deutlich verbessert worden. Die Einsatzgrenzen haben sich dadurch leider

nicht verschoben, weil zusätzliche Sicherheitsaspekte wie die Luftreserve berücksichtigt werden müssen.

Wenn es technisch-wissenschaftlich gelingt, die 500 m Fluchtweglänge als ausreichend nachzuweisen, z. B. durch Entwicklungsarbeit bei Pressluftatmer oder andere Konzepte (z. B. Nachversorgung mit Atemluft) dann hat das einen entscheidenden Vorteil. All diese Maßnahmen sind wesentlich billiger und günstiger als eine Reduzierung des Notausgangabstandes.

(5) Fluchtweglänge und ein- und zweiröhrige Tunnel

Die Fluchtweglänge bei zweiröhrigen Tunneln wurde kontrovers diskutiert. Es wurde die Meinung vertreten, dass die Abstände der Querschläge in die Parallelröhre drastisch verkürzt werden sollten. Wenn bei zweiröhrigen Tunneln weiterhin die Querschläge zur Nachbarröhre in 1.000 m Entfernung angeordnet werden, besteht letztendlich kein Sicherheitsgewinn. Basierend auf Erfahrungswerten und wissenschaftliche Untersuchungen sollten Anforderungen zum zukünftigen Fluchtwegabstand bei zweiröhrigen Tunneln formuliert werden. Von anderer Seite wurde die Meinung vertreten, dass nichts dafür sprechen würde, die Fluchtweglänge im eingleisigen Zweiröhrentunnel-System zu reduzieren.

Eingleisige Tunnel besitzen einen kleineren Querschnitt als zweigleisige Tunnel. Im Brandfall bedeutet dies, dass eine geringere Kubatur zur Rauchausbreitung zur Verfügung steht als bei einem zweigleisigen Querschnitt. Dies könnte beispielsweise ein Kriterium dafür sein, dass bei einer eingleisigen Tunnelröhre eventuell die Fluchtweglänge reduziert werden muss.

### **5.3.3.2 Entrauchung**

#### **5.3.3.2.1 Forderungen der EBA-Richtlinie**

In der EBA-Richtlinie "Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln" [5] wird in Verbindung mit Entrauchung u. a. folgende bauliche Forderung an Eisenbahntunnelneubauten gestellt (Abschnitt 2.1, "Längsneigung"):

*Tunnel sollen eine einseitig gerichtete Längsneigung aufweisen, die den Rollwiderstand der eingesetzten Züge überwindet. Ein dachförmiges Längsprofil mit ansteigender/fallender Gradienten oder ein wannenförmiges Längsprofil ist zu vermeiden.*

*Bei ausreichender Längsneigung kann ein Zug aus dem Tunnel herausrollen, auch wenn die Versorgung mit elektrischer Energie z. B. durch die Folgewirkung eines Brandes bereits unterbrochen ist. Darüber hinaus stellt sich bei unterschiedlicher Höhenlage der Tunnelportale eine Kaminwirkung ein, die die Abführung von Rauch oder Abgasen begünstigt.*

Folgende Fragestellungen wurden im Zusammenhang mit einer Entrauchung diskutiert:

1. In welchen Fällen (Tunnelquerschnitt, Längsneigung) reicht die natürliche Luftströmung aus, bzw. in welchen Fällen sind besondere Belüftungs- oder Entrauchungsanlagen notwendig?
2. Wie wirkt sich eine Belüftung/Entrauchung auf die Brandentwicklung, für die zu rettenden Personen und für die Retter aus?
3. Wird die Rauchausbreitung im Tunnel zur Zeit richtig beurteilt?
4. Wenn die derzeitige Betrachtungsweise bezüglich der Rauchausbreitung in Frage gestellt wird, wie kann dann eine Klärung der tatsächlichen Verhältnisse herbeigeführt werden? (z. B. Modellberechnungen)
5. Gibt es entsprechende Rechenverfahren zur Rauchausbreitung?
6. Können unter Umständen durch gezielte Belüftung bzw. Entrauchung Verbesserungen im Brandfall im Tunnel bewirkt werden?
7. Können möglicherweise mobile Lüftungseinrichtungen im Einsatzfall die Rauchausbreitung beeinflussen?

#### **5.3.3.2.2 Diskussionsergebnisse zur Entrauchung**

Folgende Punkte wurden diskutiert:

##### **(1) Brandversuche**

Bei Versuchen in Norwegen sind in einem Tunnel u. a. zwei Waggons in Brand gesetzt worden. Es wurden die Brandentstehung, d.h. die Charakteristik des Temperatur-Zeit-Verlaufes und die Rauchgasausbreitung unter-

sucht. Als Ergebnis dieser Versuche kann u. a. festgehalten werden, dass der Tunnel schnell verqualmte. Mit zunehmender Entfernung vom Brandherd war die Sichttrübung größer. Dies ist darin begründet, dass mit fortschreitender Abkühlung der Rauch immer weiter absinkt.

(2) Modellberechnung

Zur Zeit werden Modellberechnungen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig noch einmal überprüft. Es wird hierbei geprüft, ob die bestehenden Modelle nach den neuesten Erkenntnissen noch verbessert werden sollen oder nicht. Ziel ist es, theoretische Erkenntnisse in Richtlinien einfließen zu lassen.

Zur derzeitigen Verwendung von Rechnersimulationsprogrammen wurden jedoch auch gewisse Einwände vorgetragen. Es gibt sicher eine Vielzahl von guten Programmen, mit denen Simulationen auch von Rauchausbreitungen ermittelt werden können. Meist werden diese Berechnungsprogramme im Bereich des baulichen Brandschutzes verwendet. Die Anwendung eines solchen Programms ist nur unter Beachtung der jeweiligen Randbedingungen (z. B. Geometrie, Längsneigung des Tunnels) sinnvoll möglich. Die Frage der Brandausbreitung in sehr langen Verkehrstunneln lässt sich nicht so ohne weiteres mit Rechenmodellen erschöpfend behandeln. Deshalb ist es in einigen Fällen erforderlich, die Richtigkeit der Berechnungen durch zielgerichtete Versuche nachzuweisen. Insgesamt gesehen besteht hier sicher auch noch ein erheblicher Forschungsbedarf.

Zu beachten ist, dass zur Simulation von Rauchausbreitungen in Tunneln nicht jedes Programm geeignet ist. Vor allen Dingen nicht solche Programme, die primär für normale Gebäude oder Industriegebäude angelegt sind. Das Programm, mit dem die TU Braunschweig arbeitet, ist speziell für Verkehrstunnel entwickelt worden.

(3) Standpunkt der Feuerwehr

Das große Problem bei Brandsimulationen besteht darin, dass das Ergebnis vom jeweils gewählten Szenario abhängt. Das „design fire“ beeinflusst die Rauchausbreitung, die Rauchgasmengen und die Rauchfreihaltung.

Weltweit wird nach Kriterien gesucht, „standard design fires“ festzulegen. Es ist aus den Versuchen in Norwegen und aus anderen entsprechenden Versuchen bekannt, dass bei einem Vollbrand-Szenario eines Eisenbahnwaggons durchaus mit Energiefreisetzungsraten bis etwa 100 MW gerechnet werden muss. Mit weiteren Angaben kann hierzu im Modell auch die zugehörige Rauchgasmenge berechnet werden.

Hierzu müssen insbesondere die Transportmechanismen in einer Tunnelröhre beachtet werden. Es kann nicht auf technisches Regelwerk, z. B. DIN 18232, zurückgegriffen werden. Aber die Rauchgasmengen und auch die Temperaturen müssen unbedingt bei Berechnungen berücksichtigt werden. In einer Entfernung von 100 m oder 200 m, wenn eine entsprechende Vermischung der Brandgase mit der umgebenden Luft stattgefunden hat, kühlt sich der Rauch ab. Es ist dann davon auszugehen, dass sich in dieser Entfernung keine Rauchgasschichtung mehr ausbilden kann. Das ganze wird bei Tunneln noch komplizierter, da die Lüftung berücksichtigt werden muss. Deswegen ist es zur Zeit kaum möglich, korrekte Berechnungsergebnisse zu liefern.

Wenn der Versuch unternommen wird, solche Nachweise zu führen, dann wird deutlich werden, dass Rettungsweglängen über 500 m bei einem Vollbrand eines Waggons vollkommen unrealistisch sind. Die 500 m gelten aus Sicht der Feuerwehr nur in Verbindung mit einem Szenario ohne Vollbrand. Wenn der Zug in der Tunnelröhre zum Halten kommt, muss es jedoch möglich sein, ihn zu evakuieren und die Reisenden rechtzeitig zu einem Notausgang zu bringen, bevor es zu einem Feuerübersprung kommt. Wenn jedoch der Feuerübersprung stattfindet und sich Personen in Zugnähe befinden, dann liegt ein anderes Szenario vor. Die Rettungsweglänge darf in einem solchen Fall nur 100 m bis 150 m betragen

Es sind jedoch z.Z. keine neuen Forschungsvorhaben erforderlich. Es sollten zunächst die bereits vorliegenden Ergebnisse zusammengefasst und analysiert werden.

Zum Brandszenario des Entstehungsbrandes als „design fire“ wurde eingewandt, dass das Feuer entweder mit einem kleinen Löschgerät erfolg-

reich bekämpft werden kann oder aber der „flash over“ nach 8 bis 10 Minuten eintritt. Dann kann es bereits zu einem massiven Rauchaustritt in den Tunnel kommen. Denn nach Eintritt des „flash overs“ muss davon ausgegangen werden, dass die Flammen die Wagenhülle zerstören und eine starke Rauchentwicklung im Tunnel entsteht. Dies ist nicht über Versuche mit ICE Wagen nachgewiesen worden, sondern einfach durch Deduktion aus anderen Versuchen geschlossen worden.

Zu beachten ist, dass die Versuche in Norwegen mit Fahrzeugen durchgeführt wurden, die nicht der DIN 5510 entsprachen. Die entscheidende Frage ist, ob bei modernen Fahrzeugen nach DIN 5510 heute noch die 10 Minuten bis zum „flash over“ stimmen.

Es wurde für notwendig erachtet, die Brandversuche in Norwegen neu auszuwerten. Ziel sollte es sein, zu prüfen ob die Versuchsergebnisse auf heutige Verhältnisse übertragbar sind. Hierzu sind Modellberechnungen erforderlich, die als Beispiel einen oder vielleicht auch mehrere Tunnel der Strecke Köln-Rhein-Main umfassen. Daraus wären dann die weiteren Schritte abzuleiten, nämlich wie weit Verallgemeinerungen möglich sind und inwieweit Hinweise für Spezialfälle gegeben werden können.

### **5.3.3.3 Leiteinrichtungen**

#### **5.3.3.3.1 Anforderungen in Regelwerken zu Leiteinrichtungen**

Vorgeschrieben sind Leitschienen zur Zeit nur im Bereich von Brückenpfeilern und für bestimmte Brückenfahrbahnen. Leiteinrichtungen sollen z. B. bei einer Zugentgleisung Brückenpfeiler schützen oder auf Brücken den entgleisten Zug vor dem Abstürzen hindern (DS 804). Bauliche Leiteinrichtungen zwischen Gleisen dürfen bei einem Regelgleisabstand entsprechend der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung nicht höher als 76 cm sein.

Folgende Fragestellungen wurden diskutiert:

1. Wie wäre die Situation, wenn die Leitwand bis oben durchgezogen wird ?

2. Können Leiteinrichtungen bei einer Entgleisung eines Hochgeschwindigkeitszuges die entstehende Belastung aufnehmen?
3. Behindern Leiteinrichtungen die Rettungsarbeiten im Falle eines Unfalls?

### 5.3.3.3.2 Diskussionsergebnisse zu Leiteinrichtungen

Folgende Punkte wurden diskutiert:

#### (1) Allgemeines

Es gibt einschlägige Richtlinien, die den Schutz von bestimmten Brückenpfeilern fordern und die Leiteinrichtungen als Entgleisungssicherung auf Brücken an bestimmten Stellen vorschlagen. Hintergrund hier ist die Erfahrung von Eschede, wo im vorderen Zugteil mehrere Achsen entgleist sind. Von hinten hat die Zugmasse mit ca. 480 t auf den entgleisten Wagen gedrückt. Der Zug hat hierdurch eine Zickzackstellung eingenommen. Die Wagen haben sich zwangsläufig quergestellt.

Ursache hierfür ist der erhöhte Laufwiderstand. Wenn das entgleiste Rad in den Schotter läuft, wird es natürlich stärker abgebremst als der Rest des Zuges, der sich noch auf der Schiene befindet. Bei Eisenbahnfahrzeugen ist es geradezu typisch, dass sich die Wagen in einem solchen Fall zollstockförmig anordnen. Wenn sich der Unfall in Eschede nur einige Sekunden früher ereignet hätte, dann wäre der Gegenzug auch noch in die Unfallstelle hineingefahren.

Dieser Unfall gibt Anlass zum Nachdenken, wie wirkungsvoll verhindert werden kann, dass Züge der Gegenrichtung in einen verunfallten Zug fahren. Hierzu gibt es verschiedene Vorschläge wie z. B. die Münchschwander Mauer. Dies ist eine Betonmauer, die aus Stabilitätsgründen fest in den Unterbau der festen Fahrbahn integriert sein muss. Von ihrer Geometrie her darf sie bei dem Regelgleisabstand aufgrund der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung nicht höher sein als 76 cm. Sie darf genauso hoch sein wie ein Bahnsteig. Eine andere Möglichkeit ist es, sogenannte Entgleisungsschienen oder Zwangsschienen zwischen den Fahrschienen anzuordnen, die ein entgleistes Fahrzeug noch notdürftig führen. Die Haupt-

problematik ist bei der Schienenlösungen und der Münchschwander Mauer, inwieweit diese Lösungen bei den hohen Geschwindigkeiten funktionsfähig sind.

(2) Stand der Technik

Über die Wirksamkeit der Führungsschienen, die im Entgleisungsfall ausmaßmindernd wirken sollen, liegen weltweit eigentlich keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse vor. Es ist z. B. nicht bekannt, was im Geschwindigkeitsbereich ab 140 km/h aufwärts geschieht und ob feste Fahrbahn oder Schotteroberbau einen Einfluss haben.

Im Zusammenhang mit früheren Maßnahmen bei der Bewertung von Tunnelkonzepten wurden von der DB Netz AG Berechnungen zu Leiteinrichtungen durchgeführt. Variiert wurde die Leitwandhöhe (Leitwandhöhe gleich Tunnelwandhöhe, Leitwandhöhe etwas niedriger als Fahrzeughöhe und niedrige Leitwand). Die Berechnungen zeigten, dass insbesondere bei einer Entgleisung in einer Kurve das Fahrzeug im unteren Bereich der Leitwand dynamisch angelenkt wird. An der oberen Kante der Leitwand wird das Fahrzeug dagegen angestoßen wie bei Leitplanken. Zusätzlich wird ein Überrolleffekt erzeugt, der möglicherweise zu einer Verschlimmerung der Situation führt.

Diese drei Leitwand-Varianten sind auch bereits aerodynamisch bei der DB Netz AG untersucht worden. Wenn für den Hochgeschwindigkeitsverkehr die Komplettembran (Leitwand oben und unten eingespannt) betrachtet wird, dann sind die aerodynamischen Verhältnisse eindeutig schlechter als bei einer zweigleisigen Röhre oder bei zwei eingleisigen Röhren.

Wie derartige dynamische Prozesse ablaufen, ist z.T. noch weitgehend unklar. Deshalb wird in einem Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit dem EBA das Thema fahrbahnseitige Maßnahmen zur Entgleisungssicherung generell untersucht. Es sollen Schiene und Leitwände getestet werden. Es kommen möglicherweise noch Entgleisungsversuche dazu.

(3) Wirksamkeit von Leitwänden

Es wurden statische Bedenken bezüglich einer 76 cm hohen Leitmauer im Falle einer Entgleisung geäußert. Berechnungen hätten gezeigt, dass ein



1200 m vor dem Bonner Hauptbahnhof mit voller Geschwindigkeit entgleister Zug genau im Stadtzentrum landen würde.

Die Statik der Leitwände sollte im weiteren Verlauf der Diskussion nicht hinterfragt werden, sondern es sollte davon ausgegangen werden, dass die Leitwände ausreichend bemessen sind.

Es wurde die Meinung vertreten, dass eine Lösung mit niedriger Leitwand sogar eine Verschlechterung bedeuten würde, wenn der Zug planmäßig zum Überschlag gebracht würde. Durch dieses Kippen gibt es mit Sicherheit wesentlich höhere Schäden als wenn der Zug entlang des Gleises rutscht. Wenn schon Leitwände, dann kommen nur komplett hochgezogene Wände in Frage. Aus einem zweigleisigen Einröhrentunnel wird in diesem Fall ein eingleisiger zweiröhriger Tunnel, wenn das von den Platzverhältnissen und vom Raumprofil her möglich ist. Diese Maßnahme konsequent durchgeführt bringt einen echten Sicherheitsgewinn. Eine niedrige Leitwand ist in vielen Fällen nicht ausreichend.

(4) Behinderung bei Rettungsarbeiten

Wenn die Leitwände nur 76 cm hoch wären, dann könnte die Feuerwehr noch darüber steigen. Aber das Arbeiten im Tunnel wird auch bereits durch niedrigere Leitwände beschwerlicher. Wenn dann noch ein längsgerichtetes Hindernis hinzu kommt, dann wird der Einsatz der Feuerwehr weiter erschwert. Unter diesem Gesichtspunkt können Leitwände von der Feuerwehr uneingeschränkt nicht befürwortet werden. Es sind Übersteighilfen anzubringen oder die Leitwand muss alle paar Meter aufklappbar sein, was jedoch wahrscheinlich aus statischer Sicht nicht praktikabel sein wird.

Dringend geklärt werden muss, ob eine entsprechende Leiteinrichtung so gestaltet werden kann, dass man das Schutzziel erreicht. Dies bedeutet, dass sich die Szenarien dann etwas anders gestalten, da ein Verkeilen des Zuges nicht mehr stattfindet. Der Zug rutscht auf dem Gleis und kommt in einem noch akzeptablen Zustand zum Stehen. Wenn dies mit Hilfe von Leitwänden möglich wäre, dann müsste die Feuerwehr die Nachteile der Leitwände akzeptieren.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Deutsche Bahn AG die Wirkung von verschiedenen Maßnahmen zu Leiteinrichtungen im Rahmen eines Forschungsvorhabens überprüft, die zum Entgleisungsschutz vorstellbar sind. Die feuerwehrtechnische Bewertung leitet sich letztlich daraus ab, welche Lösung zum Tragen kommt.

### 5.3.3.4 Fahrzeuge

#### 5.3.3.4.1 Forderungen der EBA-Richtlinie

Im Zusammenhang mit Schienenfahrzeugen wurden die Themen Brandschutz, Notausstiege und Notbremsüberbrückung in der Arbeitsgruppe diskutiert. In der EBA-Richtlinie [5] werden u. a. folgende Anforderungen zur Notbremsüberbrückung, zu Löschmitteln im Zug und zur Ausrüstung des Zugpersonals formuliert (Abschnitt 3.2):

- *Notbremsen*

*Notbremsen von Zügen, die lange und sehr lange Tunnel befahren, müssen so beschaffen sein, dass eine durch Reisende eingeleitete Notbremsung bis zum Verlassen des Tunnels aufgehoben werden kann.*

- *Lautsprecherdurchsagen*

*In Reisezügen müssen Lautsprecherdurchsagen möglich sein.*

- *Löschmittel*

*Fahrzeuge, die lange und sehr lange Tunnel befahren, müssen mit den im Abnahmebescheid vorgeschriebenen Löschmitteln ausgerüstet sein.*

- *Notfallausrüstung*

*In Reisezügen sind ein Megaphon, sowie für jeden Betriebsbediensteten eine Handlampe mitzuführen.*

Im Zusammenhang mit vorbeugendem Brandschutz bei Schienenfahrzeugen bzw. der Lage und Größe von Notausstiegen werden in der DIN 5510 bzw. den UIC-Regeln u. a. folgende Forderungen gestellt:

(1) Brandschutz

Die Anforderungen an Schienenfahrzeuge hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes ergeben sich aus DIN 5510.

## (2) Notausstiege

Lage und Größe von Notausstiegen in Schienenfahrzeugen sind in der Eisenbahn- und Betriebsordnung in Verbindung mit den UIC-Regeln angegeben. Nach den UIC-Regeln gelten die Türen der Züge als Notausstiege. In den ICE-Zügen sind deshalb keine weiteren Notausstiege vorhanden. In Reisezügen älteren Baujahrs sind spezielle Fenster als Notausstieg nutzbar.

Folgende Fragen wurden diskutiert:

1. Ist beim Eindringen in einen Waggon ein mehrstufiges Vorgehen hilfreich?
2. Welches sind die richtigen Öffnungen zum Eindringen in den Waggon?

#### **5.3.3.4.2 Diskussionsergebnisse zur Fahrzeugen**

Folgende Punkte wurden diskutiert:

## (1) Eindringen in ICE-Wagen

Nach Eschede sind erhebliche Diskussionen aufgekommen, dass die Feuerwehren vor Ort Probleme hatten, in das Fahrzeug oder in die Fahrzeugtrümmer einzudringen. Hauptproblem waren die sehr stabilen Scheiben des Hochgeschwindigkeitsfahrzeuges, ein weiteres Problem war auch die Aluminiumfahrzeughülle, die mit dem vorhandenen Gerät nur schwer zu öffnen war.

Deshalb wurden unter Federführung des Berufsfeuerwehrverbandes Versuche durchgeführt. In den Versuchen sind vorhandene Gerätschaften von den Feuerwehren und neue Werkzeuge u. a. eine schwedische Zwillingssäge und eine Kettensäge aus den USA getestet worden. Ergebnis war, dass mit den vorhandenen Geräten (Steinschleifscheibe) die Fensterscheiben getrennt werden konnten. Das beste und schnellste Mittel war jedoch zu diesem Zweck die Feuerwehraxt. Die Eignung der Geräte wurde von der Stuttgarter Feuerwehr bei einer Tunnelübung noch einmal bestätigt. Es ist dort während der Übung auch ein Schneidversuch in ein Seitenwandteil eines Waggons durchgeführt worden.

Es wurde vorgeschlagen, eindeutigere und bessere Zugangskennzeichnungen am Wagenäußeren anzubringen. Für den ICE-Wagen werden bei der Deutschen Bahn AG zusätzliche Fensterscheiben mit Sollbruchstelle diskutiert. Die Deutsche Bahn AG als Netzbetreiber hat jedoch kaum Möglichkeiten, so etwas gegenüber den Schienenfahrzeugherstellern und den Betreibern festzulegen. Aus Sicht der Deutschen Bahn AG sollten fahrzeugseitige Änderungen vom Gesetzgeber vorgeschrieben werden.

Die Feuerwehr bestätigte, dass die ICE-Fahrzeuge mit Steinschleifscheiben und am besten in Verbindung mit einem Elektroschleifer geöffnet werden können. Zum Zerschlagen der ICE-Scheiben mit der Feuerwehrraxt sollte jedoch bedacht werden, dass bei den durchgeführten Versuchen Scheiben verwendet wurden, die fest eingespannt waren. Es wurden Bedenken geäußert, dieses Ergebnis auf die Konstruktion von federnd gefassten Scheiben beim ICE-Fahrzeug zu übertragen. Ob die Feuerwehrraxt hier das geeignete Aufbrechmittel für die in den ICE eingebauten Scheiben ist, sollte noch einmal überprüft werden.

## (2) Brand in ICE-Wagen

Da keine Brandversuche eines neuen ICE-Fahrzeugs vorliegen, wurde folgende Abbrandcharakteristik vermutet. Ausgehend von einem Innenbrand bei einem ICE-Wagen erfolgt das Verschließen von Brandschutztüren am vorderen und hinteren Ende des Wagens. Ungeklärt ist, wie sich der Brand im Wagen weiter entwickeln kann. Bei einem fahrendem Zug werden die Leute den brennenden Wagen verlassen und rechts und links in die Nachbarwagen gehen. Die Brandschutztüren des brennenden Wagens werden geschlossen. Es wurde vermutet, dass selbst bei einem „flash over“ die Scheiben beim ICE nicht kaputt gehen. Es gibt eine Anweisung an das Zugpersonal, dass im Brandfall die Lüftung abzuschalten ist. Bei einem Entstehungsbrand in einem Wagen bleibt genügend Zeit, bis Rauch überhaupt aus dem Fahrzeug austritt. Bis es zum „flash over“ kommt, vergehen etwa 8 bis 10 Minuten. Es muss aber auch die Zeit berücksichtigt werden, die zur Branderkennung und Brandmeldung benötigt wird.

(3) Brandlast

In der Schweiz wird bei der Beurteilung des baulichen Brandschutzes nicht nur die Bewertung der Brandlasten (physikalische Kennwerte), sondern auch die Beurteilung der sogenannten Aktivierungsgefahr berücksichtigt. Deshalb sollten nicht nur Brandlasten isoliert betrachtet werden, sondern auch die Möglichkeiten, durch die diese Brandlasten entzündet werden können.

Bei Einbeziehung der Aktivierungsenergie in die Beurteilung des baulichen Brandschutzes wurde zu bedenken gegeben, dass beim Brand im Flughafen Düsseldorf keiner nach der Aktivierungsgefahr gefragt hatte, sondern der Staatsanwalt gefragt hat, ob die Vorschriften eingehalten wurden.

(4) Europäische Harmonisierung

Es werden europäische betriebliche Brandschutzmaßnahmen benötigt. Denn bald kann mit den selben Eisenbahnwagen von Schweden bis nach Italien durch unterschiedliche Tunnel verschiedener Betreiber gefahren werden. Es ist wichtig, dass gleichartige Systeme im präventiven Bereich der Fahrzeuge und deren Handhabbarkeit vorhanden sind. Die Notbremsüberbrückung und die Inhalte der DIN Norm 5510 sind nicht überall in Europa Standard. Der Thalys ist bekannt als französischer Zug, der derzeit nach Köln und darüber hinaus demnächst vielleicht nach Frankfurt fährt. Für die Deutsche Bahn AG als Betreiber ist schwierig, darauf Einfluss zu nehmen, ob dies zugelassen werden darf, wenn dieser Zug nicht den in Deutschland üblichen Brandschutzvorschriften entspricht.

(5) Notausstiege

Für Notausstiege in Fahrzeugen hat es in der Vergangenheit bisher noch keine definitiven Regelungen gegeben, auch nicht in der DIN 5510. Diese Thematik wird in einer europäischen Norm behandelt. Dort werden Anforderungen an Notausstiege formuliert, obwohl es eigentlich nicht primär als ein Problem des vorbeugenden Brandschutzes angesehen wird. Notein- oder auch -ausstiege werden in der Regel nicht bei Bränden, sondern in anderen Fällen gebraucht. Deswegen war es schwierig, dies in die Brandschutz-Normung aufzunehmen.

Bei Bussen kann die Größe von Notausgängen in der Straßenverkehrszulassungsordnung auf den Millimeter genau festgelegt werden. Für die Eisenbahn gibt es aber keine hoheitlichen Vorschriften. Da gibt es nur die Eisenbahnbau- und Betriebsordnung in Verbindung mit den UIC-Regeln. Nach den UIC-Regeln sind die Türen als Notausgänge akzeptiert, wobei das Problem besteht, dass hin und wieder Wagen angetroffen werden können, an denen beide Türen wegen einer Störung mechanisch verschlossen sind. Hier sollte im Rahmen der Eisenbahnaufsicht das sofortige Aussetzen dieser Wagen veranlasst werden, weil in diesem Fall kein Notausgang mehr vorhanden ist.

Türen sollten bei Eisenbahnwagen nicht als Notausstiege verwendet werden, da die Tür möglicherweise nicht zugänglich oder nicht funktionsfähig ist. Deshalb müssen die Notausstiege ganz gezielt an anderen Stellen angeordnet werden. Hierfür bieten sich die Fenster an. Bei der Größe der Notausstiege sollte auf die Angaben im Baurecht Bezug genommen werden. Hier gibt es zwar länderunterschiedliche Lösungen, aber die kleinste begehbare Öffnung, die im Baurecht zugelassen ist, beträgt 90 cm x 90 cm. Diese Abmessungen sind bei den vorhandenen Fensterscheiben der ICE Wagen gar kein Problem.

Notausstiege müssen von innen mit geringem Aufwand und von außen von der Feuerwehr geöffnet werden können.

Von der Deutschen Bahn AG konnte mitgeteilt werden, dass zukünftig in Abteilwagen jedes Fenster und in Großraumwagen mindestens jedes dritte Fenster als Notausstieg eingerichtet wird. Als Mindestgröße für diese Notausstiege sind 70 cm x 50 cm vorgesehen.

Als Resümee lässt sich zusammenfassen, dass Notausstiege, die beidseitig geöffnet werden können, für dringend notwendig erachtet werden. Ferner muss im Interesse der Gleichbehandlung aller Bahnen auf internationale Regelungen hingewirkt werden.

### 5.3.4 Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse

Die in der Arbeitsgruppe "Eisenbahntunnel" des Workshops "Sicherheit in Tunneln" geführten Diskussionen zum Gefährdungspotential, zur Prävention und zur Sicherheit sowie zum Schutz der Tunnelbenutzer im Brandfall lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### (1) Eisenbahn-, U-Bahn- und Straßentunnel

In U-Bahntunneln besteht im Vergleich zu Eisenbahntunneln eine wesentlich häufigere Zugfolge. Ferner ist die Anordnung von Fluchtwegen in kürzeren Abständen häufig bautechnisch in U-Bahntunneln wegen ihrer geringeren Bodenüberdeckung weniger aufwendig als bei Eisenbahntunneln. Der Eisenbahnverkehr besitzt im Vergleich zum Straßenverkehr eine hohe Systemsicherheit, da es sich um ein geschlossenes Verkehrssystem handelt. Im Vergleich zum Straßenverkehr liegt eine etwa 20-fach geringere Ereignis-Eintrittswahrscheinlichkeit vor.

#### (2) Standard-Unfallszenarien

Bei der Auslegung von Rettungskonzepten sollen folgende zwei Standardszenarien in Ansatz gebracht werden:

##### a) Brand ohne Entgleisung

Es wird angenommen, dass der Zug mit ungefähr 300 Fahrgästen besetzt ist und nach einem Entstehungsbrand, der sich bis zum Eintreffen der Rettungskräfte bis zum Vollbrand entwickelt, von diesen Fahrgästen etwa 10 % einer Hilfe bedürfen.

##### b) Entgleisung ohne Brand

Hierbei wird davon ausgegangen, dass der verunglückte Zug ebenfalls mit etwa 300 Personen besetzt ist und davon ungefähr 20% einer Hilfe bedürfen.

Standardszenarien müssen unterhalb der Katastrophenschwelle liegen.

#### (3) Eingleisige und zweigleisige Tunnel

##### a) Bei zwei eingleisigen Tunneln ergeben sich im Vergleich zu einer eingleisigen Tunnelröhre folgende Vorteile:

- Rettungseinsätze sind über die nicht betroffene Röhre schneller und im Falle eines Brandes nahezu rauchfrei möglich.

- Bei einer Entgleisung wird der Zugverkehr in Gegenrichtung nicht gefährdet.

b) Eine zweigleisige Tunnelröhre hat im Vergleich zu zwei eingleisigen Tunneln folgende Vorteile:

- Bessere Bewegungsmöglichkeiten bei Rettungseinsätzen wegen des größeren Tunnelquerschnitts.
- Kostenvorteil gegenüber zwei eingleisigen Tunnelröhren

#### (4) Selbstrettung

Die Selbstrettung wird vom Netzbetreiber Deutsche Bahn AG als eine der wichtigsten Komponenten bei den Sicherheits- und Rettungskonzepten gesehen, da die Feuerwehr für die Durchführung der Fremdrettung erst am Brandort eintrifft, wenn sich bereits ein Vollbrand entwickelt hat. Zu diesem Zeitpunkt ist der Tunnel möglicherweise schon stark verrauchte und nur mit Atemschutzgerät begehbar.

#### (5) Rettungs- und Sicherheitskonzepte

Die Rettungs- und Sicherheitskonzepte von Tunneln im Altnetz, vorhandenen Schnellfahrstreckentunneln und der im Bau befindlichen Schnellfahrstreckentunnel unterscheiden sich. Bei den Tunneln im Altnetz erfolgt die Fremdrettung sowie das Löschen von Bränden u. a. mit Hilfe von Zweiwegfahrzeugen.

Bei den Tunneln der vorhandenen Schnellfahrstrecken werden bei den Rettungs- und Löscheinsätzen spezielle Rettungszüge eingesetzt.

#### (6) Fluchtwege

Tunnel im Altnetz der Deutschen Bahn AG werden bei Sanierungsmaßnahmen auch hinsichtlich des baulichen Sicherheitsstandards verbessert. Ansonsten gilt für diese Tunnel der Bestandsschutz. Jedoch werden diese Tunnel in Kürze mit Notbeleuchtung, Fluchtwegpiktogrammen und Löschwasserversorgungsanlagen ausgerüstet.

Bei den Tunneln der im Bau befindlichen Neubaustrecke beträgt die Fluchtweglänge 500 m. Aus Sicht der Feuerwehr, sollte insbesondere unter Beachtung der Einsatzzeit von Feuerwehrtrupps mit Atemschutzgeräten die Fluchtweglängen in Zukunft reduziert werden. Zu prüfen ist, ob und



inwieweit die vorhandenen Atemschutzgeräte der Feuerwehr für den Einsatz bei Tunnelbränden verbessert werden können.

(7) Brandlast von Asphalttragschichten in Eisenbahntunneln

In Versuchen des Eisenbahnbundesamtes konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Brandausbreitung durch die Asphalttragschicht unterstützt wird. Dies bestätigt auch ein Brandgutachten von Dr. Achilles.

(8) Bauliche Brandlast

In der Schweiz werden zur Beurteilung der baulichen Brandlast nicht nur physikalische Kennwerte betrachtet, sondern auch die sogenannte Aktivierungsgefahr berücksichtigt. Deshalb sollten nicht nur die Brandlasten isoliert betrachtet werden, sondern auch die Möglichkeiten, durch die diese Brandlasten entzündet werden können. Eingewandt wurde hierzu jedoch, dass in Deutschland im Brandfall nicht die Aktivierungsgefahr relevant ist, sondern die Einhaltung der Vorschriften bezüglich des baulichen Brand-schutzes.

(9) Rauchausbreitung und Fluchtrichtung

Tunnel der Neubaustrecken sind entsprechend der EBA-Richtlinien mit einem Längsgefälle auszustatten.

Bei der Ausbreitung von Brandrauch entsteht dadurch ein Kamineffekt, der die Rauchableitung bedingt durch die hierdurch entstehende Luftströmung unterstützt.. Fluchtwegrichtung sollte deshalb immer in Richtung des rauchfreien Portals gewählt werden, auch wenn dieser Fluchtweg länger ist.

(10) Längsgefälle und Rollfähigkeit des Zuges

Ein Längsgefälle im Tunnel trägt dazu bei, dass ein brennender, rollfähiger Zug aus dem Tunnel rollen kann.

(11) Entrauchung im Brandfall

Im Rahmen des Workshops konnte nicht geklärt werden, in welchen Fällen bei Bränden in Eisenbahntunneln eine natürliche Lüftung ausreichend oder eine Entrauchungsanlage erforderlich ist. Auf diesem Bereich besteht noch Forschungsbedarf. Mittels spezieller Rechenmodelle, die für die Simulation der Brandentwicklung in langen Verkehrstunneln geeignet sind, sollten die

z.Z. noch offenen Fragen zur Entrauchung/Lüftung in Eisenbahntunneln geklärt werden.

(12) Notbremsüberbrückung

Im Fall einer Notbremsung bekommt der Lokführer angezeigt, wie lange er die Notbremsung überbrücken muss, damit der Zug außerhalb des Tunnels zum Stehen kommt. Hierdurch wird verhindert, dass ein brennender Zug nach Betätigen der Notbremse im Tunnel stehen bleibt.

(13) Brandschutz in Fahrzeugen

Die ICE-Waggons der neueren Generation erfüllen die Anforderungen der DIN 5510. Sie sind ferner mit Brandschutztüren ausgestattet, durch die im Brandfall die Ausbreitung des Brandes verhindert werden kann. Ferner sind die Fenster druckdicht ausgebildet.

(14) Sprinkleranlagen im Fahrzeug

Ein Brand soll möglichst noch in der Entstehungsphase bekämpft werden, um den Zeitpunkt des Vollbrandes hinauszuzögern und damit die zur Verfügung stehende Zeit zur Selbstrettung zu verlängern. Es besteht derzeit noch weiterer Untersuchungsbedarf für Sprinkleranlagen in Fahrzeugen.

(15) Sprinkleranlagen im Tunnel

Sprinkleranlagen im Tunnel werden als nicht sinnvoll erachtet, da sie erst wirksam werden, wenn das Feuer bis zur Tunneldecke durchschlägt. Ferner stellt die Starkstromversorgung der elektrifizierten Strecke ein Problem im Zusammenhang mit der Vorhaltung von Nasswasserleitungen im Tunnel dar.

(16) Notausstiege im Fahrzeug

Durch die zur Zeit geltende Regelung, dass nur die Türen der Reisezüge als Notausstiege dienen, sind zu wenig Notausstiege vorhanden. Seitens des Eisenbahn-Bundesamtes sind für die zukünftige Wagengeneration folgende Bedingungen hinsichtlich Anzahl und Größe der Notausstiege vorgesehen:

- a) Jedes Fenster eines Abteilwagens und jedes dritte Fenster eines Großraumwagens wird als Notausstieg ausgebildet.
- b) Die Größe des Notausstiegs soll 70 cm x 50 cm betragen.

Notausstiege müssen sowohl von innen durch die Fahrgäste als auch von außen durch die Feuerwehr einfach zu öffnen sein.

(17) Eindringen in ICE-Fahrzeuge

- a) Für die Rettungskräfte sind zum Eindringen in ICE-Wagen eindeutige und bessere Zugangskennzeichnungen am Wagenäußeren anzubringen.
- b) Die Fensterscheiben der ICE-Züge lassen sich bei einem Rettungseinsatz zur Bergung der Fahrgäste nur sehr schwer zerstören. Neuere Versuche zeigten, dass Steinschleifscheiben gut zum Aufschneiden der Fenster geeignet sind.

(18) Europäische Harmonisierung

Die europäischen Fernbahn-Fahrzeuge entsprechen unterschiedlichen Brandschutznormen und fahren europaweit durch Tunnel verschiedener Betreiber. Im Fall eines Ereignisses ist es jedoch wichtig, dass gleichartige Systeme im präventiven Bereich der Fahrzeuge vorhanden sind. Deshalb ist eine europäische Harmonisierung der Brandschutzvorschriften für Fernbahn-Fahrzeuge erforderlich.

(19) Zwangsschienen

Zwangsschienen sind Vorrichtungen zwischen den Gleisen, die einen entgleisten Zug noch notdürftig führen sollen. Für hohe Geschwindigkeiten (größer als 140 km/h) ist deren Wirkung jedoch nicht nachgewiesen.

(20) Leitwände

Für die konstruktive Ausbildung von Leitwänden gibt es verschiedene Vorschläge wie z. B. die "Münchschwander Mauer". Diese 76 cm hohe Mauer (bei Regelgleisabstand) wird aus Stabilitätsgründen in den Unterbau integriert.

Es gibt keine gesicherten Erkenntnisse über die Wirkungsweise von Leitwänden bei einer Zugentgleisung, deshalb wird zur Zeit durch die Deutsche Bahn AG in Zusammenarbeit mit dem EBA ein Forschungsvorhaben formuliert, in dem die fahrbahnseitigen Maßnahmen zum Schutz vor Kollision generell untersucht werden sollen. Eventuell werden in diesem Forschungsvorhaben auch Entgleisungsversuche durchgeführt.

## (21) Rettungseinsätze bei vorhandenen Leitwänden

Leitwände stellen ein Hindernis bei Rettungseinsätzen dar. Sie müssten Durchgänge besitzen, die jedoch die Stabilität und die Funktion der Leitwände reduzieren.

Die feuerwehrtechnische Bewertung leitet sich letztlich daraus ab, welche Ergebnisse das Forschungsvorhaben der Deutschen Bahn AG zu Leitwänden liefert .

## 5.4 Straßentunnel

### 5.4.1 Gefährdungspotentiale und Brandlasten der Fahrzeuge

#### 5.4.1.1 Forderungen der RABT

Die Forderungen der Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT [3]) hinsichtlich der Brand-Gefährdungspotentiale und der Brandlasten der Fahrzeuge lauten wie folgt:

#### **Brand-Gefährdungspotentiale:**

- *Abschnitt 4: Transport gefährlicher Güter*

*Beim Transport gefährlicher Güter (Definition s. §2 Abs.1 GGVS) ist, auch wenn die vorgeschriebenen Sicherheitsvorkehrungen eingehalten werden, das Risiko eines Störfalles generell nicht auszuschließen. Trotz geringer Wahrscheinlichkeit für den Eintritt eines Störfalles kann ein hohes Gefährdungspotential für Menschen und Umwelt gegeben sein. Das Risiko hängt nicht nur von der Art, der Menge und der Transportweise des Gefahrgutes ab, sondern auch vom Transportweg (z. B. Tunnel) und der Empfindlichkeit des Umfeldes des Transportweges (z. B. bebauter Bereich, nicht bebauter Bereich). Daher ist die Zulassung oder das Verbot des Transportes gefährlicher Güter von der Abwägung des Risikos auf der Tunnelstrecke im Vergleich zur Umwegstrecke abhängig.*

*Zuständig für die Regelung bzw. für die Zulassung / das Verbot des Transportes gefährlicher Güter ist die jeweilige Straßenverkehrsbehörde.*

*Wenn der Transport gefährlicher Güter verboten oder beschränkt ist, so muss der Straßennutzer (Kraftfahrer) klar und deutlich an der Abzweigung zur Umleitungsstrecke hiervon in Kenntnis gesetzt werden (StVO §41/ Zeichen 261). Wenn eine Fahrt durch den Tunnel erlaubt wird, kann die Erlaubnis zur Verringerung des Unfallrisikos auf die verkehrsschwachen Stunden beschränkt werden.*

## **Brandlasten:**

### - *Abschnitt 2.3.3.2 Maßgebende Brandgröße*

*In der Regel ist für die Dimensionierung einer Rauchabsaugung bzw. der Festlegung des Fluchtwegabstandes ein LKW- Brand zu Grunde zu legen. Die Auswirkungen eines PKW- Brandes sind dazu vergleichsweise gering, während ein Schutz gegen den Brand eines Benzintankwagens nur mit einem außerordentlichen Aufwand und nicht mit letzter Sicherheit möglich ist.*

*Der Bemessungsbrand für die Dimensionierung der Brandfall-Lüftung hat eine Brandstärke von 20 MW bei einer Rauchmenge von 60 m<sup>3</sup>/s.*

*Bei einem LKW-Anteil über 15% kann von einer Brandstärke zwischen 30 MW und 50 MW mit einer Rauchmenge zwischen 90 m<sup>3</sup>/s und 150 m<sup>3</sup>/s ausgegangen werden.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zum Brand-Gefährdungspotential und zu den Brandlasten von Fahrzeugen besprochen:

1. Reichen die bisherigen Angaben zum Transport gefährlicher Güter durch Straßentunnel aus?
2. Welche Brandlasten heutiger Fahrzeuge müssen für die Bemessung von Tunneleinrichtungen berücksichtigt werden?

Die Ergebnisse dieser Diskussion in der Arbeitsgruppe Straßentunnel sind in den folgenden Abschnitten 5.4.1.2 und 5.4.1.3 zusammengestellt worden.

### **5.4.1.2 Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential der Fahrzeuge**

Das Bestreben von verschiedenen internationalen Regelungen der Gefahrguttransporte [74, 105] ist es, diese so sicher wie möglich zu machen. Der Gefahrguttransport stellt nicht an und für sich bereits eine Gefahr dar, sondern nur im Falle eines eintretenden Unfalls kann sich unter Umständen in einem Tunnel ein hohes Gefährdungspotential ausbilden. Grundsätzlich sind in aller Regel die heutigen Gefahrguttransporte auf der Straße oder der Schiene sichere Transporte. Die Unfallhäufigkeit ist geringer als bei normalen LKW-Transporten. An jedes Gefahrguttransportfahrzeug werden höhere Ansprüche, was z. B. die Bruchsicherheit der Behältnisse, die Vorbeugung im Brandschutz, die Sicherheit der elektrischen Anlagen und die Prüfungen der Fahrzeuge und ihrer Lenker

angeht, gestellt als an normale LKW. Aber gefährlich können im Tunnel auch normale LKW mit hohen Brandlasten sein, z. B. die Ladungen, die Reifen und der mitgeführte Kraftstoff. Daher sind hier in Zukunft Überlegungen hinsichtlich einer entsprechenden neuen Kategorie durchzuführen.

Die OECD führt zur Zeit mit der PIARC ein mehrteiliges Forschungsvorhaben [81] durch, das sich mit der Frage der Gefahrguttransporte durch Straßentunnel beschäftigt. In einem Zwischenbericht wurden die derzeitigen unterschiedlichen nationalen Regelungen in Europa zusammengestellt. Ein Entwurf über die Möglichkeit, wie Tunnel aufgrund ihrer Eigenschaften kategorisiert und in Beziehung mit bestimmten Eigenschaften von Gefahrgütern gebracht werden können, ist ebenfalls mit diesem Vorhaben vorgelegt worden. In diesem wurden 5 Gefahrgutgruppierungen für Tunneldurchfahrten zusammengestellt:

- Gruppe A:** alle Gefahrgüter, die auch auf der freien Strecke zugelassen sind;
- Gruppe B:** alle Gefahrgüter der Gruppe A mit Ausnahme jener, die zu großen **Explosionen** führen könnten;
- Gruppe C:** alle Gefahrgüter der Gruppe B mit Ausnahme jener, die zu großen Freisetzungen **toxischer Gase** führen könnten;
- Gruppe D:** alle Gefahrgüter der Gruppe C mit Ausnahme jener, die zu **großen Bränden** führen könnten;
- Gruppe E:** **keine Gefahrgüter** (Ausnahme geringe Mengen UN Kap.15 oder ADR 10 011, die keine Kennzeichnung am Kfz erfordern).

Damit könnten quantitative Risikoanalysen leichter durchgeführt und Ausschlussstatbestände für bestimmte Gefahrgüter einfacher festgelegt werden. Der Schlussbericht dieses Forschungsvorhabens wird für Ende 2000 erwartet.

Es wurde diskutiert, ob „Gefahrgut“ für Tunneldurchfahrten anders als für die freie Strecke definiert werden muss. Es wurde vorgeschlagen zu prüfen, ob auf der Grundlage des PIARC/OECD-Berichtes [81], in dem entsprechende Tunnel-

kategorien aufgestellt werden, eine klarere Risikoabschätzung vorgenommen werden kann. An Hand der Tunnelkategorien sollte dann für jeden Tunnel von den Straßenverkehrsbehörden mit Hilfe von quantitativen Risikoanalysen festgelegt werden, wann Gefahrguttransporte uneingeschränkt zugelassen und bei welchen Tunneln, z. B. Unterwassertunneln, gegebenenfalls Einschränkungen gefordert werden müssen.

Bei Gefahrguttransporten sind bestimmte Eingriffe in die Transportfreiheit durch Tunnel auf Grund von Risikoanalysen möglich und notwendig. Wesentlich schwieriger ist es Stoffe zu beurteilen, die kein Gefahrgut im Sinne der Gefahrgutverordnung sind, dennoch hohe Brandlasten oder toxische Gase entwickeln können, wie z. B. Kunststoffprodukte, Holz oder Stoffe mit vergleichbaren Brandeigenschaften. Auch für diese Stoffe u.U. ein generelles Durchfahrverbot zu verlangen, würde dann eventuell den Sinn und Zweck eines Tunnels in Frage stellen. Es gibt brennbare Stoffe oder Gase oder brennbare Flüssigkeiten, die von der Brandentwicklung und der Brandwirkung hoch eingestuft werden und das vor allem im Tunnel. Gerade im Tunnel, das hat sich auch bei den jüngsten Brandereignissen, z. B. im Mt. Blanc Tunnel, gezeigt, können Kombinationen von Stoffen, die sich einzeln als absolut ungefährlich einstufen lassen, eine herausragende Rolle für die Brandentwicklung spielen. Es sollte also geprüft werden, ob im Tunnel die Ladungen anders definiert werden müssen, was Gefahrgut und die Brandwirkung anbetrifft.

Es sollte überlegt werden, welche speziellen Regelungen für die Transporte in Zukunft denkbar sind. Vor allem sollte auch darauf geachtet werden, dass es einheitliche Regelungen sind, damit nicht für jeden Tunnel eine andere Regelung zu beachten ist. Letzteres würde dann in der Regel dazu führen, dass die vorgegebenen Vorschriften aus Gründen der Unsicherheit von den Nutzern nicht eingehalten werden.

### 5.4.1.3 Diskussionsergebnisse zu den Brandlasten der Fahrzeuge und ihrer Ladungen

Die RABT [3] betrachtet bisher den einzelnen Brandfall und keine Kombinationen von Bränden an mehreren Fahrzeugen. Daraus wird eine Brandlast von 20 MW für einen LKW-Anteil bis zu 15% mit einer Rauchleistung von  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  abgeleitet. Wenn der LKW-Anteil über 15 % beträgt, kann mit einer Brandlast von 30 MW bis 50 MW und mit einer Rauchmenge von  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  gerechnet werden. Diese Festlegungen für den Bemessungsbrand werden im Grundsatz für richtig gehalten. Jüngste Brandversuche und die Auswertung von Brandereignissen bestätigen diese Aussagen.

Es sollte künftig als Bemessungsgrundlage mindestens eine Brandlast in Höhe von 30 MW für einen LKW bei geringem LKW-Anteil und abgestuft bis 50 MW für einen höheren LKW-Anteil gewählt werden. Für LKW mit hohen Brandlasten gibt es ein weites Spektrum von 30 MW bis 100 MW Brandlast. Darüber hinaus gehende Anforderungen an die Brandlast könnten generell eine Realisierung von Tunneln aus wirtschaftlichen Gründen in Frage stellen. Im Rahmen eines risikoanalytischen Gutachtens sollte geklärt werden, ob im Einzelfall eventuell eine höhere Bemessungsbrandlast festgelegt werden muss.

Der Grenzwert von 15 % LKW-Anteil für die Wahl der Bemessungsbrandlast wurde diskutiert und der bisherige prozentuale Anteil in Frage gestellt.

Bei z. B. einem DTV von 150.000 Fahrzeuge/24h, LKW-Anteil 15 %, liegt bereits eine absolute Zahl von 22.500 LKW-Transporten/Tunnel je Tag, also ein erhebliches Gefährdungspotential vor. Dagegen weisen weniger frequentierte Tunnel, beispielsweise: DTV 10.000 Fahrzeuge/24h, LKW-Anteil 15 %, also nur 1.500 LKW-Transporte/Tunnel und Tag, ein geringeres Gefährdungspotential auf. Für eine Entscheidung bezüglich der Bemessungsbrandlast sollte daher eine Anzahl der LKW-Transporte je Tag gewählt werden.



## 5.4.2 Gefährdungspotentiale und Brandlasten im Zuge von Tunneln

### 5.4.2.1 Forderungen der RABT

Gemäß den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT [3];) sind höhere Anforderungen an die Bemessung der Tunnelausstattung aufgrund von speziellen Gefährdungspotentialen und Brandlasten in Tunneln vorgesehen:

Gefährdungspotentiale, die zu höheren Anforderungen bei der Tunnelausstattung oder zu verkehrlichen Beschränkungen im Tunnel führen, sind:

- a) hohe Verkehrsstärken,
- b) große Tunnellängen,
- c) hohe Längsneigungen,
- d) Gegenverkehr,
- e) täglicher Stau
- f) Unterwassertunnel

zu a) Hohe Verkehrsstärken

Verkehrsstärken werden in der RABT [3] bei maßgebenden Verkehrsfällen in Abschn. 2.3.2.3, Tabelle 4 (Ermittlung des Zuluftbedarfes) und in Abschnitt 2.5.6, Tabelle 8 (Ausstattungs-elemente für Sicherheitsanlagen) berücksichtigt. Verkehrsstärken im Zusammenhang mit Tunnellängen werden jedoch nicht für einen Maßstab zur Einschätzung von Gefahrenpotentialen für eine mögliche Tunnelkategorisierung verwendet.

zu b) Große Tunnellängen

In der RABT [3] werden hinsichtlich der Ausstattung folgende 4 Längenbereiche unterschieden:

- < 350 m ;
- >=350 m bis < 700 m ;
- >= 700m bis < 1.050 m ;
- >= 1.050 m.

Diese Längenbereiche dienen zur Einteilung der Ausstattungselemente für bauliche und technische Sicherheitsanlagen gemäß Abschnitt 2.5.6 Tabelle 8.

zu c) Hohe Längsneigungen

In der RABT [3] gibt es bisher keinerlei Festlegungen hinsichtlich der Längsneigung der Tunnelgradienten im Zusammenhang mit einer Kategorisierung der Tunnel im Hinblick auf eine höhere Ausstattung.

zu d) Gegenverkehr

Die Gegenverkehrssituation in Tunneln wird bisher zur Einschätzung der Anwendungsbereiche der Lüftungssysteme gemäß Abschnitt 2.3.5.5 in Tabelle 8 verwendet und nicht im Sinne einer Kategorisierung der Tunnel.

zu e) Täglicher Stau

Diese Situation wird in Zusammenhang mit stockendem Verkehr in der RABT [3] bisher bei maßgebenden Verkehrsfällen in Abschn. 2.3.2.3 Tabelle 4 für die Ermittlung des Zuluftbedarfes verwendet.

zu f) Unterwassertunnel

In der RABT [3] wird auf den Fall der Unterwassertunnel bisher nicht eingegangen.

Im Hinblick auf die angesprochenen Gefährdungspotentiale von Tunneln wurden folgende Fragen besprochen:

- 1) Muss in Zukunft der Zusammenhang von Verkehrsstärke und Tunnellänge als Maß für ein mögliches Gefährdungspotential zur Einteilung in Ausstattungsklassen von Tunneln dienen?
- 2) Welche Risiken beinhalten lange Tunnel aus Sicht der Feuerwehr und Rettungsdienste?
- 3) Kann das Unfall- und Brandrisiko nicht eventuell dadurch gesenkt werden, dass bei Planungen neuer Tunnel die maximal zulässige Längsneigung begrenzt wird?
- 4) Sollen aus Gründen des Brandschutzes zukünftig keine Gegenverkehrstunnel mehr gebaut werden, sondern nur noch Richtungsverkehrstunnel?

- 5) Was unterscheidet einen zweiröhrigen von einem einröhrigen Tunnel aus Sicht der Feuerwehr?
- 6) Sind Szenarien denkbar, bei denen auch beim Richtungsverkehr Situationen eintreten könnten, wie wir sie in einem Gegenverkehrstunnel haben, vor allem hinsichtlich der Rauchausbreitung im Brandfall?
- 7) Müssen nicht neben dem baulichen Brandschutz der Unterwassertunnel auch im ausstattungstechnischen und betrieblichen Bereich Anforderungen definiert werden?

Für die Brandlasten der Tunnelanlagen fordert die RABT [3] folgendes:

a) Abschnitt 4: Transport gefährlicher Güter

*Für die Festlegungen des baulichen Brandschutzes sind die Regelungen der:*

- ZTV-Tunnel, Teil 1 (Abschnitt 10: Baulicher Brandschutz)
- ZTV-Tunnel, Teil 2 (Abschnitt 9: Baulicher Brandschutz) maßgebend

b) Abschnitt 2.3.3 Brand im Tunnel; Abschnitt 2.3.3.1 Anforderungen:

*Im Tunnel fliehende Personen sind durch Lüftungstechnische und/ oder bauliche Maßnahmen vor der Raucheinwirkung (Temperatur und giftige Gase) zu schützen.*

Im Hinblick auf die angesprochenen Brandlasten von Tunnelanlagen wurde zudem folgende Frage besprochen:

Welche möglichen Gefährdungen gehen im Brandfall von einem bituminösen Fahrbahnbelag im Tunnel aus?

Die Ergebnisse dieser Diskussion in der Arbeitsgruppe Straßentunnel sind in den folgenden Abschnitten 5.4.2.2 und 5.4.2.3 zusammengestellt worden.

## **5.4.2.2 Diskussionsergebnisse zum Gefährdungspotential der Tunnel**

### **5.4.2.2.1 Hohe Verkehrsstärke**

Ein wesentliches Gefährdungspotential ist neben der Tunnellänge die Verkehrsstärke. Bei größeren Verkehrsstärken wird statistisch davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit von Unfällen und Bränden, vor allem mit der Anzahl der LKW-Transporter, steigt.

#### 5.4.2.2.2 Verkehrsleistung

Die Anzahl der Brandfälle, also die sogenannte Brandunfallrate, ist statistisch gesehen davon abhängig, welche Verkehrsleistung im Tunnel vorhanden ist. Statistisch gesehen wäre es daher zielführender, die reine Längenkategorie mit der Verkehrsstärke zur Verkehrsleistung (Kfz km und Jahr) zu überlagern, wie es teilweise im Ausland (in Frankreich, in Japan, in Großbritannien und auch in anderen Ländern) bereits geschieht. Dann könnte eventuell eine weitere Abstufung des Gefährdungspotentials über die Verkehrsleistung vorgenommen werden.

Als Beispiel möge der demnächst längste Straßentunnel der Welt, ein 24 km langer Tunnel, der im Augenblick in Norwegen gebaut wird, dienen. Dort wird nach einer Prognose mit einem sehr geringen Verkehrsvolumen (200 Fahrzeuge je Tag) zu rechnen sein. Somit ist dort auch, trotz der Länge, kein besonderes Gefährdungspotential vorhanden, wenn die Beurteilung aufgrund der Verkehrsleistung (ca. 1,7 Mill. Kfz km und Jahr) vorgenommen wird. Der Elbtunnel weist dagegen im Vergleich dazu eine Verkehrsleistung je Röhre von etwa 47 Mill. Kfz km und Jahr auf. Dementsprechend wird das Gefährdungspotential des Elbtunnels auch anders zu bewerten sein.

In Großbritannien und Japan werden z. B. die Ausstattungselemente für Sicherheitseinrichtungen in Tunneln in Abhängigkeit von den Verkehrsleistungen in folgende Kategorien eingeteilt:

<b>Tunnelkategorie</b>	<b>Verkehrsleistung in Mill. Kfz km Tunnelröhre und Jahr</b>
<b>D</b>	< 1,5
<b>C</b>	>= 1,5 bis < 3
<b>B</b>	>= 3 bis < 8
<b>A</b>	>= 8 bis < 24
<b>AA</b>	>= 24

Nach dieser Bewertung wäre der norwegische Tunnel mit einer Mindestausstattung gemäß Tunnelkategorie C, der Elbtunnel jedoch mit der höchsten Ausstattung nach Tunnelkategorie AA zu versehen.

Aus der Sicht der Feuerwehr und Rettungsdienste ist nachfolgendes zu bedenken:

Je länger ein Tunnel wird, desto problematischer sind für die Feuerwehr und die Rettungsdienste auch die Maßnahmen bei einem Brandfall, weil die Anfahrt bis zum Brandherd länger ist. Es gibt dann u.U. auch erschwerte Bedingungen, um an die Brandstelle heranzukommen.

Der Brandherd kann in zweiröhrigen Tunneln schneller erreicht werden, da die Feuerwehr über die nicht betroffene Röhre anrücken kann. Die Angriffswege der Feuerwehr werden dadurch aber eventuell geringfügig länger. Somit beeinflusst die Länge auch von zweiröhrigen Tunneln die Brandbekämpfung.

Je länger ein Tunnel ist, desto mehr Fahrzeuge könnten sich im Staufall im Tunnel befinden und möglicherweise in einen Brand involviert werden.

#### **5.4.2.2.3 Hohe Längsneigung**

Bei Bränden in Tunneln spielt die Tunnellängsneigung wegen des sogenannten Kamineffektes auf die Rauchausbreitung eine große Rolle. Demzufolge haben Tunnel mit hohen Längsneigungen auch ein höheres Gefährdungspotential. Eine hohe Längsneigung spielt also nicht nur eine Rolle im Hinblick auf den Verkehrsablauf oder auch wegen des Auffangens gefährlicher Flüssigkeiten, sondern vor allem wegen einer möglichen Brandentwicklung.

Im Repparfjord Tunnel in Norwegen, der eine Längsneigung von 1% hat, wurden die Brandversuche des EUREKA Projektes durchgeführt [91]. Der Effekt dieser sehr geringen Längsneigung war jedoch bei den Brandversuchen bereits deutlich sichtbar und zwar in der Form, wie sich die Rauchsicht gebildet hat und abgezogen ist. Schon mit dieser geringen Längsneigung kann man also einen Kamineffekt erzeugen. Bei etwa 3% Tunnelneigung ist dieser Effekt schon wesentlich ausgeprägter und mit jedem Prozentsatz mehr steigt der Aufwand, eine mögliche Rauchsicht wegen einer Rauch Freihaltung des Tunnels für die

Selbstrettung von Nutzern mit maschinellen Brandlüftungssystemen zurückzudrücken. Dazu kommen noch die bei bestimmten Längsströmungsgeschwindigkeitsüberschreitungen einhergehenden, schnelleren Verwirbelungen der Rauchsichten im Tunnel.

Aus Sicht der Unfallraten, d.h. Unfälle pro gefahrenen Kfz-km, ist das Risiko unter Berücksichtigung der Längsneigung statistisch nicht nachgewiesen. Es gibt aber auch verkehrstechnische Gründe, die dafür sprechen, die Längsneigung auf einen maximalen Wert zu beschränken. Diese maximale Längsneigung sollte aus Sicht des Verkehrsablaufes etwa bei 4% bis 5% liegen.

Bei hohem LKW-Anteil, bei einer Längsneigung von 4 % und einer Tunnellänge von 1.000 m gibt es z. B. an einer Steigung im Richtungsverkehr Überholverbot für LKW. Die schnelleren Pkw weichen vom rechten Fahrstreifen auf den Überholstreifen aus und die LKW reihen sich auf der Steigung hintereinander auf, weil ein langsamer LKW vorkriecht. Diese Situation ist beim Elbtunnel regelmäßig zu beobachten. Hier müssten Mindestabstandsregeln umgesetzt und kontrolliert werden.

#### **5.4.2.2.4 Gegenverkehr**

Das Gefährdungspotential kann nicht nur auf Grundlage der Verkehrsleistung betrachtet werden, sondern es muss auch die Verkehrsart (Gegenverkehr oder Richtungsverkehr) dabei einbezogen werden. Statistisch gesehen haben Verkehrsanlagen mit Richtungsverkehr deutlich günstigere Unfallzahlen als Gegenverkehrsanlagen, d.h. letztere haben in der Regel ein höheres Gefährdungspotential.

Die erforderliche Anzahl der Fahrstreifen ergibt sich aus der verkehrstechnischen Bemessung. Wenn grundsätzlich zweiröhrige Tunnel verlangt werden, obwohl die verkehrstechnische Bemessung das nicht fordert, dann wäre ein zweiröhriger Tunnel in vielen Fällen wirtschaftlich nicht vertretbar. Immer ist aber ein einröhriger Tunnel wertvoller als gar kein Tunnel.

Aus der Sicht der Feuerwehr und Rettungsdienste ist nachfolgendes zu bedenken:

Einröhrige und zweiröhrige Tunnel unterscheiden sich dadurch, dass das Vorgehen der Feuerwehr bei einem zweiröhrigen Tunnel in einem sicheren Bereich, der räumlich getrennt von der betroffenen Röhre liegt, möglich ist. Damit wird der Angriffsweg der Feuerwehr über die Notausgänge und/oder über die parallele Röhre möglich und damit zwar geringfügig länger aber auch entscheidend schneller.

Bei einem langen, einröhrigen Tunnel mit Gegenverkehr sind aus Sicht der Feuerwehr zusätzlich Fluchtstollen (oder eventuell eine parallele Fluchtröhre), welche mindestens begehbar sind, notwendig.

#### **5.4.2.2.5 Täglich Stau**

Ein weiteres erhebliches Gefährdungspotential stellen tägliche Staus dar, die vor allem in städtischen und stadtnahen Tunnel auftreten könnten. Dann könnten brandlüftungsmäßig auch in Tunneln mit Richtungsverkehr ungünstige Situationen auftreten wie in Tunneln mit Gegenverkehr.

Der Stau auf der freien Strecke vor dem Tunnel ist aus Sicht des Personenschutzes im Brandfall und der Verkehrssicherheit ungefährlicher. Wenn dann ein Auffahrunfall passiert, der zu einem Brand führt, dann hat das in der Regel weniger schlimme Konsequenzen als wenn derselbe Unfall im Tunnel passiert.

Ein Tunnel mit Richtungsverkehr wird im Brandfall dadurch auf der Zufahrtsseite rauchfrei gehalten, in dem z. B. eine Längslüftung mit Strahlventilatoren mit einer bestimmten Geschwindigkeit einseitig den Rauch zur Ausfahrt, also stromabwärts, hin abtreibt. Im Ausfahrbereich befinden sich im Regelfall keine haltenden Fahrzeuge, da diese aus dem Tunnel, unter der Voraussetzung, dass dort kein Stau entsteht, herausfahren können.

Bei einem Stau im Tunnel verschlechtert sich außerdem die Situation für die Selbst- und Fremddrettung, weil dann bei einem Brandereignis im Tunnel eine erhebliche Anzahl von Tunnelnutzern gleichzeitig die Fluchtwege und Notausgänge nutzen müsste. In diesem Fall sollten die Fluchtwegabstände verringert und die Fluchtwegbreite vergrößert werden.

#### **5.4.2.2.6 Unterwassertunnel**

Einem besonderen Risiko können z. B. die Unterwassertunnel unterliegen, weil bei diesen im Gegensatz zu den anderen Tunneln neben möglichen zusätzlichen Erschwernissen bei der Personenrettung bei großen Schäden noch die Gefahr eines Kollapses der Gesamtkonstruktion in Verbindung mit einer Flutung bestehen kann.

Es sind im normalen Straßenverkehr immer Möglichkeiten gegeben, die Beförderung von Gefahrgütern bestimmter Klassen durch Unterwassertunnel auszuschließen. Diese Tunnel können durch entsprechende Beschilderung gesperrt werden. Für die großen Unterwassertunnel in Deutschland (z. B. Elbtunnel, Emstunnel) hat man aufgrund risikoanalytischer Überlegungen Festlegungen für die Behandlung von Gefahrguttransporten getroffen. Beispielsweise dürfen in Zeiten sehr hohen Verkehrsaufkommens alle kennzeichnungspflichtigen Gefahrguttransporte nicht in den Tunnel einfahren. In Zeiten niedrigeren Verkehrsaufkommens, d.h. in den Nachtstunden, können bestimmte Kategorien von Gefahrguttransporten den Tunnel passieren. Im Ausland wird bei den meisten Unterwassertunneln, speziell auch in den Vereinigten Staaten, keine Durchfahrt von Gefahrguttransporten erlaubt.

#### **5.4.2.3 Diskussionsergebnis zu den Brandlasten der Tunnel**

Nach der Mt. Blanc Tunnelbrandkatastrophe ist eine Diskussion über einen möglichen Einfluss der Brandlast aus den Materialien der Fahrbahn bei sehr hohen Temperaturen und hier insbesondere der mit bituminösen Bindemitteln hergestellten Fahrbahnen entstanden. Diese Diskussion ist auch deshalb entstanden, weil bisher nicht zweifelsfrei geklärt werden konnte, wieso die acht auf italienischer Seite in einer Entfernung von fast 300 m vom Brandort abgestellten Fahrzeuge abgebrannt sind. Die Tunnelfirste war innerhalb dieser 300 m kaum beschädigt, so dass die Vermutung nahe liegt, dieses wäre durch einen Feuerübersprung über die mit sehr hohen Temperaturen beaufschlagte bituminöse Fahrbahn erfolgt.



### **5.4.3 Brandmelde- und Löschanlagen in Fahrzeugen**

#### **5.4.3.1 Forderungen der RABT**

In der RABT [3] sind bisher keine Hinweise enthalten, dass in Fahrzeugen Brandmelde- und Löschanlagen enthalten sein sollen. Es wird im Gefahrguttransportrecht bisher jedoch vorgeschrieben, einen 2 kg Feuerlöscher für einen Motorbrand und einen 6 kg Feuerlöscher für einen Reifenbrand mitzuführen. Damit soll eigentlich nur verhindert werden, dass ein Motor- oder Reifenbrand auf die Ladung übergreifen kann.

Im Hinblick auf mögliche zukünftige Forderungen wurden folgende Fragen zu Brandmelde- und Löschanlagen in Fahrzeugen besprochen:

- 1) Sollten Brandmeldeeinrichtungen in LKW-Fahrzeugen installiert werden?
- 2) Sollte die Mitführung von Handfeuerlöschern in allen Fahrzeugen vorgeschrieben werden?
- 3) Sollten Selbstlöschanlagen am Fahrzeug selber, vor allem für LKW und Gefahrguttransporte, gefordert werden?

#### **5.4.3.2 Diskussionsergebnis zu Brandmelde- und Löschanlagen in Fahrzeugen**

Die meisten Fahrzeug-Brände beginnen nicht unbedingt im Fahrgastraum, sondern aufgrund von heißlaufenden Bremsen, elektrischen Problemen oder Problemen im Motorbereich.

Wenn eine frühzeitige Detektierung am Fahrzeug erfolgt, und somit die Möglichkeit eines sofortigen Eingreifens bei der Brandbekämpfung von Tunnelnutzern besteht, und ein langsamer Brandablauf, wie z. B. bei einem PKW, stattfindet, dann kann ein Brand häufig auch ohne Feuerwehr unter Nutzung der Löscheinrichtungen in Tunneln gelöscht werden. Eine PIARC-Studie [57] zeigt, dass rund 40% aller Brände in Tunneln in Frankreich auf diese Weise gelöscht werden konnten.

LKW verursachen überproportional viele Brände, laut einer Untersuchung beim Elbtunnel rund 30% der Brandfälle, obwohl sie nur etwa zu 15% am Gesamtverkehr beteiligt sind. Im Elbtunnel waren in den vergangenen Jahren eine Reihe von Bränden in den Tunnelröhren zu löschen und es gab auch darunter mehrere Fahrzeuge, die mit überhitzten Motorenteilen in den Tunnel eingefahren sind. Der Brand im Mt. Blanc Tunnel wurde durch einen LKW verursacht, Teile dieses Fahrzeuges hatten sich ebenfalls erhitzt und in der Folge trat eine rasante Brandausbreitung auf. Der Fahrer dieses Lkws musste schon mehrere Kilometer mit einer weißen Rauchfahne durch den Tunnel gefahren sein. Er wurde von entgegenkommenden Fahrzeugen gewarnt. Als er anhielt, war es nach seinen Angaben für einen Löschversuch mit den Feuerlöschern im Tunnel bereits zu spät. Eine frühzeitige Branddetektion ist deshalb besonders wichtig bei allen LKW-Fahrzeugen.

Vor Tunneleinfahrten gibt es in Frankreich Versuche mit Detektionsmöglichkeiten, die es ermöglichen sollen, überhitzte Fahrzeuge zu erkennen und auszuwählen. Außerdem sollte es keine technische Schwierigkeiten bereiten dem Fahrzeuglenker intern anzuzeigen, dass Teile seines Fahrzeugs überhitzt sind. Ferner sollte geprüft werden, ob nicht alle LKW generell mit automatischen Feuerlöschanlagen an den neuralgischen Punkten Motor, Reifen, Bremsen ausgerüstet werden sollten. Es gibt jedoch das Problem bei der Durchsetzung neuer Fahrzeugvorschriften. Bei den üblichen Übergangsvorschriften, die bei der Einführung neuer Technologien in Fahrzeugen gewährt werden, kann eine solche Lösung erst ungefähr in 20 Jahren in die Praxis umgesetzt werden.

#### **5.4.4 Brandmelde- und Löscheinrichtungen in Tunneln**

##### **5.4.4.1 Forderungen der RABT**

Die Forderungen der Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT [3]) hinsichtlich Brandmelde- und Löschanlagen in Tunnelanlagen lauten wie folgt:

- a) Abschnitt 2.5.3: Brandmeldeeinrichtungen:
  - Abschnitt 2.5.3.1 Manuelle Brandmeldeeinrichtungen

*In jeder Notrufstation ist eine Drucktaste für eine Brandmeldung vorzusehen (s. Abschnitt 2.5.2.1)*

- **Abschnitt 2.5.3.2 Automatische Brandmeldeeinrichtungen**

*Tunnel mit einer mechanischen Lüftung enthalten eine automatische Brandmeldeeinrichtung, die das entsprechende Lüftungsprogramm auslöst.*

*Das System der Brandmeldeeinrichtung ist so zu wählen, dass Temperaturen, die einem Brand von mehr als 20 l Benzin auf einer Fläche von 4m<sup>2</sup> entsprechen, registriert werden können.*

*Das gewählte System soll den „Richtlinien für automatische Brandmeldeanlagen“ entsprechen. Abweichungen hiervon sind mit der jeweils für den Brandschutz zuständigen Stelle einvernehmlich zu regeln.*

*Bevorzugt sollen linienhafte Temperaturfühler eingesetzt werden, die sowohl auf Temperaturanstieg in Abhängigkeit von der Zeit als auch auf einen absoluten Temperaturanstieg reagieren. Der Fühler wird oberhalb des lichten Raumes an der Tunneldecke befestigt.*

*Werden punktförmige Fühler angewendet, so werden diese in Tunnelachse oder versetzt über den Fahrstreifen oberhalb des lichten Raumes installiert.*

*Brandmeldeeinrichtungen sind so zu bemessen, dass der Brandort so genau festgestellt werden kann (s. Abschnitt 2.5.2.3), wie es das Lüftungsprogramm für den Brandfall erfordert.*

*Automatische Brandmeldeeinrichtungen sollen auch in Betriebsräumen mit schützenswerten Anlagen, z. B. elektrischen Anlagen, vorgesehen werden.*

b) **Abschnitt 2.5.4: Löscheinrichtungen:**

- **Abschnitt: 2.5.4.1 Handfeuerlöscher**

*In den Notrufstationen sind zwei Handfeuerlöscher (Pulverfüllung) mit einem Füllgewicht von jeweils 6 kg unterzubringen. Auf den Standort der Feuerlöscher muss ausreichend und unmissverständlich hingewiesen werden.*

*Bei der Öffnung der Schranktür zur Entnahme eines Feuerlöschers werden die gelben Blinklichter eingeschaltet. In der überwachenden Stelle wird der Ort der Entnahme angezeigt (s. Abschnitt 2.5.2.3).*

*Die Anzeige darf erst wieder erlöschen, wenn der Feuerlöscher wieder eingesetzt wird. Das Einsetzen darf jedoch nur mit einem besonderen Schlüssel des Betriebs-*

*personals möglich sein. Hierdurch wird verhindert, dass ein leerer Feuerlöscher zurückgestellt wird.*

- **Abschnitt 2.5.4.2 Wasserleitungen mit Hydranten**

*In Tunneln, die länger als 1050 m sind, soll eine Druckwasserleitung verlegt werden, die gegen ein Einfrieren im Winter gesichert ist. Die Leitung soll nach Möglichkeit von zwei Seiten gespeist werden können, sie ist für einen Durchfluss von 20 l/s zu bemessen.*

*Nach Öffnen der Entnahmeventile an den Zapfstellen soll der Entnahmedruck innerhalb von 80 s erreicht werden. Er sollte möglichst 6 bar nicht unterschreiten, damit noch Löschschaum hergestellt werden kann, und 10 bar nicht überschreiten. Bei einer Löschwasserentnahme von 20 l/s soll die Wasserversorgung für eine Zeitspanne von einer Stunde gewährleistet sein.*

*Ist der Anschluss an eine örtliche Wasserversorgungsanlage nicht möglich, so wird eine Versorgung über ein eigenes System erforderlich.*

*Hydranten mit Anschlüssen für die Feuerwehr (B- und/oder C-Kupplungen) sollen an gleicher Stelle wie die Notrufstationen angeordnet werden. Sie sind durch Hinweisschilder zu kennzeichnen.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zu Brandmelde- und Löscheinrichtungen von Tunneln besprochen:

- 1) Sind die bisher verwendeten automatischen Brandmeldesysteme ausreichend für eine möglichst frühzeitige Branddetektion?
- 2) Sollen bisherige Trockenpulverfeuerlöscher in den Notrufstationen durch modernere Hochdruckwasserlöscher ersetzt werden?
- 3) Was ist von der Forderung der Feuerwehr nach automatischen Löschanlagen in Straßentunneln zu halten?

Die Ergebnisse dieser Diskussion in der Arbeitsgruppe Straßentunnel sind in den folgenden Abschnitten 5.4.4.2 und 5.4.4.3 zusammengestellt worden.

#### **5.4.4.2 Diskussionsergebnisse zu Brandmeldeeinrichtungen**

Die frühzeitige Brandbekämpfung setzt eine möglichst frühzeitige Branddetektion voraus. Mit den herkömmlichen Linienbrandmeldern bestehen aufgrund ihrer Auslösecharakteristik und auch den Luftströmungsverhältnissen im Tunnel teil-

weise Probleme, rechtzeitig Brände zu erkennen. Dies gilt insbesondere für Pkw-Brände, bei denen nur geringe Absoluttemperaturen in der Tunnelfirste erzeugt werden und auch der relative Temperaturanstieg pro Zeiteinheit unterhalb der Auslöseschwelle der Melder liegen könnte.

Derzeit übliche Temperatursensoren und CO<sub>2</sub>-Messungen, das hat auch der Brand im Mt. Blanc-Tunnel gezeigt, sind mit Sicherheit nicht geeignet frühzeitig einen Brand zu erkennen.

Die Sichttrübungsmessung hingegen zeigt eine schnellere Reaktion. Dies hat eine Analyse des Mt. Blanc-Tunnel Brandes gezeigt. In der Regel sind die Messgeräte jedoch in zu großen Abständen installiert, so dass eine Branddetektion auf dieser Basis nicht ausreichend ist. Die richtige Steuerung der Brandlüftung eines Tunnels erfordert die Kenntnis des genauen Brandortes und basiert darauf, den Brandort sehr genau feststellen zu können. Verbesserte Möglichkeiten zur schnelleren und genaueren Brandortbestimmung könnte die Kombination von moderner Videotechnik und Sichttrübungsmesseinrichtungen ergeben.

Auf dem Weltstraßenkongress 1999 in Kuala Lumpur wurde auch über die Branddetektion in einem Tunnel in Melbourne in Australien berichtet. Die Australier haben dort gefordert, dass ein Brand von einem automatischen Brandmeldesystem innerhalb von 1 ½ Minuten detektiert werden muss. Für diese Forderung genügen bisherige Linienmeldesysteme nicht mehr. Daher wurde eine neue Detektionsmöglichkeit auf der Basis der Lichtwellenleitertechnik entwickelt. Hierbei werden die unter Temperatureinfluss sich ändernde Brechungseigenschaften eines Glasfaserkabels in Verbindung mit dem Durchgang eines von einem Laser erzeugten Lichtstrahls ausgenutzt. Durch die Detektionsmöglichkeit auch von kleinsten Änderungen der Brechungseigenschaften und ihrer räumlichen Lage soll eine frühzeitige und örtlich exaktere Branddetektion ermöglicht werden. Auf dem gleichen Kongress haben die Japaner über fortgeschrittene Videotechniken berichtet, mit denen über direkte Videobildauswertungen die Brandlüftung gesteuert und somit die Brandmeldezeiten wesentlich verkürzt werden konnten.

### 5.4.4.3 Diskussionsergebnisse zu Löscheinrichtungen

Zur Frage des Ersatzes von Trockenpulverfeuerlöschern durch Hochdruckwasserlöscher wurde folgendes diskutiert:

Hochdruckwasserlöscher (Funktionsprinzip wie Hochdruckreiniger) sind Feuerlöscher, die nur mit Wasser betrieben werden. Das Wasser wird mit einem höheren Druck von etwa 40 bar ausgestoßen.

Mit Hochdruckwasserlöschern durchgeführte Versuche zeigen, dass damit ein Pkw-Brand im Anfangsstadium bekämpft werden kann. Größere Brände sind damit nicht zu löschen. Dies gilt auch für Trockenfeuerlöscher. Hochdruckwasserlöscher haben jedoch Vorteile beim Löschen von Bränden fester Stoffe (z. B. Reifen), da hier z. B. AFFF-Schaummittel zugegeben werden können. Diese Zusätze verstärken den Löscheffekt. Die derzeit auf dem Markt befindlichen Systeme sind jedoch nicht für jeden Nutzer geeignet.

Aus der Sicht der Feuerwehr werden auch zum Schutz der Feuerwehrleute immer wieder automatische Löscheinrichtungen in Straßentunneln in Anlehnung an im Hochbau verbreitete Systeme gefordert. Bei der Forderung, vor allem LKW mit obligatorischen Selbstlöschanlagen auszurüsten, hat die Feuerwehr Bedenken, weil die gesetzliche Umsetzung hierfür viel zu viel Zeit in Anspruch nimmt.

Auf dem Weltstraßenkongress 1999 in Kuala Lumpur wurde im PIARC-Bericht [57] noch einmal deutlich, warum automatische Löschanlagen in Tunneln weltweit in der Selbstrettungsphase als wenig vorteilhaft bewertet werden. Kostengründe alleine sind nicht maßgebend für deren Ablehnung.

## 5.4.5. Belüftung bei einem Brand im Tunnel

### 5.4.5.1 Forderungen der RABT

Die Forderungen der Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT [3]) hinsichtlich Belüftungsanlagen bei einem Brand im Tunnel lauten wie folgt:

- Abschnitt 2.3.3.1: Anforderungen

*Im Tunnel fliehende Personen sind durch Lüftungstechnische und/ oder bauliche Maßnahmen vor der Raucheinwirkung (Temperatur und giftige Gase) zu schützen.*

- **Abschnitt 2.3.3.3: Lüftungssteuerung im Brandfall**

*Eine bestmögliche Steuerung der Lüftung in den ersten Minuten ab Brandausbruch ist für die Sicherheit der Personen entscheidend. Um die Luft-/Rauchschichtung zu erhalten, muss die Längsströmung in der gleichen Richtung wie vor Brandausbruch weiterlaufen, möglichst mit einer Geschwindigkeit am Brandort von nicht mehr als 2 m/s. Die volle Absaugkapazität muss innerhalb kürzester Zeit zur Verfügung stehen. Dies setzt voraus, dass der Brandort unmittelbar nach Brandbeginn durch eine automatische Brandmeldeanlage geortet wird (s.2.5.3.2). Für Brandfälle sind separate Brandprogramme in der Lüftungssteuerung vorzuhalten, die automatisch geschaltet werden. Auf keinen Fall darf die Lüftung bis zum Eintreffen der Feuerwehr abgeschaltet werden, hingegen soll die Feuerwehr die Lüftung von Hand auf ein gegebenenfalls zweckmäßigeres Programm umschalten können.*

- **Abschnitt 2.3.3.4: Schutzmaßnahmen**

*Der heiße Rauch breitet sich mit mehreren m/s Geschwindigkeit als eine einige Meter dicke Schicht entlang der Tunneldecke ein – oder beidseitig vom Brandort aus. Über der Fahrbahn kann sich während der ersten 5 bis 10 Minuten ab Vollbrand eine ca. 2 m mächtige saubere Luftschicht halten.*

a) *Rauchabsaugung*

*Der Rauch ist in dieser noch geschichteten Ausbreitungsphase aus dem Fahrraum zu entfernen. Hierzu bieten sich zwei Möglichkeiten an (s. auch 2.3.5):*

- *Punktuelle Absaugung möglichst in der Tunneldecke und über die gesamte Tunnelbreite mit einer Absaugkapazität von mindestens 200 m<sup>3</sup>/s.*
- *Kontinuierliche Absaugung über in kurzen Abständen angeordnete Öffnungen. Die Absaugkapazität muss für einen 300 m langen Abschnitt mindestens 60 m<sup>3</sup>/s betragen.*

b) *Fluchtweg*

*Fluchtwege sind im Brandfall zur Vermeidung von Raucheinwirkungen unter Überdruck zu halten. Problematisch ist das Erkennen des Fluchtwegzuganges in dem vom Brand betroffenen Tunnel wegen der herrschenden Aufregung und infolge der beeinträchtigten Sichtverhältnisse. Die Fluchtwege sind daher auffällig zu kennzeichnen*

c) *Maßnahmen bei einer Tunnelröhre mit Gegenverkehr*

*Mögliche Anordnungen von Fluchtwegen und/oder Rauchabsaugungen sind in Gegenverkehrstunneln mit Längslüftung in Bild 5 (der RABT [3]) im Sinne von Mindestmaßnahmen zusammengestellt.*

*Ist eine Rauchabsaugung gemäß a) vorhanden, kann auf Fluchtwege verzichtet werden.*

*Bei Einsatz einer Längslüftung mit Strahlventilatoren ist deren Anzahl so zu bestimmen, dass bei einem zur Hälfte mit stehenden Fahrzeugen gefüllten Tunnel ab einer Länge von 700 m eine Längsgeschwindigkeit von 4 m/s erzeugt werden kann.*

*Ansonsten ist bei Einsatz von Längslüftungssystemen eine Längsgeschwindigkeit von 2 m/s zu gewährleisten.*

d) *Maßnahmen bei zwei Tunnelröhren mit Richtungsverkehr*

*Bei zwei nebeneinander verlaufenden Tunnelröhren sind mindestens alle 350 m (doppelter Notrufnischenabstand) Fluchtverbindungen vorzusehen. Ist dies mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, so ist die übliche Längslüftung in diesen Tunneln so zu bemessen, dass bei einem zur Hälfte mit stehenden Fahrzeugen gefüllten Tunnel ab einer Länge von 700 m eine Längsgeschwindigkeit von 4 m/s erreicht wird.*

*Die Fluchtwege sind durch Erzeugen von Überdruck in der Nachbarröhre rauchfrei zu halten.*

- **Abschnitt 2.3.5.5: Anwendungsbereiche der Lüftungssysteme**

*In schwierigen Fällen (z. B. lange Tunnel, unterirdische Zu- und Abfahrten, anspruchsvolle Immissionssituationen, Brandfallauflagen) können Kombinationen der verschiedenen Systeme zur besten Lösung führen.*

*Bei jeder Systemwahl ist primär auf eine möglichst gute Nutzung der natürlichen Längslüftung durch den Verkehr zu achten.*

*Es sind immer die Immissions- und Brandschutzaufgaben zu erfüllen.*

*Zur Orientierung werden in Tabelle 7 (der RABT [3]) Anwendungsbereiche wichtiger Lüftungssysteme angegeben.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zu Belüftungsanlagen im Brandfall besprochen:



- 1) Entsprechen die Vorgaben der RABT [3] für die Belüftung im Brandfall (RABT Bild 5 und Tabelle 7) noch dem Stand der Technik ?
- 2) Sind Fluchtwege entbehrlich, wenn ein ausreichend bemessenes Lüftungssystem installiert ist?
- 3) Wenn eine ausreichende Rauchschwadenabsaugung vorhanden ist, kann dann auf getrennte Fluchtwege verzichtet werden, weil dann der Tunnel-fahrraum als Fluchtweg verfügbar ist ?
- 4) Kann die Nachbarröhre alleine durch Erzeugen von Überdruck rauchfrei gehalten werden?
- 5) Müssen die Übergänge von einer Röhre in die andere Röhre brand-schutztechnisch geschlossen werden?
- 6) Müssen auch bei größeren Querschlügen, die für die Feuerwehr oder Einsatzkräfte befahrbar ausgebildet werden, ebenfalls große Brand-schutz-tore vorgesehen werden?

#### **5.4.5.2 Diskussionsergebnisse zur Belüftung bei einem Brand im Tunnel**

Aus dem festgestellten Gefährdungspotential ist die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Brandszenarios anzunehmen und daraus abzuleiten, welche Brandlast anzusetzen ist. Damit wird auch bestimmt, welche Temperaturen auftreten können und welches Rauchschwadenvolumen beherrscht werden muss.

In der RABT [3] ist festgelegt, dass im Prinzip die Bemessungsbrände mehr oder weniger nur für die Lüftungssysteme der Rauchabsaugung gelten. Bei Längslüftung und Richtungsverkehr kommt es vor allen Dingen darauf an, den Rauch einseitig abzutreiben, um damit stromaufwärts ausreichende Flucht- und Rettungsbedingungen zu schaffen. Gemäss den Ergebnissen der Brandversuche im Memorial-Tunnel ist es günstig, dass die kritische Längsströmungsgeschwindigkeit irgendwann nicht mit der Brandleistung weiter ansteigt. Nach den Untersuchungen kann festgestellt werden, dass mit einer Längsströmungsgeschwindigkeit, die bei 30 MW erforderlich ist, um eine Rückströmung zu vermeiden, auch ein Brand mit etwa 100 MW beherrscht werden könnte. Ein solcher

Brand in einem Tunnel mit einer reinen Längslüftung sowie Richtungsverkehr und ohne Stau stromabwärts könnte also selbst bei einer höheren Gefährdung durch Gefahrguttransporter lüftungstechnisch beherrschbar sein.

Bei der Rauchabsaugung, speziell bei der kontinuierlichen Absaugung mittels schmaler Schlitze in einem Rauchabzugskanal, haben bisherige Erfahrungen der letzten Brandereignisse gezeigt, dass dort sehr starke verrauchte Zonen auftreten können. Diese Systeme haben ihre Grenzen bei Brandleistungen ab etwa 20 MW. Deswegen sollten Lüftungssysteme in modernen Tunneln, die mit Gegenverkehr befahren werden oder nach Einzelfallprüfung auch in Tunneln mit häufigen Staus bei Richtungsverkehr mit einer punktuellen Rauchabsaugung mit großer Absaugleistung versehen werden. Diese wurde auch mit Hilfe eines numerischen Modells untersucht [58] und dann z. B. für einen 30 MW Bemesungsbrand eine Mindestabsaugkapazität von etwa  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  festgestellt.

Der Ansatz der RABT [3] in bestimmten Fällen auf zusätzliche Fluchtwege zu verzichten, wenn eine ausreichende Brandlüftung vorhanden ist, ist durch Brandversuche und Brandereignisse in jüngster Vergangenheit in Frage gestellt worden. Es kann danach nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass über einen Zeitraum von etwa 10 Minuten rauchfreie Zonen geschaffen werden können, die für eine Selbstrettung über die Fahrbahn des Tunnels geeignet sind. Deswegen wurde als Ansatz für die Ermittlung der Abstände der Notausgänge vorgeschlagen, die Fluchtzeit auf die Brandentwicklungsphase zu beschränken, die auf 5 bis 7 Minuten abgeschätzt werden kann. Danach beginnt der Vollbrand. Zunächst muss ein Brand so schnell wie möglich detektiert werden. Dann müssen die Fahrzeugnutzer alarmiert werden. Diese brauchen eine gewisse Zeit bis sie reagieren und das Fahrzeug verlassen. Wenn hierfür günstigstenfalls 2 Minuten angesetzt werden, bleiben etwa nur noch 3 bis 5 Minuten Fluchtzeit übrig. Wenn eine Fußgängerfluchtgeschwindigkeit von etwa 1 bis  $1,5 \text{ m/s}$  angenommen wird, dann erhält man für die Notausgänge einen Abstand von etwa 250 m bis maximal 300 m. Es sollte daher überlegt werden, ob die Abstände der Notausgänge, die jetzt in der RABT [3] mit 350 m festgelegt sind, reduziert werden müssen. Es stellt sich die Frage, ob dies generell gilt oder ob Ausnahmen

hiervon möglich sind. Sicherlich muss auch der Zusammenhang zwischen Fluchtweggestaltung und dem Lüftungssystem, speziell bei einer effektiven Rauchabsaugung, gesehen werden. Wenn mit einer effektiven Rauchabsaugung unabhängig vom Bemessungsbrand die verrauchte Zone auf etwa 300 m begrenzt wird, dann kann diese Zone in der oben angenommenen Fluchtzeit verlassen werden. Die Flüchtenden sind danach wieder in einer nahezu rauchfreien Zone, in der die Flucht fortgesetzt werden kann. Es müssen also Fluchtweganordnung und Rauchabsaugung gemeinsam bewertet werden.

Der Brandlüftung, und hier insbesondere der punktuellen Absaugung, kommt eine große Bedeutung zu. Bis zu einer effektiven Inbetriebnahme der Brandlüftung kann jedoch ein Zeitraum von 2 bis 3 Minuten vergehen. Bereits in dieser Phase kann in einem Tunnel, je nach Größe der Brandleistung und der geometrischen Verhältnisse (Neigung, Querschnitt) eine sehr starke Rauchausbreitung auftreten, die sich sehr negativ auf die Fluchtwegsituation auswirken kann. Für diesen Fall sollte grundsätzlich auch bei einer sonst effektiven Rauchabsaugung auf Fluchtwege nicht verzichtet werden. Letztlich ist die Frage im Einzelfall aber nur auf Grund einer Risikoanalyse unter Wertung der tatsächlichen Gefährdungspotentiale zu klären.

Zweiröhrige Tunnel werden in regelmäßigen Abständen durch Querschläge verbunden. Diese Querschläge können dann Rettung aus einer verqualmten Röhre bieten, wenn beide Röhren auch brandschutztechnisch bzw. rauchschutztechnisch voneinander getrennt sind.

Gemäß der RABT [3] ist: *„Die Fluchtwege sind durch Erzeugen von Überdruck in der Nachbarröhre rauchfrei zu halten.“* Dies wurde bisher so ausgelegt, dass die Querschläge nicht verschlossen zu sein brauchen.

Aufgrund durchgeführter Berechnungen und Messungen kann die Rauchfreiheit nicht in allen Phasen und unter allen Randbedingungen gewährleistet werden. Die Drucksituation an den Querschlägen ist mit sogenannten Kaltberechnungen bestimmt worden, indem in beiden Röhren bestimmte Drücke vorgegeben wurden. Hierbei wurde jedoch vernachlässigt, dass im Brandfall auch Differenzdruckprofile und damit entgegengesetzt strömende Schichtungen entstehen können. Unter Berücksichtigung, dass die Höhe der Querschläge etwa 2/3 der

gesamten Verkehrshöhe entspricht, ist durch diese Druckunterschiede, vor allem bei mehreren Durchbrüchen im Abstand von 350 m, fast nicht zu verhindern, dass Rauchschwaden in die nicht betroffene Nachbarröhre herüberströmen können.

Die Abschottung von Fluchtwegen mit Brandschutztüren ist aus internationaler Sicht Stand der Technik.

Zahlreiche in Betrieb befindliche Tunnelanlagen haben noch nicht abgeschottete Querschläge bzw. Übergänge zwischen den zwei Röhren. Dieses ist auch aus Sicht der Feuerwehr ein kritischer Punkt.

Gemäß RABT [3] gilt *„Fluchtwegen sind mit Türen abzuschotten, die der Feuerwiderstandsklasse F 90 unterliegen müssen.“* Diese Regelung sollte in Zukunft auch auf Querschläge angewandt werden und es sollten auch bereits gebaute und in Betrieb befindliche Tunnel nachgerüstet werden, da Brandschutztüren die Sicherheit erheblich erhöhen.

Bei Doppelröhren besteht an den Portalen die Möglichkeit des „Kurzschlusses“ insbesondere bei Längslüftung durch Rauchaustrag einer Röhre und Ansaugen durch die Nachbarröhre. Heute wird schon aus Emissionsgründen durch Trennwände an den Portalen verhindert, dass schadstoffbelastete Luft in die Nachbarröhren gesaugt wird. Somit kann davon ausgegangen werden, dass ein Rauchübertritt im Brandfall in die andere Tunnelröhre ebenfalls vermieden wird.

## **5.4.6. Fluchtwegen und Notausgänge**

### **5.4.6.1 Forderungen der RABT**

Die Forderungen der Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT [3]) hinsichtlich Fluchtwegen und Notausgängen in Tunneln lauten wie folgt:

#### **Abschnitt 2.5.1.3: Fluchtwegen**

- *Bei Tunneln, die länger als 700 m sind, werden in regelmäßigen Abständen von ca. 350 m Fluchtwegen angeordnet, wenn das Tunnellüftungssystem im Brandfall keine ausreichende Sicherheit bietet.*

- *In zweiröhrigen Tunneln lassen sich in der Regel Fluchtwege kostengünstig realisieren. Sie führen normalerweise in die Nachbarröhre. Hierbei kann jeder dritte als Überfahrt für Einsatzfahrzeuge ausgebildet werden.*
- *Bei einröhrigen Tunneln ist die Notwendigkeit von Fluchtwegen vom Lüftungssystem abhängig (RABT, s. Bild 5).*
- *Soweit es die topographischen Verhältnisse zulassen und es mit vertretbarem Aufwand möglich ist, sollen Fluchtwege mit einer lichten Weite von 1,50 m bis 2,00 m ins Freie angeordnet werden.*
- *Fluchtwege sind mit Türen abzuschotten, die der Feuerwiderstandsklasse F90 genügen müssen.*
- *Führen die Fluchtwege (Notausstiege) nach oben, muss durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass Rauch und Wärme nicht vor Abschluss der Rettungsarbeiten in die Notausstiege gelangen können.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zu den Fluchtwegen und Notausgängen im Brandfall besprochen:

- 1) Welche Abstände der Notausgänge sind in Zukunft anzunehmen? Wo sind die Grenzen, die mindestens eingehalten werden müssen?
- 2) Muss bei einem Gegenverkehrstunnel im Gebirge die Forderung, einen separaten Fluchtstollen komplett zu bauen, aufrecht erhalten werden? Oder kann in Ausnahmefällen auf getrennte Fluchtwegsysteme verzichtet werden, wenn besondere Vorkehrungen hinsichtlich der Lüftung, der Früherkennung von Bränden oder des Feuerwehreinsatzes durch eine Betriebsfeuerwehr am Tunnelportal vorhanden sind?

#### **5.4.6.2 Diskussionsergebnisse zu Fluchtwegen und Notausgängen**

Fluchtwege sind das zuverlässigste, sicherste System insbesondere in der Selbstrettungsphase. Diese Forderung sollte generell bestehen bleiben. Der derzeitige Abstand zwischen Notausgängen von etwa 350 m erscheint zu groß. Im Moment wird diskutiert, diesen Abstand auf 300 m oder sogar 250 m zu verkürzen. In Europa gibt es Spannweiten von 200 m bis 400 m oder oft auch we-

sentlich mehr, je nachdem wie man die Einflussfaktoren interpretiert. In Frankreich wird unterschieden zwischen innerstädtischen und außerstädtischen Tunnelanlagen z. B. mit einem unterschiedlichen Abstand der Notausgänge von 200 m für innerstädtische Tunnel mit Stau und 400 m für außerstädtische Tunnel mit geringem Verkehrsaufkommen.

Als Ansatz für die Ermittlung der Abstände der Notausgänge wurde vorgeschlagen, die Fluchtzeit auf die Brandentwicklungsphase zu beschränken, die auf 5 bis 7 Minuten geschätzt werden kann. Zieht man von dieser Zeit die Zeit bis zur Branddetektion, die Alarmierungs- und Informationszeit sowie die Reaktionszeit des Autofahrers ab, so bleiben etwa nur 3 bis 5 Minuten Fluchtzeit übrig. Wenn dabei etwa 1 bis 1,5 m/s als Fußgängerfluchtgeschwindigkeit zu Grunde gelegt werden, ergeben sich Abstände zwischen den Notausgängen in der Größenordnung von 250 m bis maximal 300 m.

Grundsätzlich ist eine Verkürzung der Abstände der Notausgänge dort zu befürworten, wo der bautechnische und damit der finanzielle Aufwand verhältnismäßig gering ist. Hier ist als Beispiel ein zweiröhriger Tunnel in offener Bauweise mit einem zweizelligen Rahmen zu nennen. Auch bei einem zweiröhrigen bergmännisch hergestellten Tunnel liegt der finanzielle Aufwand für zusätzliche Querschläge in einem Rahmen, in dem unter Berücksichtigung des Gesamtvolumens des Tunnels eine gewisse Verkürzung der Abstände der Notausgänge durchaus vertretbar wäre. Anders ist dies bei Notausgängen von einröhrigen Tunneln mit sehr hoher Überdeckung und im extremen Fall von Untertunneln. Die Abkehr von der Möglichkeit, durch eine verstärkte Lüftung oder Rauchabsaugung die Abstände der Notausgänge zu vergrößern, würde im Extremfall dazu führen, dass auf den Bau von einzelnen Tunnelprojekten aus wirtschaftlichen Gründen verzichtet werden müsste.

Bei günstigen Verhältnissen kann auch die Anordnung eines parallelen Fluchtstollens aus wirtschaftlichen Gründen durchaus vertretbar sein. Insbesondere kann dieser parallele Fluchtstollen auch als vorausgehender Erkundungsstollen dienen.

Jüngste Erfahrungen haben gezeigt, dass es Brände in Tunneln geben kann, die nicht beherrschbar sind, oder die Feuerwehr trifft zu spät ein, oder die

Rauch- und Temperaturentwicklung ist zu groß. Für den Personenschutz bleibt in vielen Fällen der Fluchtweg als einzige Möglichkeit. Es gibt auch Gebirgstunnel im Ausland, wo z. B. mehrere Schutzräume in bestimmten Abständen angeordnet werden, wenn ein Fluchtstollen nicht realisierbar ist. Diese Schutzräume sind für die Flüchtenden mit Beleuchtung, Belüftung und Notrufeinrichtungen auszustatten.

Eine neue Variante bei einem Unterwassertunnel ist das japanische System mit einer Fluchtwegrealisierung unter der Fahrbahn. Die Japaner haben z. B. jetzt in Tokyo einen sehr langen kreisrunden Unterwassertunnel mit einer Tunnelbohrmaschine aufgefahren. Dort wurde ein Fluchtweg unterhalb der Fahrbahn angeordnet, der alle 350 m mit Rutschen von der Fahrbahn erreicht werden kann, sodass die Leute im Brandfall herunterrutschen und in diesem Fluchtweg fliehen können.

Wenn es keine Lösung gibt, die noch wirtschaftlich vertretbar ist, könnten Ausnahmen im Einzelfall zugelassen werden, wenn dafür Kompensationsmöglichkeiten vorgesehen werden. Zu den Kompensationsmöglichkeiten zählen z. B. technisch aufwendigere Lüftungssysteme mit effizienter Rauchabsaugung, ein modernes Verkehrsmanagementsystem, eine schnellstmögliche Ereignisdetektion, eine automatisierte Überwachung mittels Videotechnik und deren Bildauswertung und die Bereitschaftsdienste der Feuerwehren am Tunnel.

#### **5.4.7. Verkehrsbeeinflussungs- und Kommunikationseinrichtungen**

##### **5.4.7.1 Forderungen der RABT**

Die Forderungen der Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) [3] und die Hinweise für die Planung von Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen für Straßentunnel [106] hinsichtlich Verkehrsbeeinflussungs- und Kommunikationseinrichtungen in Tunneln lauten wie folgt:

##### **Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen:**

- Abschnitt 2.4. Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen:

*Die Planung von Leitsystemen in Straßentunneln wird ausführlich in den „Hinweisen für die Planung von Verkehrsbeeinflussungssystemen für Straßentunnel [106]“ behandelt. ...*

- **Abschnitt 2.4.1: Anforderungen**

*... Mit Hilfe der verkehrstechnischen Einrichtungen soll daher sowohl im Normalfall als auch bei Störungen ein möglichst sicherer Verkehrsablauf gewährleistet werden. ...*

- **Abschnitt 2.4.2: Ausstattungsvarianten**

*Prinzipiell können drei Ausstattungsvarianten unterschieden werden:*

*(1) Mindestausstattung*

*(2) Grundausrüstung*

*(3) Erweiterte Ausstattung*

*Die Mindestausstattung, die für Tunnel bis 300 m Länge und geringer Verkehrsbelastung vorgesehen ist....*

*...Die Grundausrüstung ist bei Tunneln bis 2000 m Länge oder bei hoher Verkehrsbelastung (> 7500 Kfz/Tag und Fahrstreifen) vorgesehen. ...*

*... Örtliche Besonderheiten .... können eine erweiterte Ausstattung begründen. Hierzu ist eine verkehrstechnische Voruntersuchung mit einer räumlichen Systemabgrenzung zweckmäßig. ...*

**Kommunikationseinrichtungen:**

- **Abschnitt 2.5.2.1: Notrufstationen**

*In Tunneln sollen etwa alle 175 m Notrufstationen einseitig angeordnet werden. Hierfür eignen sich eingelassene Wandschränke. Bei der Auslegung der Übertragungseinrichtungen ist der Lärmpegel im Tunnel zu berücksichtigen.*

*In jeder Pannenbucht soll eine Notrufstation vorhanden sein. Auf die Notrufstationen muss ausreichend und unmissverständlich hingewiesen werden.*

- **Abschnitt 2.5.2.2: Lautsprecher**

*Tunnel, in denen eine visuelle Überwachung durch die Betriebsführung vorgesehen ist, können mit einer Lautsprecheranlage ausgestattet werden. ...*

- **Abschnitt 2.5.2.3: Visuelle Überwachung**

*Bei langen Tunneln, Tunneln mit großer Verkehrsstärke sowie Tunneln mit unterirdischen Zu- und Abfahrten ist zu prüfen, ob zur Überwachung des Verkehrsablaufs eine Fernseh-anlage erforderlich ist. Hierzu werden feststehende Kameras verwendet, die im Tunnelin-*



neren seitlich neben der Fahrbahn im Abstand von 100 bis 300 m in Fahrtrichtung und am Portal- auch in Gegenrichtung- installiert werden.

Die Fernsehbilder werden auf einen Monitor in einer ständig besetzten Überwachungsstelle übertragen. Mehrere Kameras können wahlweise auf einen Monitor geschaltet werden.

Die Monitore können im Normalfall ausgeschaltet bleiben. Wird die Benutzung der Notrufstationen angezeigt oder Brandalarm ausgelöst, sind die Kameras in diesem Abschnitt automatisch auf den Monitor zu schalten.

#### - Abschnitt 2.5.2.4: Funk

Tunnel ab einer Länge um 1 km sind mit Funkeinrichtungen auszustatten, und zwar mit je einem Kanal für:

*den Betriebsdienst*

*die Feuerwehr/Rettungsdienste*

*die Polizei und*

*den Verkehrswarnfunk.*

Im Hinblick auf diese Forderungen wurden folgende Fragen zu den Verkehrsbeeinflussungs- und Kommunikationseinrichtungen besprochen:

- 1) Entsprechen bisherige Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen in Tunneln noch dem Stand der Technik ?
- 2) Sind Geschwindigkeitskontrollen in Tunneln von Nutzen?
- 3) Was muss eine Verkehrsbeeinflussungsanlage leisten und wie muss sie konzipiert werden, um Stau in Tunneln zu verhindern?
- 4) Reichen Signalanlagen alleine aus um einen Tunnel zu sperren?
- 5) Warum ist die Information im Tunnel für die Fahrer von stehenden Fahrzeugen so notwendig?
- 6) Kann mit Hilfe von Videoauswertungen eine schnellere Ereignisdetektion erfolgen?
- 7) Welche Maßnahmen sind für eine Verbesserung der Kommunikation zwischen Tunnelbetreiber und Tunnelnutzer zu ergreifen?

- 8) Welche Maßnahmen sind für eine Verbesserung der Kommunikation zwischen Tunnelbetreiber und Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste zu ergreifen?

#### 5.4.7.2 Diskussion zu den Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen

Die RABT [3] nimmt beim Thema Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen Bezug auf die „Hinweise für die Planung von Verkehrsbeeinflussungssystemen bei Straßentunneln“ [106] der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln. Man hat eine relativ neue Untersuchung der Wirkung von Verkehrsstreckenbeeinflussungsanlagen auf die Verkehrssicherheit im Rahmen der Streckenbeeinflussung auf freien Strecken von Autobahnen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass man in Zeiten hoher Verkehrsstärke mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen erhebliche Verkehrssicherheitsgewinne gegenüber Strecken ohne diese Anlagen erzielen kann.

Auf Landstraßen gibt es für LKW die Geschwindigkeitsbeschränkungen von 60 km/h. Also gilt auch in Tunnel im Zuge zweistreifiger Landstraßen für LKW 60 km/h. Dieses könnte daher verkehrsrechtlich relativ leicht mit Geschwindigkeitsüberwachungen durchgesetzt werden. Weiter sind nach der StVO alle Fahrzeugführer verpflichtet, bestimmte Abstände zu anderen Fahrzeugen einzuhalten. Es gibt Verkehrszeichen, mit denen Mindestabstände vorgeschrieben werden können. In Verbindung mit einer polizeilichen Überwachung könnte hier präventiv etwas für die Sicherheit getan werden. Bei stationären Geschwindigkeitskontrollen und Abstandsmessungen ist man heute auch technisch in der Lage, Verstöße über die Kennzeichen zu ahnden. Ein Beispiel für eine effiziente Überwachung einer freien Strecke (BAB A 3) ist der Elzer Berg. Die Unfallzahlen sind dort durch konsequente Überwachung erheblich reduziert worden.

Es geht auch und vor allem um regelmäßig auftretende Stausituationen in städtischen und stadtnahen Tunneln.

In solchen Fällen sollte geprüft werden, ob eine Verkehrsbeeinflussung (Verkehrsdetektion und Sperrschranken) die Rückstaus in den Tunneln vermeiden kann. Dies wäre so zu realisieren, dass im Ausfahrbereich Detektoren auf einer

größeren Länge entstehende Stauungen detektieren könnten. Wenn der Fall eintritt, sollte der Tunnel gesperrt werden. Der Tunnel könnte somit staufrei gehalten und die Wahrscheinlichkeit eines Brandes am Stauende im Tunnel infolge eines Auffahrunfalls könnte erheblich verringert werden.

Die Tunnelsperrung erfolgt heute überwiegend mit Signalanlagen. Die Praxis zur Akzeptanz von Rotlichtsignalen an der Einfahrt von Tunneln zeigt, dass diese häufig missachtet werden. Deshalb sollte geprüft werden, ob nicht vielleicht zusätzlich Halbschranken zur eindeutigen Sperrung an den Tunnelportalen angebracht werden sollten.

### **5.4.7.3 Diskussion zu den Kommunikationseinrichtungen**

Es sollte grundsätzlich nach Lösungsmöglichkeiten für einen besseren Informationsaustausch und eine bessere Kommunikation zwischen Tunnelbetreibern und Tunnelnutzern sowie zwischen Tunnelbetreibern und der Feuerwehr, der Polizei und den Rettungsdiensten gesucht werden.

Bessere Kommunikation und Information durch z. B. ein Verkehrsleitsystem ist ein Schlüssel für mehr Tunnelsicherheit. Kommunikation muss über das bisher übliche Verkehrsleitsystem hinaus in eine neue Qualität kommen und zwar so, dass die Betriebsleitung dem Nutzer des Tunnels unmittelbar und unmissverständlich anweisen kann, was er aufgrund einer Lage, die er noch nicht erkennen kann, sofort zu tun hat.

Europa ist ein Kontinent mit verschiedenen Sprachen und gemeinsamem Binnenverkehr. Allgemeinverständliche Textaussagen sollten in mehreren Sprachen angebracht werden. Besser wären allgemeinverständliche Piktogramme, die gemeinsam in Europa harmonisiert eingeführt werden müssten. Diese Piktogramme könnten heute auch in Leuchtschrift in modernen Wechselverkehrszeichenanlagen dargestellt werden.

Seit 1975 gibt es Einrichtungen zur Videoüberwachung in Tunneln. Heute gibt es zusätzlich moderne Möglichkeiten der digitalen Bildauswertung, um frühzeitig Unregelmäßigkeiten im Verkehrsfluss im Tunnel erkennen zu können. Erforder-

lich sind eine möglichst frühzeitige Ereignisdetektion und für eine Verbesserung der Kommunikation Hinweise für die Tunnelnutzer auf Tunneleinrichtungen, wie Brandmelder und Feuerlöscher. In den meisten deutschen Tunneln sind keine Videoanlagen installiert. In Deutschland werden Tunnel überwiegend automatisch und fernüberwacht durch örtliche Stellen betrieben.

Wenn die Überwachung von Tunnelanlagen künftig vermehrt in zusätzlichen regionalen Leitstellen durchgeführt wird, bietet die Videoüberwachung eine verbesserte Fernüberwachung durch die regionale Leitstelle. Die Leitstelle sollte sich mit Hilfe der Videoaufnahmen sachgerecht über eventuelle Fehlalarme informieren oder im Ereignisfall die Feuerwehr, Polizei und Rettungsdienste alarmieren. Die Einsatzkräfte können dann die erforderlichen Maßnahmen einleiten. Die digitale Technik ermöglicht im Falle einer Störung des normalen Betriebsablaufes eine Anzeige entsprechender ereignisorientierter Informationen und Bilder der kritischen Bereiche des Tunnels.

Bei allen Tunneln, in denen eine Funkanlage vorhanden ist, muss eine Einsprechmöglichkeit von der Warte vorhanden sein. Für die größeren Tunnelanlagen ist dies vorgesehen. Hiermit kann die Überwachungsstelle Anweisungen und Informationen geben, die darüber informieren, was der Verkehrsteilnehmer im Ereignisfall zu tun hat (z. B. den Motor abstellen). Das setzt jedoch voraus, dass die Verkehrsteilnehmer ein Autoradio besitzen und dieses auf der richtigen UKW-Radiofrequenz eingeschaltet haben. Ein Autoradio haben fast alle Verkehrsteilnehmer. Es ist außerdem Sorge zu tragen, dass die Texte mehrsprachig verlesen werden können. Vor und in den Tunneln sind Anzeigen mit der einzuschaltenden UKW-Radiofrequenz vorzusehen. Der Einbau von Lautsprecheranlagen im Tunnel, mit denen vom Kontrollraum aus Tunnelnutzer angesprochen werden können, wird dagegen kontrovers diskutiert. Im Tunnel selbst war bei einigen Ereignisfällen der Lärmpegel in der Regel so hoch, dass die Verständlichkeit von Durchsagen nur gering oder gar nicht mehr gegeben war. Vor dem Tunnelportal, im Fall einer Tunnelsperrung und in den Querschlägen bzw. Übergängen zur Nachbarröhre wird aufgrund des geringeren Lärmpegels die Anordnung einer Lautsprecheranlage für Ereignisfälle als sinnvoller angesehen.

Der Einsatz von Funkanlagen sollte noch erheblich weiter ausgedehnt werden, weil im Ereignisfall dies eine wichtige Voraussetzung für eine optimale Organisation der Beteiligten vor Ort sind. Diese Funkanlagen sind auch sehr wichtig im Zusammenhang mit der Kommunikation zwischen Feuerwehr, Rettungsdiensten und Polizei (Haupteinsatzzweck).

Folgende Meldewege sollten in allen Tunneln vorhanden sein:

- Einsprechmöglichkeiten in den UKW-Verkehrsfunkkanal des Tunnels
- Notrufabgabe an die Polizei bzw. Feuerwehr
- Brandmeldungen über das Festnetz oder über Handy

Meldungen über das Handy werden jedoch kritisch gesehen, da dadurch oft eher andere Personen als die Tunnelbetriebswarte alarmiert werden und so erhebliche Zeitverzögerungen auftreten könnten. Außerdem weiß ein Handybenutzer je nach Standort in der Regel oft nicht, in welchem Tunnel und wo in diesem genau er sich gerade befindet. Erst durch die Benutzung einer Notrufstation ist jedoch eine genaue Lokalisation für die Tunnelwarte möglich. Mögliche Komplikationen durch moderne Technologien und deren Nutzung durch den Menschen sollten daher in Zukunft kritisch beleuchtet und entsprechende Empfehlungen aufgestellt werden.

Die deutschen Tunnel werden z.Zt. zumindest nur in Ausnahmefällen durch Personal einer besetzten Zentrale unmittelbar am Tunnel ständig überwacht. Grundsätzlich werden jedoch von jedem Tunnel ereignisorientierte Meldungen örtlichen Stellen automatisch übermittelt. Die Tendenz ist, Tunnel auch in Zukunft automatisch und zusätzlich fernüberwacht durch regionale Zentren zu betreiben. Die Detektion über Linienbrandmelder zumindest bei den leichten Bränden ist nicht immer verlässlich und bei LKW-Bränden kann der Ereignisort oft nicht genau angegeben werden. Durch Verkehrserfassungen, wobei im Moment offen gelassen wird, ob das durch Induktionsschleifen oder durch Radarüberwachung, Laserdetektion oder vielleicht künftig durch eine Videoerfassung geschehen sollte, könnte man hier in Zukunft wesentliche Verbesserungen schaffen.

Sämtliche Nationalstrassen in der Schweiz werden über 44 Zentren rund um die Uhr überwacht. Verkehrsmeldungen können jederzeit über Radiofrequenzen

abgesetzt werden. Die Sendungen werden unterbrochen und Polizei oder Tunnelwarte haben die Möglichkeit einzusprechen. An der Entwicklung von Fahrzeuginformationssystemen wird in der Schweiz zur Zeit gearbeitet.

In Frankreich werden größere Tunnel rund um die Uhr bewacht. Eine einheitliche UKW-Radiofrequenz von 107,7 MHz dient auf allen Autobahnen zur Information der Fahrzeuglenker. Längere Tunnel haben 4 bis 5 unterschiedliche Funkmöglichkeiten.

Zentrale Warten sind in Österreich durch mindestens 1 Person rund um die Uhr besetzt.

Aus Sicht der Feuerwehr ist die Information aus dem Tunnel ein ganz wichtiges Führungselement, sowohl für die Feuerwache und die Evakuierungsmaßnahmen, die sie einleiten muss, als auch für die Einsatzkräfte, die dann spätestens nach 20 Minuten an der Einsatzstelle sein sollten.

#### **5.4.8 Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse**

Mögliche Verbesserungen der Sicherheit in Straßentunneln lassen sich in die folgenden 4 Themenbereiche einteilen:

- Fahrzeuge und ihre Lenker
- bauliche und betriebliche, verkehrliche Sicherheitsvorkehrungen
- Information/ Kommunikation Betreiber/Nutzer
- Information/ Kommunikation Betreiber/Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste

Zusammenfassend können nachfolgende Diskussionsergebnisse wie folgt den Themenbereichen zugeordnet werden:

- (1) Fahrzeuge und ihre Lenker
  - Gefahrguttransporte: Einführung von Tunnelkategorien
  - Kein genereller Ausschluss bestimmter Güter von der Tunnelnutzung
  - Messung aller relevanter Fahrzeugdaten
  - Verwendung schwer entflammbarer Materialien
  - Mitführung von Feuerlöschsystemen

- Überwachung der Geschwindigkeit, der Abstände und der Lenkzeiten
- (2) Tunnelbau und -betrieb
- Verbesserung der Früherkennung von Ereignissen (z. B. Brand, Unfall, Pannen ) durch Einsatz moderner Systeme
  - Europäische Harmonisierung u. a. für Querschnittsgestaltung, Signalisierung, Piktogramme
  - Bauliche Vorkehrungen (z. B. Fluchtwege, Fluchträume, Brandschutztüren, Notrufräumen, helle Fahrbahn, Stauvermeidung, Einfahrtssperre, Tunnelzentralen mit 24 h-Betrieb) sollten Vorrang vor kostenträchtiger technischer Ausrüstung (z. B. aufwendige Lüftungsanlagen mit Rauchabzug) haben.
  - Bemessungsbrandfall: LKW (30-50 MW), in Ausnahmefällen bis 100 MW
- (3) Information/ Kommunikation Betreiber/Nutzer
- Fluchtweggestaltung
  - Informationsoptimierung (z. B. Piktogramme, Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Stauwarnung, Verkehrsfunkversorgung, Informationen in das Fahrzeug, Fahrschulung, Medien)
  - Kommunikationsoptimierung (z. B. Erreichbarkeit Verkehrsteilnehmer, Einsatzdienste per Funk in allen Tunneln anstreben, Videotechnik mit digitaler Bildauswertung, Lasertechnik)
- (4) Information/ Kommunikation Betreiber/Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste
- Optimierung von Sicherheits- und Alarmplänen unter Berücksichtigung der Funktionsweise der betrieblichen Sicherheitseinrichtungen einschließlich Verkehrstechnik

## **6 Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln**

### **6.1 Vorbemerkungen**

Die bereits ergriffenen Maßnahmen für den Personenschutz im Brandfall in deutschen Bahn- und Straßentunneln besitzen schon heute ein hohes Sicherheitsniveau. Dies belegt auch die Tatsache, dass sich z. B. der letzte große Brand in einem deutschen Straßentunnel 1968 (Moorfleet) ereignet hat. Personen sind bei diesen Brand nicht zu Schaden gekommen. Brandereignisse in jüngster Zeit, die zu erheblichen Personen- und Sachschäden geführt haben (z. B. Mt. Blanc- und Tauerntunnel, Baku und Eurotunnel) waren der Anlass zu prüfen, ob der Personenschutz im Brandfall in deutschen Verkehrstunneln weiter erhöht werden kann. Aufgrund des BAST-Workshops [7] (Kapitel 5) und der Analyse der untersuchten Brandereignisse (Kapitel 4) werden Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln in den Kapiteln 6.2. bis 6.5 gegeben.

### **6.2 Brandschutz in Bahntunneln und an Schienenfahrzeugen**

#### **6.2.1 Bauliche Maßnahmen in Bahntunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall**

Der Personenschutz in Bahntunneln kann möglicherweise durch folgende Maßnahmen zum vorbeugenden baulichen Brandschutz weiter verbessert werden:

(1) Verbesserung der Fluchtmöglichkeiten durch den Bau von Querschlägen zwischen parallelen Tunnelröhren

a) Fernbahntunnel

Für zweigleisige Fernbahnstrecken mit einem uneingeschränkten Mischbetrieb von Reise- und Güterzügen ist derzeit bereits vorgesehen, neue Tunnelbauwerke mit einer Länge ab 1.000 m als zwei parallele, eingleisige Tunnel auszuführen. In diesem Falle sollen beide



Röhren durch Querschläge miteinander verbunden werden, die dabei als Fluchtwege für Fahrgäste und Zugangswege für Rettungsdienste dienen. Ferner muss die Fahrbahn bei solchen Tunneln mit Straßenfahrzeugen befahrbar sein [5].

Zukünftig sollten generell für alle neuen Fernbahntunnel mit einer Länge ab 500 m unabhängig von der Betriebsart zwei parallele Tunnelröhren vorgesehen werden. Ferner sollte für sehr lange ältere Tunnelbauwerke geprüft werden, ob in diesen Fällen der Bau einer zweiten parallelen Tunnelröhre sinnvoll ist, um auch in diesen Tunneln den Sicherheitsstandard anzuheben.

Weiterhin sollte geprüft werden, ob bei Fernbahnen ergänzend die Fluchtweglänge (derzeit 500 m) verkürzt werden kann, so dass der Bau von Querschlägen bereits in Tunneln mit einer Länge ab z. B. 500 m erfolgen kann.

b) Nahverkehrstunnel

Bei Nahverkehrstunneln sollte ebenfalls der Bau von Querschlägen als zusätzliche Fluchtmöglichkeit geprüft werden, wenn zwei eingleisige, parallel geführte Tunnelröhren geplant werden. Sind bereits zwei eingleisige, parallel geführte Tunnel vorhanden, so sollte geprüft werden, ob der Sicherheitsstandard durch den nachträglichen Einbau von Querschlägen angehoben werden kann.

(2) Sprinkleranlagen in Abstell- und Kehranlagen

In der Öffentlichkeit wird häufig der Bau von Sprinkleranlagen gefordert. Bisher ist jedoch kein Einsatz von Sprinklern in Streckentunneln für Schienenfahrzeuge vorgesehen, da u. a. folgende Nachteile bestehen:

- a) Kurzschlussgefahr durch den Wasserdampf, solange die Fahrspannung nicht abgeschaltet wurde.
- b) Abschalten der Fahrspannung kann zum Halt des Zuges im Tunnel führen und so die Rettungsmöglichkeiten für die Reisenden behindern.

- c) Möglichkeit zusätzlicher Brandgefahren bei Gefahrgut-Bränden auf Güterzügen, wenn ungeeignete Flüssigkeiten versprüht werden (z. B. Aufschwimmen brennender Flüssigkeiten).
- d) Wenn Sprinkler aktiviert worden sind, dann versprühen sie weiterhin Wasser, auch wenn der brennende Zug bereits weitergefahren ist. Dadurch wird unnötig Löschwasser verbraucht.
- e) Wirksamkeit bei Entstehungsbränden in geschlossenen Fahrzeugen ist nicht gegeben
- f) Wasserleitungen zu den Sprinklern können im Winter einfrieren. Ein geeigneter Frostschutz ist daher erforderlich.

In unterirdischen Abstell- und Kehranlagen jedoch sollten die mit größeren Löschwassermengen arbeitenden Sprühflutanlagen eingesetzt werden. Die Gefahr besteht nämlich sonst in diesem Bereich, dass mehrere Zuggarnituren durch einen Brand zerstört werden, weil die Züge hier eng zusammenstehen. Durch Sprühflutanlagen könnte eventuell ein Feuerübersprung verhindert werden.

### (3) Heißläufer-Ortungsanlagen (Fernbahn)

Bei Heißläufer-Ortungsanlagen handelt es sich um stationär an den Bahnstrecken installierte Messeinrichtungen zur berührungslosen Temperaturmessung an Radsatzlagern, Radreifen und Bremsen vorbeifahrender Züge. Damit können z. B. Defekte an Schienenfahrzeugen, wie heißgelaufene Bremsen und Radsatzlager, erkannt werden. Diese Defekte lösten in ca. 60 % der untersuchten Fälle Brände in Bahntunneln aus. So führte z. B. ein heißgelaufenes und blockierendes Lager zur Entgleisung und zum Brand von Kesselwagen im englischen Summit-Tunnel (Kap. 3, Brand F1). Auch bei Güterwagen mit Holzböden können heißlaufbedingte Achsbrüche dazu führen, dass die glühendheiße Radscheibe in den Wagenboden eindringt und diesen entzündet.

Gemäß Rili Modul 819.1601 der DB Netz AG wird das Kernnetz mit HOA/FBOA (Heißläufer-/Festbremsortungsanlagen) ausgestattet. Die Abstände der Heißläufer-Ortungsanlagen betragen an Strecken, die mit einer

Geschwindigkeit größer 200 km/h befahren werden 30 bis 35 km, an den übrigen Strecken 40 bis 70 km.

Technisch bedingt liegt die Alarmschwelle derzeit bei einer Temperaturdifferenz von 65 °C zwischen den beiden Achslagern einer Achse bzw. 100 °C zur umgebenden Luft. Es sollte untersucht werden, ob durch eine Verbesserung der Heißläufer-Ortungsanlagen z. B. hinsichtlich der Temperaturmessung und der Auswertelogik die Alarmschwelle ohne Zunahme von Fehlalarmen abgesenkt werden kann.

Die HOA/FBOA soll in erster Linie Entgleisungen in Folge Achsschenkel- oder Radreifenbruchs ausschließen. Zusätzlich wird der Brandschutz erhöht. Nach den betrieblichen Regelungen der DB AG wird der Zug bei Alarmmeldung an einem definierten Signal mittels Betriebsbremsung vorsichtig angehalten, um Gefährdungen aus dem Bremsvorgang zu minimieren. Die weitere Behandlung des Zuges wird nach einer durchzuführenden Untersuchung des überhitzten Laufwerkes festgelegt. Darüber hinaus ist angestrebt, auch den Triebfahrzeugführer automatisch über die Alarmmeldung zu informieren.

(4) Verbesserungen des Brandschutzes für Kabel und Leitungen

Verschiedene Kabelbrände (z. B. Bonn, Auswärtiges Amt und Düsseldorf, Hansa-Allee) haben erhebliche Störungen des U-Bahn-Betriebes zur Folge gehabt und erhebliche Sanierungskosten verursacht (in Düsseldorf z. B. ca. 4,5 Mio. DM). Kabel und Leitungen sollten daher möglichst in abgedeckten Kabelkanälen verlegt werden. In die brandschutztechnische Sicherung sollten insbesondere Kabel und Kabelbäume im Übergangsbereich Haltestelle / Tunnel (Betriebsgang) einbezogen werden, um z. B. hier fahrlässige Brandstiftungen durch weggeworfene Zigarettenkippen an angesammeltem Unrat (Laub, Zeitungsabfälle) zu vermeiden. Weitere zu schützende Kabelabschnitte sind Trassen unter Hochbahnsteigen, die gleichzeitig als Schutzraum verwendet werden, und aufgehende Kabeltrassen zu technischen Nebenräumen. Um bei einem Kabelbrand eine Brandausbreitung entlang der Kabel und Leitungsstränge zu unterbinden („Zündschnur-Effekt“), sollten die Kabelkanäle in regelmäßigen Abständen Brandabschottungen enthalten.

Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die oben vorgeschlagenen Anregungen zur Erhöhung des Brandschutzes auch in die Praxis umgesetzt werden können.

### **6.2.2 Betriebliche Maßnahmen in Bahntunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall**

Der Personenschutz in Bahntunneln kann möglicherweise durch folgende Maßnahmen des betrieblichen Brandschutzes weiter verbessert werden:

(1) Verbesserung der Maßnahmen zur Vermeidung von Brandstiftungen

Die Analyse der Brandursachen im Bereich der U-, S- und Stadtbahnen ergab, dass Brände häufig durch Brandstiftung ausgelöst werden (17 von 45 untersuchten Brandereignissen, Tabelle 4/1).

Um die Brandstiftungen bzw. deren Auswirkungen zu bekämpfen, wird vorgeschlagen die Video-Überwachung von Haltestellen und in Fahrzeugen zu verstärken. Die Video-Aufzeichnungen sollten für ein bis zwei Tage aufbewahrt werden, um bei einem Brandereignis auch nachträglich noch die Möglichkeit zu haben, Brandstifter zu identifizieren. Hier können z. B. die Erfahrungen aus einem zur Zeit bei den Kölner Verkehrsbetrieben laufenden Projekt genutzt werden, bei dem auch Video-Aufzeichnungen in den Fahrzeugen gemacht werden, um Vandalismus und kriminelle Handlungen gegen Fahrgäste zu bekämpfen.

Inneneinrichtungen von U-,S- und Stadtbahnwagen sind so übersichtlich zu gestalten, dass schlecht einsehbare Bereiche vermieden werden. Ein „ungestörtes Zündeln“ von Brandstiftern wird damit erschwert.

(2) Verbesserung des Brandschutzes in Haltestellen

a) Freihaltung der Fluchtwege

Bahnsteigbereiche und Zwischengeschosse in Haltestellen werden zunehmend auch für die Einrichtung von Verkaufsständen genutzt. Dabei ist sicherzustellen, dass Personenströme bei einer Evakuierung nicht behindert werden.

## b) Verringerung von Brandgefahren

## - Verkaufsstände

Verkaufsstände enthalten nennenswerte Brandlasten (z. B. Imbiss-Kioske) und sollten daher durch eigene Feuerlöscheinrichtungen (z. B. Sprinkler) geschützt werden.

## - Materialien für Wartung und Instandhaltung

Für Wartung und Instandhaltung eingesetzte Fremdfirmen müssen angewiesen werden, brennbare Materialien, wie z. B. Reinigungsmittel oder technische Gase für Schweißarbeiten nicht in unterirdischen Haltestellen zu lagern.

## c) Eindämmung von Behälterbränden in unterirdischen Haltestellen

## - Papierkörbe

Für die Verwendung in unterirdischen Haltestellen wurden Papierkörbe mit einem äußeren Niromantel und einem inneren, zur Reinigung herausnehmbaren preiswerten Stahlbehälter entwickelt und z. B. in Hamburg eingesetzt [7].

Bei einem Brand des Papierkorb-Inhaltes verhindert der Metallmantel im Gegensatz zu einem reinen Kunststoffpapierkorb die Ausbreitung des Brandes auf die Umgebung. Es sollte geprüft werden, ob Papierkörbe mit vergleichbaren brandbegrenzenden Eigenschaften auch bei anderen Verkehrsbetrieben eingesetzt werden können. Alternativ sollte – wenn möglich – auf Papierkörbe in Tunnelanlagen weitestgehend verzichtet werden.

## - Zeitungsbehälter

Zeitungsbehälter in unterirdischen Verkehrsanlagen sollten aus nicht brennbarem Material hergestellt sein. Ferner sollten sich die Kästen nach einer Zeitungsentnahme immer selbsttätig schließen, um zu verhindern, dass im Brandfall ungehindert Sauerstoff an das brennende Material gelangen kann.

## (3) Verbesserung der Tunnelreinigung

In den Tunnelanlagen insbesondere des Nahverkehrs können sich z. B. in Haltestellenbereichen, im Bereich von Kabeln und an den Tunnelportalen

Ansammlungen von brennbarem Unrat (u. a. Zeitungsreste, Laub) bilden. Diese Bereiche sollten verstärkt kontrolliert und gereinigt werden, um Brände zu vermeiden. Bei einem großen Anfall von Unrat sollte der Einsatz maschineller Reinigungsverfahren wie. z. B. ein Staubsauger-Zug (U-Bahn München) geprüft werden.

(4) Verbesserung der Fahrgast-Information

Die Information der Fahrgäste über Sicherheitseinrichtungen und Brandschutzmaßnahmen in Fahrzeugen und unterirdischen Haltestellen sollte ausgeweitet werden. Neben der Herausgabe von z. B. Broschüren oder Betriebszeitungen können auch die neuen großflächigen Anzeigesysteme in Haltestellen genutzt werden, um die Fahrgäste über z. B. Betriebsstörungen zu informieren.

Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die oben vorgeschlagenen Anregungen zur Erhöhung des Brandschutzes auch in die Praxis umgesetzt werden können.

### **6.2.3 Betriebliche Maßnahmen an Schienenfahrzeugen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall**

Der Personenschutz kann möglicherweise durch folgende Brandschutzmaßnahmen an Schienenfahrzeugen weiter verbessert werden:

(1) Verbesserung der frühzeitigen Erkennung von Fahrzeugdefekten

Von den untersuchten Bränden (Kapitel 4) an Schienenfahrzeugen wurden 27 Brände (ca. 48 %) durch technische Defekte an den Fahrzeugen ausgelöst. Hiervon entfielen ca. 80 % auf Fernbahn-Fahrzeuge und ca. 40 % auf Nahverkehrszüge (jeweils bezogen auf die Gesamtanzahl der untersuchten Brände in Fernbahntunneln bzw. Nahverkehrstunneln) (Bild 4/1). Einige Defekte, wie z. B. schadhafte Radlager oder Schäden an einer Transformatorwicklung, führten vor dem Ausbruch eines Brandes zunächst zu einer Aufheizung der betreffenden Fahrzeugteile.

Durch diese Aufheizungen sind Möglichkeiten zur Früherkennung von Brandgefahren gegeben, wie z. B. durch die Montage von Temperatursensoren:

- a) Durch den Einbau von Temperaturfühlern an ausgewählten Fahrzeugkomponenten kann deren Temperatur überwacht werden. Überhitzungen, wie z. B. des Transformators in einem S-Bahntriebwagen in München (Kapitel 3, Brand U 39) könnten so künftig rechtzeitig erkannt werden, um einen Brandausbruch zu verhindern. Durch die Zuordnung der Fühler zu bestimmten Fahrzeugteilen (z. B. Transformatoren, Elektronik-Container) kann ferner der Ort des Defektes am Fahrzeug schnell festgestellt werden.
  - b) Für die Waggon zum Transport von Gütern werden zur Zeit Infrarotsensoren erprobt, die eine Früherkennung von z. B. LKW-Bränden im Kanal-Tunnel ermöglichen sollen [90].
  - c) Erforderlich sind robuste Systeme mit geringen Montage- und Wartungskosten und einer geringen Anfälligkeit für Fehlalarme.
- (2) Ergänzung der Notbremsüberbrückung durch Sprechverbindungen

Durch das System der Notbremsüberbrückung [110, 111] wird sichergestellt, dass Züge nicht in Tunnelstrecken, sondern nur an für Lösch- und Rettungsmaßnahmen geeigneten Orten (im Freien, in Haltestellen) zum Stehen kommen. Entsprechende technische Einrichtungen an den Fahrzeugen werden sowohl in der BOStrab als auch in der EBA-Richtlinie gefordert. In der EBA-Richtlinie sind Notbremsüberbrückungen jedoch nur dann erforderlich, wenn Tunnel mit Längen ab 1000 m befahren werden.

In neueren und nachgerüsteten Nahverkehrsschienenfahrzeugen können Fahrgäste den Fahrzeugführer über Sprechverbindungen, die im Türbereich installiert sind, zur Notbremsung auffordern [113]. Sprechverbindungen haben den Vorteil, dass der Fahrer auch über die Ursache der gewünschten Notbremsung informiert wird und dadurch z. B. sofort über die Leitzentrale gezielt Hilfsmaßnahmen veranlassen kann. Es wird vorgeschlagen, diese Sprechverbindung generell in Nahverkehrszügen einzuführen. Bei Neufahrzeugen ist dies bereits Standard.

Bei der Fernbahn wird die Notbremsüberbrückung wie folgt gehandhabt:  
Bei Bedienung der Notbremse wird der Zug sofort gebremst und der  
Triebfahrzeugführer zusätzlich optisch und akustisch alarmiert.

Aufgrund der speziellen Signalisierung an der Strecke ist für den Triebfahrzeugführer erkennbar, ob er die Notbremse überbrücken muss oder nicht.  
Bei notwendiger Überbrückung schließt er das Notbremsventil über einen elektromagnetischen Schalter und setzt die Fahrt fort, um den Zug anschließend mit einer Vollbremsung außerhalb des Tunnels anzuhalten. Ist die Überbrückung der Notbremse nicht erforderlich, so soll er die eingeleitete Notbremsung durch Vollbremsung unterstützen.

In jedem Fall unterrichtet er die betriebsüberwachende Stelle über Zugfunk (Notruf).

(3) Weitere Reduzierung der Brandlast von Fahrzeugen

In den vergangenen Jahren wurde in Deutschland die Brandlast von Zügen für den Personen-Fern- und -Nahverkehr mit der Einführung neuer Fahrzeuggenerationen und der Aufarbeitung älterer Fahrzeuge stetig verringert [7]. Dazu hat unter anderem die Einführung der DIN 5510 „Brandschutz an Schienenfahrzeugen“ [73] beigetragen, in der z. B. die Verwendung schwer entflammbarer Materialien und eine brandhemmende Aufteilung des Fahrgastraumes gefordert werden. Bei modernen U-, S- und Stadtbahn-Fahrzeugen beträgt der Anteil der Brandlasten am Gesamtgewicht der Fahrzeuge mittlerweile weniger als 5 %. Durch eine weitere brandschutztechnische Optimierung der Fahrzeugkonstruktion und der Ausstattungsmaterialien kann die Brandlast der Fahrzeuge auch in der Zukunft noch weiter reduziert werden. Dies gilt auch für Güterwaggons, die teilweise noch mit Holzböden ausgestattet sind.

Für das Netz der Deutschen Bahn AG ist jedoch zu beachten, dass infolge der EU-Forderung nach einem diskriminierungsfreiem Zugang zum Bahnnetz die Zahl der Fahrzeuge anderer europäischer Bahnen im Netz der DB stetig zunimmt. Diese Fahrzeuge haben teilweise höhere Brandlasten als deutsche Fahrzeuge. Dies Problem wird sich nach Inkrafttreten der EN 45 545 verringern.



Vorteilhaft bei der Verringerung der Brandlast ist, dass im Brandfall auch die Hitzeentwicklung vermindert wird. Dadurch ist zu erwarten, dass die Rettungsmöglichkeiten für Reisende verbessert, die Schäden an der Tunnelauskleidung geringer ausfallen und die Feuerwehrleute vor Ort nicht über längere Zeit hohen Temperaturen ausgesetzt sind.

- (4) Vermehrter Einsatz von automatischen Löschanlagen in Schienenfahrzeugen
- a) Automatische Löschanlagen im Unterflurbereich
- Bei den modernen U-, S- und Stadtbahnfahrzeugen sowie den neuen Fahrzeugen des Fernverkehrs (z. B. ICE 3, ICE-T) sind wesentliche Komponenten der elektrischen Anlagen aus der Fahrgastzelle in den Unterflurbereich der Fahrzeuge verlagert worden. Entstehungsbrände in diesem Fahrzeugbereich sind nur schwer auszumachen (gegebenenfalls durch eine Temperaturüberwachung, vgl. Punkt 1) und zu bekämpfen (vgl. Kapitel 3, Brand U 14: U-Bahn Wien, Karlsplatz). Wenn sich die elektrischen Anlagenteile in geschlossenen Containern befinden, so könnten z. B. Entstehungsbrände mit Löschgasen bekämpft werden. Hierzu ist es erforderlich, diese Container mit automatischen Löscheinrichtungen ausstatten. Im Vorfeld sind die Einsatzmöglichkeiten bzw. die Wirksamkeit zu untersuchen.
- b) Sprinkler in Fahrgasträumen von Schienenfahrzeugen
- Sprinkleranlagen in Fahrgasträumen von Schienenfahrzeugen sprechen in der Entstehungsphase eines Brandes an und können so z. B. die Auswirkungen einer Brandstiftung oder aber auch von Fahrzeugdefekten (z. B. Heizlüfterbrand) verringern. Nachteilig ist aber die Möglichkeit einer missbräuchlichen Auslösung mit z. B. Feuerzeugen. Es sind Sprinklerflüssigkeiten verfügbar, die brandschutztechnisch, hygienisch und korrosionsmäßig unbedenklich sind. Die Zusatzkosten für Sprinkleranlagen umfassen Kosten für Rohrleitungen, Sprinklerdüsen, Flüssigkeitstanks, Flüssigkeit sowie Brandmelder und betragen z. B. für Nahverkehrsfahrzeuge ca. 10.000,- DM pro Wagen. Verschiedentlich werden Sprinkleranlagen in ein Brandschutzkonzept einbezogen. So verfügt z. B. die Hamburger Hochbahn AG über mit

Sprinkleranlagen ausgestattete Fahrzeuge. Ferner lässt zur Zeit die Stadt Barcelona (Spanien) Nahverkehrsschienenfahrzeuge mit Sprinkleranlagen ausstatten [7].

Die technische Entwicklung bei den fahrzeugseitigen Brandschutzmassnahmen (z. B. Materialauswahl) und den Fahrbetrieb (z. B. Notbremsüberbrückung, Videoüberwachung) hat in Deutschland jedoch dazu geführt, dass in Nahverkehrsfahrzeugen und Reisezugwagen für den Fernbahnverkehr in der Regel keine Sprinkleranlagen in Fahrgasträumen erforderlich sind.

Der Einsatz von Sprinkleranlagen in besonderen Waggonen, wie z. B. in Speisewagen, sollte jedoch geprüft werden. Ferner besteht Untersuchungsbedarf, inwieweit Sprinkleranlagen zu einer Verlängerung der für eine Selbstrettung der Fahrgäste verfügbaren Zeit beitragen können.

c) Sprinkler in Güterzügen

Für den LKW-Transport im Kanaltunnel wird zur Zeit geprüft, ob die speziellen Güterwaggonen des Kanal-Tunnels mit Sprinkleranlagen ausgestattet werden sollten [90]. Dabei wird u. a. untersucht, ob Brände so lange unter Kontrolle gehalten werden können, bis der Güterzug den Kanaltunnel verlassen hat oder bis er von der über den Servicetunnel anrückenden Feuerwehr erreicht wird.

Klärungsbedarf besteht auch beim Einsatz von Sprinklern bei Gefahrgut-Transporten. Ungeeignete Sprinkler-Flüssigkeiten könnten z. B. einen Brand zusätzlich anfachen.

Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die oben vorgeschlagenen Anregungen zur Erhöhung des Brandschutzes auch in die Praxis umgesetzt werden können.

## **6.3 Brandschutz in Straßentunneln und an Straßenfahrzeugen**

### **6.3.1 Risikobetrachtungen für Straßentunnel**

Gemäß dem Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter sind Stoffe und Gegenstände, von denen im Zusammenhang mit ihrem Transport Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung ausgehen können, als Gefahrgut anzusehen.

Zu den Gefahrgütern zählen unter anderem Explosivstoffe, Gase (auch verflüssigt), entzündbare und selbstentzündliche Stoffe (z. B. Benzin), Stoffe, die z. B. in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln und Stoffe, die giftig, ansteckungsgefährlich, radioaktiv oder ätzend sind [74]. Der Transport dieser Stoffe auf öffentlichen Straßen ist in der Gefahrgut-Verordnung Straße (GGVS) geregelt.

Mit dieser Verordnung wurden u. a. internationale Vereinbarungen zu Gefahrgut-Transporten (European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road, ADR, [74]) in deutsches Recht übernommen. Sie enthält u. a. Definitionen von Gefahrgutklassen, Vorschriften für den Transport und Angaben zu Stoffeigenschaften, die z. B. von der Feuerwehr im Brandfall zur Festlegung von Löschmaßnahmen benötigt werden. Zu den Transportbestimmungen zählen auch Durchfahrtsbeschränkungen für einige deutsche Tunnel wie z. B. den Elbtunnel [75]. Die Analyse der Risiken von Gefahrgut-Transporten durch Straßentunnel wurden bisher kaum quantitativ sondern eher nur qualitativ geführt. Deshalb werden zur Zeit in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe von PIARC und OECD mögliche quantitative Risikomodelle untersucht [81]. Nachfolgend sollen mögliche Entscheidungsmodelle erarbeitet werden, um die Frage zu klären, ob Gefahrguttransporte durch Straßentunnel ohne Einschränkungen, mit Einschränkungen oder überhaupt nicht zugelassen werden sollten.

Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe sollen vollständig bis zum Ende des Jahres 2000 vorliegen. Zwischenergebnisse beziehen sich u. a. auf Frachtgutgruppierungen für Tunneldurchfahrten. Wesentliche Kriterien bei der Zusammenstellung dieser Gruppen waren [81]:

- (1) Möglichkeit großer Explosionen,
- (2) Freisetzung großer Mengen toxischer Gase
- (3) Möglichkeit von Großbränden.

Da Großbrände auch ohne Beteiligung von klassischen Gefahrgütern bei Tunneln zu erheblichen Personen- und Bauwerksschäden geführt haben, wurde von der Arbeitsgruppe geprüft, ob für Tunneldurchfahrten der Begriff Gefahrgut anders als für die freie Strecke definiert werden muss, damit eine klarere Risikoabschätzung möglich wird. Wo der Begriff Gefahrgut gemäss der Gefahrgutverordnung für Tunneltransporte nicht mehr zutrifft, wird eine Beurteilung des Risikos jedoch wesentlich schwieriger. Dies ist bei vielfältigen Frachten der Fall, so z. B. bei der Beförderung von Kunststoffprodukten, Holz und einer ganzen Reihe anderer Stoffe, die hohe Brandlasten oder toxische Rauchgase entwickeln können [7]. Gerade im Tunnel, das hat sich auch bei den jüngsten Brandereignissen, z. B. im Mont-Blanc-Tunnel, gezeigt, können Kombinationen von Stoffen, die sich einzeln als absolut ungefährlich einstufen lassen, eine herausragende Rolle für die Brandentwicklung spielen. Gefahrgüter und Frachten mit hohen Brandlasten sollten aber nicht generell von einem Transport durch Tunnel ausgeschlossen werden.

Angesichts des Gefahrenpotentials einiger Frachten ist es aber auch nicht möglich, in jedem Fall Tunnel ohne Einschränkungen für die Durchfahrt von Gefahrgut-Transportern freizugeben. Das Risiko für den Tunnel muss möglichst klein gehalten werden. Bei einer Risiko-Abschätzung müssen Strecken mit und ohne Tunnel gegenübergestellt werden und unter anderem folgende wichtige Faktoren berücksichtigt werden:

- (1) Gefahrgüter bzw. hohe Brandlasten

Gefahrgüter sollen nicht generell von einem Transport durch Straßentunnel ausgeschlossen werden (Kapitel 5.4.1.2). Es muss jedoch jeweils durch eine Risikoanalyse geklärt werden, welche Gefahrgüter und in welchem Umfang Gefahrgüter durch den Tunnel transportiert werden dürfen. Diese Analyse muss Risiken auf etwaigen Umfahrestrecken (z. B. Wohnbebauung, Brücken) einschließen. Mittels der Stoffeigenschaften der Transportgüter ist bei der Analyse zunächst festzulegen, welche Frachten den

Tunnel passieren dürfen, z. B. unter Verwendung der Frachtgutgruppen nach PIARC/ OECD. Ferner sind die transportierten Mengen und die Häufigkeit der Transporte zu berücksichtigen. Außerdem sind eventuelle Sicherheitsmaßnahmen bei der Durchfahrt durch den Tunnel zu beachten (z. B. Durchfahrt nur mit Begleitfahrzeugen).

Sind Durchfahrt-Beschränkungen für den Tunnel vorgesehen, so muss geprüft werden, wie diese Beschränkungen überwacht und eventuelle Verstöße geahndet werden sollen. Durchfahrt-Beschränkungen können sein:

- a) Generelle Sperrung des Tunnels für Gefahrgüter bzw. Sperrung für bestimmte Gefahrgüter
- b) Beschränkung auf bestimmte Durchfahrt-Zeiten, wie z. B. im Elbtunnel, in dem Gefahrguttransporte nur in verkehrsarmen Zeiten in der Nacht zugelassen sind.
- c) Durchfahrterlaubnis nur, wenn Begleitfahrzeuge den Transport sichern (z. B. neuerdings in österreichischen Tunneln mit Gegenverkehr und einer Länge über 1.000 m wie z. B. dem Tauern-Tunnel)
- d) Konvoi-Bildung und Durchfahrt durch den Tunnel mit Sicherung des Konvois durch Begleitfahrzeuge

Zur besseren Erkennung eines Gefahrgut-Transportes sollten die Fahrzeuge mit orangefarbenen Blitzleuchten ausgestattet sein, die während der Durchfahrt durch den Tunnel eingeschaltet werden.

Für einige deutsche Tunnel sind in der Gefahrgut-Verordnung Straße [74, 75] Durchfahrtbeschränkungen festgelegt. Bei den übrigen, dort nicht aufgeführten Tunneln, entscheidet zur Zeit die örtlich zuständige Straßenverkehrsbehörde, ob eine Durchfahrt durch einen Tunnel zulässig ist, bzw. welche Umfahrungsstrecke zu benutzen ist. Im Ausland müssen Gefahrgut-Spediteure teilweise bei den Tunnelbetreibern selbst rechtzeitig (z. B. einen Tag vorher) vor dem beabsichtigten Transport eine Durchfahrt-Genehmigung beantragen (z. B. für den St.-Bernhard-Straßentunnel). In

den USA ist die Durchfahrt von Gefahrguttransporten in Unterwassertunneln generell verboten. [7].

Eine erste Kontrolle, ob die Durchfahrtbeschränkungen eingehalten werden, kann über die Beobachtung der in Deutschland erforderlichen Beschilderung der Gefahrguttransporte erfolgen. Dabei können z. B. die Video-Kameras in den Tunneln genutzt werden. Weitergehende Maßnahmen, wie z. B. Verkehrskontrollen der Polizei vor einem Tunnelportal, erfordern Stellplätze für die zu kontrollierenden Fahrzeuge. Diese Stellplätze müssen eine Verkehrsanbindung an eine nicht durch den Tunnel führende Straße haben, damit Fahrzeuge mit nicht für die Tunneldurchfahrt zugelassenen Gefahrgütern umgeleitet werden können.

Ferner müssen diese Stellplätze zwischen dem Tunnelportal und der letzten Straßenabzweigung vor dem Tunnel liegen, denn nur so können die Fahrzeugführer ermittelt werden, die das Durchfahrverbot vorsätzlich umgehen wollten.

Durch eine Verkehrskontrolle unmittelbar im Anschluss an die Durchfahrt des Tunnels (wie z. B. derzeit am Elbtunnel) können die Gefahrgut-Fahrer zwar ermittelt, aber die Tunneldurchfahrten nicht vermieden werden.

Verstöße gegen Durchfahrverbote sollten z. B. durch empfindliche Geldbußen geahndet werden.

## (2) Gegenverkehr / Richtungsverkehr

Im Gegenverkehr betriebene Tunnel sind einem höheren Risiko ausgesetzt als im Richtungsverkehr betriebene Tunnel (z. B. Kollisionsgefahr).

## (3) Verkehrsaufkommen bzw. Verkehrsleistung im Tunnel

Statistisch betrachtet ist die Wahrscheinlichkeit von Bränden in Straßentunneln um so höher, je länger der Tunnel ist und je höher das Verkehrsaufkommen ist. Diese Abhängigkeiten sollten, wie es z. B. in Großbritannien und Japan geschieht [7], zur Verkehrsleistung (Fahrzeug-Anzahl pro Jahr multipliziert mit der Tunnelröhrenlänge) zusammengefasst werden. Dann könnte eine Abstufung des Risikos u. a. über die Verkehrsleistung erfolgen. So ist z. B. zu erwarten, dass Tunnel mit hoher Verkehrs-

leistung und/oder hohem LKW-Anteil stärker gefährdet sind als z. B. Tunnel mit geringer Verkehrsleistung.

(4) Lage des Tunnels

Die Durchfahrt von Gefahrgut-Transportern durch Unterwassertunnel ist mit einem erhöhten Risiko für das Bauwerk verbunden, weil bei einem eventuellen Versagen der Tunnelkonstruktion nach einem Gefahrgutbrand der Tunnel unter Umständen geflutet wird.

(5) Tunnelausstattung

Einrichtungen wie z. B. eine auf Brände optimal ausgelegte Lüftungsanlage einschließlich spezieller Steuerungsprogramme sowie ausreichend dimensionierte Löscheinrichtungen, optimal ausgelegte Verkehrsüberwachungsanlagen und Notrufstationen erhöhen die Sicherheit.

(6) Verkehrsregelung

Durch verkehrliche Maßnahmen, wie z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen und Mindestfahrzeugabstände (evtl. größer als auf einer freien Straße) kann das Schadensrisiko für den Tunnel vermindert werden.

Darüber hinaus kann das Risiko z. B. durch die Anlage von Standstreifen bzw. Pannengebühren, die Beleuchtung des Tunnels (Helligkeit) und die Farbgebung der Wände (Kontrast) beeinflusst werden. Für Straßentunnel mit höherem Gefährdungspotential sind entsprechend größere Maßnahmen für den Brandschutz erforderlich (Kapitel 6.3.2).

### **6.3.2 Brandschutztechnische Bemessung des Tunnelausbaus**

Für die brandschutztechnische Bemessung des Tunnelausbaus bzw. einer zusätzlichen Brandschutzbekleidung wird in Deutschland der in der ZTV-Tunnel angegebene Temperatur-Zeit-Verlauf verwendet (Bild 6/1).

Die Temperatur-Zeitkurve der ZTV-Tunnel gilt generell und unterscheidet z. B. keine Brände mit bzw. ohne Gefahrgut. In anderen europäischen Ländern we-

den folgende Zeitverläufe bei der brandschutztechnischen Bemessung des Tunnelausbaus bzw. einer zusätzlichen Brandschutzbekleidung verwendet:

(1) RWS-Kurve

a) Niederlande

Die RWS-Kurve wurde in den Niederlanden von der für den Betrieb der Tunnel zuständigen Behörde, dem Rijkswaterstaat, entwickelt. Sie gilt für Tunnel, die von Gefahrguttransporten passiert werden dürfen. Gegenüber dem Bemessungsbrand der ZTV-Tunnel geht die RWS-Kurve von einer erhöhten und länger andauernden Temperaturbelastung des Tunnelausbaus aus (bis ca. 1.350 °C, Bild 6/1, [84 bis 86]).

b) Schweden

In Schweden wird die RWS-Kurve für die Bemessung des Brandschutzes der Tunnelauskleidung zugrunde gelegt, wenn Gefahrguttransporte durch einen Unterwassertunnel oder durch Tunnel mit einer geringen Überdeckung zur Überbauung zugelassen werden sollen [87].

(2) Hydrocarbon-(HC-)Kurve

a) Schweden

Soweit es sich nicht um die unter Punkt 1 genannten Tunnel handelt, wird in Schweden für die Dimensionierung des Brandschutzes der Tunnelauskleidung die Hydrocarbon-Kurve mit einer Maximaltemperatur von 1.100 °C verwendet (Bild 6/1, [87, 89]). Sie gilt hier auch für Gefahrgutbrände. Die Art des Gefahrgutes wird über die Dauer des Brandes berücksichtigt (mindestens 60 Minuten, maximal 180 Minuten).

b) Frankreich

In Frankreich darf die Hydrocarbon-Kurve nur dann für die Dimensionierung des Brandschutzes der Tunnelauskleidung verwendet werden, wenn von einem Brandszenario mit einem sich schnell entwi-



ckelnden Brand ausgegangen werden kann, an dem kein Gefahrgut beteiligt ist [88].

(3) Angehobene Hydrocarbon-Kurve

In Frankreich wurde bei der Festlegung von Bemessungsbränden für den Brandschutz von Tunnelauskleidungen auch die Abbrandgeschwindigkeit von Gefahrgütern berücksichtigt [83]. Ist bei einem Tunnel von einem schnellen Vollbrand des Gefahrgutes auszugehen, so wird eine Hydrocarbon-Kurve mit einer Maximal-Temperatur von 1.300 °C verwendet (Bild 6/1). Besondere Brandsituationen werden über die Dauer der maximalen Temperaturbelastung erfasst (z. B. 90 Minuten bei 1.300 °C für oberflächennahe, überbaute Tunnel; 120 Minuten bei 1.300 °C für Untertunnel).

(4) ETK-Kurve

Die ETK-Kurve wird in Frankreich verwendet (Bild 6/1, [83]), wenn der betrachtete Tunnel nur von solchen Gefahrgütern passiert werden darf, bei denen sich im Brandfall nur langsam ein Vollbrand entwickeln kann. Auch hier werden besondere Situationen über die Dauer der maximalen Temperaturbelastung erfasst.

In Deutschland müssen die Brandschutzbekleidungen den Anforderungen der ZTV-Tunnel [4] entsprechen. Brandschutzbekleidungen für zweischalige Tunnel in geschlossener Bauweise und Tunnel in offener Bauweise sind in der Regel nicht erforderlich. Belegt ist dies durch zwei Forschungsarbeiten des Institutes für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig. Brandschutzbekleidungen wurden in Deutschland i. d.R. nur bei einschaligen Tunnelkonstruktionen unter Gewässern vorgesehen (Wesertunnel, Elbtunnel).

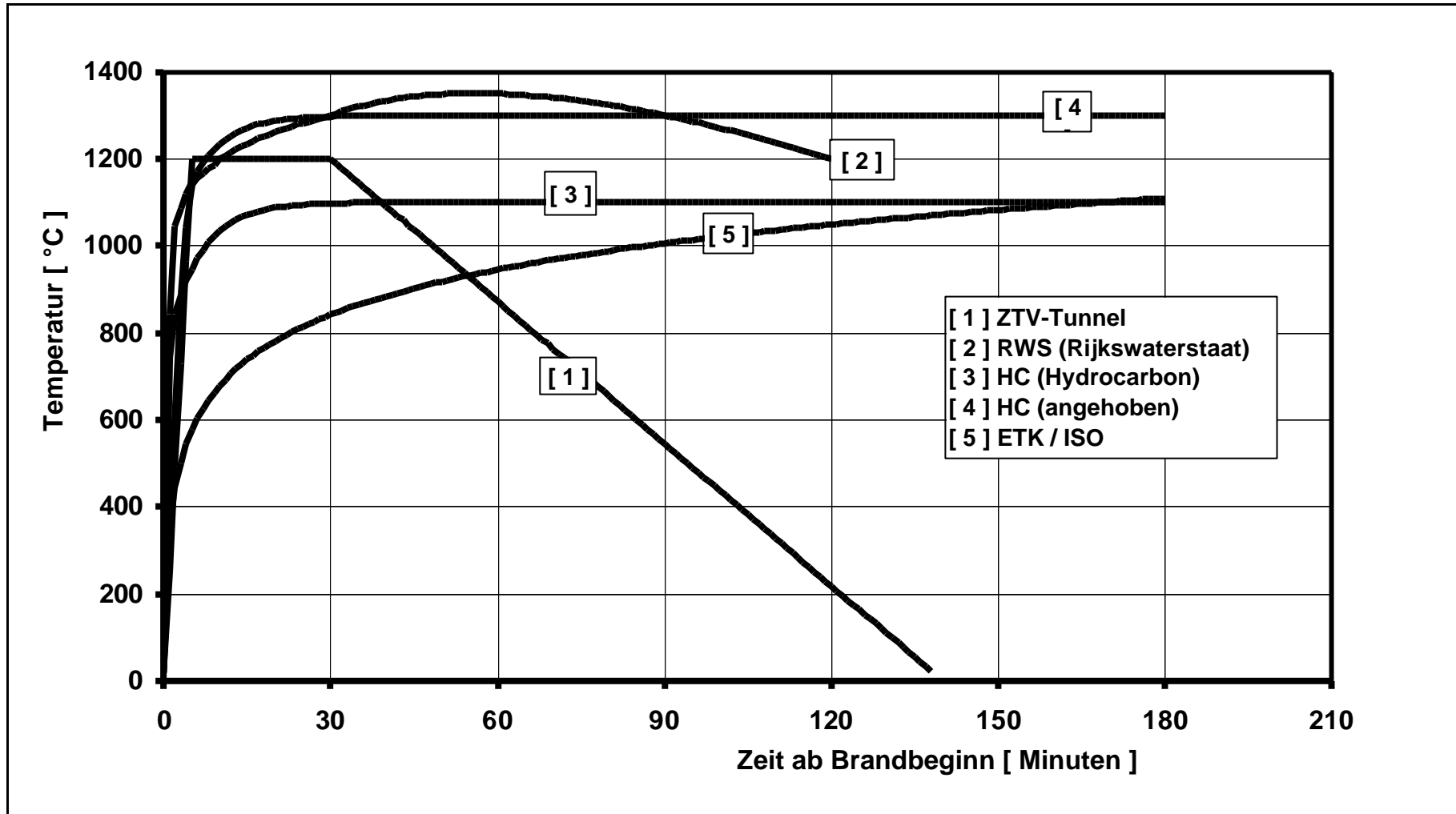


Bild 6/1: Festlegungen zu Temperatur-Zeit-Verläufen von Bemessungsbränden für den tragenden Ausbau von Straßentunneln [4, 83 bis 89]

### 6.3.3 Bauliche Maßnahmen in Straßentunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall

Der Personenschutz in Straßentunneln kann durch folgende Maßnahmen zum vorbeugenden baulichen Brandschutz weiter verbessert werden:

#### (1) Verbesserung der Fluchtwegsysteme

Bei zwei parallelen Tunnelröhren im Richtungsverkehr sollte geprüft werden, ob kostengünstig Querschläge in geringerem Abstand voneinander angeordnet werden können, die im Brandfall als Fluchtwege für die Tunnelnutzer und als Zugangswege für die Feuerwehr zum Brandort genutzt werden können. Bei der Anlage von Querschlägen muss jedoch sichergestellt sein, dass Fliehende nicht durch den Verkehr in der Nachbarröhre gefährdet werden. Ferner muss eine Verrauchung der nicht vom Brand betroffenen Tunnelröhre verhindert werden. Dazu müssen die Röhren durch Brandschutztüren in den Querschlägen rauchdicht und feuerhemmend voneinander getrennt werden [7].

Fluchtstollen erhöhen den Sicherheitsstandard von im Gegenverkehr betriebenen Tunneln erheblich. Daher sollte bei Gegenverkehrstunneln überprüft werden, ob Fluchtstollen angelegt werden sollten. Nur in begründeten Ausnahmefällen sollte auf solche Fluchtstollen verzichtet werden. Dies ist mit quantitativen Risikoanalysen zu belegen.

In Europa gibt es Spannweiten bei den Abständen von Notausgängen von 200 m bis 400 m und mehr, je nachdem wie die Einflussfaktoren interpretiert werden. In Frankreich wird z. B. unterschieden zwischen innerstädtischen und außerstädtischen Tunnelanlagen mit Abständen der Notausgänge von 200 m für innerstädtische Tunnel mit Stau und 400 m für außerstädtische Tunnel mit geringem Verkehrsaufkommen [7]. In der RABT [3] ist ein Abstand von 350 m zwischen den einzelnen Notausgängen festgelegt. Bisher sind nach der RABT [3] in Tunneln mit einer Länge ab 700 m Fluchtwege vorzusehen.

Durch die Verkürzung des Abstands der Notausgänge untereinander können hohe Baukosten entstehen wie z. B. bei Unterwasser-Tunneln. Hier

sollte geprüft werden, ob kostengünstigere Sonderlösungen für den Bau von Fluchtwegen möglich sind. Bei geeigneten Tunneln, wie z. B. mit Kreisquerschnitten bei Schildvortrieben, kann u.U. der Raum unter der Fahrbahn als Fluchtweg ausgebaut werden, wie z. B. bei einem Unterwasertunnel in Tokio [7].

Alternativ sollten auch größere Notausgangsabstände möglich sein, wenn durch andere Maßnahmen, wie z. B. Lüftung, sichergestellt werden kann, dass fliehende Tunnelnutzer in einen rauchfreien Tunnelabschnitt gelangen können.

## (2) Standstreifen, Pannenbuchten

Wenn defekte Fahrzeuge auf Standstreifen bzw. in Pannenbuchten ausweichen können, kann ein Fahrzeugstau und ein hierdurch eventuell verursachter Auffahrunfall mit Brandfolge vermieden werden. Ferner können z. B. Wartungsarbeiten von Standstreifen aus durchgeführt werden, ohne den Verkehr im Tunnel nennenswert zu behindern.

Bei neuen Tunneln mit hohem Gefährdungspotential sollte daher geprüft werden, ob die Anlage von Standstreifen bzw. Pannenbuchten trotz erhöhter Baukosten vertretbar ist. Hinweise auf den Einfluss von Standstreifen bzw. Pannenbuchten auf die Verkehrssicherheit gibt [144].

## (3) Trennwände an Portalen

Bei parallelen Tunnelröhren wird heute schon aus Emissionsgründen durch Trennwände an den Portalen verhindert, dass schadstoffbelastete Luft in die Nachbarröhre gesaugt wird. Solche Trennwände sollten sicherstellen, dass im Brandfall an den Tunnelportalen kein Rauch aus der vom Brand betroffenen Röhre in die Nachbarröhre überströmen kann.

### 6.3.4 Betriebliche Maßnahmen in Straßentunneln zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall

Der Personenschutz in Straßentunneln kann durch folgende Maßnahmen des betrieblichen Brandschutzes weiter verbessert werden:

- (1) Optimierung der Branderkennung und Verbesserung der verkehrstechnischen Störfallerkennung

Eine schnelle Brandbekämpfung setzt eine möglichst frühzeitige Branddetektion voraus. Mit den vorhandenen Linienbrandmeldern bestehen aufgrund ihrer Auslösecharakteristik und auch den Luftströmungsverhältnissen im Tunnel teilweise Probleme, rechtzeitig Brände zu erkennen [7]. Eine Sichttrübungsmessung kann verhältnismäßig schnell ansprechen, wie eine Analyse des Mont-Blanc-Tunnel-Brandes zeigte. Da die Messgeräte in der Regel in viel zu großen Abständen installiert sind, reicht eine Sichttrübungsmessung alleine aber nicht aus.

In den vergangenen Jahren wurden erste Video-Überwachungs-Systeme entwickelt, die automatisch Störfälle (Halt einzelner Fahrzeuge, Stau, Brand) in Tunneln erkennen sollen. Dadurch soll eine zeitlich lückenlose Überwachung des Tunnels möglich sein, und es könnten u. a. Brände bereits registriert werden, noch bevor die auf z. B. Temperaturerhöhungen reagierenden Brandmelder im Tunnel ansprechen. Die digitale Bildauswertung zur Störfallerkennung ist noch in der Erprobungsphase. Sie sollte jedoch weiterentwickelt werden. Verbesserungen wären z. B. durch eine Kombination dieser modernen Videotechnik mit Sichttrübungsmessungen möglich.

Auf dem Weltstraßenkongress 1999 in Kuala Lumpur wurde auch über die Branddetektion in einem Tunnel in Melbourne in Australien berichtet. Dort wurde gefordert, dass ein Brand von einem automatischen Brandmeldesystem innerhalb von 1 ½ Minuten erkannt werden muss. Für diese Forderung genügen bisherige Linienmeldesysteme nicht mehr. Daher wurden Brandmelder auf der Basis von Glasfaser-Lichtwellenleitern entwickelt [7].

Es sollte geprüft werden, ob diese Brandmelder bereits einsatzreif sind und in Tunneln eingebaut werden können.

(2) Frühzeitige Erkennung von Fahrzeugdefekten und automatische Löschanlagen in Fahrzeugen

Viele Brände (Tabelle 4/3) werden durch überhitzte Fahrzeugkomponenten ausgelöst (z. B. Brand St. Gotthard-Tunnel). Eine schnelle Risikominderung könnte über die in Kapitel 5.4.3.2 angesprochene Wärmedetektion vor Tunneln möglich sein. Um zu vermeiden, dass Fahrzeuge mit heißgelaufenen Motoren, Achsen oder Bremsanlagen in den Tunnel einfahren, werden am Frejus-Tunnel (Frankreich) und am St. Gotthard-Tunnel (Schweiz) zur Zeit Messgeräte untersucht, mit denen erhöhte Temperaturen (z. B. an Bremsanlagen und Achsen) von außen an vorbeifahrenden Fahrzeugen erkannt werden können. Bisherige Ergebnisse sind nicht vielversprechend, da eine Vielzahl von Einflüssen vorhanden sind, die eindeutige Detektion erschweren. Es sollte vielmehr geprüft werden, ob nicht im Innern der Fahrzeuge dem Fahrer frühzeitig eindeutige Hinweise über den Zustand seines Fahrzeugs gegeben werden könnten. Erforderlich sind robuste Systeme mit geringen Montage- und Wartungskosten und einer geringen Anfälligkeit für Fehlalarme. Weiter sollte überprüft werden, ob nicht in Zukunft Gefahrguttransporte und LKW mit hohen Brandlasten obligatorisch mit automatischen Löschanlagen im Fahrzeug ausgerüstet werden sollten. Zu beachten ist jedoch, dass bei den üblichen Übergangsvorschriften in Europa, die bei der Einführung neuer Technologien in Fahrzeugen gewährt werden, erst in ca. 20 Jahren bei allen Fahrzeugen mit einer solchen Zusatzausstattung gerechnet werden kann [7].

(3) Verbesserung des Ereignismanagements

Bei Tunneln mit hohen Verkehrsleistungen sollte geprüft werden, ob eine Überwachung mit Videoeinrichtungen auch in kürzeren Tunneln erforderlich werden kann.

Insbesondere durch eine vermehrte Videokontrolle (derzeit nur in ca. 25 der etwa 160 deutschen Straßentunneln vorhanden) wäre eine schnellere Beurteilung der Situation bei z. B. Störfällen möglich.

Ferner sollte geprüft werden, ob Detektoren im Ausfahrbereich von Tunneln dort entstehende Staus erkennen und dann die sofortige Sperrung des Tunnels auslösen könnten [7].

Es sollte ferner geprüft werden, ob für Tunnel mit einer hohen Verkehrsleistung Sicherheitsbeauftragte ernannt werden sollten. In den Zuständigkeitsbereich dieser Sicherheitsbeauftragten könnten z. B. fallen:

- Aufstellen von Sicherheits- und Rettungskonzepten
- Erstellung bzw. Prüfung von Alarmplänen
- Inspektion der Tunnel im Hinblick auf Sicherheit und Brandschutz
- Koordinierung von Rettungs- und Feuerwehrübungen
- Beratung der Straßenverkehrsbehörden bei der Erteilung von Durchfahrtsgenehmigungen für Gefahrgüter
- Mitwirkung in der Einsatzleitung bei Bränden in Tunneln
- Absicherung von Baustellen und Wartungsarbeiten in Tunneln (z. B. Aufstellung von Lichtzeichenanlagen, Geschwindigkeitsbegrenzung).

- (4) Schnelle und gezielte Information und Kommunikation mit den Tunnelnutzern und wirksamere automatische Tunnelsperrung

Wegen des Verkehrslärms ist an den derzeitigen Notrufstationen in Tunneln eine Verständigung mit der Notrufzentrale nur sehr schwer möglich. Um die Verständigung zu verbessern, wird vorgeschlagen, bei neuen Tunnelprojekten schallgeschützte Notrufoptionen als Notrufstationen vorzusehen.

Bei verschiedenen Brandereignissen haben Wechsellichtzeichen am Tunnelportal Fahrzeugführer nicht davon abhalten können, auch bei einer optisch angezeigten Tunnelsperrung noch in den Tunnel einzufahren. Tunnel mit hoher Verkehrsleistung sollten daher zusätzlich mechanisch durch Schranken gesperrt werden können. Ergänzend dazu sollten möglichst auch die Zufahrten zum Tunnel gesperrt werden können [7].

(5) Schulung der Verkehrsteilnehmer

Ferner sollte bei der Schulung von LKW- und PKW-Fahrern auf die besondere Situation bei Pannen, Staus, Unfällen und Bränden in einem Tunnel eingegangen werden und richtige Verhaltensweisen für Tunnelnutzer aufgezeigt werden:

a) Verhalten bei Panne und Unfall u. a.:

- Warnblinkanlage einschalten,
- wenn möglich auf Pannenbucht oder Standstreifen Wagen abstellen oder wegschieben
- Alarmknopf an der Notrufstation drücken
- Meldung über Notrufmelder abgeben
- Anweisung des Betriebspersonals befolgen

b) Verhalten bei Staus u. a.:

- Warnblinkanlage einschalten, wenn sich das Fahrzeug einem Stauende nähert
- Anhalten mit Abstand zum Vordermann
- Motor abstellen
- in keinem Fall wenden und nicht rückwärts fahren
- Ruhe bewahren und im Auto sitzen bleiben
- Autoradio einschalten
- Anweisungen des Betriebspersonals beachten

c) Verhalten im Brandfall:

Beim Verhalten muss unterschieden werden, ob das eigene oder ein anderes Fahrzeug brennt:

**Eigenes Fahrzeug brennt: u. a.**

- Wenn irgend möglich, aus dem Tunnel herausfahren
- Wenn nicht mehr möglich, Warnblinkanlage einschalten



- möglichst weit rechts anhalten
- Motor abstellen
- Handfeuerlöscher aus Notrufstation holen, dabei Alarm auslösen
- Löschversuch starten
- Falls der Löschversuch misslingt, flüchten
- besonders gekennzeichnete Notausgänge nutzen

#### **Anderes Fahrzeug brennt: u. a.**

- Warnblinkanlage einschalten, wenn sich das Fahrzeug einem Staue-  
ende nähert
- möglichst weit rechts anhalten, um Gasse für Feuerwehr und Re-  
tungsdienste zu lassen
- Anhalten mit Abstand zum Vordermann
- in keinem Fall wenden und nicht rückwärts fahren
- Motor abstellen
- Brandmelder im Tunnel betätigen und eventuell beim Löschen helfen
- sofort aussteigen, ohne das Fahrzeug abzuschließen und dann  
flüchten
- besonders gekennzeichnete Notausgänge nutzen
- Anweisungen des Betriebspersonals über Tunnellautsprecher oder  
Autoradio beachten.

Um das Bewusstsein für das richtige Verhalten im Straßenverkehrstunnel zu fördern, sollte eine Informationskampagne „Verhalten bei Pannen (häufigstes Ereignis in Straßentunneln) Stau, Unfall und Brand im Tunnel“ gestartet werden.

Wenn ein Fahrzeugbrand frühzeitig entdeckt wird und langsam abläuft (wie z. B. bei einem PKW-Brand), kann der Brand häufig mit den im Tunnel vorhandenen Feuerlöschern gelöscht werden. Eine PIARC-Studie zeigte z. B.,

dass in Frankreich ca. 40% aller Brände in Tunneln auf diese Weise gelöscht werden können [7, 57], ohne dass die Feuerwehr eingreifen musste.

Die Verwendung der im Tunnel vorhandenen Feuerlöscher führt bei der Entnahme aus den Halterungen sofort zu einem Feueralarm für den Tunnel. Ferner wird der Überwachungsstelle dadurch auch der Brandort im Tunnel angezeigt. Den Fahrschülern sollte diese Brandmeldefunktion der Feuerlöscher bei der Ausbildung erläutert werden, damit sie im Tunnel bei einem Entstehungsbrand an ihrem Fahrzeug die Feuerlöscher der Notrufstationen auch gezielt nutzen. Wenn bei Gefahrguttransporten der Brand jedoch bereits die Ladung erfasst hat, dürfen die Fahrer derzeit nicht mehr eingreifen [96, 97]. Daher ist es bei diesen Bränden unbedingt erforderlich, dass ein Brand möglichst schnell von den Fahrern mit Angabe von Art und Menge des Gefahrgutes gemeldet wird. Nur so kann die Feuerwehr von Beginn an die Lösch- und Rettungsmaßnahmen gezielt auf die Gefahrgutladung ausrichten.

(6) Verbesserung der Lüftung für den Brandfall

a) Längslüftung:

In der RABT ist festgelegt, dass im Prinzip die Bemessungsbrände mehr oder weniger nur für die Lüftungssysteme mit Rauchabsaugung gelten. Bei Längslüftung und Richtungsverkehr kommt es vor allen Dingen darauf an, den Rauch einseitig abzutreiben und damit auf der Seite stromaufwärts ausreichende Flucht- und Rettungsbedingungen zu schaffen. Daher sollte in einer Überarbeitung der RABT die Lüftung allgemeiner gefasst werden. Bei der Längslüftung ist gemäss den Ergebnissen der Brandversuche im Memorial-Tunnel günstig, dass die kritische Längsströmungsgeschwindigkeit irgendwann nicht mit der Brandleistung weiter ansteigt. Nach den dortigen Untersuchungen kann festgestellt werden, dass mit einer Längsströmungsgeschwindigkeit, die bei 30 MW erforderlich ist, um eine Rückströmung zu vermeiden, auch ein Brand mit etwa 100 MW beherrscht werden könnte. Ein solcher Brand in einem Tunnel mit einer reinen Längslüftung sowie Richtungsverkehr und ohne

Stau stromabwärts könnte also selbst bei einer höheren Gefährdung durch Gefahrguttransporter lüftungstechnisch beherrschbar sein.

#### b) Halbquerlüftung mit Rauchabsaugung

Bei der kontinuierlichen Rauchabsaugung (schmale Schlitze im Rauchabsaugkanal) haben bisherige Erfahrungen der letzten Brandereignisse gezeigt, dass dort sehr stark verrauchte Zonen auftreten können. Diese Systeme haben ihre Grenzen bei Brandleistungen ab etwa 20 MW. Deswegen sollten Lüftungssysteme in modernen Tunneln, die mit Gegenverkehr befahren werden oder in denen häufig Stau auch bei Richtungsverkehr auftreten kann, mit einer punktuellen Rauchabsaugung mit großer Absaugleistung versehen werden.

Durch die punktuelle Absaugung des Brandrauches nahe am Brandort in einen Rauchabzugskanal im Tunneldeckenbereich können so z. B. die Sicht- und Temperaturverhältnisse vor Ort für die flüchtenden Personen und die Lösch- und Rettungsmannschaften spürbar verbessert werden.

Im Tauern-Tunnel wurde z. B. ein solcher Rauchabzugskanal nach dem Brand im Jahre 1999 eingebaut. Auch die 4. Röhre des Elbtunnels wird einen Rauchabzugskanal erhalten. Ferner enthalten französische Vorschriften die Forderung nach einer Rauchabsaugung zusätzlich zur Längslüftung [7], um die Rettung von Tunnelnutzern zu ermöglichen, die bei einem Brand am Ende eines Staus vom Rauch eingeschlossen werden könnten.

Die Anwendungsgrenzen der Lüftungssysteme sollten in der RABT überprüft und gegebenenfalls neu festgelegt werden.

#### (7) Verbesserung der Kommunikation zwischen den Einsatzkräften

Vorhandene Sicherheits- und Rettungskonzepte für Straßentunnel müssen häufiger aktualisiert werden, um Erfahrungen der jüngsten Brände wie im Tauern-Tunnel oder im Mont-Blanc-Tunnel zu berücksichtigen.

Maßnahmen zur Personenrettung in Tunneln müssen regelmäßig von den Einsatzkräften geübt werden, um mit dem Tunnel und den bei der

Rettung einzusetzenden Geräten vertraut zu werden. Für Schulungen und Übungen muss das Rettungskonzept als Grundlage dienen. Diese Unterlage sollte fortlaufend aktualisiert werden. Schulungen und Übungen müssen von der Feuerwehr, den Rettungsorganisationen (z. B. Rotes Kreuz) und den Tunnelbetreibern gemeinsam durchgeführt werden, um bei einem Ereignis auch die reibungslose Koordination der Rettungsmaßnahmen zu sichern.

In die Notfall- und Alarmpläne müssen unterschiedliche Brandszenarien, wie z. B. Gefahrgutbrände oder Omnibus-Brände, einfließen. Dies ist erforderlich, da bei einer Alarmierung zu Gefahrgut-Bränden von der Feuerwehr z. B. spezielle Löschmittel mitgeführt werden. Bei Omnibus-Bränden hingegen müssen Maßnahmen zur Rettung einer größeren Anzahl von Personen getroffen werden, wie z. B. Bereithalten von Atemschutzmasken (Fluchthauben) und Alarmierung mehrerer Rettungstransportwagen.

Ferner müssen die vom Betriebspersonal im Brandfall zu ergreifenden Maßnahmen festgelegt sein [99 bis 104]. Darüber hinaus sollten die Notfall- und Alarmpläne Vereinbarungen zu gemeinsamen Einsatzübungen von Feuerwehr, Rettungsdiensten und Betriebspersonal sowie zum zeitlichen Abstand dieser Einsatzübungen enthalten.

#### (8) Optimierung der Ausrüstung für die Einsatzkräfte

Um die Löschmöglichkeiten der Feuerwehr in Tunneln zu verbessern, wird folgendes vorgeschlagen:

##### a) Anordnung von Hydranten

Hydranten sollten z. B. in neuen Tunneln bereits ab einer Länge von ca. 500 m vorgesehen werden (derzeit ab 1.050 m nach RABT [3]).

##### b) Hydrantenabstände

Die Hydrantenabstände sollten in neuen Tunneln nur ca. 100 m bis 150 m betragen (derzeit ca. 175 m nach RABT [3]). Bei den kurzen Tunneln sollten alternativ an den Tunnelportalen Hydranten angeordnet werden.

### c) Leitungsdruck

Für eine sichere Erzeugung von Löschschaum sollte der Wasserdruck in der Löschwasserleitung auf ca. 10 bar angehoben werden (derzeit zulässig nach RABT [3]: 6 bar bis 10 bar).

Nach Bränden in Straßentunneln wird in der Öffentlichkeit, vor allem auch von der Feuerwehr, immer wieder bemängelt, dass keine Sprinkleranlagen bzw. Sprühwasseranlagen vorhanden waren, mit denen der Brand schnell vor dem Erscheinen der Feuerwehr hätte gelöscht werden können.

Solche Anlagen werden z. B. in Verkaufshäusern zum Löschen von Bränden eingesetzt. In Tunneln mit häufig instationärer Brandquelle (die überwiegende Zahl aller Brände entstehen aus Fahrzeugdefekten) herrschen jedoch andere Verhältnisse.

Bei Sprinkleranlagen werden einzelne Düsen z. B. durch Platzen eines Glasverschlusses bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur ausgelöst. Bei Sprühwasseranlagen hingegen, die mit offenen Düsen arbeiten, werden ventilgesteuert Düsengruppen ausgelöst. Die Aktivierung dieser Düsengruppen kann automatisch durch Brandmelder oder manuell z. B. durch Betriebspersonal erfolgen. Im Vergleich zu Sprinklerdüsen ist bei Sprühwasseranlagen der Wasserdurchsatz und die besprühte Fläche größer.

Bei der Kritik in der Öffentlichkeit wird übersehen, dass die Einsatzmöglichkeiten von Sprinkleranlagen bzw. Sprühwasseranlagen sehr wohl in den Arbeitsgruppen diskutiert werden, die für die Festlegung der Ausstattung von Straßentunneln verantwortlich sind (z. B. RABT, PIARC). Gerade vor dem Erscheinen der Feuerwehr ist das Selbstrettungsprinzip für Tunnelnutzer von höchster Priorität. Es ist daher alles zu unterlassen, was in dieser Phase kontraproduktiv sein kann. Daher kann die aus dem Hochbau bekannte Sprinklertechnik nicht übernommen werden, vor allem nicht in der Selbstrettungsphase in den ersten 7 bis 10 Minuten. Wesentliche Punkte zur Löschwirkung von Sprinkleranlagen bzw. Sprühwasseranlagen bei Bränden in Tunneln sind noch nicht geklärt [57]:

- (1) Fahrzeugbrände beginnen in der Regel im geschlossenen Motorraum oder in der geschlossenen Fahrerkabine. Während der Entstehungsphase sind diese Brände nicht von den Sprinklern erkennbar. Sprinkler können erst dann am Brandort wirksam werden, wenn der Brand auf das Fahrzeugäußere übergreift. Dann jedoch ist der Brand in der Regel bereits so weit fortgeschritten, dass Sprinkler ihn nicht mehr löschen können.
- (2) Löschwasser kann, wenn es nicht mit geeigneten Zusätzen versehen ist, Explosionen von Benzin und anderen Chemikalien verursachen.
- (3) Durch die Sprinklerflüssigkeit werden die heißen Brandgase abgekühlt und hierdurch die anfänglich in der Selbstrettungsphase stabile Rauchschichtung an der Tunneldecke zerstört, so dass sich der Rauch bereits in Brandnähe über den gesamten Tunnelquerschnitt verbreiten kann. Hierdurch werden die Sichtverhältnisse für Flüchtende massiv beeinträchtigt und die Vergiftungsgefahr von Personen erhöht.
- (4) Die Sicht im Tunnel wird auch durch den Wasserdampf von Sprühanlagen verschlechtert.
- (5) Der entstehende heiße Wasserdampf, der möglicherweise durch die Lüftung weitertransportiert wird, kann Personen verbrühen (siehe Brand in einem Tunnel in Japan).
- (6) Die Unterhaltung der Sprinkleranlagen kann mit beträchtlichen Kosten verbunden sein. Darüber hinaus ist bei extremen Wintereinbrüchen die Verfügbarkeit des Löschwassers wegen Einfrierens fraglich.

Aufgrund der oben genannten Punkte wird der Einsatz von Sprinkler- bzw. Sprühwasseranlagen bei Straßentunneln zur Zeit nicht befürwortet.

Der Personenschutz kann möglicherweise durch folgende Brandschutzmaßnahmen in Straßentunneln weiter verbessert werden:

#### (1) Transport-Fahrzeuge

Es sollten folgende fahrzeugseitigen Maßnahmen in ein Konzept zur Vermeidung von Bränden in Straßentunneln einbezogen werden, wenn die technischen Lösungen hierzu ausgereift und international angeglichen sind:

a) Abstandskontrollen und Abstandswarner

Die Analyse der untersuchten Brandereignisse in Straßentunneln hat gezeigt, dass ca. 35 % der Brände durch Auffahrunfälle ausgelöst wurden (Bild 4/3). Eine Ausstattung der Transport-Fahrzeuge mit Abstandswarnern und zusätzliche Abstandskontrollen im Tunnel könnten daher dazu beitragen, dass in Zukunft Auffahrunfälle von solchen Transportern weitestgehend vermieden werden.

b) Elektronische Kennzeichnung der Ladung

Durch die Übermittlung einer elektronischen Ladungskennung an die Tunnelwarte (z. B. über Funk) wäre es möglich, Transporter ohne Durchfahrt-Erlaubnis sofort zu erkennen und fortlaufend die sich im Tunnel befindlichen Ladungen zu identifizieren. Mit Hilfe dieser Informationen kann z. B. das geeignete Löschmittel bei einem möglichen Brand ausgewählt und die Schadgasentwicklung (Atemschutz) abgeschätzt werden.

c) Überwachung der Ladung

Zur Zeit werden für die Güterwaggons der Kanal-Tunnel-Züge eine Temperatur-Überwachung und automatische Löscheinrichtungen erprobt [90]. Wenn diese Einrichtungen erfolgreich eingesetzt werden können, sollte z. B. auch eine Anwendung in Laderäumen von LKW geprüft werden.

(2) Früherkennung von Fahrzeugdefekten durch kürzere Inspektionsintervalle

Die Analyse der Brände in Straßentunneln hat gezeigt, dass ca. 62 % der untersuchten Brände durch Fahrzeug-Defekte verursacht wurden (Tabelle 4/3). Um technische Defekte an Transport-Fahrzeugen möglichst frühzeitig zu erkennen, sollte deshalb geprüft werden, ob nicht eine Verbesserung durch Verkürzung der Überwachungsintervalle erreicht werden kann. Derzeit sind halbjährlich Bremsenprüfungen und alljährliche TÜV-Hauptuntersuchungen vorgeschrieben.

Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die oben vorgeschlagenen Anregungen betrieblicher Art zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall auch in die Praxis umgesetzt werden können.

## 6.4 Abwehrender Brandschutz in Verkehrstunneln

Durch folgende Maßnahmen kann möglicherweise der Brandschutz weiter verbessert werden:

(1) Verbesserung der Kommunikation für Lösch- und Rettungstrupps

In der Regel sind in deutschen Verkehrstunneln Funkeinrichtungen vorhanden, die von der Feuerwehr genutzt werden können.

Nach Angaben der Feuerwehren auf dem BAST-Workshop [7] kam es bei Bränden jedoch häufiger zu Störungen bei den Funkverbindungen. Auch in den Unterlagen von zehn der insgesamt 85 ausgewerteten Brände wird auf Störungen der Funkverbindungen hingewiesen (Kapitel 4, Tabellen 4/1 bis 4/3). Diese Störungen haben z. B. zu Verzögerungen bei der Rettung von Personen und bei Löscharbeiten geführt. Um diese Verzögerungen sicher zu vermeiden, müssen die Funkeinrichtungen in vorhandenen Tunneln überprüft und gegebenenfalls verbessert werden. In neuen Tunneln müssen verbesserte Funkeinrichtungen vorgesehen werden, die von vorneherein eine störungsfreie Funkverbindung der Einsatzkräfte untereinander ermöglichen.

(2) Einsatz neuer Löschverfahren

In den letzten Jahren neu entwickelte Löschverfahren können eventuell dazu beitragen, die Brandschäden am Tunnelbauwerk gering zu halten. Bisher konnten sich diese neuen Löschverfahren jedoch nicht in der Praxis durchsetzen. Dennoch sollten diese Neuentwicklungen beachtet werden, da Brandschäden an der Tunnelauskleidung sehr häufig sind. Bei ca. 40 % der ausgewerteten Brandereignisse (Kapitel 4) traten große Schäden am Tunnelbauwerk auf. Durch den Einsatz von geeigneten Löschverfahren kann eine spätere Tunnelanierung wesentlich kostengünstiger und schneller durchgeführt werden.

Zu diesen neuartigen Löschverfahren gehört z. B. die Verdüsung von Wasser unter hohem Druck. Der entstehende Wasserdampf wird durch Dü-



setriebwerke mit hoher Geschwindigkeit zum Brandort geblasen, kühlt dabei vorrangig die Tunnelwandung und trägt so außer zur Löschwirkung auch zur Verringerung der Brandschäden am Bauwerk bei. Zusätze wie z. B. AFFF-Schaummittel können den Löscheffekt verstärken. Wegen der hohen Geschwindigkeit des Wasser-Luft-Strahls können diese Löschgeräte (Turbolöscher) jedoch erst dann eingesetzt werden, wenn sich keine Personen mehr im Wirkungskreis des Triebwerkstrahls befinden. Erste Tests mit einem Turbolösch-System wurden z. B. bereits im Hamburger Elbtunnel durchgeführt.

Zu beachten ist jedoch, dass es bei einigen dieser Verfahren wegen zu starker, schneller Abkühlung der Tunnelinnenschalen zu Rissen und Abplatzungen kommen kann. Schäden am Tunnelwerk durch neue Lösungsverfahren müssen sicher ausgeschlossen werden.

Um die günstige Löschwirkung von mit Hochdruck verdüstem Wasser auch beim Löschen von Entstehungsbränden zu nutzen, gibt es Überlegungen, Pulver-Handfeuerlöcher in Tunneln durch Hochdruck-Feuerlöcher zu ersetzen. Wichtige Voraussetzung ist jedoch, dass diese Feuerlöcher auch einfach zu bedienen sind.

(3) Langzeit-Atemschutzgeräte für Feuerwehr- und Rettungsmannschaften

Nach den Angaben der Feuerwehren auf dem BAST-Workshop [7] werden bei Brandeinsätzen normalerweise Pressluftatmer verwendet, mit denen sich ein Feuerwehrmann in der Regel nur ca. 30 Minuten in einer verrauchten Umgebung aufhalten kann. Bei Bränden in Tunneln ist diese Einsatzdauer wegen der i.d.R. längeren Suche nach verletzten Personen und der möglicherweise langen Anmarschzeit bis zum Brandort zu kurz. Besondere Langzeit-Atemschutzgeräte hingegen erlauben Einsatzzeiten von ca. 2 Stunden (teilweise auch bis zu 4 Stunden) und werden z. B. auch zunehmend für Einsätze in verrauchten Gebäuden gefordert.

Für eine Verbesserung der Personenrettung und der Brandbekämpfung sollten daher auch die für Rettungs- und Löschmaßnahmen in Straßen-, Nahverkehrs- und Eisenbahntunneln zuständigen Feuerwehren (z. B. Tunnelbetriebsfeuerwehr) mit Langzeit-Atemschutzgeräten ausgestattet sein.

Die vorhandenen Geräte sollten mit dem Ziel einer weiteren Erhöhung der Einsatzdauer weiterentwickelt werden.

(4) Infrarot-Sichtgeräte

Bei ca. 41 % der insgesamt ausgewerteten 85 Brandereignisse hat die schlechte Sicht in der verrauchten Umgebung die Personenrettung und die Löschmaßnahmen behindert (Kapitel 4).

Um die Auffindung flüchtender und verletzter Personen und die Orientierung der Rettungstrupps selbst zu verbessern, wurden z. B. bei Brandereignissen im Gotthard-Tunnel von der Feuerwehr teilweise Infrarot-Sichtgeräte benutzt. Ferner sind die Rettungszüge der Deutschen Bahn AG mit fest installierten Infrarot-Sichtgeräten für den Lokführer ausgestattet. Die bisherigen Erfahrungen mit Infrarot-Sichtgeräten werden positiv bewertet. Es sollte daher geprüft werden, ob die Feuerwehr mit mobilen Infrarot-Sichtgeräten ausgestattet werden kann, wie sie bereits z. B. auch für den Feuerwehr-Einsatz in verrauchten Gebäuden gefordert werden.

(5) Vorhalten von mobilen Entrauchungsanlagen

In Bahntunneln werden in der Regel wegen des elektrifizierten Betriebes keine Lüftungsanlagen benötigt. Im Brandfall mit einem liegengebliebenen Zug kann es jedoch erforderlich werden, die natürliche Luftströmung im Tunnel durch Ventilatoren für eine bessere Entrauchung zu unterstützen. Über den rauchfreien Tunnelabschnitt können z. B. Personen schneller gerettet und auch Löschmannschaften in kürzerer Zeit zum Brandort gelangen.

Als Entrauchungsanlagen können z. B. mobile Ventilatoren eingesetzt werden [112]. Solche Geräte werden z. B. auf den jetzt für Einsätze in Tunneln von der Deutschen Bahn AG beschafften Feuerwehrfahrzeugen mitgeführt [108, 109]. Diese Fahrzeuge werden von der DB AG zur Verfügung gestellt z. B. für ausgewählte Feuerwehren in der Nähe von langen, vielbefahrenen Eisenbahntunneln. Ferner könnten die neu entwickelten Turbolöscher eingesetzt werden (Punkt (2), wenn sie ohne die Löschmittel-Verdüsung betrieben werden. Erste Untersuchungen in Bahntunneln haben gezeigt, dass beim Einsatz des Turbolöschers die vom Triebwerk ver-

ursachten CO-Konzentrationen i.d.R. unterhalb des MAK-Wertes liegen [82]. Eine CO-Vergiftung von Personen im rauchfreien Tunnelabschnitt ist somit nicht zu befürchten.

Es sollte geprüft werden, ob solche mobile Entrauchungsanlagen vermehrt für den Einsatz bei Bränden in Schientunneln für z. B. den Nahverkehr vorgehalten werden sollten.

Für Straßentunnel sollte die Beschaffung mobiler Entrauchungsanlagen nur geprüft werden, wenn dieses für Löscharbeiten in natürlich belüfteten Tunneln erforderlich wird.

#### (6) Behandlung von Rauchvergiftungen

Von Rettungstrupps bei einem Brand im verrauchten Tunnel aufgefundene Personen haben häufig Rauchvergiftungen. Deshalb sollten Rettungstrupps Atemschutzmasken (Fluchthauben) mitführen, die den Personen angelegt werden können, um eine weitere Zunahme der Vergiftung zu vermeiden. Die aus dem Tunnel geretteten Personen müssen eventuell bei der weiteren medizinischen Notfallversorgung vor Ort u. a. mit Sauerstoff behandelt werden. Rettungseinheiten, die die medizinische Erstversorgung bei Tunnelbränden übernehmen, müssen daher u. a. mit Beatmungsgeräten ausgestattet sein.

Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die oben vorgeschlagenen Anregungen zur Erhöhung des abwehrenden Brandschutzes auch in die Praxis umgesetzt werden können.

## 6.5 Rettungswesen in Verkehrstunneln

Aufgrund der Ergebnisse des BASt-Workshops und ADAC-Symposiums [7, 82] sowie der Analyse der Brandereignisse (Kapitel 4) können die in den nachfolgenden Punkten genannten Maßnahmen zur Verbesserung der Personenrettung vorgeschlagen werden:

(1) Verbesserte Informationen der Fahrzeug-Insassen

Kommunikationseinrichtungen in Tunneln müssen es der Betriebsleitung ermöglichen den Nutzern des Tunnels unmittelbar und unmissverständlich Anweisungen zu speziellen Situationen zu geben. So ist es z. B. erforderlich, die Fahrzeug-Insassen im Tunnel mehr und schneller als bisher über die Brand-Situation zu informieren und ggf. zur Flucht in sichere Räume aufzufordern. Dadurch kann bei einer schnellen Brand- und Rauchentwicklung wichtige Zeit für die Selbstrettung gewonnen werden. Ohne eine spezielle Aufforderung, das Fahrzeug zu verlassen und Schutz z. B. in Rettungsräumen zu suchen, verbleiben die meisten Fahrzeug-Insassen in ihren vermeintlich sicheren Fahrzeugen (wie z. B. im Caldecott- oder Mont-Blanc-Tunnel).

Bei der Verwendung von Wechselverkehrszeichen in Straßentunneln sollten Piktogramme dargestellt werden, um die Brandwarnung unabhängig von der Nationalität den Fahrzeug-Insassen übermitteln zu können. Auch Hinweise zu Tunnelsperrungen und Staus infolge von Bränden sollten rechtzeitig vor den Tunnelportalen mit europäisch harmonisierten Piktogrammen gegeben werden.

Für Situationen, wie z. B. Unfälle, Staus und Brände, sollten Radio- bzw. Zugdurchsagen in mehreren Sprachen vorbereitet und von Band verlesen werden [7].

Durchsagen über Lautsprecher im Tunnel selbst werden in Straßentunneln wegen des vorhandenen Verkehrslärms bei fließendem Verkehr und der damit verbundenen Schallreflexion möglicherweise nicht verstanden. Dagegen ist im Staufall der Lärmpegel im Tunnel geringer und eine bessere Verständlichkeit der Durchsagen zu erwarten. Verkehrsteilnehmer vor den gesperrten Tunnelportalen können ebenfalls über Lautsprecherdurchsagen z. B. über den Grund der Sperrung informiert werden.

Erfahrungen mit Lautsprecherdurchsagen haben jedoch gezeigt, dass Fahrgäste diese Durchsagen oftmals nicht beachten. So wurden z. B. im Flughafen Düsseldorf bei einer Feuerwehr-Übung die Personen durch Lautsprecher zum Verlassen des Flughafengebäudes aufgefordert. Diese Durchsage wurde trotz der bekannten Brandkatastrophe nicht befolgt.

## (2) Gehflächen von Fluchtwegen

Bei Bränden in Tunneln muss mit einer schnellen Rauchausbreitung gerechnet werden. Die Flucht der Tunnelnutzer kann daher durch schlechte Sicht erschwert werden. Bei größeren, eingeschlossenen Personengruppen können auch Panikreaktionen nicht ausgeschlossen werden (z. B. U-Bahn-Brand in Baku). Zusätzliche Gefährdungen der Flüchtenden durch Stolpern oder Stürzen müssen in dieser Situation möglichst vermieden werden. Der Sicherheitsraum sollte daher ausreichend breit sein. Betriebstechnische Einbauten sollten den Sicherheitsraum nicht einengen. Dies sollte bei neuen U- und Stadtbahntunneln berücksichtigt werden, da hier bisher die BOStrab nur eine Breite von 70 cm und ein Mindestdurchquerschnitt von 45 cm im Bereich von Einbauten fordert. Insbesondere die Gehflächen von Fluchtwegen sollten trittsicher und rutschfest sein. Um Sturzgefahren durch festklemmende Schuhe zu vermeiden, sollte z. B. auf den Einbau von Metallrosten in Gehflächen von Fluchtwegen verzichtet werden. Treppen auf Fluchtwegen (z. B. Haltestellenaufgänge) sollten kleine Stufenhöhen aufweisen, um die Begehbarkeit für z. B. Kinder oder ältere Menschen zu erleichtern. Für eine sichere Fortbewegung der Flüchtenden im Sicherheitsraum sollten ein gut begehbarer Belag und möglichst ein Handlauf (Orientierung in Dunkelheit und Rauch) vorhanden sein. Da der Handlauf eine größere Breite des Sicherheitsraumes erfordert, ist er fast ausschließlich auf Neubauten zu beschränken. In bestehenden Tunneln wird der Querschnitt nicht ausreichend sein.

Höhenunterschiede zwischen den Gehflächen des Sicherheitsraumes, dem Fahrzeugboden und den Gehflächen des Bahnsteiges sollten wegen der Stolper- und Sturzgefahr bzw. des Transportes von Feuerwehrausrüstungen gering gehalten werden.

Ferner sollten Fluchtwege im Fußbereich durch nachleuchtende Markierungen gekennzeichnet werden (Sicherheits-Leitsystem). Diese Markierungen müssen rutschhemmend und abriebfest sein [116], um eine Abnutzung z. B. auf Bahnsteigen durch den normalen Personenverkehr zu vermeiden. Auch die Notbeleuchtung der Fluchtwege sollte tief angebracht

werden, um bei einer eventuellen Verrauchung möglichst lange sichtbar zu bleiben.

### (3) Schulung des Rettungspersonals

Maßnahmen zur Personenrettung in Tunneln müssen regelmäßig von den Einsatzkräften geübt werden, um mit dem Tunnel und den bei der Rettung einzusetzenden Geräten vertraut zu werden. Für Schulungen und Übungen muss das Rettungskonzept als Grundlage dienen. Diese Unterlage sollte fortlaufend aktualisiert werden. Schulungen und Übungen müssen von der Feuerwehr, den Rettungsorganisationen (z. B. Rotes Kreuz) und den Tunnelbetreibern gemeinsam durchgeführt werden, um bei einem Ereignis auch die reibungslose Koordination der Rettungsmaßnahmen zu sichern.

In die Notfall- und Alarmpläne müssen unterschiedliche Brandszenarien, wie z. B. Gefahrgutbrände oder Omnibus-Brände, einfließen. Dies ist erforderlich, da bei einer Alarmierung zu Gefahrgut-Bränden von der Feuerwehr z. B. spezielle Löschmittel mitgeführt werden. Bei Omnibus-Bränden hingegen müssen Maßnahmen zur Rettung einer größeren Anzahl von Personen getroffen werden, wie z. B. Bereithalten von Atemschutzmasken (Fluchthauben) und Alarmierung mehrerer Rettungstransportwagen. Ferner müssen die vom Betriebspersonal im Brandfall zu ergreifenden Maßnahmen festgelegt sein [99 bis 104].

Darüber hinaus sollten die Notfall- und Alarmpläne Vereinbarungen zu gemeinsamen Einsatzübungen von Feuerwehr, Rettungsdiensten und Betriebspersonal sowie zum zeitlichen Abstand dieser Einsatzübungen erhalten.

### (4) Verbesserter Zugang für die Feuerwehren

Um im Brandfall schnellstmöglich mit Rettungs- und Löscharbeiten beginnen zu können, müssen Tunnelanlagen für die Feuerwehren und Rettungsdienste im Brandfall ohne Verzögerungen zugänglich sein. Neuere Fernbahntunnel haben hierzu z. B. besondere Zufahrtswege und Rettungsplätze erhalten. Für U-Bahn- und Stadtbahn-Tunnel soll die Lage von Notausstiegen und oberirdischen Hydranten so gewählt werden, dass sie

nicht z. B. durch Straßenfahrzeuge zugestellt werden können [6]. Darüber hinaus müssen jedoch auch an den Haltestellen-Eingängen bzw. Bahnhofseingängen Maßnahmen getroffen werden, dass Feuerwehrfahrzeuge diese Eingänge ungehindert erreichen können. Die Einrichtung von Halteverbotszonen und die Ausschilderung von Zufahrtswegen für die Feuerwehr reichen u.U. nicht aus, um eine missbräuchliche Nutzung dieser Verkehrsflächen zu vermeiden.

Eine bessere Absicherung der Zugangswege und Stellflächen kann z. B. durch Sperrpfosten oder Absperrzäune erreicht werden, die nur von der Feuerwehr durch Spezialschlüssel geöffnet werden können

(5) Besonderheiten des Rettungswesens in langen Bahntunneln

a) Aufnahme des Rettungskonzeptes in die Tunnelplanung

Gemäß der EBA-Richtlinie, Punkt 1.3 ist für Tunnel ein Rettungskonzept aufzustellen, das die Selbst- und Fremddrettung gewährleistet. Die entsprechend dem Rettungskonzept notwendigen Maßnahmen sind bereits während der Planung mit den zuständigen Stellen abzustimmen. Das Rettungskonzept ist zur Inbetriebnahme eines Tunnels unerlässlich.

b) Szenarios für die Aufstellung von Rettungskonzepten

Für den ca. 50 km langen Kanaltunnel wurde überlegt, ob brennende Züge im Tunnel gestoppt und dort die Lösch- und Rettungsarbeiten durchgeführt werden sollten. Nach allgemeiner bisheriger Auffassung sollte der brennende Zug ins Freie gefahren werden, da hier das Retten und Löschen einfacher vorgenommen werden kann. Beim neuen Lösch- und Rettungskonzept wird jedoch angenommen, dass der brennende Zug sich nur wenige Kilometer vom Portal entfernt befindet. Die Rettungsmannschaften können in einem solchen Fall den Brandort sehr schnell über den Service-Tunnel erreichen. Maßgebend für die Entscheidung, ob der Brand im Tunnel oder außerhalb gelöscht wird, ist vermutlich die Zeitdifferenz zwischen der Feuerwehrrückzeit über den Service-Tunnel und der Zeit, die der Zug bis zum Verlassen des Tunnels benötigt. Die jeweils kürzere Zeit ist abhängig vom Standort des brennenden Zuges. Unterstützt wird das neue Konzept durch Sprinkleranla-

gen auf den Waggon, die die Brandausweitung im Tunnel verzögern. Durch das Löschen des Brandes im Tunnel wird verhindert, dass der Fahrtwind den Brand weiter anfacht. Ferner wird in diesem besonderen Fall (Tunnellänge ca. 50 km) durch das schnellere Eingreifen der Feuerwehr über den Service-Tunnel eine effektive Brandbekämpfung noch vor Erreichen der Vollbrandphase möglich.

Es sollte geprüft werden, ob dieses neue Lösch- und Rettungskonzept auch auf andere lange Bahntunnel übertragen werden kann. Voraussetzungen hierfür sind jedoch eine nicht blockierte Tunnelröhre und eine Tunnelfeuerwehr. Es kann jedoch der Feuerwehreinsatz durch einen ungünstigen Standort des Zuges im Tunnel erschwert werden. Auch die Evakuierung der Reisenden innerhalb eines Tunnels ist problematischer als im Freien. Hier muss auch die mögliche Panikreaktion der Reisenden berücksichtigt werden, die sich innerhalb einer dunklen, vergleichsweise engen Tunnelröhre noch verstärkt. Eine eventuelle Verrauchung des Tunnel erhöht die Vergiftungsgefahr. Eine Evakuierung innerhalb des Tunnel ist schon für gesunde und jüngere Menschen nicht problemlos. Für ältere oder körperlich behinderte Personen ist das Erreichen eines sicheren Bereiches noch schwieriger. In diesem Zusammenhang ist die Notbremsüberbrückung wichtig, da hier Züge nur außerhalb des Tunnels bzw. beim Nahverkehr auch in unterirdischen Haltestellen zum Halten gebracht werden. Die Rettungsmöglichkeiten sind dann erheblich günstiger (Kurze Wege für Evakuierung von Fahrgästen und Feuerwehreinsatz).

Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die oben genannten Vorschläge zur Erhöhung des Personenschutzes in der Praxis noch weiter optimiert werden können.



## 7. Empfehlungen zur Überarbeitung von Regelwerken

### 7.1 Vorbemerkungen

In den Regelwerken für den Bau und den Betrieb von Verkehrstunneln sind bereits wichtige Brandschutzanforderungen enthalten. Zu diesen Regelwerken gehören u. a.:

- (1) Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung BOStrab) mit den zugehörigen „Richtlinien für den Bau von Tunneln nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) (BOStrab-Tunnelbaurichtlinien)“ und vorläufige Richtlinien für den vorbeugenden Fahrzeugbrandschutz nach der Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab)-(BOStrab-Fahrzeug-Brandschutzrichtlinien) [6],
- (2) Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [8],
- (3) Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“ des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) [5],
- (4) Richtlinie DS 800 03 „Bahnanlagen entwerfen – S-Bahnen –“ der Deutschen Bahn AG [95]
- (5) Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Straßentunneln (ZTV-Tunnel) [4]
- (6) Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) [3].
- (7) Hinweise für die Planung von Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen für Straßentunnel [106]
- (8) Daneben sind aus dem Bereich der „Allgemein anerkannten Regeln der Technik“ zu nennen:
  - Normen (deutsch und besonders europäische).
  - VDV-Schriften für den Bereich der U- und Stadtbahnen und

- nationale und internationale bahninterne Vorschriften.

Zu beachten sind außerdem gemeinsame Festlegungen zwischen den Tunnelbetreibern und den Rettungsdiensten in örtlichen Sicherheits- und Rettungskonzepten.

Aufgrund der Anforderungen in diesen Regelwerken werden in deutschen Verkehrstunneln bereits umfangreiche Maßnahmen vorgesehen, um Bränden vorzubeugen bzw. deren Schadensausmaß gering zu halten.

Dennoch werden zur weiteren Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall im folgenden Empfehlungen zur Aktualisierung der Regelwerke gegeben. Die Tabelle 7/1 gibt einen Überblick über mögliche Verbesserungsmaßnahmen für Regelwerke, die den Bereich der Straßen- und Eisenbahnen betreffen. Die zugehörigen Empfehlungen sind in Kapitel 7.2 enthalten. Empfehlungen zu möglichen Verbesserungen in den Regelwerken für Straßentunnel sind im Kapitel 7.3 zusammengefasst.

In der Praxis muss jeweils im konkreten Einzelfall unter Einbeziehung der örtlichen Randbedingungen geprüft werden, welche der nachfolgenden Vorschläge zur weiteren Erhöhung des Brandschutzes geeignet sind. Es wird ferner ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Empfehlungen den für die Regelwerke zuständigen Gremien, wie z. B. dem RABT-Ausschuss, nur Hinweise zur Überarbeitung der Vorschriften geben sollen. Diese Gremien müssen prüfen, welche der nachfolgenden Anregungen bereits anerkannte Regeln der Technik darstellen und welche Empfehlungen bei einer Überarbeitung der Regelwerke berücksichtigt werden sollten. Ferner müssen die verantwortlichen Stellen entscheiden, in welchen Regelwerken bzw. Vereinbarungen die Anregungen verankert werden sollten.

Weiterhin sollte geprüft werden, ob und inwieweit sich der Gesetzgeber und/oder die Aufsichtsbehörden für den Schienenverkehr (EBA, Technische Aufsichtsbehörden für Straßenbahnen) direkt oder über Beauftragte an der europäischen Normung über den "Brandschutz in Schienenfahrzeugen" beteiligen sollen. Bis jetzt sind in dem europäischen Normungsgremium CEN/TC 256/WG 1 "Fire Safety" fast nur Bahnbetreiber vertreten. Die entsprechende Norm

EN 45 545 wird in mehreren Teilen erscheinen, wobei die Teile 1, 3 und 5 schon einen fortgeschrittenen Bearbeitungsstand erreicht haben (Tabelle 7/2).

lfd. Nr.	Maßnahmen zur Verbesserung des Brandschutzes	U- und Stadtbahnen, die der BOStrab unterliegen	S-Bahn (Eisenbahn)	Fernbahn (Eisenbahn)
1	Zusätzliche Querschläge bei parallelen Tunnelröhren	X	X	X
2	Temperaturüberwachung von ausgewählten Fahrzeugkomponenten	X	X	X
3	Automatische Löschanlagen im Unterflurbereich	X	X	
4	Ergänzung der Feuerwehrausrüstung	X <sup>1)</sup>	X	X
5	Videoaufzeichnungen zur Vermeidung von Brandstiftungen	X	X	
6	Brandschutz bei Verkaufsständen auf Bahnsteigen	X	X	X
7	Sicherung von Kabeln und Leitungen	X	X	X
8	regelmäßige Entfernung von brennbarem Unrat	X	X	
9	Sprechverbindung bei der Auslösung von Notbremsungen	X	X	X

<sup>1)</sup> Zuständigkeit der Länder

**Tabelle 7/1:** Vorschläge für Ergänzungen zur Erhöhung des Brandschutzes in Regelwerken für Bahntunnel und Schienenfahrzeuge

Nummer	Titel
DIN EN 45 545-1	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 45 545-2	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten von Werkstoffen und Bauteilen
DIN EN 45 545-3	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 3: Feuerwiderstand von Feuerabschlüssen und Trennwänden
DIN EN 45 545-4	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 4: Brandschutzanforderungen an die konstruktive Gestaltung von Schienenfahrzeugen
DIN EN 45 545-5	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 5: Brandschutzanforderungen an die elektrische Ausrüstung einschließlich der von Oberleitungsbussen, spurgeführten Bussen und Magnetschwebbahnen
DIN EN 45 545-6	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 6: Brandmelde- und Brandbekämpfungseinrichtungen; begleitende Brandschutzmaßnahmen
DIN EN 45 545-7	Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 7: Brandschutzanforderungen an Anlagen für brennbare Flüssigkeiten und Gase

Tabelle 7/2: DIN EN 45 545, Teile 1 bis 7

## **7.2 Empfehlungen zur Überarbeitung von Regelwerken für Tunnelanlagen des Schienenverkehrs**

### **7.2.1 Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für U- und Stadtbahntunnel**

Die BOStrab [6] beschreibt bahnspezifische Grundsatz-Anforderungen, deren Normierung im Interesse von Sicherheit und Ordnung geboten sind, so z. B. auch zu Brandschutzmaßnahmen. Demgegenüber beziehen sich die folgenden Empfehlungen auf konkrete Verbesserungsmaßnahmen.

Bei einer Überarbeitung der Regelwerke sollte deshalb geprüft werden, ob und wie die genannten Maßnahmen aufgenommen werden können.

Aufgrund der Ergebnisse des BAST-Workshops und der Analyse der Brandereignisse sollten die Regelwerke bzw. Vereinbarungen in folgenden Bereichen aktualisiert bzw. ergänzt werden:

#### **(1) Zusätzliche Querschläge bei parallelen Tunnelröhren**

Die Regelwerke sollten bei Nahverkehrstunneln den Bau von Querschlägen als zusätzliche Fluchtmöglichkeit empfehlen, wenn im Streckennetz bereits zwei eingleisige, parallel geführte Tunnelröhren vorhanden sind bzw. geplant werden. Für bereits vorhandene parallele Tunnelröhren sollten Übergangsregelungen für den Bau von Querschlägen vorgesehen werden, um auch hier die Sicherheit zu verbessern.

#### **(2) Ergänzung der Fahrzeugausstattung**

a) Temperaturüberwachung von ausgewählten Fahrzeug-Komponenten  
Für Fahrzeug-Komponenten, die sich überhitzen können (z. B. Elektronik-Komponenten, Heizanlagen) sollte eine kontinuierliche Temperaturüberwachung in den dafür zuständigen Regelwerken vorgeschrieben werden.

#### **b) Automatische Löschanlagen im Unterflurbereich**

In den Regelwerken für Fahrzeuge sollte aufgenommen werden, dass im Unterflurbereich befindliche Fahrzeugeinrichtungen, in Abhängigkeit der Konstruktion, mit automatischen Löschanlagen ausgestattet werden können.

- (3) **Sprechverbindungen Fahrgast-Fahrzeugführer**  
Es sollte zusätzlich zur optisch/akustischen Aufforderung zur Notbremsung an den Fahrzeugführer in den Regelwerken eine Sprechverbindung zwischen Fahrzeugführer und Fahrgastraum gefordert werden, um den Anlass der Notbremsung vor einer Vollbremsung klären zu können.
- (4) **Löscheinrichtungen in Abstell- und Kehranlagen**  
In den Regelwerken sollte der Einbau von Sprühflutanlagen in unterirdischen Abstellanlagen empfohlen werden, wenn deren Wirksamkeit für die jeweilige Abstellanlage nachgewiesen werden konnte.
- (5) **Vermeidung von Brandstiftungen**  
In den Regelwerken sollte ein verstärkter Einsatz von Videoaufzeichnungen zur Identifizierung von Brandstiftern empfohlen werden.
- (6) **Brandschutz in Haltestellen**  
Angesichts der zunehmenden Anzahl von Verkaufsständen in Haltestellen und auf den Bahnsteigen sollten in den Regelwerken gezielt auch für diese Einrichtungen Brandschutzmaßnahmen gefordert werden. Insbesondere dürfen die Personenströme bei einer Evakuierung nicht durch die Verkaufsstände behindert werden.
- (7) **Kabel und Leitungen**  
Es sollte generell eine brandschutztechnische Sicherung von Kabeln und Leitungen in den Regelwerken gefordert werden.
- (8) **Gehflächen von Fluchtwegen**  
In den Regelwerken sollte gefordert werden, die Gehflächen von Fluchtwegen mit nachleuchtenden Markierungen zu versehen. Diese Markierungen sollten in einer Höhe von ca. 50 cm oder auf dem Fußboden angebracht werden, da im unteren Bereich eine mögliche Verrauchung im Brandfall erst relativ spät einsetzt. Markierungen im Fußbodenbereich müssen jedoch vor mechanischer Abnutzung (z. B. trittfeste Ausbildung) geschützt werden. Ferner sollte in den Regelwerken empfohlen werden, auch die Notbeleuchtung der Fluchtwege im Bodenbereich anzubringen.

(9) Rettungsweg

In den Regelwerken sollte klargestellt werden, dass die angegebenen Rettungsweglänge von 300 m so zu verstehen ist, dass der Abstand der Notausstiege bis zur nächsten Haltestelle maximal 600 m betragen darf. Bei dieser Definition der Rettungsweglänge bzw. des Notausstiegabstands beträgt die mittlere Fluchtweglänge 300 m.

(10) Sicherheitsraum

a) Breite und Durchquerschmaß

In den Regelwerken sollte für neue Tunnel im Vergleich zur geltenden Vorschrift ein breiterer Sicherheitsraum gefordert werden (z.Z. ist eine Breite von 70 cm festgelegt). Ferner sollte ein größeres Durchquerschmaß (derzeit 45 cm) vorgesehen werden, um im Sicherheitsraum flüchtende Personen nicht zu behindern.

b) Höhenunterschied zu Gehflächen in Fahrzeugen bzw. auf Bahnsteigen

Die Regelwerke sollten fordern, dass die Höhenunterschiede zwischen der Gehfläche des Sicherheitsraumes und den Gehflächen im Fahrzeug bzw. des Bahnsteiges gering gehalten werden, um die Evakuierung der Fahrgäste zu erleichtern.

(11) Tunnelreinigung

Es sollten zur Vermeidung von Bränden durch Unrat wie z. B. Papieransammlungen Kontroll- und Reinigungsintervalle von Tunnelanlagen in den hierfür zuständigen Regelwerken vereinbart werden.

(12) Alarm- und Notfallpläne

Die Regelwerke sollten die Aufstellung und jährliche Aktualisierung von Notfall- und Alarmplänen fordern und dabei verlangen, dass diese Pläne mit der für die Brandbekämpfung und Rettung zuständigen Feuerwehr und den Rettungsorganisationen abgestimmt werden. Ferner sollte vorgeschrieben werden, dass die an etwaigen Lösch- und Rettungsmaßnahmen beteiligten Organisationen in regelmäßigen Abständen gemeinsame Übungen durchführen (vgl. Kapitel 7.2.2).

## (13) Ausrüstung der Feuerwehren

Die Regelwerke sollten darauf hinweisen, dass die zuständigen Feuerwehren zur optimalen Bekämpfung von Bränden in Tunneln besondere feuerwehrtechnische Geräte benötigen, wie z. B. Langzeitemschutzgeräte, Infrarot-Sichtgeräte, mobile Entrauchungsanlagen und ggf. spezielle Löscheräte (z. B. Turbolöscher) (vgl. Kapitel 6.4). Die Entscheidung über die Beschaffung von Feuerwehrausrüstungen liegt jedoch bei den einzelnen Bundesländern.

Diese für den Bereich der U- und Stadtbahnen aufgestellten Empfehlungen sollten von den für die Regelwerke bzw. Vereinbarungen zuständigen Gremien kritisch im Hinblick auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und gegebenenfalls übernommen werden.

## 7.2.2 Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für S-Bahntunnel

Bei den folgenden Empfehlungen zur Erhöhung des Brandschutzes in S-Bahntunneln muss geprüft werden, in welchen Regelwerken diese Empfehlungen aufgenommen werden können oder welche Stelle die Umsetzung in eigener Zuständigkeit und Verantwortung übernehmen sollte.

Die Regelwerke bzw. Vereinbarungen sollten in folgenden Bereichen aktualisiert bzw. ergänzt werden:

## (1) Querschläge bei parallelen Tunnelröhren

In den Regelwerken sollte auf die Möglichkeit hingewiesen werden, Querschläge als zusätzliche Fluchtmöglichkeit vorzusehen, wenn im S-Bahn-Netz bereits zwei eingleisige, parallel geführte Tunnelröhren vorhanden sind bzw. geplant werden. In der hierfür auch zu berücksichtigenden DS 800 01 [94] sollten die Einschränkungen für den Bau von zwei eingleisigen, parallelen Tunnelröhren, wie z. B. nur bei schwierigen geotechnischen Verhältnissen, aufgehoben werden.



(2) Ergänzung der Fahrzeugausstattung

Die Temperaturüberwachung von Fahrzeugkomponenten, die sich an S-Bahn-Fahrzeugen überhitzen können und die Installation automatischer Löscheinrichtungen im Unterflurbereich bei infrage kommenden Fahrzeugkomponenten sollten nach Prüfung der Umsetzbarkeit in der DIN 5510 aufgenommen werden.

(3) Brandlasten von S-Bahn-Zügen

Die Brandlasten von S-Bahn-Wagen (-Zügen) und von Personenwagen sind in der DIN 5510 definiert. Gemäß AEG (Allgemeines Eisenbahngesetz) § 4 Abs. (1) besteht für die Bahn die allgemeine Verpflichtung, auch hier sichere Fahrzeuge, die den anerkannten Regeln der Technik entsprechen, einzusetzen. Die Forderungen der DIN 5510 zur Verringerung der Brandlasten sollten in die internen Regelungen der Unternehmungen für die Beschaffung von Fahrzeugen bzw. deren Instandsetzung übernommen werden.

(4) Vermeidung von Brandstiftungen

Die Empfehlung, Videoaufzeichnungen zur Identifizierung von Brandstiftern heranzuziehen, sollte im Rahmen der Verpflichtung nach AEG § 4 Abs. (1) von den Betreibern in den Regelwerken aufgegriffen werden.

(5) Brandschutz in Haltestellen

Angesichts der zunehmenden Anzahl von Verkaufsständen in Haltestellen und auf den Bahnsteigen sollten in den Regelwerken auch für diese Einrichtungen Brandschutzmaßnahmen gefordert werden. Insbesondere dürfen die Personenströme bei einer Evakuierung nicht durch die Verkaufsstände behindert werden.

(6) Kabel und Leitungen

Für Kabel und Leitungen sollte eine brandschutztechnische Sicherung in den Regelwerken gefordert werden.

(7) Tunnelreinigung

Zur Vermeidung von Bränden durch Unrat wie z. B. Papieransammlungen sollten die Betreiber die betriebsinternen Regelungen bzw. die Vereinba-

rungen mit Fremdfirmen über Kontroll- und Reinigungsintervalle überprüfen und sie ggf. verkürzen.

(8) Alarm- und Notfallpläne

Die in Abstimmung mit den Landkreisen, kreisfreien Städten und Rettungsdiensten aufzustellenden betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erfordern besonderes Augenmerk. Diese müssen bei baulichen Änderungen der Anlagen sofort und ferner auch in regelmäßigen Abständen überprüft und bei Bedarf aktualisiert werden.

(9) Ausrüstung der Rettungsdienste

Soweit die vorhandene Ausrüstung der örtlichen Rettungsdienste für den Einsatz in Tunneln nicht ausreicht, sollte der Betreiber / Infrastrukturunternehmer mit den zuständigen Stellen besondere Vereinbarungen über den notwendigen Ergänzungsbedarf abschließen.

Den Rettungsdiensten sind alle für einen Ereignisfall notwendigen Unterlagen zur Verfügung zu stellen.

Dies sind insbesondere:

- a) Lagekarten über die Anfahrtswege zum Tunnel (z. B. Haltestellen, Notausgänge, Tunnelportale und Rettungsplätze).
- b) Anleitungen zur Bedienung der technischen Einrichtungen im Tunnel (z. B. Beleuchtung, Kommunikationseinrichtungen, Abschaltung und Noterdung der Oberleitung, Zugangstüren).
- c) Information über sicherheitstechnische Einrichtungen der verkehrenden Schienenfahrzeuge (z. B. Notöffnung von Türen und Fenstern, Lösch-einrichtungen, Lautsprecheranlagen).

(10) Lösch- und Rettungsübungen

Im Rahmen des Rettungskonzeptes sind zwischen der DB AG, den zuständigen Behörden (z. B. Landkreisen) und Rettungsdiensten im Ereignisfall notwendig werdende Lösch- und Rettungsmaßnahmen zu vereinbaren. In diesem Rettungskonzept müssen auch die von allen beteiligten Organisationen durchzuführenden Lösch- und Rettungsübungen geregelt werden (vor Inbetriebnahme eines Tunnels, Wiederholung in Abständen

von mindestens drei Jahren). Die Organisation dieser Übungen obliegt dem Betreiber / Infrastrukturunternehmer.

Diese für den Bereich der S-Bahnen aufgestellten Empfehlungen sollten von den für die Regelwerke bzw. Vereinbarungen zuständigen Gremien kritisch im Hinblick auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und gegebenenfalls übernommen werden.

### **7.2.3 Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für Fernbahntunnel**

Bei den folgenden Empfehlungen zur Erhöhung des Brandschutzes in Fernbahntunneln muss geprüft werden, in welchen Regelwerken diese Empfehlungen aufgenommen werden können oder welche Stelle die Umsetzung in eigener Zuständigkeit und Verantwortung übernehmen sollte.

Die Regelwerke bzw. Vereinbarungen für Fernbahntunnel sollten in folgenden Punkten aktualisiert bzw. ergänzt werden (Tabelle 7/1):

- (1) Bau von parallelen Tunnelröhren mit Querschlägen  
Die Anforderungen der EBA-Richtlinie zu parallelen, eingleisigen Tunneln mit Querschlägen für Lösch- und Rettungsmaßnahmen sollte auf alle neu zu bauenden Tunnel mit einer Länge ab etwa 500 m ausgeweitet werden.
- (2) Fluchtweglänge  
Die zulässigen Fluchtweglängen sind in der Diskussion. Hierzu soll eine internationale Abstimmung über die maximalen Längen herbeigeführt werden.
- (3) Brandschutzmaßnahmen in vorhandenen Tunneln  
Vorhandene Tunnel unterliegen dem Bestandsschutz. Für ältere lange Tunnel mit hoher Zugbelastung und schwierigen Verhältnissen sollte die DB AG gemeinsam mit dem EBA prüfen, ob Nachrüstungen erforderlich sind.

(4) Automatische Löscheinrichtungen

Es sollte geprüft werden, ob automatische Löscheinrichtungen in die DIN 5510 aufgenommen werden können, wozu allerdings erst die Übertragbarkeit der Verhältnisse von Nahverkehrssystemen (z. B. Hamburger Hochbahn) auf die Fahrzeuge des Fernverkehrs zu prüfen wäre.

(5) Ausrüstung der Rettungsdienste

Soweit die vorhandene Ausrüstung der örtlichen Rettungsdienste für den Einsatz in Tunneln nicht ausreicht, sollte der Betreiber / Infrastrukturunternehmer mit den zuständigen Stellen besondere Vereinbarungen über den notwendigen Ergänzungsbedarf abschließen.

Den Rettungsdiensten sind alle für einen Ereignisfall notwendigen Unterlagen zur Verfügung zu stellen.

Dies sind insbesondere:

- a) Lagekarten über die Anfahrtswege zum Tunnel (z. B. Haltestellen, Notausgänge, Tunnelportale und Rettungsplätze).
- b) Anleitungen zur Bedienung der technischen Einrichtungen im Tunnel (z. B. Beleuchtung, Kommunikationseinrichtungen, Abschaltung und Noterdung der Oberleitung, Zugangstüren).
- c) Information über sicherheitstechnische Einrichtungen der verkehrenden Schienenfahrzeuge (z. B. Notöffnung von Türen und Fenstern, Löscheinrichtungen, Lautsprecheranlagen).

(6) Lösch- und Rettungsübungen

Im Rahmen des Rettungskonzeptes sind zwischen der DB AG, den zuständigen Behörden (z. B. Landkreisen) und Rettungsdiensten im Ereignisfall notwendig werdende Lösch- und Rettungsmaßnahmen zu vereinbaren. In diesem Rettungskonzept müssen auch die von allen beteiligten Organisationen durchzuführenden Lösch- und Rettungsübungen geregelt werden (vor Inbetriebnahme eines Tunnels, Wiederholung in Abständen von mindestens drei Jahren). Die Organisation dieser Übungen obliegt dem Betreiber / Infrastrukturunternehmer.

Diese für den Bereich der Fernbahnen aufgestellten Empfehlungen sollten von den für die Regelwerke zuständigen Gremien kritisch im Hinblick auf ihre Umsetzbarkeit geprüft und gegebenenfalls übernommen werden.

### **7.3 Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Regelwerken für Straßentunnel**

Die folgenden Empfehlungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Straßentunneln sollten von den zuständigen Gremien kritisch im Hinblick auf die Umsetzbarkeit geprüft werden. Die Regelwerke für Straßentunnel sollten hinsichtlich der Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in folgenden Punkten aktualisiert bzw. ergänzt werden:

(1) Verbesserung der automatischen Branderkennung

Die Regelwerke sollten schnell ansprechende automatische Branderkennungssysteme fordern.

(2) Videoüberwachung

Die RABT [3] fordert derzeit unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. bei langen Tunneln mit großer Verkehrsstärke) bereits eine visuelle Überwachung des Verkehrs. Der Einsatz von Videoanlagen in Tunneln verbessert die Überwachung erheblich. Vielversprechend scheint der Videoeinsatz auch im Sinne einer Früherkennung von Ereignissen (z. B. Panne, Stau, Unfall, Brand) zu sein. Verschiedene Systeme sind bereits auf dem Markt und werden zur Zeit auf ihre Brauchbarkeit getestet [148].

(3) Notrufkabinen

Die in der RABT vorgesehenen Notrufstationen sollten künftig als schallgeschützte Kabinen ausgeführt werden. Durch die Abschirmung gegen den Verkehrslärm soll eine bessere Verständigung zwischen der Notrufzentrale und dem Benutzer der Rufanlage erreicht werden.

(4) Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen

- a) Die Regelwerke sollten fordern, dass die Abstände von LKW und die Geschwindigkeit der Fahrzeuge in Tunneln besser überwacht werden, um damit eine Vergleichmäßigung des Verkehrsflusses und damit auch mehr Sicherheit im Tunnel erreichen zu können.
- b) Die Regelwerke sollten fordern mit Verkehrsbeeinflussungssystemen den Verkehrsablauf so zu beeinflussen, dass ein Stau in einem Tunnel nach Möglichkeit nicht entsteht. Der Verkehr sollte stromabwärts der Unfall- oder Brandstelle flüssig gehalten werden, damit unbeteiligte Fahrzeuge schnell aus dem Tunnel herausfahren können.

(5) Verbesserung der Tunnelsperrung

Die Regelwerke sollten für die Durchsetzung einer Tunnelsperrung außer Wechsellichtzeichen auch mechanische Sperren in Form von Schranken vorsehen.

(6) Verbesserte Tunnelüberwachung

a) Betriebszentrale

Die RABT sollte Hinweise zur Prüfung der Notwendigkeit einer Überwachung von besonderen Tunneln (z. B. hohes Verkehrsaufkommen, große Länge) mit Hilfe einer Betriebszentrale geben. Sollten Betriebszentralen für mehrere Tunnel in einer Region erforderlich werden, so sollte geprüft werden, ob diese Überwachungsstationen nicht kostengünstiger in einer einzigen Betriebszentrale mit Fernübertragung der Videosignale und Betriebsdaten zusammengefasst werden könnten.

b) Sicherheitsbeauftragter

Es sollte geprüft werden, ob in Zukunft ein Sicherheitsbeauftragter, der für die Aufstellung und Einhaltung von Sicherheits- und Rettungskonzepten verantwortlich ist, für einen oder mehrere Tunnel vorzusehen ist.

## (7) Lautsprecheranlagen

Die RABT sollte Lautsprecheranlagen weiterhin empfehlen, sowohl im Tunnel selbst als auch z. B. bei Signalanlagen vor Tunnelportalen oder in abgeschotteten Querschlägen (Evakuierungsfall).

## (8) Information der Fahrzeug-Insassen im Brandfall

Die Regelwerke sollten für den Brandfall mehrsprachige Anweisungen (z. B. Aufforderungen zur sofortigen Flucht) über Rundfunk oder über international abgestimmte Piktogramme vorsehen.

## (9) Verkürzung der Abstände der Notausgänge

## a) Länge von Tunneln mit Notausgängen

In der RABT sollte die Mindestlänge von künftigen Tunneln, in denen Notausgänge vorzusehen sind, auf ca. 400 m bis 500 m herabgesetzt werden (derzeit 700 m). Dies gilt insbesondere für Tunnel, die im Gegenverkehr betrieben werden.

## b) Abstand der Notausgänge

Der nach der RABT maximal zulässige Abstand der Notausgänge untereinander von derzeit 350 m sollte auf ca. 300 m verringert werden. Ein größerer Abstand sollte in Ausnahmefällen möglich sein, wenn durch andere Maßnahmen (z. B. Lüftung) sichergestellt werden kann, dass fliehende Tunnelnutzer nach ca. 300 m in einen sicheren rauchfreien Tunnelabschnitt gelangen.

Hinsichtlich der baulichen Ausführung sollte die RABT z. B. Querschläge zwischen parallelen Tunnelröhren, Fluchtstollen und Fluchtwege unter der Fahrbahn empfehlen, wenn der Tunnelquerschnitt dies zulässt.

## (10) Fluchtstollen bei Gegenverkehrstunneln

In den Regelwerken sollte ein vom Lüftungssystem unabhängiger Fluchtstollen bei Tunneln mit höherem Gefährdungspotential wie z. B. längeren Gegenverkehrstunneln mit großer Verkehrsleistung und starker Längsneigung gefordert werden.

Ausnahmen können gelten, wenn es wirtschaftlich nicht vertretbar ist, einen parallelen Fluchtstollen zu bauen. Dann muss durch ein risikoanalytisches Gutachten nachgewiesen werden, dass bei Vorhandensein z. B. eines verbesserten Lüftungssystems mit optimierter sonstiger Tunneltechnik (z. B. verbesserte Brandmeldung, optimaler Rettungs- und Feuerwehreinsatz) auf Fluchtstollen verzichtet werden kann.

#### (11) Festlegung des Bemessungsbrandes für Lüftungsmaßnahmen

Die derzeitige RABT [3] betrachtet nur den einzelnen Brandfall und keine Brände an mehreren Fahrzeugen. In der RABT wird deshalb für Nutzfahrzeuge eine ungünstigste Brandlast von 20 MW für einen LKW-Anteil von bis zu 15% mit einer Rauchleistung von  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  abgeleitet. Wenn der LKW-Anteil über 15% liegt, sollte mit einer Brandlast von 30 MW bis 50 MW und mit einer Rauchmenge von  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  gerechnet werden. Diese Festlegungen sollten wie folgt geändert werden:

- a) Als Bemessungsfall sollte ein LKW zu Grunde gelegt werden.
- b) Die Brandlast sollte in einer Größenordnung zwischen 30 MW und 50 MW in Abhängigkeit von der absoluten Zahl der LKW, die je Tag durch den Tunnel fahren, angesetzt werden.
- c) Bei sehr hoher LKW-Anzahl mit hohem Gefährdungspotential sollte gegebenenfalls eine höhere Bemessungsbrandlast angenommen werden. Diese Annahme ist jedoch durch ein risikoanalytisches Gutachten zu belegen.

#### (12) Rauchabzugskanal

Die alte Aussage der RABT: „Ist eine Rauchabsaugung gemäß a) vorhanden, kann auf Fluchtwege verzichtet werden“ kann generell so in einer Neubearbeitung nicht mehr aufrechterhalten werden.

Die RABT sollte u. a. wegen folgender Vorteile einen Rauchabzugskanal in Tunneln mit sehr hoher LKW-Anzahl und hohem Gefährdungspotential eine Überprüfung der Anwendungsgrenzen der Lüftungssysteme und gegebenenfalls Neufestlegung fordern:



- a) Der Brandrauch wird im Tunneldeckenbereich abgeführt, so dass Gefahren durch Vergiftungen, schlechte Sichtverhältnisse und Hitze- einwirkungen für die Tunnelnutzer und für die Lösch- und Rettungs- mannschaften verringert werden können.
- b) Auch bei einem Brand am Ende eines Staus im Tunnel könnten die Brandgase mit Hilfe eines geeigneten Rauchabzugskanals abgeführt werden, ohne dass die im Stau stehenden Tunnelnutzer gefährdet werden.

### (13) Lüftung

- a) Bei den Anwendungsbereichen der Lüftungssysteme sollten in der RABT bei Richtungsverkehr Situationen „ohne Stau“ und „mit Stau“ unterschieden werden. Es ist zu prüfen, ob im Einzelfall Tunnel mit Richtungsverkehr und häufigem Stau ähnlich wie Gegenverkehrstun- nel belüftet werden sollten.
- b) Anlaufzeit der Lüftungsanlage  
Die RABT sollte fordern, dass die Brandlüftung ihren Betriebszustand in weniger als ca. 2 Minuten erreicht.
- c) Schutz der Nachbarröhren vor einer Verrauchung  
Die RABT sollte feuerhemmende und branddichte Brandschutztüren und -tore in Querschlägen fordern, um eine Verrauchung der Nach- barröhre zu vermeiden.

### (14) Verbesserung der Funkversorgung

Alle Tunnel, in denen die natürliche Funkausbreitung unzureichend ist, sollten mit speziellen Funkeinrichtungen ausgestattet werden. In der RABT sollte gefordert werden, dass insbesondere Tunnel ab 600 m mit Funkein- richtungen auszurüsten sind.

### (15) Aktualisierung der Alarm-Pläne

Die Regelwerke sollten eine regelmäßige Aktualisierung der Alarm-Pläne fordern. Bei den Brandszenarien für die Lösch- und Rettungsmaßnahmen

sollten die Regelwerke insbesondere die Berücksichtigung von Bränden mit hohen Brandlasten fordern.

(16) Löschanlagen in Fahrzeugen

Die zuständigen Gremien sollten prüfen, ob folgende Vorschläge in die Regelwerke aufgenommen werden sollten:

- a) Feuerlöscher sollten für alle LKW mit hohen Brandlasten obligatorisch gefordert werden.
- b) Alle Gefahrguttransporter und LKW mit hohen Brandlasten (OECD/PIARC-Kategorien A bis D) sollten obligatorisch mit Feuer-selbstlöschanlagen ausgerüstet werden.

Die Handfeuerlöscher (2 Stück à 6 kg Löscher), die - wie von der RABT [3] gefordert - an den Notrufstationen im Tunnel positioniert sind, reichen aus, um einen PKW-Brand in der Entstehungsphase zu löschen. Daher sollte nicht von allen Fahrzeughaltern verlangt werden, 2 kg schwere Handfe-u-erlöscher in ihren Fahrzeugen mitzuführen.

(17) Verbesserung der Löschwasserversorgung

Die RABT sollte für neue Straßentunnel folgende Maßnahmen zur Verbes-  
serung der Löschwasserversorgung vorsehen:

- a) Anordnung von Hydranten

Die Mindestlänge der mit einer Druckwasserleitung auszustattenden Tunnel sollte in der RABT für neue Tunnel auf 500 m herabgesetzt werden.

- b) Hydrantenabstände

Der Abstand der Hydranten untereinander sollte in neu zu erstellen-  
den Tunneln auf 100 m bis 150 m verringert werden. Bei kurzen Tun-  
neln sollten alternativ Hydranten an den Tunnelportalen vorgeschrie-  
ben werden.

## c) Leitungsdruck

In der RABT sollte die Untergrenze für den Wasserdruck in den Löschwasserleitungen angehoben werden, dabei jedoch 10 bar nicht überschreiten, damit die Feuerwehr auch Schaumlöschgeräte an den Hydranten betreiben kann.

## (18) Ausrüstung von Feuerwehren für Einsätze in Tunneln

In den Regelwerken sollten Hinweise aufgenommen werden, dass Feuerwehren für Einsätze in Tunneln spezielle Ausrüstungen benötigen (z. B. Langzeit-Atemschutzgeräte, Infrarot-Sichtgeräte).

## (19) Gefährdungspotential der Tunnel

Die Regelwerke sollten fordern, dass u. a. nachfolgende Punkte bei der Ermittlung des Gefährdungspotentials von Tunneln berücksichtigt werden:

- a) Bei der Festlegung der Ausstattungsmerkmale von Tunneln sollte in Zukunft überlegt werden, ob nicht statt des bisherigen Längenkriteriums die Verkehrsleistung (Kfz-Anzahl pro Jahr multipliziert mit Tunnelröhrenlänge in Kilometern) zum Maßstab gemacht werden sollte.
- b) Hohe Längsneigungen können das Gefährdungspotential vergrößern. Längsneigungen über 5% sollten daher vermieden werden.
- c) Bei der Festlegung der Anzahl der Tunnelröhren (Gegenverkehrstunnel oder Richtungsverkehrstunnel) sind zunächst die vorhersehbaren Verkehrsstärken als wesentliches Kriterium zu berücksichtigen. Ist jedoch mit erheblichen zusätzlichen Risiken (z. B. Unterwassertunnel, hohe Längsneigungen) zu rechnen, ist dieses bei der Festlegung der Anzahl der Tunnelröhren mit einer quantitativen Risikoanalyse im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse ebenfalls zu berücksichtigen.
- d) Bei Richtungsverkehrstunneln mit täglicher Staumöglichkeit sind sicherheitstechnisch ähnliche Maßnahmen zu ergreifen wie bei Gegenverkehrstunneln.
- e) Bei Unterwassertunneln sind risikoanalytische Überlegungen anzustellen, die zur Einschränkung oder sogar zum Verbot bestimmter Gefahrguttransporte durch diese Tunnel führen könnten.

## f) Pannenbuchten

Die RABT sollte für Tunnel mit hohem Gefährdungspotential einen kürzeren Abstand der Pannenbuchten fordern (derzeit ca. 700 m).

## (20) Gefährdungspotential der Fahrzeuge

Die bisherigen Hinweise der RABT zum Transport gefährlicher Güter sollten überarbeitet werden. Gefordert werden sollten einheitliche und verständliche Regelungen, die auf wenigen Gefahrgutkategorien beruhen und die für die Durchführung von quantitativen Risikoanalysen geeignet sind. Bei deren Aufstellung sollten die von einer OECD/PIARC [81] erarbeiteten Vorschläge berücksichtigt werden.

## (21) Verbesserte Sicherheit bei Gefahrgut-Transporten

## a) Vorgehensweisen für Durchfahrtbeschränkungen

Die RABT sollte im Abschnitt 4 „Transport gefährlicher Güter“ unter anderem folgende Möglichkeiten zur Durchfahrtbeschränkung für Gefahrguttransporte vorsehen:

- Generelle Sperrung des Tunnels für Gefahrguttransporte (nur in Ausnahmefällen)
- Beschränkung der Durchfahrterlaubnis auf bestimmte Gefahrgüter
- Einholen besonderer Durchfahrtgenehmigungen bei den Tunnelbetriebszentralen
- Zeitliche Beschränkungen der Durchfahrt (z. B. auf verkehrsarme Stunden in der Nacht)
- Sicherung der Durchfahrt mit Begleitfahrzeugen
- Konvoi-Bildung und Sicherung des Konvois mit Begleitfahrzeugen bei der Durchfahrt

## b) Kontrolle der Durchfahrtbeschränkungen

Die Regelwerke sollten an den Tunnelportalen Stellplätze für die Kontrolle von Gefahrguttransportern vorsehen. Diese Stellplätze

müssen eine Abfahrt zu Straßen außerhalb des Tunnels haben, damit nicht zur Durchfahrt berechnigte Gefahrguttransporter umgeleitet werden können.

(22) Automatische Löschanlagen

Automatische Löschanlagen nach derzeitigem Entwicklungsstand werden in der Selbstrettungsphase in Straßentunneln als kontraproduktiv angesehen und weltweit aus diesen Gründen abgelehnt. Die RABT sollte daher zunächst wie bisher keine automatischen Löschanlagen in Tunneln fordern.

## 8. Zusammenfassung

Mit den bereits ergriffenen Maßnahmen für den Personenschutz im Brandfall in deutschen Bahn- und Straßentunneln wird bereits schon heute ein hohes Sicherheitsniveau erreicht. Dies belegt die Tatsache, dass sich z. B. der letzte große Brand in einem deutschen Straßentunnel 1968 (Moorfleet) ereignet hat, wobei Personen bei diesen Brand nicht zu Schaden gekommen sind. Speziell bezogen auf Straßentunnel kommt eine jüngste Untersuchung [144,147] zu dem Ergebnis, dass Tunnel nach aller Erfahrung in Deutschland Straßenabschnitte mit einer besonders geringen Unfallgefahr sind und auch die Unfallfolgen im Tunnel geringer sind. Hingegen haben in jüngster Zeit Brandereignisse stattgefunden, die zu erheblichen Personen- und Sachschäden geführt haben (z. B. Eurotunnel, U-Bahn Baku, Mt. Blanc- und Tauerntunnel). Diese Brände waren der Anlass zu prüfen, ob der Personenschutz im Brandfall in deutschen Verkehrstunneln weiter erhöht werden kann. Vor diesem Hintergrund veranstaltete die BASt einen internationalen Workshop [7] mit dem Ziel, Möglichkeiten zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall mit Fachleuten zu diskutieren (Kapitel 5).

Ziel dieser Arbeit war es, den Workshop der BASt [7] zu dokumentieren, Brandereignisse in Tunneln zu analysieren, Anregungen zur Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in Verkehrstunneln zu erarbeiten und Empfehlungen für die Ergänzung wichtiger Regelwerke zu geben.

Es wurden die Diskussionsbeiträge des BASt-Workshops „Sicherheit in Tunneln“ [7], in der Literatur beschriebene Brandereignisse und speziell eingeholte Informationen von deutschen und ausländischen Tunnelbetreibern zu Brandereignissen ausgewertet.

Insgesamt wurden 85 Brände in unterirdischen Verkehrsanlagen ausgewertet (Kapitel 3). Hauptschadensursachen für Brände in Verkehrstunneln waren Fahrzeug-Defekte (Kapitel 4). Probleme bei Lösch- und Rettungsarbeiten entstanden durch schlechte Sicht infolge rascher Rauchausbreitung und durch nicht optimal abgestimmte Sicherheits- und Rettungskonzepte.

Folgende Anregungen zur weiteren Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall können aufgrund der durchgeführten Arbeiten gegeben werden:

- (1) Optimierung der Branderkennung und -lokalisierung
- (2) Verbesserung der verkehrstechnischen Störfallerkennung
- (3) wirksamere automatische Tunnelsperrung
- (4) schnelle und gezielte Information der Tunnelnutzer
- (5) Verbesserung der Fluchtwegsysteme
- (6) deutlichere Kennzeichnung der Fluchtwege
- (7) Verbesserung der Entrauchung
- (8) Verbesserung der Kommunikation zwischen den Einsatzkräften
- (9) frühzeitige Erkennung von Fahrzeugdefekten
- (10) automatische Löschanlagen an Fahrzeugen
- (11) Optimierung der Ausrüstung für die Einsatzkräfte.

Bauliche Vorkehrungen für die Sicherheit der Tunnelnutzer sollten generell Vorrang vor aufwendiger technischer Ausrüstung haben.

Von den verantwortlichen Gremien sollte geprüft werden, ob und wie die vorgeschlagenen Maßnahmen zur weiteren Erhöhung des Personenschutzes im Brandfall in die Regelwerke für den Bau und Betrieb von Verkehrstunneln übernommen werden können (Kapitel 7).

## 9. Literatur

- [1] Haack, A.: Brandereignisse in Verkehrstunnelanlagen; Seminar „Brandschutz in Verkehrstunnelanlagen“, Technische Akademie Wuppertal 1992
- [2] Haack, A.: Unterirdisches Bauen in Deutschland – 2000 -, Statistik, Analyse und Ausblick, STUVA/DAUB-Broschüre, Seiten 62 - 68
- [3] Richtlinien für Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln RABT; Ausgabe 1994, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [4] ZTV-Tunnel: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Straßentunneln; Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bund/Länder-Fachausschuss Brücken- und Ingenieurbau, erschienen im Verkehrsblatt-Verlag Borgmann, Dortmund
  - a) Teil 1: Geschlossene Bauweise (Spritzbetonweise); Ausgabe 1995
  - b) Teil 2: Offene Bauweise, Ausgabe 1999
  - c) Teil 4: Betriebsausstattung (Entwurf Februar 2000)
- [5] EBA-Richtlinie: Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln; EBA-Eisenbahn-Bundesamt, Bonn; Ausgabe 01.07.1997
- [6] Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – (BOStrab) vom 11. Dezember 1987 mit zugehörigen „Richtlinien für den Bau von Tunneln nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) (BOStrab – Tunnelbau-Richtlinien)“ vom 30.04.1991 und vorläufige Richtlinien für den vorbeugenden Fahrzeugbrandschutz nach der Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab)-BOStrab-Fahrzeug-Brandschutzrichtlinien - vom 15. März 1985, BMVBW; Verkehrsblatt-Verlag Borgmann, Dortmund
- [7] Workshop „Sicherheit in Tunneln“; Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 15./16. November 1999
  - a) Bericht der STUVAtec GmbH zu den Ergebnissen der Arbeitsgruppe „U-, S- und Stadtbahnen“ und „Eisenbahn“, Dezember 1999, unveröffentlicht
  - b) Bericht der BASt zu den Ergebnissen der Arbeitsgruppe „Straßentunnel“, Juni 2000, unveröffentlicht
- [8] Thoma/Pätzold/Wittenberg: Kommentar zur Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), Hestra-Verlag, Darmstadt, 1994
- [9] Donato, G.: Montreal Metro Fire December 9th 1971, International Union of Public Transport, New York, 1972
- [10] Meier, H.: Erkenntnisse aus dem Einsatz am U-Bahnhof Berlin-Alexanderplatz, "Unser Brandschutz", Heft 12/1972



- [11] Donato, G.: Montreal Metro Fire on January 23th 1974, International Union of Public Transport, Milan, 1975
- [12] Bericht der Berufsfeuerwehr Köln zum U-Bahn-Brand in Köln (Hansaring) vom 23.11.1978
- [13] Trepesch, D.: Großbrand: U-Bahn Köln, Brandschutz-Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 8/1979
- [14] Best, R.: Rapid transit train fire, Fire Command, August 1979
- [15] Stapelfeld, J.-P.: Bericht über den S-Bahnbrand in der unterirdischen Verkehrsanlage des Bhf Altona (8.4.1980), Feuerwehr Hamburg
- [16] Untersuchungen des Instituts für Schadenverhütung und Schadenforschung wegen der Chloridbeaufschlagung beim Feuerschaden des Altona-City-Schnellbahnknoten-Bahnhofs, Hamburg, 1980
- [17] Rothermund, M.: U-Bahnbrand Bonn-Ramersdorf, "Der Feuerwehrmann", Mai 1982
- [18] Hölzl, G.: München: U-Bahn-Zug auf Abstellgleis in Brand, Brandschutz-Deutsche Feuerwehrzeitung, 7/1985
- [19] Safety in Cable and Service Tunnels, International Conference 15-16 November 1993, Heathrow, London, UK
- [20] Cantillo, R. L., Ragusa, L.J.: Grand Central Station Fire, Fire Engineering, Dezember 1985
- [21] Heffels, P.: Brandschutz in Tunnelanlagen für Nahverkehrsbahnen-Rohbau- und ausbautechnische Gesichtspunkte, Taschenbuch für den Tunnelbau 1988, S. 275-S. 303
- [22] Fennell, D.: Investigation into the King's Cross Underground Fire, Department of Transport, London, Oktober 1988
- [23] Fermaud, Ch./Jenne, P./Müller, W.: Fire in a Commuter Train - Rescue Procedures as Perceived by Passengers, Tagungsband zur zweiten internationalen Konferenz „Safety in Road and Rail Tunnels“, April 1995, Seiten 181 - 188
- [24] Mundwiler, H.: Brand eines SBB-Zuges im Hirschgrabentunnel (Zürich) vom 16. April 1991 Bulletin BVD/SPI 2/1991
- [25] Pausa, E. M.: Brand eines U-Bahnwagens, "Retten, Löschen, Bergen", März/ April 1992
- [26] Hedefalk, J./Wahlstrom, B./Rohlen, P.: Lessons from the Baku Subway fire; Tagungsband zur dritten internationalen Konferenz „Safety in Road an Rail Tunnels“, März 1998, Seiten 15 - 28
- [27] Berichte des KStA in der Zeit vom 30. Oktober bis 30. November 1995
- [28] Vorläufiges Protokoll der Untersuchungskommission über den Brand der U-Bahn in Baku am 28.10.1995, deutsche Übersetzung vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
- [29] Schreiben der Stadtwerke Bonn vom 23.02.2000 an die STUVA mit Angaben zum Brandereignis vom 03.08.1996
- [30] Schreiben der Berliner Verkehrsbetriebe vom 04.02.2000 an die STUVA

- [31] Kölner Stadtanzeiger, 4. und 5.1.1996
- [32] Süddeutsche Zeitung, 11./12.5.1996
- [33] Freitag, P.: Waggon ging in Flammen auf; KStA Nr. 285 vom 08.12.1997
- [34] Freitag, P.: Feuer in U-Bahn war Brandstiftung; KStA Nr. 286 vom 09.12.1997
- [35] Howarth, D. J.: Fire and Rescue Underground, Tunnels & Tunneling, July 1988
- [36] Fire Prevention No. 181, July/ August 1985
- [37] NN: Großbrand im Summit-Tunnel Großbritannien, 112 Magazin der Feuerwehr, 1985, Seiten 522 – 531
- [38] Departement of Transport: Railing Accident-Report on the Derailment and Fire that occurred on 20th December 1984 at Summit-Tunnel, Her Majesty's Stationary Office, London, 1986
- [39] Morris, M. A./Cox, G.: Notes on a visit to the scene of the Summit Railway Tunnel fire, December 1984, Building Research Establishment Client Report, Juni 1985
- [40] Shentao, R. / Jun, M. / Hong, S. / Guopin, D.: Oil Tanker-Explosion in a tunnel; Tagungsband zur ersten internationalen Konferenz "Safety in Road and Rail Tunnels", Basel, 1992, Seiten 339 – 345
- [41] Brux, G.: Brand im Kanaltunnel; Eisenbahningenieur (48) 1997, Heft 11, Seiten 50 – 53
- [42] Brux, G. : Der Kanaltunnel; Eisenbahningenieur (49) 1998, Heft 3, Seiten 37 – 39
- [43] Liew, S. K. / Deaves, D. M.: Eurotunnel HGV fire on 18th november 1996 – Fire development and effects, Tagungsband zur dritten internationalen Konferenz "Safety in Road and Rail Tunnels", März 1998, Seiten 29 – 40
- [44] Bradbury, W.: Smoke control during the channel tunnel-fire of 18th november 1996; Tagungsband zur dritten internationalen Konferenz „Safety in Road and Rail Tunnels“, März 1998, Seiten 626 – 640
- [45] Kölner Stadt-Anzeiger vom 3. März 1999 mit Bericht über den Brand im Leinebusch-Tunnel
- [46] Vorläufiger Untersuchungsbericht des EBA vom 17.03.1999 zum Brand im Leinebusch-Tunnel
- [47] Kreisfeuerwehr Göttingen: Vorläufiger Abschlußbericht über den Brand im Leinebuschtunnel; Stand 13.04.1999
- [48] Bohnenblust, H.: Die Risikobeurteilung als Planungshilfe hinsichtlich der Betriebssicherheit von langen Eisenbahntunneln; Sonderheft " Tunnel"; Symposium "Planung langer Eisenbahntunnel"; Mai 1988, Seiten 49 – 55
- [49] Haack, A.: Brandschutz in Verkehrstunneln – Erste Erkenntnisse aus Großversuchen, Forschung + Praxis, Band 34, Seiten 134 – 144, Alba-Verlag, Düsseldorf, 1992
- [50] Hacar, F. et al.: Incendios en túneles, Spanien, 1993
- [51] Kölner Stadt-Anzeiger vom 04.08.1993 zum Personen-/Güterzug-Brand in Asturien/Nordspanien

- [52] Falkenhainer, K.H.: Auswertung von Brandereignissen in Straßentunneln, Abschnittsarbeit im Rahmen der Ausbildung bei der Berufsfeuerwehr Hamburg, August 1993
- [53] US-Department of Transportation, Federal Highway Administration: Prevention and Control of Highway Tunnel Fires; Bericht FHWA-RD-83-032, Stand: 26.07.1999
- [54] Bericht des Tokio Fire Department an die Berufsfeuerwehr Hamburg vom 30.08.1979
- [55] Japan Highway Public Corporation: Report on the Nihonzaka-Tunnel-Fire and the Resauration Works, Januar 1980
- [56] N.N.: Fire desaster in the Nihonzaka-Tunnel near Shizuoka-City, Prospekt Eternit, Tunnel and Metro-Station-Cladding, Belgien, 1988
- [57] PIARC Committee on Road Tunnels: Fire and Smoke Control in Road Tunnels; 1999
- [58] Foit/Pollak/Sippel/Tetzner: Festlegung von Mindestschutzmaßnahmen im Brandfall für verschieden Tunneltypen und Verkehrssituationen; Forschungsauftrag FE Nr. 03.314/1998/FGB des BMVBW und der FGSV an die DMT – Deutsche Montan Technologie, Essen; Schlussbericht, Juli 1999
- [59] Bericht der St. Gotthard-Tunnel-Betriebsleitung zum Brandereignis vom 05.07.1994
- [60] Roth, R.: Brand eines Lastzuges im Gotthard-Straßentunnel; PVT 1995, Heft 2, Seiten 49 bis 53
- [61] Bericht der technischen Untersuchungskommission über den Brand vom 24. März 1999 im Mont-Blanc-Tunnel, Bearbeiter: Duffé, P./Marec, M., Französisches Innenministerium und Französisches Ministerium für Bauen, Verkehr und Wohnungswesen, Stand: Juni 1999
- [62] Falconnat, B.: Der Brand im Mont-Blanc-Tunnel, Vortrag auf dem BAST-Workshop „Sicherheit in Tunneln“, Bergisch Gladbach, 15./16. November 1999
- [63] Brux, G.: Brand im Mont-Blanc-Tunnel, Tunnel 1999, Heft 3, Seiten 4 –5
- [64] Brux, G.: Mont-Blanc-Tunnel ab Herbst 2000 wieder offen, Tunnel 2000, Heft 3, Seiten 4 - 5
- [65] NN: Tauern-Tunnel seit 28.08.1999 wieder in Betrieb, Tunnel 1999, Heft 6, Seiten 2 – 6
- [66] Hamburger Abendblatt: Die Hölle im Tunnel, 31.05.1999 (Bericht über Brand im Tauern-Tunnel)
- [67] Hörhan, R.: Der Brand im Tauerntunnel; Vortrag auf dem BAST-Workshop „Sicherheit in Tunneln“, Bergisch Gladbach, 15./16. November 1999
- [68] Brux, G.: Brandschadenbeseitigung im Tauerntunnel – Technische Maßnahmen, Tunnel 1999, Heft 8, Seiten 57 - 59
- [69] Bericht der St. Gotthard-Tunnel-Betriebsleitung zum Brandereignis vom 02.04.1984
- [70] Schreiben der SINA (Societa iniziative nazionali autostradali) vom 19. April 1996 an die STUVA zum Brandereignis im Tunnel Isola delle Femmine (18.03.1996)
- [71] Brux, G.: Sicherheit in Straßentunneln (ADAC-Untersuchung 1999); Tunnel 1999, Heft 5, Seiten 2 – 4
- [72] Sauter, R.: Jeder dritte Tunnel ist gefährlich, ADAC-Motorwelt 2000, Heft 5, Seiten 42 - 46

- [73] DIN 5510: Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen
- [74] Ridder, H.: GGVS: Gefahrgutverordnung Straße mit ADR, Wortlaut, Anlagen A und B, 14. Auflage, ecomed-Verlag, Landsberg, 1998
- [75] Nicht oder beschränkt zu benutzende Autobahnstrecken mit kennzeichnungspflichtigen Beförderungseinheiten nach Anlage B, Randnummer 10500 bei innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Beförderungen; Anlage 3 zur GGVS-Rahmenverordnung, Bundesgesetzblatt I, 1996, Seite 1886 ff.
- [76] Heffels, P. / Marquardt, H.-J. / Staub, H.: Verbesserung des Brandschutzes in Tunnelanlagen für Straßen-, Stadt- und U-Bahnen; Schlussbericht zum gleichlautenden Forschungsprojekt des Bundesministers für Verkehr, Bonn; STUVA-Forschungsberichte 18/84, Oktober 1984
- [77] Bruns, W.: Brandschutz in unterirdischen schienengebundenen Verkehrsanlagen; Abschnittsarbeit Bf Hamburg, Frankfurt, 1980
- [78] Stapelfeld, J.-P.: Anatomie eines Brandes-S-Bahnzug im Bahnhof Altona, VFDB- Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz 29, 4/1980, S. 134-138
- [79] Untersuchungsbericht in allen öffentlichen Verkehrsmitteln und Verkehrsbauten der freien und Hansestadt Hamburg, 1980
- [80] Julga, G.: Probleme zur Einsatzplanung zu Bränden von schienengebundenen Verkehrsmitteln und unterirdischen Verkehrsanlagen am Beispiel der Hamburger Schnellbahn, 6. Internationales Brandschutzseminar, Karlsruhe, 1982
- [81] PIARC/OECD: Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels, 21. Weltstraßenkongress, Kuala Lumpur, Oktober 1999
- [82] ADAC-Flughafengespräch „Tunnelsicherheit“, München 30.11.1999
- [83] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Begriffe, Anforderungen und Prüfung; Beuth-Verlag, Berlin
- a) Teil 1: Baustoffe (Mai 1981)
- b) Teil 2: Bauteile (September 1977)
- [84] Both, C. / van de Haar, P./ Tan, G. / Wolsink, G.: Evaluation of passive fire protection measures for concrete tunnel linings; Tagung "Tunnel Fires and Escape from Tunnels", Lyon, 1999, Tagungsband, Seiten 95 bis 104
- [85] Tan, G.L.: Fire protection in tunnels open to hazardous goods transport – experience in the Netherlands; Vortrag auf der Tagung "La Sécurité dans les tunnels routiers" an der "Ecole Nationale des Ponts et Chaussées", Paris, Dezember 1997
- [86] Vervoer Gevaarlijke Stoffen door tunnels; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Richtlijnen, Dezember 1992

- [87] Allmän teknisk beskrivning (Allgemeine technischen Anforderungen) TUNNEL 98, Swedish National Road Administration
- [88] Lacroix, D.: New requirements for fire resistance of road tunnels in France, World Tunnel Congress '98: Tunnels and Metropolises, April 1998, São Paulo (Brasilien)
- [89] Eurocode 1: Basis of design and actions on structures; Part 2-2: Actions on structures exposed to fire, ENV 1991-2-2; European Committee for Standardization, 1994
- [90] Brux, G.: Mehr Brandsicherheit im Kanaltunnel; EI-Eisenbahningenieur 51 (2000), Heft 5, Seite 40
- [91] EUREKA-project EU 499 Firetun: Report on Full-Scale Tests on Fires in Transport Tunnels, Herausgeber: Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, Mai 1995
- [92] Takita, T.: Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Verhütung von Zugbränden; Schienen der Welt 1997, Oktober-Heft, Seiten 512 – 523
- [93] Steinert, C: Dimensionierung von Halbquerlüftungssystemen für den Katastrophenfall; Tunnel 1999, Heft 1, Seiten 42 – 45, Heft 2, Seiten 36 – 52
- [94] DS 800 01: Bahnanlagen entwerfen – Allgemeine Entwurfsgrundlagen (Stand 01.03.1993) mit Rundschreiben der Deutschen Bahn AG vom 06.08.1997 zur weiteren Gültigkeit
- [95] DS 800 03: Bahnanlagen entwerfen – S-Bahnen – (Stand 01.10.1992) mit Rundschreiben der Deutschen Bahn AG vom 06.08.1997 zur weiteren Gültigkeit
- [96] Sander, R./Süselbeck, G.: Gefahrgut-Transport: Basiskurs; Erstschulung; DEKRA-Akademie, Stuttgart, Ausgabe 2000
- [97] Niegel, H.-J./Sander, R./Süselbeck, G.: Gefahrgut-Transport: Aufbaukurs „Tank“; Erstschulung, DEKRA-Akademie, Stuttgart, Ausgabe 1999
- [98] Day, J.: Tunnel Safety and ventilation design and specification, Tunnel Management International 1999, Oktober-Heft, Seite 8 bis 11
- [99] Haack, A.: Aktuelle Sicherheitsfragen in Tunneln; Tunnel 2000, Heft 5, Seiten 36 bis 54
- [100] VdS-Fachtagung „Brandschutz in Verkehrsanlagen – Straßen- und Eisenbahntunnel“; Tagungsband, Juni 2000, Köln
- [101] Seeling, S.: Brandschutzkonzept der Kölner Verkehrsbetriebe AG; VdS-Fachtagung „Brandschutz in Verkehrsanlagen – Straßen- und Eisenbahntunnel“; Tagungsband, Juni 2000, Köln, Umfang: 17 Seiten
- [102] Thamm, B.: Menschliches Fehlverhalten von Tunnelnutzern im Brandfall; VdS-Fachtagung „Brandschutz in Verkehrsanlagen – Straßen- und Eisenbahntunnel“; Tagungsband, Juni 2000, Köln, Umfang: 36 Seiten
- [103] Einsatzordnung BAB-Elbtunnel; Dienstanweisung DA 02-1, Teil 5, der Berufsfeuerwehr Hamburg, Schreiben der Feuerwehr Hamburg vom 29.05.2000 an die STUVAtec GmbH

- [104] Emstunnel-Betriebshandbuch; der STUVAtec GmbH mit Schreiben vom 30.05.2000 vom Straßenbauamt Oldenburg-Ost/Autobahnmeisterei Leer zur Verfügung gestellt.
- [105] UN-Orange Book – United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods
- [106] Hinweise für die Planung von Verkehrsbeeinflussungssystemen für Straßentunnel, Ausgabe 1997, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [107] Brux, G.: Brandschadensaufstellung im Tauern-Tunnel; Tunnel 2000, Heft 1, Seite 57 bis 58
- [108] Hog, Th.: HLF 24/16 S in Dienst gestellt; 112 - Magazin der Feuerwehr 2000, Heft 4, Seiten 224 bis 226
- [109] NN: NRW: Keine Absprache; 112 – Magazin der Feuerwehr 2000, Heft 4, Seite 252
- [110] Braun, A.: Das Notbremskonzept für S-Bahn-Triebzüge; Die Bundesbahn 1989, Heft 4, Seiten 331 bis 333
- [111] NN: Einführung der Notbremsüberbrückung für Züge, die Reisende befördern; Deine Bahn 1988, Heft 5, Seiten 255 bis 267
- [112] Fa. Zumro: Tunnel-Hochleistungslüfter; Feuerwehr Magazin 2000, Heft 2, Seite 5
- [113] Stadtbahnen in Deutschland, Herausgeber: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und VDV-Förderkreis e.V., Alba Fachverlag Düsseldorf, Mai 2000
- [114] Bericht der Berliner Feuerwehr über besondere Einsätze vom 24.10.1991
- [115] Fax der Berliner Feuerwehr vom 13.02.1994
- [116] Müller-Madaus, J.: Sicherheits-Leitsystem für den Einsatzfall in unterirdischen Verkehrsbauten am Beispiel der U-Bahn Hamburg, Tunnel 1990, Heft 4, Seiten 221 bis 228
- [117] vfdb-Arbeitskreis „Tunnelbrandbekämpfung“: Schadensbekämpfung bei Brand und Kollision von Reisezügen in Tunnelanlagen der DB AG, 112-Magazin der Feuerwehr, Heft 2/2000, Seiten 80 bis 85
- [118] Pucher, K.; A Fire in the 8,3 km long Gleinalm-Tunnel (Fire Safety Approval and Reality); Tagung „Tunnel Fires and Escape from Tunnels“; Lyon, 1999, Tagungsband, Seiten 379 bis 384
- [119] Henke, A.; Learning from real Events-Dealing with Truck fires in the St. Gotthard Road Tunnel; Tagung „Tunnel Fires and Escape from Tunnels“; Lyon, 1999, Tagungsband, Seiten 369 bis 378
- [120] Pfändertunnel, Brandkatastrophe am 10. April 1995; Bericht des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abt. Straßenbau; vom Mai 1995 über Schaden und Sanierung
- [121] Romen, E.: Tod im Pfändertunnel; Feuerwehr-Magazin 1995, Heft 8, Seiten 34 bis 37
- [122] Skarra, N.: Bus on Fire in the Ekeberg-Tunnel on August 21, 1996; Norwegian Public Roads Administration, Oslo Country Roads Office, Februar 1997

- [123] Amundson, H. / Melvaer, P. / Ranes, G.: Studies on Norwegian Road Tunnels – an Analysis on Traffic Accidents and Car Fires in Road Tunnels; Norwegian Public Roads Administration, Oslo; Berichts-Nr. TTS 15 1997, November 1997
- [124] Brux, G.: Wieder Brand im Tauerntunnel; Tunnel 2000, Heft 2, Seiten 8 und 11
- [125] Gray, J./Varkevisser, J.: The Huguenot Toll Tunnel Fire; Second International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels; Granada, April 1995, Tagungsband, Seiten 57 bis 66
- [126] Gillard, J./Arch, P.: Mersey Tunnels - Kingsway Tunnel Fire Incident 15<sup>th</sup> October 1994, Second International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels; Granada, April 1995, Tagungsband, Seiten 97 bis 103
- [127] "Brand im U-Bahnhof", Florian Hessen, Zeitschrift für die Feuerwehr, Oktober 1984
- [128] Sonderbericht "Feuer im S-Bahnhof Landungsbrücken am 30.9.1984, 22.11 Uhr" Hamburger Feuerwehr Innenstadt, 4.10.1984
- [129] Gutachterliche Stellungnahme zum Feuerschaden vom 20. Oktober 1991 im U-Bahnhof Heinrich-Heine-Allee des Chemischen Sachverständigenbüros Dr. rer. nat. Dieter Rackwitz, 4.11.1991
- [130] Bericht der Feuerwehr vom 3.11.1991 zum Brand am 20.10.1991 im U-Bahnhof Heinrich-Heine-Allee, Einsatz-Nr. 5132
- [131] Pinus, Rudolf: Fires and Accidents in Underground Railways, Papier der Metrostav Ltd. Prag, Umfang: 36 Seiten
- [132] Zeitungsartikel der verschiedenen Berliner Tageszeitungen vom 10. bis 15. Juli 2000 zum Brand in der Haltestelle "Deutsche Oper" am 8.7.2000
- [133] Parsons Brinkerhoff Quade & Douglas Inc.: Subway Environmental Design Handbook, Volume II, Berichts-Nr. FTA-MA-26-7022-97-1 vom Dezember 1997 zum Forschungsvorhaben DOT-VNTSC-FTA-97-7 des US Department of Transportation, Volpe National Transportation Systems Center, Cambridge, Massachusetts
- [134] Speakman, T.B.: Fire of Toronto, Transit Commission, Bloor-Danforth Subway at Christie Street Station, 15.10.1976, Toronto, Ontario, 1977
- [135] Townsend, J.W.: Fire Protection and Prevention in Trains and Tunnels for TTL, APTA 1980 Rapid Transit Conference, San Francisco, 1980
- [136] Zeitungsbericht der Frankfurter Allgemeinen Zeitung vom 29.10.1985
- [137] "Mexico City´s metro coopes with calamity", Tunnels & Tunneling, January 1986
- [138] Bericht über den Brand in der U-Bahn-Haltestelle Hauptbahnhof Nord (U2) am Donnerstag, den 27. Juli 1995, Hamburger Hochbahn AG, 31.7.1995
- [139] Bericht "Kabelbrand im Zürichbergtunnel, vom 1.5.1997, 15.22 Uhr" der SBB CFF FFS, Zürich 20.5.1997
- [140] Vermerk "Brand im U-Bahnhof Saalbau", EVAG, Essen, 30.3.1999
- [141] Zeitungsberichten der Westdeutschen Allgemeinen Zeitung vom 7.12.99, 9.12.99 und 14.12.99
- [142] Weiß, G.: Bewährung beim Brand im Tunnelsystem der U-Bahn, "Unser Brandschutz", Heft 9/ 1986

- [143] Tunnel Management International, Juni 2000
- [144] Brilon, W. / Lemke K.: Straßenquerschnitte in Tunneln, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 785, 2000
- [145] Scheidegger, H.: Stand der Sicherheitsüberprüfung schweizerischer Straßentunnel; Vortrag auf dem BAST-Workshop „Sicherheit in Tunneln“, Bergisch Gladbach, 15./16. November 1999
- [146] Schreiben der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, vom 9.10.2000 an den Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, EW14, zum Brand in der U-Bahn-Station „Deutsche Oper“ am 8. Juli 2000
- [147] Lemke, K.: Verkehrssicherheit von Straßentunneln, Straßenverkehrstechnik 10/99, S. 512 - 515
- [148] Benchmarking: Bildverarbeitende Videosysteme im Straßenverkehr, Report für Bau- und Umweltschutzdirektion Kanton Basel, Bern November 1999



# Brandschutz in Verkehrstunneln

Forschungsauftrag FE 82.166/1999/B3  
der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Bergisch Gladbach

## **Anhang zum Schlussbericht**

Dezember 2000

## Inhaltsverzeichnis

Seite

<b>Anhang 1</b>	<b>Brandereignisse in Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln</b>	1
Ereignis U 1:	Metro-Station Henri-Bouassa, Montreal, 9.12.1971	2
Ereignis U 2:	U-Bahnhof Alexanderplatz, Ost-Berlin, 4.10.1972	3
Ereignis U 3:	Metro-Station Rosemont, Montreal, 23.1.1974	4
Ereignis U 4:	U-Bahnhof Hansaring, Köln, 24.10.1976	5
Ereignis U 5:	Unterwassertunnel, San Francisco, 17.1.1979	6
Ereignis U 6:	S-Bahnhof Altona, Hamburg, 8.4.1980	7
Ereignis U 7:	U-Bahnhof Ramersdorf, Bonn, 11.9.1981	8
Ereignis U 8:	U-Bahnhof Königsplatz, München, 5.9.1983	9
Ereignis U 9:	U-Bahnhof Oxford Circus, London, 1984	10
Ereignis U10:	U-Bahnhof Central Station, New York, 27.8.1985	11
Ereignis U11:	Verbindungsgleis U2/U5, Ost-Berlin, 7.5.1986	12
Ereignis U12:	U-Bahnhof King's Cross, London, 18.11.1987	13
Ereignis U13:	Hirschgrabentunnel, Zürich, 16.4.1991	14
Ereignis U14:	U-Bahnhof Karlsplatz, Wien, 2.12.1991	15
Ereignis U15:	Metro-Station Uldus, Baku, Aserbaidshon, 28.10.1995	16
Ereignis U16:	U-Bahnhof Auswärtiges Amt, Bonn, 03.08.1996	17
Ereignis U17:	U-Bahnhof Deutsche Oper, Berlin, 8.7.2000	18
<b>Anhang 2</b>	<b>Brandereignisse in Fernbahn-Tunneln</b>	19
Ereignis F 1:	Summit Tunnel, Yorkshire, England, 20.12.1984	20
Ereignis F 2:	Xiang-Yu-Bahnlinie, China, 03.07.1990	21
Ereignis F 3:	Brand im Kanaltunnel, Frankreich/Großbritannien, 18.11.1996	22
Ereignis F 4:	Leinebusch-Tunnel, 02.03.1999	23
<b>Anhang 3</b>	<b>Brandereignisse in Straßentunneln</b>	24
Ereignis S 1:	Holland-Tunnel, New York, 13.05.1949	25
Ereignis S 2:	Moorfleet-Tunnel, Hamburg, 31.08.1968	26
Ereignis S 3:	Nihonzaka-Tunnel, Japan, 11.07.1979	27
Ereignis S 4:	Caldecott-Tunnel, Kalifornien, 07.04.1982	28
Ereignis S 5:	Gotthard-Tunnel, Schweiz, 05.07.1994	29
Ereignis S 6:	Pfänder-Tunnel, Österreich, 10.04.1995	30
Ereignis S 7:	Ekeberg-Tunnel, Norwegen, 21.08.1996	31

Ereignis S 8: Gotthard-Tunnel, Schweiz, 31.10.1997	32
Ereignis S 9: Mont-Blanc-Tunnel, Frankreich/Italien, 24.03.1999	33
Ereignis S10: Tauern-Tunnel, Österreich, 29.05.1999	34
<b>Anhang 4 Vorträge auf dem Workshop „Sicherheit in Tunneln“</b>	<b>35</b>
- Begrüßung	36
Dr.-Ing. K. H. Lenz	
Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach	
- Sicherheit in Straßentunneln	38
Prof. Dr.-Ing. W. Baltzer	
BUNG GmbH beratende Ingenieure, Heidelberg	
- Stand der Sicherheitsüberprüfung schweizerischer Straßentunnel	52
Dipl.-Ing. H. R. Scheidegger	
IUB-Ingenieurunternehmung AG, Bern, Schweiz	
- Sicherheit in Tunneln	62
Prof. Dr.-Ing. A. Haack	
Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen, Köln	
- Der Brand im Mont Blanc Tunnel	72
Dipl.-Ing. B. Falconnat	
Scetauroute, Pringy, Frankreich	
- Der Brand im Tauerntunnel	83
Dipl.-Ing. Rudolf Hörhan	
Ministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien, Österreich	
- Erfahrungen mit Eisenbahntunneln	93
Dipl.-Ing. Hans Heinrich Grauf	
Eisenbahnbundesamt , Bonn	

## **Anhang 1**

### **Brandereignisse in Schienen-Personen-Nahverkehrstunneln**

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U1: Metro-Station Henri-Bouassa, Montreal, 9.12.1971

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein U-Bahnzug fuhr ohne Fahrgäste auf ein Abstellgleis und prallte dabei auf einen abgestellten Zug. Es entgleisten einige U-Bahnwagen und es entstand ein Kurzschluss des Fahrstroms mit Brandfolge. Durch den Aufprall wurde der Zugführer im Triebwagen eingeklemmt (22.21 Uhr). Die kurz darauf benachrichtigte Betriebszentrale veranlasste die Abstellung des Fahrstroms. Drei U-Bahnbedienstete gingen zur Rettung des eingeklemmten Zugführer zum Triebwagen und entdeckten dabei ca. 30 m weiter vor sich einen Brand (22.22 Uhr). Das Feuer wurde erst um 15.30 Uhr des Folgetages durch Fluten des Tunnels gelöscht.

Der Brandschaden belief sich auf 24 völlig zerstörte U-Bahnwagen, 12 erheblich beschädigte Wagen, Betonabplatzungen der Tunnelwandung und beschädigte Schienen sowie Leitschienen über eine Länge von 200 m. Ferner wurden alle Kabel und Lampen sowie ein großer Teil der elektro-mechanischen Ausstattung zerstört. Der Sachschaden betrug ca. 11 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die ungefähr um 22.31 Uhr eintreffende Feuerwehr konnte wegen großer Hitze, starker Rauchbildung, Mangel an Scheinwerfern, zu kleinen tragbaren Sauerstoffflaschen und fehlender Hydranten weder zur Brandstelle vordringen noch den Brand bekämpfen. Etwa zu diesem Zeitpunkt fiel die Tunnelbeleuchtung und -belüftung aus und es kam zu einer starken Rauchentwicklung. Da die Feuerwehr nicht in der Lage war zum Brandherd vorzudringen, brannte das Feuer unkontrolliert ungefähr 17,5 Stunden. Der Brand konnte nur durch Fluten des Tunnels gelöscht werden.

Der im U-Bahnwagen eingeklemmte Zugführer konnte nicht befreit werden und starb.

#### Literatur:

- Verbesserung des Brandschutzes in Tunnelanlagen für Straßen, Stadt- und U-Bahnen, STUVA Forschungsberichte 18/ 84, Köln, Oktober 1984
- Donato, G.: Montreal Metro Fire December 9th 1971, International Union of Public Transport, New York, 1972

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U2: U-Bahnhof Alexanderplatz, Ost-Berlin, 4.10.1972

#### **Beschreibung des Brandereignisses:**

Von der Besatzung eines Bauzuges wurde ein Brand in einem abgestellten Viererzug der U-Bahn in der Nähe des Bahnhofs Alexanderplatz entdeckt (3.50 Uhr). Löschversuche durch die Arbeiter des Bautrupps mit Handfeuerlöschern schlugen fehl. Aus einem Notausstiegsschacht in der Nähe des U-Bahnhofes schlugen ca. 1,5 m hohe Flammen empor und es trat starker Rauch heraus. Die Tunneldecke stürzte infolge der großen Hitze (etwa 800 °C bis 1000 °C) ein. Zwei Stunden nach Entdeckung des Brandes stürzte ein weiterer Teil der Tunneldecke ein, was wiederum mit starker Flammenbildung verbunden war. Ungefähr siebeneinhalb Stunden nach der Brandmeldung war der Brand unter Kontrolle (11.30 Uhr). Der Brandschaden an der Tunnelröhre und dem ausgebrannten Viererzug belief sich auf etwa 3,5 Mio. DM.

#### **Lösch- und Rettungsarbeiten:**

Nachdem die Lage des brennenden Zuges genau geortet wurde, wurde ein Einstiegsschacht mit Schneidbrennern geöffnet. Der Versuch, einen Feuerwehrrupp durch den Schacht in den Tunnel zu schicken scheiterte aufgrund der großen Hitze. Die Temperatur und die Rauchentwicklung wurde deshalb durch in den Schacht eingebrachten Löschschaum verringert und es konnte ein mit Pressluftatmern ausgestatteter Feuerwehrrupp im U-Bahntunnel eingesetzt werden. Zur Bekämpfung des Brandes wurden 3 C-Schläuche eingesetzt, so dass der Brand ungefähr siebeneinhalb Stunden nach seiner Entdeckung unter Kontrolle war. Die Arbeiter des Bautrupps wurden mit leichten Rauchvergiftungen zur ambulanten Behandlung ins Krankenhaus eingeliefert.

#### **Literatur:**

- Meier, H.: Erkenntnisse aus dem Einsatz am U-Bahnhof Berlin-Alexanderplatz, "Unser Brandschutz", Heft 12/1972

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U3: Metro-Station Rosemont, Montreal, 23.1.1974

#### Beschreibung des Brandereignisses:

An einem U-Bahnwagen brannte eine defekter Gummireifen woraufhin der Zugführer den mit ca. 1.000 Fahrgästen besetzten U-Bahn-Zug südlich der Haltestelle Rosemont nahe des Lüftungsschachtes St. Gregoire anhielt (7.55 Uhr). Das Feuer breitete sich über Heizungsleitungen im Fußboden des Wagens aus. Löschversuche des Zugführers mit Trockenpulver misslangen. Die Feuerwehr wurde daraufhin über die Betriebszentrale informiert und traf etwa fünfzehn Minuten nach der Alarmierung ein. Ungefähr drei Stunden nach der Entdeckung des Brandes war dieser von der Feuerwehr gelöscht (11.00 Uhr).

Es brannten alle neun Wagen aus, technische Tunneleinrichtungen wurden über eine Strecke von ca. 300 m zerstört. Im Tunnelfirstbereich wurden an einigen Stellen Betonabplatzungen festgestellt. Ferner entstanden Rußablagerungen in der Haltestelle Rosemont. Der Sachschaden belief sich auf ca. 3 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Nachdem durch die Betriebszentrale der Fahrstrom gegen 8.00 Uhr abgeschaltet wurde, konnten sich alle Fahrgäste mit Hilfe des Zugpersonals noch vor dem Eintreffen der Feuerwehr aus dem brennenden U-Bahn-Zug retten. Zwanzig Minuten nach Feststellung des Brandes traf die Feuerwehr ein und begann die Löscharbeiten von der Haltestelle Rosemont (8.15 Uhr). Innerhalb von fünf Minuten verschlechterte sich die Sicht aufgrund zunehmender Rauchmengen erheblich, so dass die Feuerwehr die Brandbekämpfung von der benachbarten Haltestelle Laurier aufnahm (8.20 Uhr). Von hier aus war der Anmarsch zur Unfallstelle länger und es mussten bis zum Brandherd 600 m Schlauchleitung verlegt werden. Die mechanische Lüftung reichte zur Bewältigung der großen Rauchgasmengen nicht mehr aus (8.30 Uhr). Der Ventilator am Schacht St. Gregoire versagte (9.00 Uhr). Alle Ventilatoren südlich des Brandortes wurden angeschaltet, wodurch sich die Sicht verbesserte und zwei Stunden später war der Brand gelöscht (11.00 Uhr). Es wurden keine Personen verletzt.

#### Literatur:

- Donato, G.: Montreal Metro Fire on January 23th 1974, International Union of Public Transport, Milan, 1975

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U4: U-Bahnhof Hansaring, Köln, 24.10.1978

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein zwischen Faltenbalg und Sperrholzverkleidung geworfener Zigarettenrest führte zum Brand in einem U-Bahn-Zug, der um 0.40 Uhr durch einen der acht Fahrgäste an den Fahrer gemeldet wurde. Dem Fahrer gelang die Einfahrt in den nächsten U-Bahnhof (Hansaring). Er ließ die Fahrgäste aussteigen und alarmierte die Leitstelle, welche die Feuerwehr benachrichtigte (0.41 Uhr). Der Fahrer startete mit einem Pulverlöscher einen erfolglosen Löschversuch. Um 0.43 Uhr entstand aufgrund des Brandes ein Kurzschluss und die Stromversorgung fiel aus. Um 0.47 Uhr traf der erste Einsatzwagen der Feuerwehr ein. Um 2.20 Uhr war das Feuer gelöscht. Die Brandtemperaturen betragen ca. 1000 °C.

Durch den Brand entstanden im Bereich des Bahnhofs die größten Bauwerkschäden in Form von zerstörten abgehängten Decken-, Wandverkleidungen und Leitungen sowie Betonabplatzungen an der tragenden Stahlbetonkonstruktion. Der Stadtbahnzug war vollständig ausgebrannt. Der Sachschaden belief sich auf ca. 2,5 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Alle Fahrgäste konnten den brennenden Zug im U-Bahnhof Hansaring verlassen. Beim Eintreffen der Feuerwehr etwa fünf Minuten später wirkten die Bahnhofsangänge wie Kamine. Es traten schon heiße Brandgase und starker Rauch auf, so dass die Feuerwehr auch mit starkem Atemschutzgerät nicht zum brennenden Zug kam. Die geforderte Feuerwehrverstärkung wurde deshalb direkt zum nächstliegenden Notausgang (ca. 300 m Anmarsch) sowie zum nächstliegenden U-Bahnhof (Ebertplatz, ca. 800 m Anmarsch) verwiesen. Mit Großraumlüftern wurde versucht die enorme Brandwärme und den Rauch aus dem Tunnel zu saugen. Der Löschangriff gestaltete sich schwierig, da lange Wege mit Atemschutzgeräten, Beleuchtung und Löschgeräten (4 C-Schläuche) zurückgelegt werden mussten. Ferner wurden die Feuerlöschwasserleerrohre im Tunnel von der Feuerwehr erst nach längerem Suchen gefunden. Das Feuer war ca. 1 ½ Stunden nach Brandausbruch unter Kontrolle und wenig später gelöscht (2.20 Uhr).

Ein Funkverbindung zwischen Einsatzleitung und den Löschtrupps im Tunnel kam nicht zustande. Es wurden eine Vielzahl von Fahrzeugen und Geräten sowie 87 Feuerwehrmänner eingesetzt. Es waren keine Verletzten zu beklagen.

#### Literatur:

- Bericht der Berufsfeuerwehr Köln zum U-Bahn-Brand in Köln (Hansaring) vom 17.1.1979
- Trepesch, D.: Großbrand: U-Bahn Köln, Brandschutz-Deutsche Feuerwehr-Zeitung, 8/1979



## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U5: Unterwassertunnel, San Francisco, 17.1.1979

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Wegen eines gebrochenen seitlichen Stromabnehmers und einer deshalb entstandenen Stromüberlastung fing der vorletzte Wagen einer mit ca. 40 Fahrgästen besetzten U-Bahn im etwa 5,8 km langen Unterwassertunnel zwischen Oakland und San Francisco Feuer (18.06 Uhr). Der Zugführer meldete den Brand sofort der Leitstelle und diese informierte wenig später die Feuerwehr. Durch eine automatische Notbremsung kam der Zug im Unterwassertunnel zum Stehen. Ungefähr vier Stunden nach dem Ausbruch des Brandes hatte sich das Feuer auf fünf der sieben Wagen ausgebreitet. Siebeneinhalb Stunden nach Ausbruch des Feuers war der Brand unter Kontrolle.

Fünf Wagen waren nach dem Brand völlig ausgebrannt, zwölf Wagen waren verbrannt. Im Tunnel war im Bereich des Brandherdes der Beton abgeplatzt. Der Schaden betrug ungefähr 17 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Wegen starker Rauchentwicklung im Tunnel konnte der Zugführer seine Position nur ungenau angeben. Deshalb wurden Klappen der Tunnellüftung fälschlicherweise so geöffnet, dass es schnell zu einer noch stärkeren Verrauchung des Tunnels kam (18.19 Uhr). Um 18.44 Uhr traf ein mit Feuerwehrleuten besetzter Zug ungefähr 50 m vom Brandherd entfernt ein. In der Parallelröhre befand sich mittlerweile ein mit 1.000 bis 2.000 Personen besetzter U-Bahn-Zug, der zur Aufnahme von Fahrgästen des brennenden Zuges wartete. Mit Hilfe der eingetroffenen Feuerwehr waren etwa 30 Minuten später alle Fahrgäste gerettet und der Zug in der Nachbarröhre konnte abfahren. Wegen zu geringem Sauerstoffvorrat zog sich die Feuerwehr aus Oakland zurück. Die Sichtverhältnisse im Tunnel besserten sich, nachdem andere Lüftungsklappen geöffnet wurden. Erst 1 ¼ Stunden nach dem Ausbruch des Brandes näherte sich ein Rettungszug der Feuerwehr aus San Francisco mit Löschausrüstung der Unfallstelle. Wegen fehlender Stromversorgung blieb dieser Zug ca. 1,6 km vor der Unfallstelle liegen. Die Reststrecke zum Brandherd wurde deshalb von den Feuerwehrmännern mit der Löschausrüstung zu Fuß zurückgelegt. Wegen der großen Brandhitze mussten die Feuerwehrleute alle fünf Minuten abgelöst werden. Siebeneinhalb Stunden nach Ausbruch des Feuers hatte die Feuerwehr den Brand unter Kontrolle.

Ein Feuerwehrmann kam durch Rauchvergiftung ums Leben, 56 Personen (davon 40 Feuerwehrmänner) erlitten Rauchvergiftungen.

#### Literatur:

- Best, R.: Rapid transit train fire, Fire Command, August 1979

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U6: S-Bahnhof Altona, Hamburg, 8.4.1980

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Durch Brandstiftung begann ein Sitz in der vorderen Zughälfte des 1. Klasse-Abteils eines S-Bahnwagens zu brennen. Ungefähr fünf Minuten nach dem vermutlichen Brandzündzeitpunkt informierte ein Fahrgast den Zugführer im Bahnhof Altona, der dies an die Leitstelle weitergab (16.12 Uhr). Es kam zu einer rasanten Brandausbreitung im Zug. Die Deutsche Bundesbahn ließ daraufhin den unterirdischen Bahnhof räumen. Ungefähr zwei Stunden nach dem Beginn der Löscharbeiten durch die Feuerwehr war der Brand gelöscht (18.50 Uhr). Die Brandtemperatur betrug etwa 1000 °C bis 1200 °C.

Ein S-Bahnwagen der 1. und 2. Klasse war ausgebrannt und es konnten Betonabplatzungen in der Stahlbetondecke im Bereich des Brandherdes festgestellt werden. Ferner befanden sich in allen Teilen der Haltestellenebene Rußablagerungen. Der Sachschaden betrug etwa 10 Mio. DM, wobei ca. 3 Mio. DM auf die zerstörten Fahrzeuge entfielen und ca. 7 Mio. DM die baulichen Anlagen betrafen.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Ungefähr zehn Minuten nach der Brandmeldung traf die Feuerwehr ein (16.25 Uhr). Die beiden Untergeschosse U1 und U2 waren mittlerweile vollständig verqualmt und aus allen Bahnhofsöffnungen trat Rauch hervor. Wegen der schlechten Sichtverhältnisse verirrten sich drei Feuerwehrmänner und erlitten Rauchvergiftungen (16.42 Uhr). Ungefähr 25 Minuten nach dem Eintreffen der Feuerwehr begannen die Löscharbeiten (16.45 Uhr) und etwa zwei Stunden später war der Brand gelöscht (18.50 Uhr). Acht Personen wurden von der Feuerwehr aus dem Bahnhof gebracht. Vier Personen erlitten Rauchvergiftungen. Durch schlechte Funkverbindungen vom U-Bahnhof zur Oberfläche wurde der Feuerwehreinsatz erschwert.

#### Literatur:

- Stapelfeld, J-P.: Bericht über den S-Bahnbrand in der unterirdischen Verkehrsanlage des Bf Altona (8.4.1980), Feuerwehr Hamburg
- Bruns, W.: Brandschutz in unterirdischen schienengebundenen Verkehrsanlagen; Abschnittsarbeit Bf Hamburg, Frankfurt, 1980
- Stapelfeld, J.-P.: Anatomie eines Brandes-S-Bahnzug im Bahnhof Altona, VFDB-Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz 29, 4/1980, S. 134-138
- Untersuchungsbericht in allen öffentlichen Verkehrsmitteln und Verkehrsbauten der freien und Hansestadt Hamburg, 1980
- Julga, G.: Probleme zu Einsatzplanung zu Bränden von schienengebundenen Verkehrsmitteln und unterirdischen Verkehrsanlagen am Beispiel der Hamburger Schnellbahn, 6. Internationales Brandschutzseminar, Karlsruhe, 1982
- Untersuchungen des Instituts für Schadenverhütung und Schadenforschung wegen der Chloridbeaufschlagung beim Feuerschaden des Altona-City-Schnellbahnknoten-Bahnhofs, Hamburg, 1980

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U7: U-Bahnhof Ramersdorf, Bonn, 11.9.1981

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein Fahrschulwagen geriet im U-Bahntunnel wegen eines technischen Defekts in Brand (7.35 Uhr). Fahrlehrer und Fahrschüler hielten den Zug ungefähr 40 m vor der Haltestelle Ramersdorf an. Die Feuerwehr wurde umgehend über die Direktleitung der Stadtwerke alarmiert. Sieben Minuten nach dem Brandausbruch traf ein Erkundungstrupp der Feuerwehr ein. Acht Minuten nach dem Brandausbruch wurde der Haltepunkt stromlos geschaltet. Etwa 25 Minuten nach Brandausbruch war der Brand im wesentlichen gelöscht. Die Tunneldecke wurde während des Brandes kurzzeitig bis ca. 500 °C erhitzt.

Neben dem ausgebrannten U-Bahn-Wagen waren durch den Brand im Tunnel leichte Betonabplatzungen entstanden. Schwerwiegendere Schäden verursachten jedoch freigewordene Salzsäuredämpfe beim Verbrennen von PVC. Die Kosten für die Instandsetzung wurden auf etwa 1 Mio. DM geschätzt.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Ungefähr sieben Minuten nach dem Brandausbruch wurde ein im Bahnhof stehender, mit Schülern besetzter Zug durch die Feuerwehr geräumt. Aufgrund einer starken natürlichen Luftströmung im Tunnel wurde der sich stark entwickelnde schwarze, heiße Rauch vom U-Bahnhof Ramersdorf forttransportiert, so dass die Feuerwehr vom Bahnhof aus die Löscharbeiten vornehmen konnte. Dennoch lag zu diesem Zeitpunkt die Sicht trotz Scheinwerfer unter 1 m. Der Löschangriff erfolgte mit 3 C-Schläuchen, welche vom Bahnhof zügig mit Schlauchhaspeln vorgenommen werden konnten.

Es wurden keine Personen verletzt.

#### Literatur:

- Rothermund, M.: U-Bahnbrand Bonn-Ramersdorf, aus "Der Feuerwehrmann", Mai 1982

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U8: U-Bahnhof Königsplatz, München, 5.9.1983

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Es trat starker Rauch aus einem in der Kehranlage "Königsplatz" abgestellten Triebwagen (8.09 Uhr). Wenige Minuten später traf die alarmierte Feuerwehr ein. Erst gegen 8.45 Uhr wurde der Brandherd gefunden. Eine halbe Stunde später war das Feuer unter Kontrolle und weitere fünfzig Minuten später gelöscht (10.07 Uhr). Durch das Feuer brannte ein Doppeltriebwagen aus und ein weiterer wurde beschädigt. Ferner wurden Schäden am Bahnhofsgebäude festgestellt. Der entstandene Sachschaden belief sich auf ungefähr 4 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Nach der Brandmeldung bei der Feuerwehreinsetzungszentrale rückten vier Löschzüge sowie verschiedene Sonderfahrzeuge aus. Beim Eintreffen der ersten Einsatzwagen gegen 8.13 Uhr am Bahnhof Königsplatz verließen die letzten Passanten den Bahnhof. Sechs Angriffstrupps der Feuerwehr drangen mit C-Schläuchen in den Bahnhofsbereich "Königsplatz" ein. Parallel dazu gingen zwei Trupps vom Hauptbahnhof zur Kehranlage. Wegen der schlechten Sicht gelangten diese Trupps jedoch erst in eine falsche Tunnelröhre. Aufgrund der großen Hitze im Bahnhofsbereich schien das Feuer schnell gefunden zu sein. Tatsächlich wurde der Brandherd jedoch etwa 20 Minuten später erreicht (ca. 8.45 Uhr). Unter Einsatz von 2 C-Schläuchen konnte das Feuer ca. fünfzig Minuten später gelöscht (10.07 Uhr) werden. Es waren insgesamt 105 Berufsfeuerwehrmänner mit 101 Pressluftatmern, 6 Langzeit-Atemgeräten und 43 Filtergeräten im Einsatz.

Verletzt wurden 4 Feuerwehrmänner infolge leichter Rauchvergiftungen. Die Nachrichtenverbindungen zwischen den Einsatzstrupps am brennenden Zug und denen an der Geländeoberfläche war unzureichend, da Funkrückmeldungen nur bis zum Bahnhofswischengeschoss und nicht bis zur Oberfläche reichten.

#### Literatur:

- Hölzl, G.: München: U-Bahn-Zug auf Abstellgleis in Brand, Brandschutz-Deutsche Feuerwehrzeitung, 7/1985

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U9: U-Bahnhof Oxford Circus, London, 1984

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Durch einen achtlos weggeworfenen brennenden Zigarettenrest entstand ein Brand im Lagerbereich der Untergrundstation Oxford Circus. Das Feuer ging bald auch auf die brennbaren Teile der Tunnelauskleidung über.

Der Sachschaden an der beschädigten Untergrundstation und der Tunnelauskleidung belief sich auf etwa 8 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Das Feuer in der U-Bahnstation und im Tunnel wurde mit insgesamt ungefähr 125 Feuerwehrmännern und 30 Löscheinrichtungen gelöscht. Ungefähr 1000 Personen wurden durch die Feuerwehr evakuiert, verletzt wurde niemand.

#### Literatur:

- Safety in Cable and Service Tunnels, International Conference 15-16 November 1993, Heathrow, London, UK

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U10: U-Bahnhof Central Station, New York, 27.8.1985

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Aufsteigender Rauch, der früh morgens aus Entlüftungsschächten in Bürgersteigen in der Nähe des Untergrundbahnhofs Central Station trat, deutete auf einen unterirdischen Brand. Die Feuerwehr wurde verständigt (5.18 Uhr). Im Tunnel auf Gleis 117, ungefähr 30 m westlich des Bahnhofs, entdeckte die Feuerwehr mehrere brennende Wagen. Daraufhin wurden weitere Löscheinheiten angefordert. Vier Stunden später war der Brand unter Kontrolle. Der Brand wurde vermutlich durch Brandstiftung verursacht.

Es brannten 18 Wagen aus. Im Bahnhof wurden Rußablagerungen und Oberflächenschäden an der Tunnelauskleidung festgestellt. Der Sachschaden betrug mehrere Millionen DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Mit den Löscharbeiten konnte erst begonnen werden, nachdem der Fahrstrom abgeschaltet wurde. Da sich das Abschalten des Fahrstroms verzögerte, verstrich wertvolle Zeit, in der sich der Brand stark ausbreiten konnte und es zu starker Rauchentwicklung kam. Alle Notausgänge in der Umgebung wurden geöffnet, um eine vertikale Luftströmung zu erreichen. Mittlerweile standen 18 Wagen in Flammen. Der Rauch und das Feuer hatten sich über verschiedene Stockwerke des Bahnhofs ausgebreitet. Deshalb wurde der Fahrleitungsstrom auf allen Gleisen abgeschaltet und der Fahrbetrieb unterbrochen. Die Löscharbeiten wurden von Standorten südlich und nördlich des Brandherdes vorgenommen. Der Löschangriff erfolgte in voller Schutzausrüstung und mit Atemschutzgeräten (SCBA, 1 Stunde Sauerstoffversorgung). Die Belüftung der Brandstelle war während des Löscheinsetzes ein großes Problem, da der Zugverkehr eingestellt werden musste, der in der Regel für eine ausreichende Luftströmung in der Central Station sorgte. Bis der Brand 4 Stunden nach seiner Entdeckung unter Kontrolle gebracht wurde, waren insgesamt 37 Löschtrupps, 15 Leiter- und 4 Rettungseinheiten im Einsatz. 15 Personen erlitten Rauchvergiftungen.

#### Literatur:

- Cantillo, R. L., Ragusa, L.J.: Grand Central Station Fire, Fire Engineering, December 1985
- Heffels, P.: Brandschutz in Tunnelanlagen für Nahverkehrsbahnen-Rohbau- und ausbautechnische Gesichtspunkte, Taschenbuch für den Tunnelbau 1988, S. 275-S. 303

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U11: Verbindungsgleis U2/U5, Ost-Berlin, 7.5.1986

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Der 7. Wagen von insgesamt 9 Wagen eines U-Bahn-Zuges geriet auf dem Verbindungsgleis der U-Bahn-Linien U2 und U5 in der Nähe des Alexanderplatzes durch Kriechströme in Brand. Der U-Bahn-Verkehr in den angrenzenden Tunneln wurde nach der Brandmeldung eingestellt. Die neun Wagen des U-Bahn-Zuges brannten vollständig aus. Ferner wurden Beton-Abplatzungen an der Tunnelinnenschale im Bereich des Brandherdes festgestellt.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die Brandmeldung erfolgte gegen 11.49 Uhr. Die Feuerwehr erreichte ihre Einsatzorte (Notausstieg E 13 und U-Bahnhof Klosterstraße) zwischen 11.54 Uhr und 11.58 Uhr. Zunächst mussten Fahrgäste und Zugpersonal aus einem im stark verqualmten U-Bahnhof Klosterstraße eingefahrenen U-Bahn-Zug evakuiert werden. Danach begannen Feuerwehrtrupps vom nördlichen und südlichen Ende des Verbindungstunnels her zum brennenden Zug vorzudringen. Die enorme Hitze, dichter Rauch und die Dunkelheit im Tunnel behinderten diese Trupps erheblich. Erst gegen 14.00 Uhr, ungefähr zwei Stunden nach der Brandmeldung, wurde der Brandort mit den fast völlig heruntergebrannten Wagenkästen des U-Bahn-Zuges von den Einsatzkräften erreicht. Bereits gegen 14.15 Uhr konnte das Feuer unter Kontrolle gebracht werden. Infolge der noch hohen Temperaturen im Tunnel entzündeten sich jedoch wiederholt Reste der Wagenausstattung und der hölzernen Wagenböden. Etwa um 22.00 Uhr waren Hitze und Rauch so weit abgeklungen, dass der Tunnel wieder ohne Atemschutz und Schutzkleidung begehbar war. Fünf Feuerwehrmänner erlitten bei dem Einsatz leichte Verletzungen.

#### Literatur:

- Weiß, G.: Bewährung beim Brand im Tunnelsystem der U-Bahn; Unser Brandschutz 1986, Heft 9, Seiten 28 bis 30
- Schreiben der Berliner Verkehrsbetriebe vom 4.2.2000 an die STUVA

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U12: U-Bahnhof King´s Cross, London, 18.11.1987

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Durch ein weggeworfenes brennendes Streichholz entzündete sich Fett und Schmutz unterhalb der Rolltreppe in der Londoner Undergroundstation King´s Cross während der Hauptverkehrszeit (ca. 19.25 Uhr). Der Brand wurde um 19.30 Uhr gemeldet. Polizisten wollten per Funk die Feuerwehr informieren, stellten jedoch fest, dass der Funkkontakt nicht bis zur Oberfläche reichte. Deshalb musste die Feuerwehr von der Geländeoberfläche aus verständigt werden. Die Feuerwehr erreichte den Brandort 13 Minuten nach der Entdeckung des Feuers, jedoch zu spät, um den flash-over zu verhindern (19.45 Uhr).

Es entstand hoher Sachschaden am Bahnhofsgebäude, Fahrzeuge wurden nicht beschädigt.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die Feuerwehr traf um 19.43 Uhr in der Fahrkartenverkaufshalle ein. Sie musste sich jedoch wegen des flash-overs in der Fahrkartenhalle um 19.45 Uhr bald wieder zurückziehen. Erst gegen 20.00 Uhr konnten die Löscharbeiten mit Verstärkung wieder aufgenommen werden. Fünfzig Minuten später war das Feuer unter Kontrolle und um 1.46 Uhr gelöscht.

31 Personen wurden getötet, ungefähr 100 Personen verletzt.

#### Literatur:

- Fennell, D.: Investigation into the King´s Cross Underground Fire, Department of Transport, London, Oktober 1988



## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U13: Hirschgrabentunnel, Zürich, 16.4.1991

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Um 20.30 Uhr wurde der Zürcher S-Bahn-Betriebszentrale mitgeteilt, dass ein Feuer im vorletzten Wagen eines Zuges ausgebrochen sei, welches möglicher Weise auf Brandstiftung zurückzuführen sei. Der Richtung Stadelhofen fahrende Zug kam in dem ca. 1.400 m langen Hirschgrabentunnel ungefähr in Höhe des Hirschgrabenschachtes zum Stehen, da durch einen Fahrgast die Notbremse gezogen wurde. Fünf Minuten nach der Brandentdeckung traten Flammen aus dem brennenden Wagen und erreichten die Tunneldecke. Gegen Mitternacht war der Brand gelöscht.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die insgesamt 140 Insassen eines brennenden S-Bahn-Zuges sollten durch einen in Gegenrichtung verkehrenden Zug aus dem Tunnel evakuiert werden. Leider schlug dies fehl, da der Fahrstrom abgeschaltet worden war. Deshalb mussten nun auch die Fahrgäste des entgegenkommenden Zuges zu Fuß den Tunnel verlassen. Die Sichtbehinderung durch den Rauch war groß. Zwanzig Minuten nach der Notbremsung des brennenden Zuges erreichte der letzte Fahrgast einen Tunnelausgang (20.50 Uhr). 58 Personen erlitten Rauchvergiftungen.

Um 21.10 Uhr traf der Lösch- und Rettungszug "Zürich" der Verkehrsbetriebe im Hauptbahnhof ein. Um 21.18 Uhr wurde mit den Löscharbeiten des brennenden S-Bahnzuges begonnen. Die Tunnellüftung im Hirschgrabenschacht schaltet sich von voller auf gedrosselte Leistung. Blitzschnell war der Tunnel wieder rauchgefüllt. Der um 23.12. Uhr im Bahnhof Stadelhofen eingetroffene Löschzug "Rapperswil" wurde zur Unterstützung des Löschzuges "Zürich" an den Brandherd beordert. Der Brand wurde nun von beiden Seiten gelöscht. Gegen Mitternacht wurde der Zug zum Hauptbahnhof geschleppt und dort das Feuer endgültig gelöscht.

#### Literatur:

- Fermaud, Charles et al.: Fire in a Commuter Train - Rescue Procedures as Perceived by Passengers
- Mundwiler, H.: Brand eines SBB-Zuges im Hirschgrabentunnel (Zürich) vom 16. April 1991, Bulletin BVD/SPI 2/1991

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U14: U-Bahnhof Karlsplatz, Wien, 2.12.1991

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Bei einem in der Wendeanlage der Station Karlsplatz abgestellten U-Bahn-Zug (Doppeltriebwagen) wurde um 6.24 Uhr ein Kabelbrand unterhalb des Triebwagens mittig zwischen den Drehgestellen festgestellt. Ungefähr 35 Minuten nach Entdeckung des Kleinbrandes entwickelte sich dieser aufgrund der fehlgeschlagenen Lösversuche zum Totalbrand des Triebwagens. Drei Stunden nach Ausbruch des Feuers konnte der Brand gelöscht werden.

Das Feuer konnte auf den brennenden Triebwagen beschränkt werden. Brandschäden am Tunnel wurden nicht festgestellt.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die Feuerwehr wurde sofort alarmiert und stellte unterhalb des Triebwagens ca. 10 cm hohe Flammen fest. Die Stromversorgung des brennenden Zuges wurde eingestellt. Der Brand konnte jedoch mit den zur Verfügung stehenden Schlauchleitungen nicht gelöscht werden, da zwischen Gleisbett und Triebwagen nur ein ca. 15 cm großer Zwischenraum war und der Löschschlauch nicht im richtigen Winkel angesetzt werden konnte, um die Flammen zu treffen. Ungefähr 35 Minuten nach Entdeckung des Kleinbrandes hatte sich dieser in einen Totalbrand entwickelt. Die Station Karlsplatz war mittlerweile so stark verraucht, dass dort keine Züge mehr anhalten konnten. Drei Stunden nach Ausbruch des Feuers konnte der Brand gelöscht werden.

Wegen eines abgebrannten Funkkabels bestand kein Kontakt zwischen Einsatzleiter und Einsatzkräften.

#### Literatur:

- Pausa, E.M.: Brand eines U-Bahnwagens, aus "Retten, Löschen, Bergen", März/ April 1992

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U15: Metro-Station Uldus, Baku, Aserbaidshan, 28.10.1995

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Durch einen Kurzschluss eines defekten Kabels in einem Kabelverteilerkasten geriet der vierte Wagen eines Metrozuges zwischen den Stationen Uldus und Narimanov in Brand. Ungefähr 200 m von der Station Uldus blieb der Zug stehen. Der Zugführer verließ den Zug und informierte mit dem Tunneltelefon die Leitzentrale über den Brand. Der Brand breitete sich sehr schnell im vierten Wagen aus und sprang auf den fünften Wagen über. Es kam zu einer starken Rauchentwicklung. Der vierte und der fünfte Wagen waren nach dem Brand vollständig ausgebrannt. Der Metro-Tunnel selbst hatte keinen Schaden genommen und der Metro-Betrieb konnte nach 24 Stunden wieder aufgenommen werden.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Das Feuer trat ungefähr 15 Minuten nach der Brandentdeckung im vierten Wagen außen an beiden Seiten des Zuges aus und versperrte somit den Rettungsweg zur ca. 200 m entfernten Uldus-Station. Panik brach aus und viele Personen wurden nieder getrampelt. Die Fahrgäste mussten sich zur ca. 2000 m entfernten Narimanov-Station retten. Die Feuerwehr in der Metro-Station Uldus half dort ungefähr 70 Personen. Wegen fehlender Atemschutzgeräte konnten die Feuerwehrtrupps nicht zum Brandherd vordringen.

Es wurden 289 Personen getötet, 265 verletzt, davon 62 Personen schwer. Einige der getöteten Personen verbrannten infolge elektrischer Hochspannung, da die Stromversorgung der Fahrspannung erst 40 Minuten nach der Brandmeldung von der Leitstelle unterbrochen wurde.

#### Literatur:

- Hedefalk, Johan: Lessons from the Baku Subway fire
- verschiedene Zeitungsberichte vom 30. Oktober bis 30. November 1995
- Vorläufiges Protokoll der Untersuchungskommission über den Brand der Bakuer U-Bahn am 28.10.1995, deutsche Übersetzung vom Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

## Brandereignisse bei U- S- und Stadtbahnen

### Ereignis U16: U-Bahnhof Auswärtiges Amt, Bonn, 03.08.1996

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Der Fahrer eines Stadtbahnzuges bemerkte beim Durchfahren der Haltestelle "Auswärtiges Amt" eine Rauchentwicklung unter dem Bahnsteig. Die Betriebsleitstelle verständigte die Berufsfeuerwehr Bonn. Beim Eintreffen der Berufsfeuerwehr war die Haltestelle bereits stark verraucht. Der U-Bahn-Betrieb wurde umgehend eingestellt.

Der Brand ging von einem Kabelkanal aus. Durch den Brand wurden im erheblichen Umfang nachrichtentechnische Kabel zerstört .

Nachfolgende Untersuchungen zeigten, dass der Brand der Kunststoffkabel und -leitungen durch ein Feuer in einer Anhäufung von Zeitungen und Laubblättern ausgelöst wurde. Es wird vermutet, dass dieses Material durch z. B. eine weggeworfene Zigarettenkippe in Brand gesetzt wurde.

Die Behebung der Brandschäden verursachte Kosten in Höhe von ca. 780 TDM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Der Brand im Kabelkanal konnte in kurzer Zeit gelöscht werden. Durch den Brand wurden keine Menschen gefährdet.

Es mussten zwei Stadtbahnzüge in angrenzenden Tunnelabschnitten gestoppt werden. Die Fahrgäste dieser Züge konnten aussteigen und sicher an die Oberfläche gebracht werden.

#### Literatur:

- Schreiben der Stadtwerke Bonn vom 23.02.2000 an die STUVA mit Angaben zum Brandereignis vom 03.08.1996

## Brandereignisse bei U-, S- und Stadtbahnen

### Ereignis U17: U-Bahnhof Deutsche Oper, Berlin, 8.7.2000

#### **Beschreibung des Brandereignisses:**

Gegen 15.10 Uhr entstand am letzten Wagen eines U-Bahnzuges ein Lichtbogen zur Fahrzeugmasse. Vom Unterwerk wurde der Kurzschluss wegen des relativ niedrigen Stromes und gedämpften Stromanstieges nicht erkannt. Der Lichtbogen setzte den Wagenkasten während der Einfahrt in den U-Bahnhof „Deutsche Oper“ in Brand. Der Zugführer informierte die Leitzentrale, welche die Meldung an die Feuerwehr weiterleitete. Die Fahrspannung konnte vom Zugführer nicht abgeschaltet werden, da der Lichtbogen die Hauptluftleitung zerstörte, so dass keine Betätigungsluft für den Kurzschließer mehr zur Verfügung stand. Die Abschaltung erfolgte erst mit erheblicher Verzögerung von der Leitstelle aus.

Aufgrund starker Rauchentwicklung begannen die Fahrgäste die U-Bahnzüge und den U-Bahnhof zu verlassen. Die Feuerwehr hatte etwa 1 ½ Stunden nach der Brandentstehung den Einsatzort unter Kontrolle. Der Zugbetrieb durch den U-Bahnhof wurde gegen Mitternacht wieder aufgenommen.

Ein U-Bahn-Wagen war vollständig ausgebrannt und durch die Hitzeentwicklung im U-Bahnhof entstanden Schäden an der Bahnhofsaukleidung. Der U-Bahnhof blieb wegen Sanierungsarbeiten etwa einen Monat geschlossen. Der Sachschaden wurde auf etwa 7 Millionen DM geschätzt.

#### **Lösch- und Rettungsarbeiten:**

Um 15.20 Uhr trafen die ersten der 150 Feuerwehrleute am Einsatzort ein und halfen den Fahrgästen bei dichtem Rauch und unter Atemschutz, den gefährdeten Bereich über den Streckentunnel zum U-Bahnhof Ernst-Reuter-Platz zu verlassen. Gegen 15.30 Uhr waren alle 350 Fahrgäste in Sicherheit. Als die Feuerwehr den Brand unter Kontrolle hatte, entrauchte sie den Bahnsteig mit mobilen Ventilatoren.

Durch Brandeinwirkungen war die Lautsprecheranlage des Bahnhofs bereits nach kurzer Zeit ausgefallen, so dass keine der von der Leitstelle des Verkehrsbetriebes abgesetzten Durchsagen an die Fahrgäste ankamen. Über die Notrufsäulen auf dem Bahnsteig mit Verkabelung unter der Plattform wurden jedoch während der gesamten Zeit Gespräche zur Leitstelle geführt. Dreißig Fahrgäste erlitten eine Rauchvergiftung beim Versuch, den Bahnhof über den stark verrauchten einzigen Bahnhofsausgang zu verlassen. Ein Fahrgast brach sich ein Bein.

#### **Literatur:**

- Schreiben der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, vom 9.10.2000 an den Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, EW14, zum Brand in der U-Bahn-Station „Deutsche Oper“ am 8. Juli 2000
- Zeitungsartikel der verschiedenen Berliner Tageszeitungen vom 10. bis 15. Juli 2000 zum Brand in der Haltestelle „Deutsche Oper“ am 8. Juli 2000

## **Anhang 2**

Brandereignisse  
in Fernbahn-Tunneln

## Brandereignisse bei Fernbahnen

### Ereignis F1: Summit Tunnel, Yorkshire, England, 20.12.1984

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein Güterzug, bestehend aus einem Dieseltriebwagen und 13 mit insgesamt 835 t Kraftstoff gefüllten Kesselwagen, entgleiste durch ein überhitztes Lager am vierten Kesselwagen. Zwei Kesselwagen (Nr. 6 und Nr. 10) stürzten um. Der austretende Kraftstoff fing sofort Feuer. Der Lokführer und zwei Mitarbeiter flüchteten zum 1500 m entfernten Tunnel-Südportal und informierten von dort aus die Leitzentrale über den Brand. Der Brand entwickelte sich zu einem Großbrand, der erst nach ca. vier Tagen gelöscht werden konnte. Die Temperaturen im Tunnel betragen stellenweise mehr als 1200 °C. Es entstanden schwere Schäden an der Tunnelauskleidung (teilweise verglasten die Ziegel der Tunnelausmauerung) und der Tunnelausrüstung. Der Tunnel konnte erst vier Monate nach dem Unfall wieder in Betrieb genommen werden. Der Sachschaden betrug ca. 3 Mio. DM.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die etwa 10 Minuten nach der Alarmierung an den Portalen eintreffende Feuerwehr konnte zunächst einige kleinere Feuer löschen. Ungefähr zwei Stunden nach dem Brandbeginn konnten auch die ersten drei Kesselwagen und die Diesellok aus dem Tunnel gefahren werden. Als jedoch plötzlich eine größere Menge Kraftstoff aus dem umgestürzten Kesselwagen Nr. 6 austrat, breitete sich das Feuer erneut rapide aus. Die Feuerwehr musste die Löscharbeiten im Tunnel einstellen. Aus den Lüftungsschächten des Tunnels schossen teilweise bis über 100 m hohe Flammen heraus. Die Feuerwehr begann über zugänglich gebliebene Lüftungsschächte von der Oberfläche aus Löschschaum in den Tunnel zu pumpen. Dennoch dauerte es ca. 1 Tag, bis der Brand abzuklingen begann und weitere drei Tage, bis der Brand vollständig gelöscht werden konnte.

#### Literatur:

- Howarth, D. J.: Fire and Rescue Underground, Tunnels & Tunneling, July 1988
- Fire Prevention No. 181, July/ August 1985
- NN: Großbrand im Summit-Tunnel Großbritannien, 112 Magazin der Feuerwehr 1985, Seiten 522 – 531
- Department of Transport: Railing Accident-Report on the Derailment and Fire that occurred on 20 th December 1984 at Summit-Tunnel, Her Majesty's Stationary Office, London, 1986
- Morris, W. A./Cox, G.: Notes on a visit to the scene of the Summit Railway Tunnel fire, December 1984, Building Research Establishment Client Report, Juni 1985

## Brandereignisse bei Fernbahnen

### Ereignis F2: Xiang-Yu-Bahnlinie, China, 03.07.1990

#### **Beschreibung des Brandereignisses:**

Der Brand ereignete sich in einem Tunnel, der im Zeittakt von etwa einer halben Stunde von Güterzügen mit Leichtölkesselwagen passiert wird. Verdampfendes Öl und Funkenbildung führten zu einer Explosion bei einer Zugpassage. Es gerieten mehrere Kesselwagen in Brand.

#### **Lösch- und Rettungsarbeiten:**

Für die Löscharbeiten und die Behebung der Brandschäden am Tunnelbauwerk musste der Tunnel insgesamt 17 Tage gesperrt werden.

#### **Literatur:**

- Shentao, R. / Jun, M. / Hong, S. / Guopin, D.: Oil Tanker-Explosion in a tunnel; Tagungsband zur ersten internationalen Konferenz "Safety in Road and Rail Tunnels", Basel, 1992, Seiten 339 - 345



## Brandereignisse bei Fernbahnen

### **Ereignis F3: Brand im Kanaltunnel, Frankreich/Großbritannien, 18.11.1996**

#### **Beschreibung des Brandereignisses:**

Auf einem LKW- Pendelzug geriet ein mit Polystyrol beladener LKW in Brand. Der Lokführer hielt den Zug nach ca. 18 km Fahrt im Tunnel an, um ein Entgleisen zu vermeiden. Die geplante Weiterfahrt mit dem Triebfahrzeug und dem Personewaggon war nicht mehr möglich, weil die Fahrleitung schmolz und der Fahrstrom unterbrochen war. Im Feuerbereich entwickelten sich Temperaturen von mehr als 1000 °C. Der Zug brannte größtenteils aus und beschädigte dabei den Tunnelausbau erheblich. Erst ab dem 15. Juni 1997 war nach dem Abschluss der erforderlichen Reparaturarbeiten wieder ein uneingeschränkter Betrieb möglich. Die Beseitigung der Brandschäden kostete insgesamt etwa 115 Mio. DM.

#### **Lösch- und Rettungsarbeiten:**

Weitere Zugfahrten wurden unterbunden und die Druckentlastungsstollen zwischen beiden Fahrtunneln geschlossen (Vermeidung des Rauchübertritts). Mit dem Eintreffen der Feuerwehren am Brandort wurden die Tore zum Rettungstunnel geöffnet, in dem ein erhöhter Luftdruck herrschte. Dadurch strömte frische Luft in den Fahrtunnel und verdrängte den Rauch so weit, dass die LKW-Fahrer und das Zugpersonal evakuiert werden konnten. Der Brand konnte erst nach ca. 8 Stunden gelöscht werden.

#### **Literatur:**

- Brux, G.: Brand im Kanaltunnel; Eisenbahningenieur (48) 1997, Heft 11, Seiten 50 – 53
- Brux, G. :Der Kanaltunnel; Eisenbahningenieur (49) 1998, Heft 3, Seiten 37 – 39
- Liew, S. K: / Deaves, D. M.: Eurotunnel HGV fire on 18th november 1996 – Fire development and effects, Tagungsband zur dritten internationalen Konferenz "Safety in Road and Rail Tunnels", März 1998, Seiten 29 – 40
- Bradbury, W.: Smoke control during the channel tunnel-fire of 18th november 1996; Tagungsband zur dritten internationalen Konferenz „Safety in Road and Rail Tunnels“, März 1998, Seiten 626 – 640

## Brandereignisse bei Fernbahnen

### Ereignis F4: Leinebusch-Tunnel, 02.03.1999

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Im Leinebusch-Tunnel (Länge 1740 m) auf der ICE-Strecke Hannover-Würzburg geriet ein entgleister, mit Papier und Zellstoff beladener Waggon eines Güterzuges in Brand. Der mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h fahrende Eil- Güterzug hatte den schon vor dem Tunnelportal entgleisten Waggon mit in den Tunnel gezogen. Dabei zerbrachen z. B. Hunderte von Betonschwellen.

Der Lokomotivführer kuppelte nach dem Bemerkten des Brandes die ersten dreizehn Waggons der insgesamt 24 Waggons ab und fuhr mit ihnen aus dem Tunnel heraus. Elf Waggons, darunter auch der brennende Waggon, blieben im Tunnel stehen.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Der Brand brach gegen 1.00 Uhr morgens aus und konnte erst knapp 12 Stunden später vollständig gelöscht werden. Für die Löscharbeiten wurde ein Rettungszug aus Kassel eingesetzt. Dieser Rettungszug fuhr um 3.39 Uhr in den Tunnel ein. Gegen 3.51 Uhr wurde mit den Löscharbeiten begonnen. Es waren bis zu ca. 230 Feuerwehrmänner im Einsatz.

#### Literatur:

- Kölner Stadt-Anzeiger vom 3. März 1999
- Vorläufiger Untersuchungsbericht des EBA vom 17.03.1999
- Kreisfeuerwehr Göttingen: Vorläufiger Abschlußbericht über den Brand im Leinebuschtunnel; Stand 13.04.1999

## **Anhang 3**

Brandereignisse  
in Straßentunneln

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S1: Holland-Tunnel, New York; 13.05.1949

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Trotz des Durchfahrverbotes für Gefahrgüter fuhr ein mit ca. 11 t Schwefelkohlenstoff beladener Lastzug in den 2,6 km langen 2-röhrigen Straßentunnel ein. Einige Fässer fielen von der Ladefläche und platzten auf. Die aufsteigenden Schwefelkohlenstoff-Dämpfe entzündeten sich und setzten durch eine Stichflamme noch bis zu einer Entfernung von ca. 160 m LKW und PKW in Brand. Insgesamt brannten 10 Lkw und 13 PKW aus. Die Tunnelzwischenendecke stürzte auf eine Länge von ca. 170 m ein. Ferner wurden die Tunnelbetriebseinrichtungen im Brandbereich vollständig zerstört. Die Kosten für die Behebung der Brandschäden betrug ca. 1 Mio. US-Dollar.

Bei dem Unfall wurden insgesamt 66 Personen verletzt (Rauchvergiftungen).

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Der Hauptbrand war nach ca. 4 Stunden gelöscht. Ladungs- und Fahrzeugtrümmer brannten noch mehrere Stunden. Es dauerte mehr als 2 Tage, bis alle Trümmer aus dem Tunnel geräumt waren.

#### Literatur:

- Falkenhainer, K.-H.: Auswertung von Brandereignissen in Straßentunneln; Abschnittsarbeit im Rahmen der Ausbildung bei der Berufsfeuerwehr, Hamburg, August 1993

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S2: Moorfleet-Tunnel, Hamburg, 31.08.1968

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein mit 14 t Polyäthylen beladener Lastzug kam in Folge eines Reifenbrandes des Anhängers in der Mitte des ca. 240 m langen Straßentunnels zum Stehen. Löscheversuche des Fahrzeugführers mit Handfeuerlöschern schlugen fehl. Der Brand griff auf die Ladung des Hängers über. Das Zugfahrzeug konnte vom Fahrzeugführer noch aus dem Tunnel herausgefahren werden.

Bei dem Brand wurde die Spannbetondecke des Tunnels auf eine Länge von 34 m total zerstört, Bewehrungseisen hingen herunter und der Beton war bis zu einer Tiefe von ca. 30 cm abgeplatzt. Die gesamte Beleuchtungsanlage und die Elektroinstallation in der Weströhre des Tunnels mussten erneuert werden.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die Feuerwehr wurde erst ca. 40 Minuten nach Brandbeginn alarmiert. Die Verzögerung bei der Alarmierung der Feuerwehr ist im wesentlichen auf den Lastwagenführer zurückzuführen, der in seiner Aufregung nicht daran dachte, eines der Notruftelefone entlang der Straße zu benutzen.

Als die Feuerwehr am Tunnel ankam, drang dichter Rauch aus den Tunnelportalen hervor. Eine Schicht von etwa 1 m Höhe unmittelbar über der Straßenoberfläche führte hingegen klare Luft, die zum Brandherd hinströmte. Durch die Benutzung von Löschschaum konnte das Feuer nach wenigen Minuten unter Kontrolle gebracht werden. Löschwasser für die Wrackkühlung musste über eine 1,6 km lange Schlauchleitung vom nächstgelegenen Hydranten zum Tunnel gepumpt werden.

#### Literatur:

- Falkenhainer, K.-H.: Auswertung von Brandereignissen in Straßentunneln; Abschnittsarbeit im Rahmen der Ausbildung bei der Berufsfeuerwehr, Hamburg, August 1993
- US Department of Transportation, Federal Highway Administration: Prevention and Control of Highway Tunnel Fires; Bericht FHWA-RD-83-032 Stand: 26.07.1999

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S3: Nihonzaka-Tunnel, Japan, 11.07.1979

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Der Brand im Nihonzaka-Tunnel wurde durch einen Auffahrunfall ausgelöst, an dem 4 LKW und 2 PKW beteiligt waren. Auslaufender Kraftstoff entzündete sich und setzte weitere Fahrzeuge in Brand (darunter Tanklastzüge, die Neopren, Lösungsmittel und Harze geladen hatten). Insgesamt brannten 173 Kraftfahrzeuge aus. Die Decken- und Wandverkleidung der Tunnelröhre sowie die Tunnelbetriebs-einrichtungen wurden auf eine Länge von 1145 m zerstört. Ferner kam es zu Betonabplatzungen an der Tunnelwand und -decke.

Es gab kein Durchfahrverbot für gefährliche Güter.

Das Brandereignis forderte 7 Tote und 2 Verletzte.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Das Feuer wurde zunächst vom Kawasaki-Kontrollraum aus bemerkt. Irrtümlicherweise wurde zunächst die weiter entfernte Feuerwehr in Shizuoka alarmiert. Eine viel näher gelegene Feuerwehreinheit wurde erst 40 Minuten nach Ausbruch des Brandes benachrichtigt.

Zunächst wurde das im Tunnel vorhandene Sprinklersystem ausgelöst. Nach ca. 10 Minuten schien das Feuer unter Kontrolle zu sein. Jedoch nach ca. einer weiteren Viertelstunde flammte es erneut auf, verbunden mit einer intensiven Rauchentwicklung. Das am 11.07. gegen 18.40 ausgebrochene Feuer war erst am 13. Juli unter Kontrolle und am 18.07. gegen 10 Uhr morgens endgültig abgelöscht.

#### Literatur:

- Falkenhainer, K.-H.: Auswertung von Brandereignissen in Straßentunneln; Abschnittsarbeit im Rahmen der Ausbildung bei der Berufsfeuerwehr, Hamburg, August 1993
- Bericht des Tokio Fire Department an die Berufsfeuerwehr Hamburg vom 30.08.1979
- Japan Highway Public Cooperation: Report on the Nihonzaka-Tunnel-Fire and the Restoration Works; Januar 1980
- N.N.: Fire disaster in the Nihonzaka-Tunnel near Shizuoka-City; Prospekt Eternit; Tunnel and Metro-Station-Cladding; Belgien, 1988

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S4: Caldecott-Tunnel, Kalifornien, 07.04.1982

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein angetrunkenen Fahrer verlor im Caldecott-Tunnel die Kontrolle über seinen PKW, streifte die Tunnelwand und hielt an. Ein Tanklastzug und ein Bus kollidierten bei einem Überholmanöver mit dem stehenden PKW. Der Tanklastzug führte insgesamt 33.300 l Benzin mit sich, davon 20.400 l im Anhänger, der bei der Kollision aufgerissen wurde. Das Benzin lief aus und entzündete sich. Der Busfahrer wurde bei dem Zusammenstoß aus dem Bus geschleudert. Der Bus selbst setzte fahrerlos seine Fahrt fort und konnte den Tunnel noch verlassen. Außerhalb des Tunnels prallte er gegen einen Betonpfeiler. Dadurch wurde das Tunnelbetriebspersonal auf das Ereignis im Tunnel aufmerksam.

Weil es keine Lichtsignal-Regelung am Tunnelportal gab, fuhren auch nach Brandausbruch noch Fahrzeuge in den Tunnel hinein. Bei dem Unfall verbrannten 3 LKW, 1 Bus und 4 PKW.

Der Tunnel wurde auf eine Länge von ca. 580 m schwer beschädigt. Die Reparaturkosten betragen mehr als ca. 3 Mio. US-Dollar.

Das Unglück forderte 7 Tote und zwei Verletzte (durch Rauchvergiftung).

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Das Tunnelpersonal versuchte zunächst die Situation im Tunnel zu klären. Es dauerte daher ca. 7 Minuten bis erste Feuerwehreinheiten alarmiert wurden. Die Feuerwehreinheiten erreichten das westliche Tunnelportal daher ca. 11 Minuten nach dem Zusammenstoß der Fahrzeuge. Am Ostportal kamen Feuerwehreinheiten erst ca. 19 Minuten nach dem Unfallereignis an. Die Lüftung des Tunnels schaltete sich zu diesem Zeitpunkt automatisch ab. Der weitere Brandverlauf wurde daher von der natürlichen Lüftung des Tunnels beeinflusst. Mit ersten Löscharbeiten wurden ca. 75 Minuten nach dem Zusammenstoß begonnen. Es dauerte ca. 3 Stunden bis der Brand gelöscht war.

#### Literatur:

- Falkenhainer, K.-H.: Auswertung von Brandereignissen in Straßentunneln; Abschnittsarbeit im Rahmen der Ausbildung bei der Berufsfeuerwehr, Hamburg, August 1993
- PIARC, Committee on Road Tunnels: Fire and Smoke Control in Road Tunnels, Bericht von 1999
- US Department of Transportation, Federal Highway Administration: Prevention and Control of Highway Tunnel Fires; Bericht FHWA-RD-83-032 Stand: 26.07.1999
- Foit/Pollak/Sippel/Tetzner: Festlegung von Mindestschutzmaßnahmen im Brandfall für verschiedene Tunneltypen und Verkehrssituationen; Bericht vom 10.12.1999 der Deutschen Montan-Technologie GmbH an die Bundesanstalt für Straßenwesen zum Forschungsvorhaben FE-03.314/1998/FGB

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S5: Gotthard-Tunnel, Schweiz, 05.07.1994

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Im Tunnel war ein LKW mit Anhänger unterwegs, der Fahrräder einschließlich der Verpackungskartons und Plastikzubehör geladen hatte. Durch einen technischen Defekt scheuerte im Bereich der Zwillingräder ein Rad an der Ladebrücke und geriet in Brand. Etwa 5 km vor dem Nordportal wurde der Reifenbrand durch den Fahrer bemerkt. Der Versuch, das Fahrzeug noch ins Freie zu bringen, scheiterte. Ca. 3 km vor dem Nordportal blieb der LKW liegen und brannte vollständig aus. Bei dem Brand wurden die Zwischendecke des Tunnels und die Fahrbahn auf eine Länge von ca. 50 m stark beschädigt. Ferner wurden Teile der Tunnelausrüstung (Beleuchtung, Brandmeldeanlage, Funkeinrichtungen) in diesem Bereich zerstört. Der Tunnel musste für ca. 2 ½ Tage für Reparaturarbeiten geschlossen werden. Die Kosten für die Behebung der Schäden an Tunnelbauwerk und den Tunneleinrichtungen betragen ca. 1,9 Mio. DM. Personen kamen bei dem Brand nicht zu Schaden.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Obwohl die Feuerwehr innerhalb von ca. 10 Minuten nach der Brandmeldung am Brandort war, konnte der Brand nicht mehr unter Kontrolle gebracht werden, sondern entwickelte sich zum Vollbrand.

Die Abluftleistung wurde in dem betroffenen Tunnelabschnitt erhöht. Dennoch breitete sich Rauch entlang des Tunnels über mehrere 100 m aus. (Richtung Nordportal ca. 700 m, Richtung Südportal ca. 1000 m). Während des Brandes änderte sich auch die Strömungsrichtung des Rauches, so dass der Einsatz von Atemschutzgeräten bei den Feuerwehren unerlässlich war.

#### Literatur:

- Foit/Pollak/Sippel/Tetzner: Festlegung von Mindestschutzmaßnahmen im Brandfall für verschiedene Tunneltypen und Verkehrssituationen; Bericht vom 10.12.1999 der Deutschen Montan-Technologie GmbH an die Bundesanstalt für Straßenwesen zum Forschungsvorhaben FE 03.314/1998/FGB
- Bericht der St.-Gotthard-Tunnel-Betriebsleitung zum Brandereignis vom 05.07.1994
- Roth, R.: Brand eines Lastzuges im Gotthard-Straßentunnel, PVT 1995, Heft 2, Seiten 49 bis 53



## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S6: Pfänder-Tunnel, Österreich, 10.04.1995

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Der Unfall wurde durch den Sekundenschlaf eines PKW-Fahrers ausgelöst. Es kam zu einem Zusammenstoß zwischen zwei PKW, einem mit Toastbrot beladenen LKW und einem Kleinbus mit Wohnanhänger. Die Fahrzeuge gerieten in Brand, der Brandort verrauchte sekundenschnell.

Die Tunneldecke und die Auflagerkonsolen wiesen nach dem Brand Abplatzungen und Risse auf. Diese baulichen Schäden erstreckten sich über eine Länge von insgesamt ca. 24 m. Darüber hinaus war, vom Unfallort aus gesehen, der Tunnel in Richtung Norden auf einer Länge von 35 m und in Richtung Süden auf einer Länge von 70 m vollkommen vom Ruß geschwärzt. Betriebseinrichtungen wie z. B. das Antennenkabel für den Tunnelfunk waren auf eine Länge von bis zu ca. 360 m beschädigt.

Durch provisorische Reparaturmaßnahmen konnte der Tunnel nach zwei Tagen wieder für den Verkehr freigegeben werden.

Die drei Insassen des Kleinbusses verbrannten in ihrem Fahrzeug. Alle übrigen Personen (Insassen der zum Zeitpunkt des Unfalles ca. 60 im Tunnel befindlichen Fahrzeuge) konnten den Tunnel unverletzt verlassen.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Der Brandalarm erfolgte um 8.41 Uhr, gegen 8.57 Uhr fuhr die Feuerwehr in den Tunnel ein. Das Vorgehen wurde durch die fehlende Sicht in dem dichten Rauch stark behindert. Insgesamt war der Tunnel vom Brandort aus gesehen Richtung Norden auf ca. 270 m und Richtung Süden auf ca. 800 m völlig verrauchet.

Um am Brandort mit den Löscharbeiten beginnen zu können, musste in dem raucherfüllten Tunnel zunächst eine Feuerlösch-Nische ertastet werden, um dort einen vor dem Hydranten befindlichen Wasserschieber zu öffnen. Ferner wurden die Löscharbeiten durch die Hitze am Brandort stark behindert.

Der Brand war ca. 1 Stunde nach Alarmierung der Feuerwehr unter Kontrolle.

Die Koordinierung der Brandbekämpfungsmaßnahmen wurde durch den Ausfall der Funkanlage im Tunnel stark behindert.

#### Literatur:

- Pfändertunnel, Brandkatastrophe am 10. April 1995; Bericht des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abt. Straßenbau; vom Mai 1995 über Schaden und Sanierung
- Romen, E.: Tod im Pfändertunnel; Feuerwehr-Magazin 1995, Heft 3, Seiten 34 bis 37

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S7: Ekeberg-Tunnel, Norwegen, 21.08.1996

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Ein erst drei Monate zuvor in Dienst gestellter Gelenkbus geriet in Brand. Der Bus befand sich auf einer Überführungsfahrt zum Betriebshof und hatte daher keine Fahrgäste an Bord. Die Überführungsfahrt wurde notwendig, weil der Busfahrer beobachtet hatte, dass Dieselkraftstoff aus dem Motor-/Getriebebereich tropfte. Um zum Betriebshof zu kommen, wählte der Busfahrer eine Route, die durch den Ekeberg-Tunnel führte. Im Tunnel beobachtete der Busfahrer gegen 18.22 Uhr über die Rückspiegel des Busses, dass Flammen aus dem Motorraum schlugen. Er stellte daraufhin den Bus ca. 500 m innerhalb des Tunnels ab. Das stehende Fahrzeug wurde von der computerunterstützten Fahrzeugerkennung um 18.23 Uhr erkannt. Brandalarm wurde um 18.26 Uhr ausgelöst.

Die Brandschäden beschränkten sich im Wesentlichen auf die Tunnelausrüstung, die auf einer Länge von ca. 170 m zerstört wurde. Die Reparaturkosten beliefen sich auf ca. 2,9 Mio. Norwegische Kronen.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Gegen 18.30 Uhr traf Polizei und Feuerwehr am brennenden Bus ein. Die Beleuchtung des Tunnels war noch intakt und die Lüftungsanlage konnte den Brandrauch ausreichend absaugen. Wegen der guten Luftverhältnisse legten die Feuerwehrleute keinen Atemschutz an. Auch mehrere Schaulustige, die sich in einer Entfernung von ca. 50 bis 100 m vom Brand versammelt hatten, fühlten sich nicht gefährdet. Während der Vorbereitungen der Feuerwehr zum Löschangriff breitete sich der Brand gegen 18.35 Uhr auf den gesamten Bus aus. Nach einer heftigen Explosion im Bus füllte sich der Tunnel vorübergehend mit Rauch- und Brandgasen. Bedingt durch diese Sichttrübung schalteten sich die Strahl-Ventilatoren der Lüftungsanlage ein und trieben die heißen Rauchgase zurück zum Brandort und zu den Rettungskräften, die dadurch in Gefahr gerieten. Es kam zu Rauchvergiftungen bei 8 Personen. Gegen 20.15 Uhr war der Brand vollständig gelöscht. Gegen 21.00 Uhr war der Tunnel von dem ausgebrannten Buswrack geräumt.

Die Evakuierung der sich im Tunnel stauenden Fahrzeuge wurde durch die an den Portalen herabgelassenen Schranken behindert. Gegen 18.40 Uhr hatten jedoch alle Fahrzeuge den Tunnel verlassen.

Etwa 12 Stunden nach dem Brandereignis konnte der Tunnel am 22. August 1996 gegen 6.00 Uhr morgens wieder provisorisch für den Verkehr freigegeben werden.

#### Literatur:

- Skarra, N.: Bus on Fire in the Ekeberg-Tunnel on August 21, 1996; Norwegian Public Roads Administration, Oslo Country Roads Office, Februar 1997

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S8: Gotthard-Tunnel, Schweiz, 31.10.1997

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Es geriet ein Transport-LKW für Personenwagen mit einer Ladung von 8 neuen PKW in Brand. Der Fahrer hielt, nachdem er den Brand bemerkt hatte, ca. 1 km vor dem Ausfahrtportal im Tunnel an und forderte über die nächstgelegene Notrufstation Hilfe an. Die automatische Brandmeldeanlage des Tunnels registrierte den Brand ca. eine Minute nach dem Notruf des LKW-Fahrers.

Durch den Brand traten Abplatzungen an der Zwischendecke über eine Fläche von ca. 100 m<sup>2</sup> auf. Die Tiefe der Abplatzungen reichte bis zum Bewehrungsstahl. Die vertikale Verformung der Zwischendecke betrug bis zu ca. 10 cm. Auch an der Tunnelausrüstung traten umfangreiche Schäden durch den bis zu ca. 700 °C heißen Rauch auf.

Die Reparaturarbeiten begannen unmittelbar nach dem Ablöschen des Brandes und wurden zu Beginn parallel zu den Räummaßnahmen im Tunnel (Entfernen des Fahrzeugwracks, Wenden und Herausfahren der aufgestauten LKW) durchgeführt. Bereits ca. 13 Stunden nach Brandbeginn konnte der Tunnel wieder für den Verkehr freigegeben werden.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Der Brandalarm ging um 7.21 Uhr in der Tunnelbetriebszentrale ein. Ca. 1 min später waren alle Notsysteme aktiviert, z.T. automatisch und z.T. von Hand. Vier Minuten nach dem Alarm fuhr die Tunnelfeuerwehr vom Südportal aus (dem Brand am nächsten gelegen) in den Tunnel ein. Erste Hilfskräfte waren bereits 3 Minuten nach dem Notruf im Tunnel und kümmerten sich vorrangig um die aufgestauten Fahrzeuge. Sie wiesen die PKW-Fahrzeuge an, umzudrehen und aus dem Tunnel herauszufahren. In der Regel mussten die LKW-Fahrer von den Rettungskräften zum Verlassen der Fahrzeuge aufgefordert werden und auch zu den nächstgelegenen Schutzräumen begleitet werden. Insgesamt wurden 60 Personen in die Schutzräume gebracht. Nur eine Person erlitt Rauchvergiftungen.

Am Brandort wurden die Rettungskräfte durch Betonabplatzungen gefährdet.

Die Rettungsmaßnahmen wurden durch die relativ langsame Entwicklung des Brandes und die langsame Rauchausbreitung begünstigt. Etwa 1 Stunde nach Brandbeginn war das Feuer unter Kontrolle und nach einer weiteren halben Stunde vollständig gelöscht. Abschließend musste das Fahrzeugwrack jedoch noch für etwa 2 Stunden gekühlt werden.

#### Literatur:

- Henke, A.; Learning from real Events-Dealing with Truck fires in the St. Gotthard Road Tunnel; Tagung „Tunnel Fires and Escape from Tunnels“; Lyon, 1999, Tagungsband, Seiten 369 bis 378

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S9: Mont-Blanc-Tunnel, Frankreich/Italien 24.03.1999

#### Beschreibung des Brandereignisses:

Zuerst geriet ein Sattelzug in Brand, der 9 t Margarine und 12 t Mehl transportierte. Der Brand entstand unterhalb der Fahrerkabine und griff sehr schnell auf den gesamten LKW und weitere Fahrzeuge über. In der Folge wurden 23 LKW, 10 PKW, ein Motorrad und 2 Rettungsfahrzeuge des Tunnelbetreibers zerstört. Dabei traten Feuerübersprünge bis über Strecken von ca. 300 m auf. Schäden am Tunnelgewölbe und der Fahrbahn entstanden über eine Länge von ca. 900 m. Ferner waren die Tunneleinrichtungen über eine Länge von mehr als 900 m zerstört oder durch Rußablagerungen vollkommen unbrauchbar geworden. Bei dem Brand starben insgesamt 39 Personen.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Die Lüftungsanlage des Tunnels wurde auf volle Leistung gestellt, um den im Bereich des Brandes befindlichen Personen zu helfen. Dabei wurde durch zuviel Zu- luft das Feuer angefacht.

Zwei Personen retteten sich in einen Schutzraum in der Nähe des Brandortes. Die Schutzräume in Tunnel sind jedoch nur für eine Nutzungsdauer von ca. 2 Stunden während eines Brandes ausgelegt. Da der Brand jedoch über 50 Stunden dauerte, kamen diese beiden Personen im Schutzraum um.

Im Zuge der Rettungsarbeiten mussten nicht nur die vom Brand betroffenen Tunnelnutzer gerettet werden, sondern auch Rettungskräfte selbst, die vom Brand bzw. dem Rauch eingeschlossen wurden.

Bei den Lösch- und Rettungsarbeiten traten technische Probleme mit der Ausrüstung (Atemschutzgeräte in überhitzter Umgebung, fehlende Kompatibilität zwischen den Geräten des Tunnelbetreibers und denen der Feuerwehr, unzureichender Wasserdruck, Kommunikationsprobleme im Tunnelinnern) auf. Vorteilhaft hingegen war der Einsatz der Schaumlöschgeräte.

#### Literatur:

- Bericht der technischen Untersuchungskommission über den Brand vom 24. März 1999 im Mont-Blanc-Tunnel; Bearbeiter: Duffé, P./Marec; M., Französisches Innenministerium und Französisches Ministerium für Bauen, Verkehr und Wohnungswesen, Stand: Juni 1999

## Brandereignisse in Straßentunneln

### Ereignis S10: Tauern-Tunnel, Österreich, 29.05.1999

#### Beschreibung des Brandereignisses:

An einer Baustellenampel im Tunnel hielten ein mit Farbe und Lacken beladener LKW und dahinter 4 PKW. Ein LKW-Fahrer fuhr auf diese stehende Fahrzeugkolonne auf. Die Fahrzeugwracks fingen sofort Feuer. Insgesamt verbrannten 16 LKW und 24 PKW. Der Tunnel musste im Unfallbereich über eine Länge von ca. 1,5 km saniert werden. Die Sanierung dauerte ca. 3 Monate. In dieser Zeit blieb der Tunnel für den Verkehr geschlossen. Der Brand forderte insgesamt 12 Todesopfer. 57 Personen wurden verletzt.

#### Lösch- und Rettungsarbeiten:

Der Brand konnte erst nach mehr als 12 Stunden gelöscht werden, da die Feuerwehr anfänglich wegen der starken Rauch- und enormen Hitzeentwicklung nicht zu den brennenden Fahrzeugen vordringen konnte.

#### Literatur:

- NN.: Tauern-Tunnel seit 28.08.1999 wieder in Betrieb; Tunnel 1999, Heft 6, Seiten 2 – 6
- Hamburger Abendblatt: Die Hölle im Tunnel, 31.05.1999
- Hörhan, R.: Der Brand im Tauerntunnel; Vortrag bei dem BAST-Workshop „Sicherheit in Tunneln“, Bergisch Gladbach, 15./16. November 1999

## **Anhang 4**

Vorträge auf dem Workshop „Sicherheit in Tunneln“

## **Begrüßung**

**Präsident und Professor Dr.-Ing. K. H. Lenz**

**Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach**

Meine sehr verehrten Damen, meine Herren,

zu dem Workshop "Sicherheit in Tunneln" begrüße ich Sie hier im Hause der Bundesanstalt für Straßenwesen sehr herzlich. Es muss schon etwas ganz Außergewöhnliches vorliegen, wenn Tunnelbauer aus aktuellem Anlass zu einem Erfahrungsaustausch zusammenkommen.

Der Tunnelbau ist schon seit den frühen Kulturen bekannt. Der antike Geograph Strabo berichtet, dass die Babylonier einen Tunnel unter dem Euphrat gebaut hätten und der griechische Ingenieur Eupalinos baute im 6. Jahrhundert vor Christus den heute noch begehbaren, etwa 1 km langen Tunnel durch den Kastro oberhalb der Stadt Samos. Der Stollen wurde von beiden Seiten gleichzeitig begonnen und beide Teilstücke verfehlten sich geradlinig nur um wenige Meter. Das Werk des Eupalinos ebenso, wie der von den Römern 44 bis 54 n. Chr. angelegte Tunnel zur Trockenlegung des Fucinersees sind Beispiele dafür, dass die Tunnel zunächst vor allem in Zusammenhang mit der Wasserversorgung erbaut wurden. Allerdings bauten auch die Römer schon Straßentunnel.

Der eigentliche Aufschwung des Tunnelbaus trat erst von der Renaissance an ein mit der Erfindung des Schießpulvers und damit der Möglichkeit Sprengungen durchzuführen. Zar Ivan IV ließ um 1565 Tunnel unter Stadt Moskau anlegen und 1707 wurde das schweizerische Urner Loch in der Schollener Schlucht gebaut.

Der erste Eisenbahntunnel unter den Alpen war von 1848 bis 1854 der erbaute Semmering Scheiteltunnel. Die Aufzählung ließe sich beliebig fortsetzen. Erinnerung sei jedoch nur

noch an ein Beispiel dafür, dass schon in der Vergangenheit Ingenieure gerade beim Tunnelbau einen langen Atem brauchen. Der französische Ingenieur Brunel begann 1823 mit dem Bau eines Tunnels unter der Themse bei London. Mehrfach musste der Bau unterbrochen werden, weil Wasser eindrang.

Wenn in zurückliegenden Jahren von der Sicherheit in Tunneln die Rede war, dann war insbesondere gemeint, die Sicherheit für Menschen und Gerät beim Bau des Tunnels selbst, und nach der Verkehrsfreigabe die Sicherheit der Nutzung des Tunnels durch Verhindern des Eindringens von Wasser, sowie dass sichergestellt werden musste, dass durch Bewegungen im Berg der Tunnel selbst nicht einstürzte.

Spektakuläre Unfälle in Tunneln haben uns aber gezeigt, dass im Tunnel noch weitere Gefahren lauern, Gefahren, die aus dem Verkehr im Tunnel selbst resultieren und die besonders bedrohend sein können, wenn in Tunneln Transporte mit Gefahrgut verunglücken. Der Workshop will insbesondere zur Frage der Tunnelbrände einen Beitrag leisten, um so zukünftig den Transport von Menschen und Gütern durch Tunnel noch sicherer zu machen.

Ich wünsche der Veranstaltung interessante Beiträge und Ihnen allen vielfältige Anregungen für Ihre tägliche Arbeit im Tunnelbau und Tunnelbetrieb.



## **Sicherheit in Straßentunneln**

**Prof. Dr.-Ing. W. Baltzer**

**BUNG GmbH beratende Ingenieure, Heidelberg**

Sehr geehrter Herr Vorsitzender, sehr geehrte Damen und Herren,

vielen Dank für die einleitenden Worte. Ich bin geschäftsführender Gesellschafter bei der BUNG GmbH beratende Ingenieure. Im technischen Bereich bin ich in unserem Haus für die Straßentunnelplanung verantwortlich, insbesondere auch für die Planung der technischen Ausstattung. Seit 1984 bin ich zudem Mitglied des Arbeitsausschusses 3.6 "Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln" der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, dessen Vorsitz ich 1997 übernommen habe.

Das Thema unseres heutigen Workshops ist die Sicherheit in Straßentunneln vor dem Hintergrund der letzten beiden Brandkatastrophen dieses Jahres im Mont-Blanc-Tunnel und im Tauerntunnel, wobei die hierzu in der Presse veröffentlichten Berichte weniger zur Aufklärung als vielmehr zur Verunsicherung der Verkehrsteilnehmer beigetragen haben.

Warum beschäftigen wir uns denn nun speziell mit der Frage der Sicherheit in Straßentunneln? Zum einen ist das Fahrverhalten aufgrund der durch Wände und Decken des Tunnels beeinträchtigten Sichtweiten gegenüber der freien Strecke verändert. Insgesamt wird innerhalb eines Tunnels langsamer gefahren als außerhalb, aber mit einem wesentlich geringeren Sicherheitsabstand. Daher verwundert es nicht, dass der Auffahrunfall die häufigste im Tunnel anzutreffende Unfallart ist. Allgemein ist die Unfallrate jedoch geringer als auf der freien Strecke. Zum anderen sind aber bei einem Zwischenfall in einem Tunnel die Auswirkungen erheblicher als auf der freien Strecke. Zugangsmöglichkeiten für die Hilfskräfte und Fluchtmöglichkeiten für die Verkehrsteilnehmer sind nur über vorgesehene Wege möglich, den Tunnel oder speziell angelegte Flucht- bzw. Zugangswege. Im Falle eines Brandes kommt erschwerend hinzu, dass sich auch der Rauch und die Temperatur auf diesen Wegen ausbreitet. Brände stehen in den meisten Fällen aber nicht im Zusammenhang mit Unfällen, sondern sind auf Selbstentzündungen zurückzuführen (z. B. heißgelaufene Bremsen).

Um nun auch im Tunnel eine der freien Strecke vergleichbare Sicherheit zu gewährleisten, müssen Vorkehrungen für den Personen- und Bautenschutz getroffen werden.

Der Personenschutz wird hauptsächlich durch die im Tunnel installierte technische Ausrüstung gewährleistet (Bild 1).

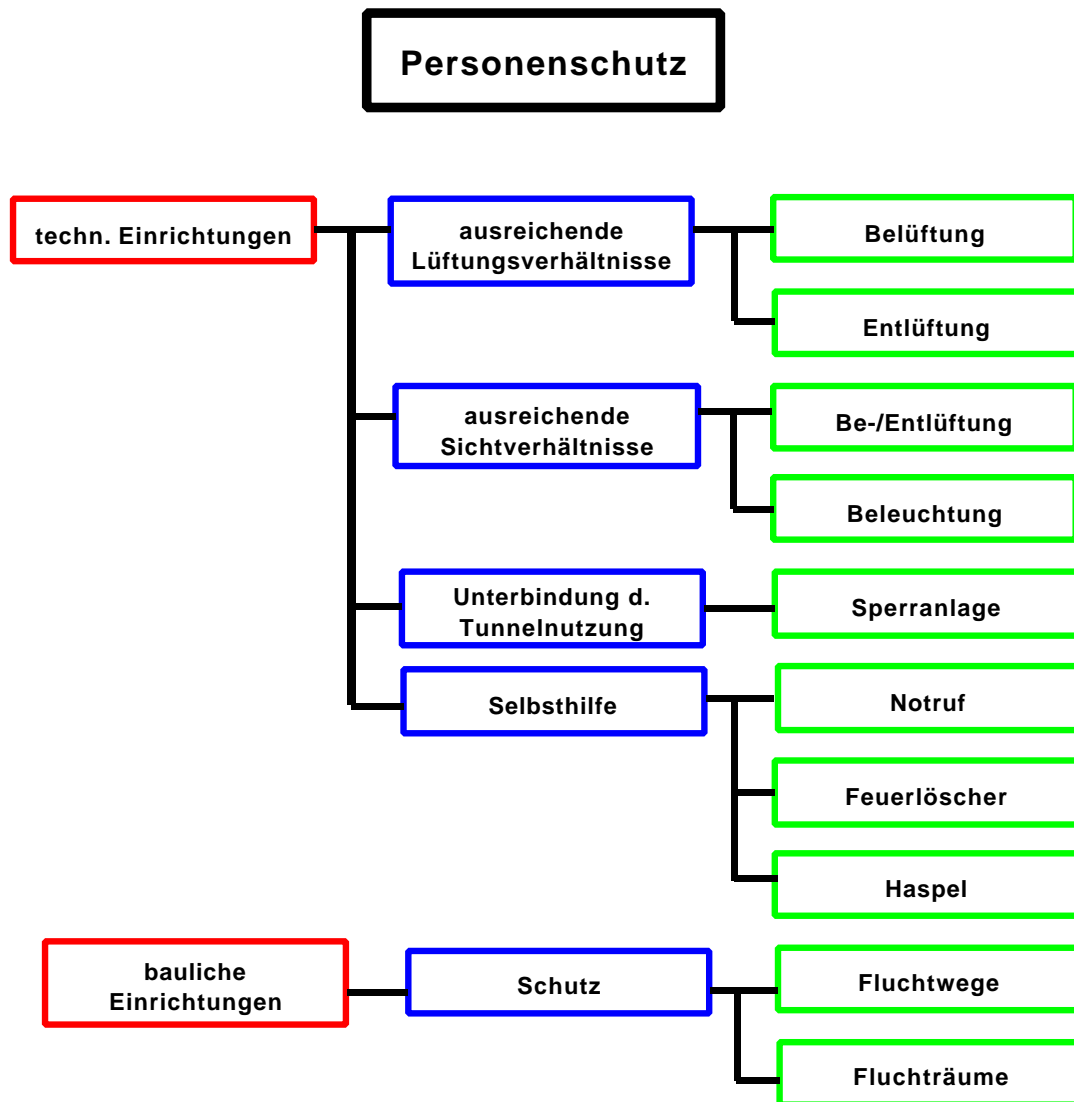


Bild 1: Personenschutz

Die wesentlichen Aufgaben bestehen in folgendem:

Die Be- und Entlüftungsanlagen sorgen für ausreichende Lüftungsverhältnisse. Im Brandfall müssen sie zusätzlich in der Lage sein, Rauch und Wärme aus dem Tunnel abzuführen, ohne den Nutzer zu gefährden.

Die Beleuchtungsanlage schafft ausreichende Sichtverhältnisse zu jeder Tag- und Nachtzeit.

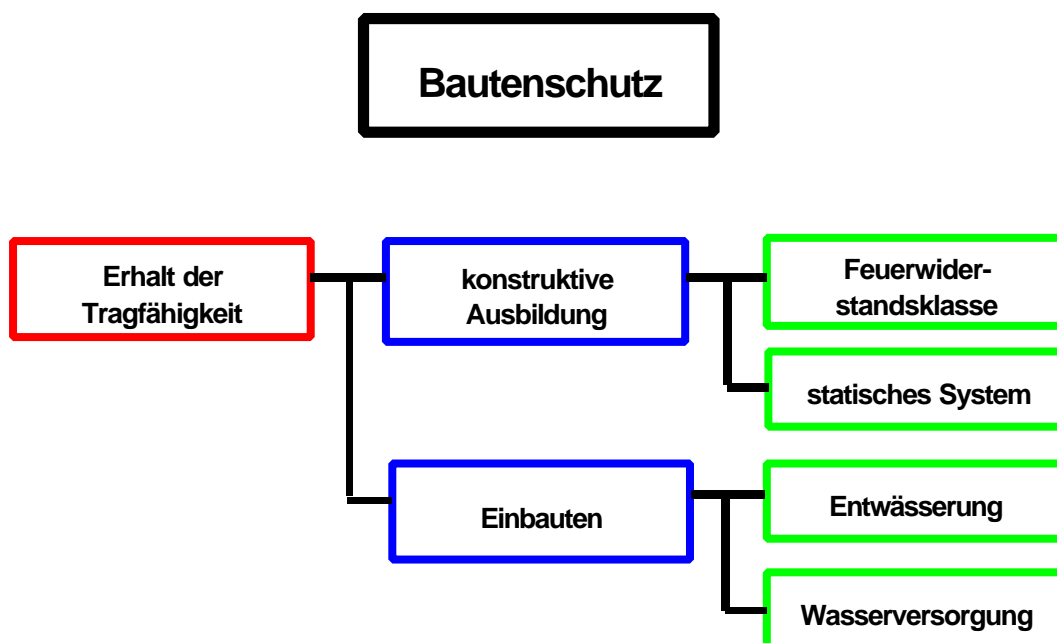
Um bei einer Störung im Tunnel das Gefahrenpotential zu reduzieren und weitere Ver-

kehrsteilnehmer zu schützen, wird die Tunnelnutzung mit Hilfe einer Sperranlage unterbunden.

Notrufstationen, die mit einer Meldeanlage und Feuerlöschern ausgerüstet sind, erlauben dem Verkehrsteilnehmer schnell Hilfe herbeizurufen oder auch Selbsthilfe durchzuführen.

Neben der technischen Ausrüstung werden zum Personenschutz auch bauliche Vorkehrungen getroffen. Zu diesen zählt die Anlage von Fluchtwegen oder zumindest Fluchträumen.

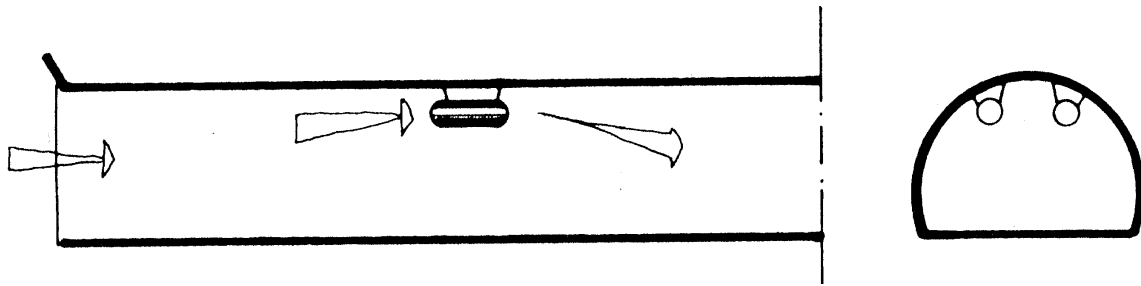
Beim Bautenschutz (Bild 2) kommt es vor allem darauf an, die Tragfähigkeit des Bauwerks zu erhalten. Hierzu dient die Einhaltung einer bestimmten Feuerwiderstandsklasse, in der Regel F90, in Ausnahmefällen F120, sowie die Verwendung unbestimmter statischer Systeme.



**Bild 2:** Bautenschutz

Des Weiteren werden Entwässerungseinrichtungen zum Ableiten brennbarer Flüssigkeiten vorgesehen. Hier werden vor allem Schlitzrinnen mit Nasssiphonierung verwendet. Für den Einsatz der Feuerwehren ist letztlich bei längeren Tunneln eine Wasserversorgung in Form einer Hydrantenleitung mit regelmäßigen Entnahmestellen vorzuhalten.

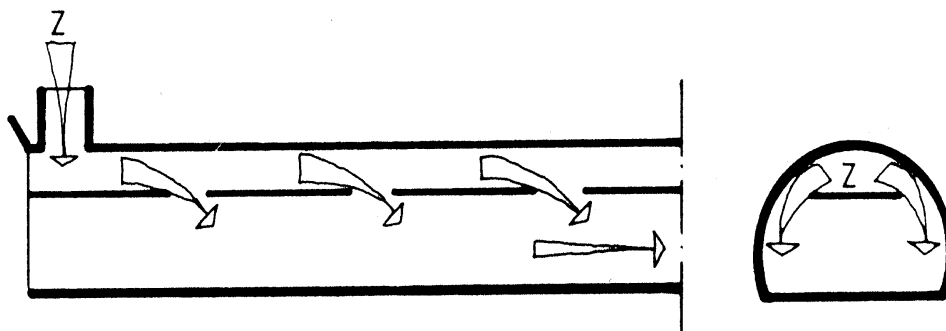
Um nun einige Probleme und Schwierigkeiten bei der Lösung der Sicherheitsfragen aufzuzeigen, müssen die sicherheitsrelevanten Einrichtungen im Detail vorgestellt werden. In den meisten deutschen Straßentunneln wird heute als Belüftungssystem eine Längslüftung vorgesehen (Bild 3).



**Bild 3:** Längslüftung

Beim Längslüftungssystem werden Ventilatoren (Strahlventilatoren) im Verkehrsraum angeordnet. Über diese Ventilatoren wird die Luftsäule im Tunnel von einem zum anderen Portal bewegt. Das bedeutet im Brandfall, dass auch die Brandgase, die Wärme und der Rauch nur von einem Portal zum anderen gefördert und damit Personen, die sich an oder hinter einer Brandstelle befinden, durch den Luftstrom gefährdet werden können.

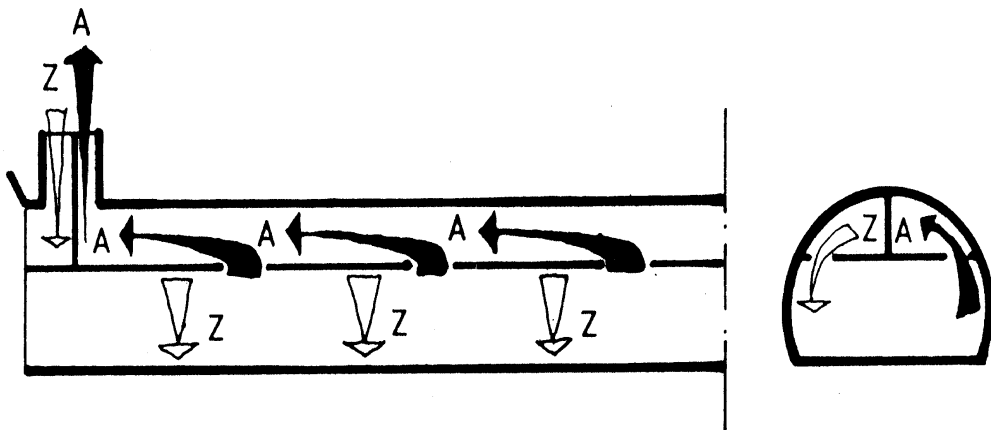
Ein anderes System ist die Halbquerlüftung. Dieses Lüftungssystem benutzt einen separaten Luftkanal, über den die Luft in den eigentlichen Fahrraum eingeblasen wird (Bild 4). Die Frischluft sorgt dafür, dass im Tunnel ein Überdruck entsteht, so dass die Abluft über die Portale entweicht.



**Bild 4:** Halbquerlüftung

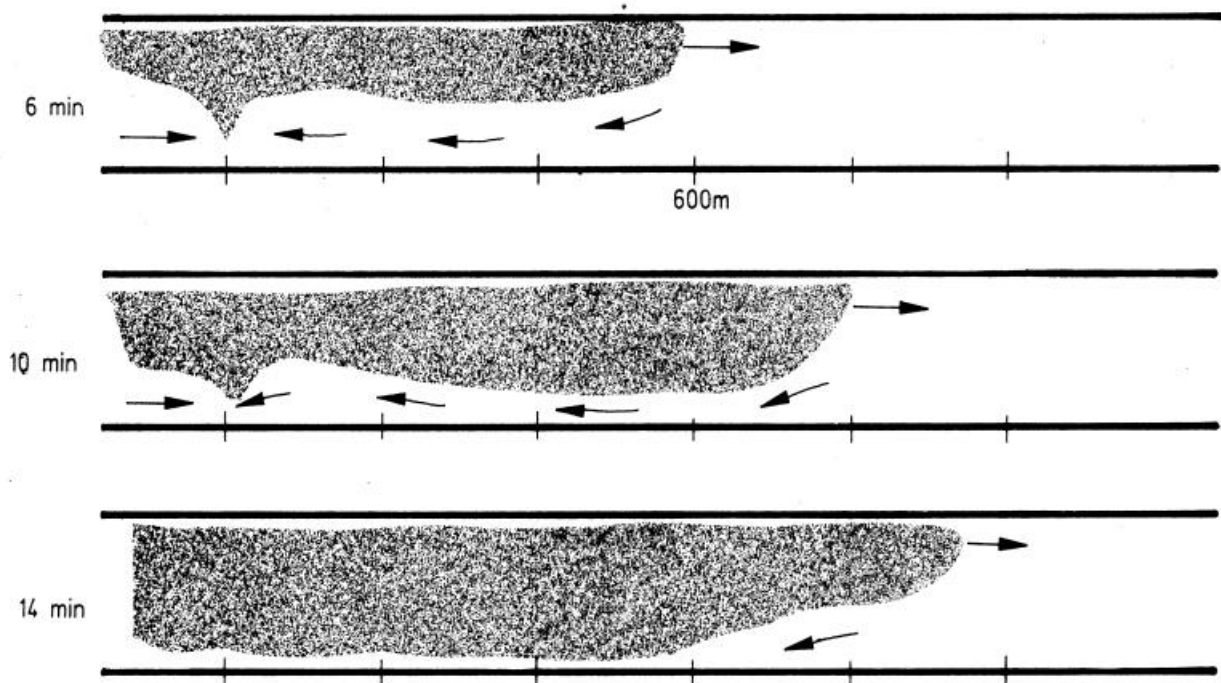
Diese Luftbewegung wird durch den von den Fahrzeugen erzeugten Schub unterstützt. Im Brandfall kann man dieses System auf reine Absaugung umstellen. Die Luft und damit auch eventuelle Rauchgase werden aus dem Fahrraum abgesaugt. Die Frischluft strömt über die Portale in den Tunnel nach.

Ein weiteres System, das im Moment eingesetzt wird, ist das Prinzip der Querlüftung (Bild 5). Dieses System setzt zwei Kanäle voraus, einen Frischluftkanal und einen Abluftkanal. Im Tunnel entsteht eine Querlüftung, die der Längsströmung, die durch den Verkehr induziert wird, überlagert wird.



**Bild 5:** Querlüftung

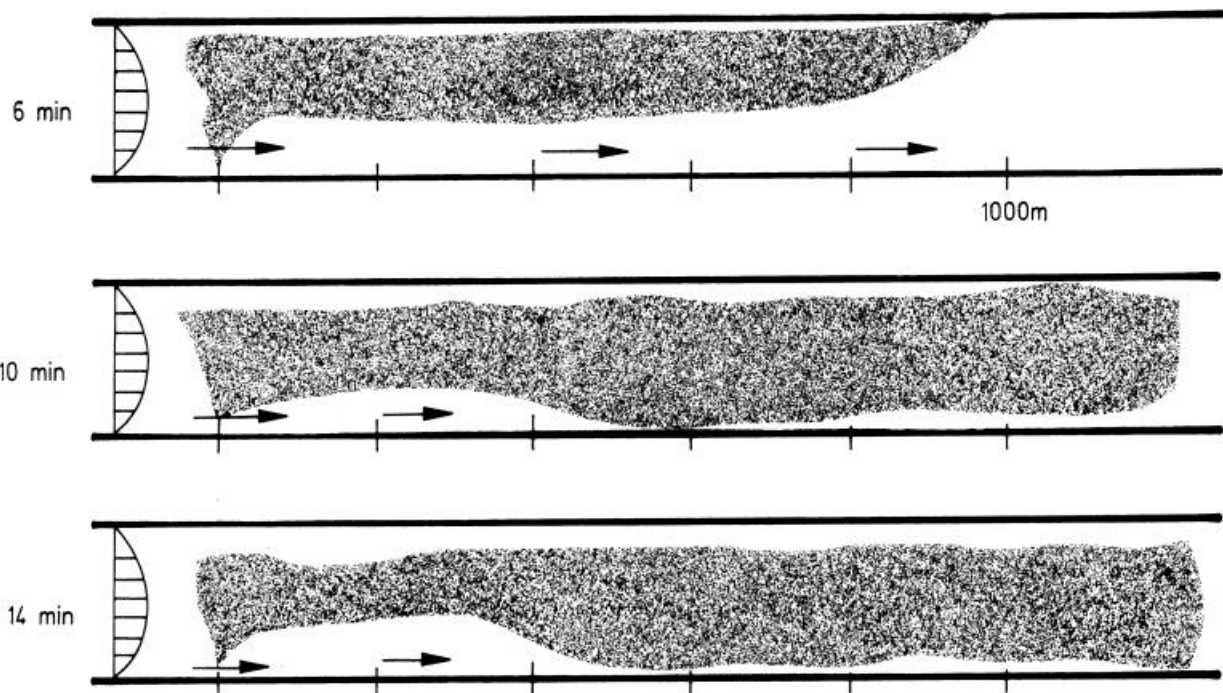
Allgemein stellt sich unter den jetzt vorliegenden Erkenntnissen die Frage, wo die Einsatzgrenzen der einzelnen Systeme liegen. Sind z. B. Längslüftungssysteme bis zu 3 km Länge, wie teilweise gebaut oder in der Planung, noch zu vertreten? Kann eine Querlüftung eingesetzt werden, obwohl in neueren Untersuchungen nachgewiesen wird, dass eine durch einen Brand induzierte Längsströmung durch die künstliche Querströmung nicht aufgehoben werden kann? Bisher liegen der Wahl des Lüftungssystems die in Bild 6 dargestellte Rauchausbreitung zugrunde.



**Bild 6a:** Rauchausbreitung bei fehlender Längsströmung

Danach ergibt sich bei fehlender Längsströmung eine Rauchschtung über einen Zeitraum von etwa 6 min. In dieser Zeit soll es möglich sein, vom Brandherd unter der Schichtung bis zu einem rauchfreien Standort zu fliehen. Stellt sich eine solche Schichtung nun auch mit Sicherheit ein, oder führen nicht Turbulenzen an Fahrzeugen oder Einrichtungsgegenständen zu einer Verwirbelung und damit zu einer Verrauchung des Querschnitts? Auf diese Frage muss ein Antwort gefunden werden, da sie die zur Verfügung stehende Fluchtzeit maßgeblich beeinflusst.

Im zweiten Teil des Bildes 6 ist dargestellt, wie die Rauchausbreitung unter Einfluss einer Längsströmung aussähe. Man erkennt, dass Bereiche vor dem Brandherd relativ geschützt liegen; hingegen hinter dem Brandherd sehr schnell eine vollständige Verrauchung des Querschnitts zu erwarten ist, die die Fluchtmöglichkeit wesentlich beeinträchtigt. Aber auch hier ist nach den bisherigen Theorien in den ersten Minuten eine Rauchschtung vorhanden, unter der die Tunnelnutzer flüchten können.



**Bild 6b:** Rauchausbreitung unter Einfluss einer Längsströmung

Auch für diesen Fall muss die Frage gestellt werden, ob die Theorie über die Rauchschtung aufrecht erhalten werden kann bzw. welche Randbedingungen für eine solche Theorie eingehalten werden muss.

Aufgrund der in Bild 6 dargestellten Rauchausbreitung ist derzeit in der RABT ein Fluchwegabstand von 350 m festgelegt. Da die Theorie der Rauchausbreitung in Frage gestellt

ist, muss natürlich auch der Fluchtwegabstand neu diskutiert werden. Aber welche Entfernung ist richtig? Sind es 100 m, 200 m oder 300 m? Eine Antwort kann zur Zeit nicht gegeben werden.

Des Weiteren wird in der RABT davon ausgegangen, dass das Fluchtwegsystem vom gewählten Lüftungssystem abhängig ist. Das bedeutet, dass im Extremfall Fluchtwege durch eine mechanische Entrauchung ersetzt werden können (Bild 7). Nach Bild 8 können z. B. die Lösungen 4a, 4b und 4c alternativ verwendet werden, da sie nach bisheriger Auffassung eine nahezu gleiche Sicherheit für den Tunnelnutzer bieten. Dieser substitutive Ansatz wird hauptsächlich seitens der Feuerwehren bemängelt. Nach ihrer Auffassung kann eine 100 % ige Einsatzsicherheit der Mechanik im Katastrophenfall nicht gewährleistet werden. Mechanische Entrauchungssysteme bieten demnach nicht die gleichen Sicherheiten, wie ein optimiertes bauliches Fluchtwegsystem. Es muss also eine Antwort darauf gefunden werden, ob Fluchtwegsysteme grundsätzlich unabhängig vom Lüftungssystem geplant und angelegt werden müssen oder inwieweit substitutive Lösungen zugelassen werden können.

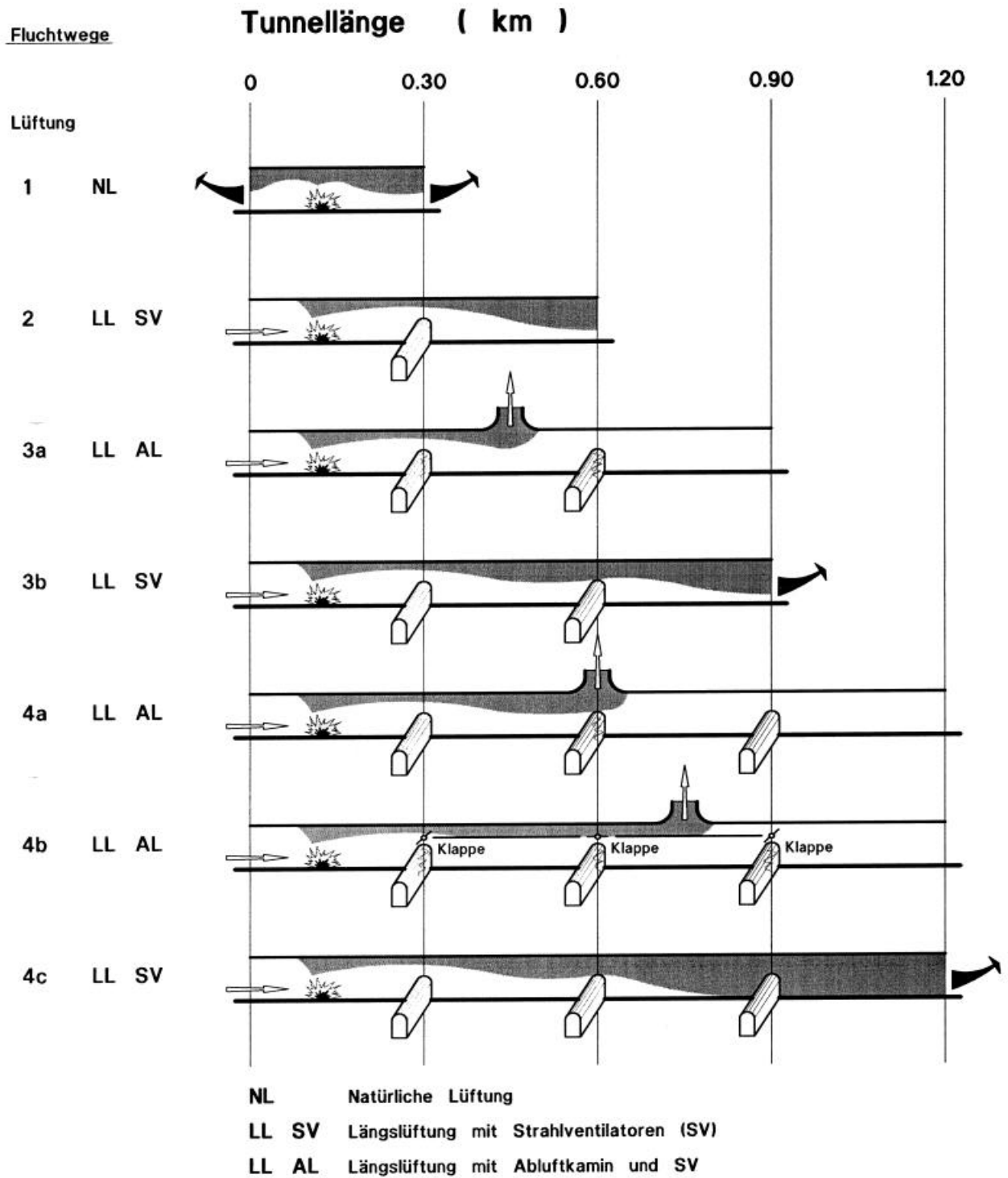
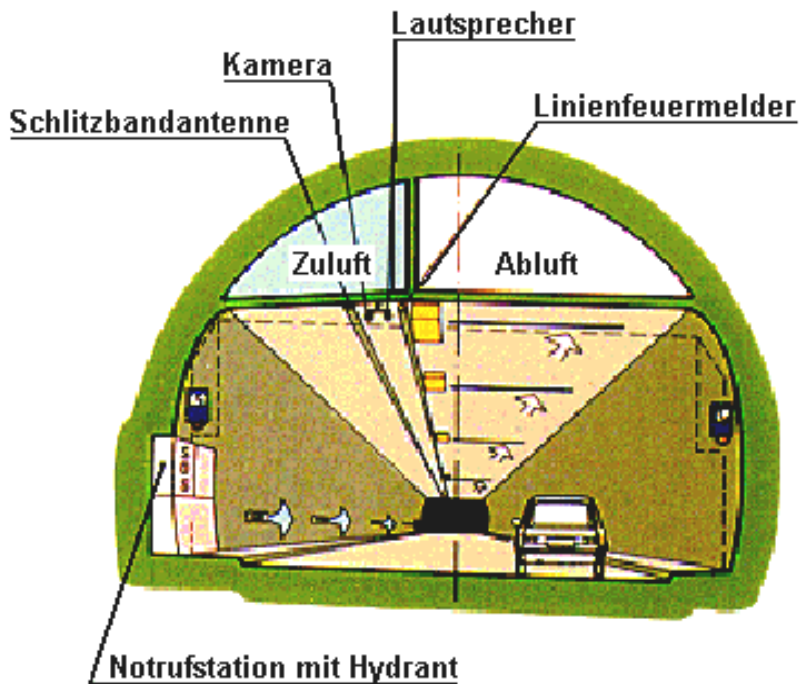


Bild 7: Fluchwegsysteme





**Bild 8:** Sicherheitseinrichtungen im Tunnelquerschnitt; Betrieb im Brandfall

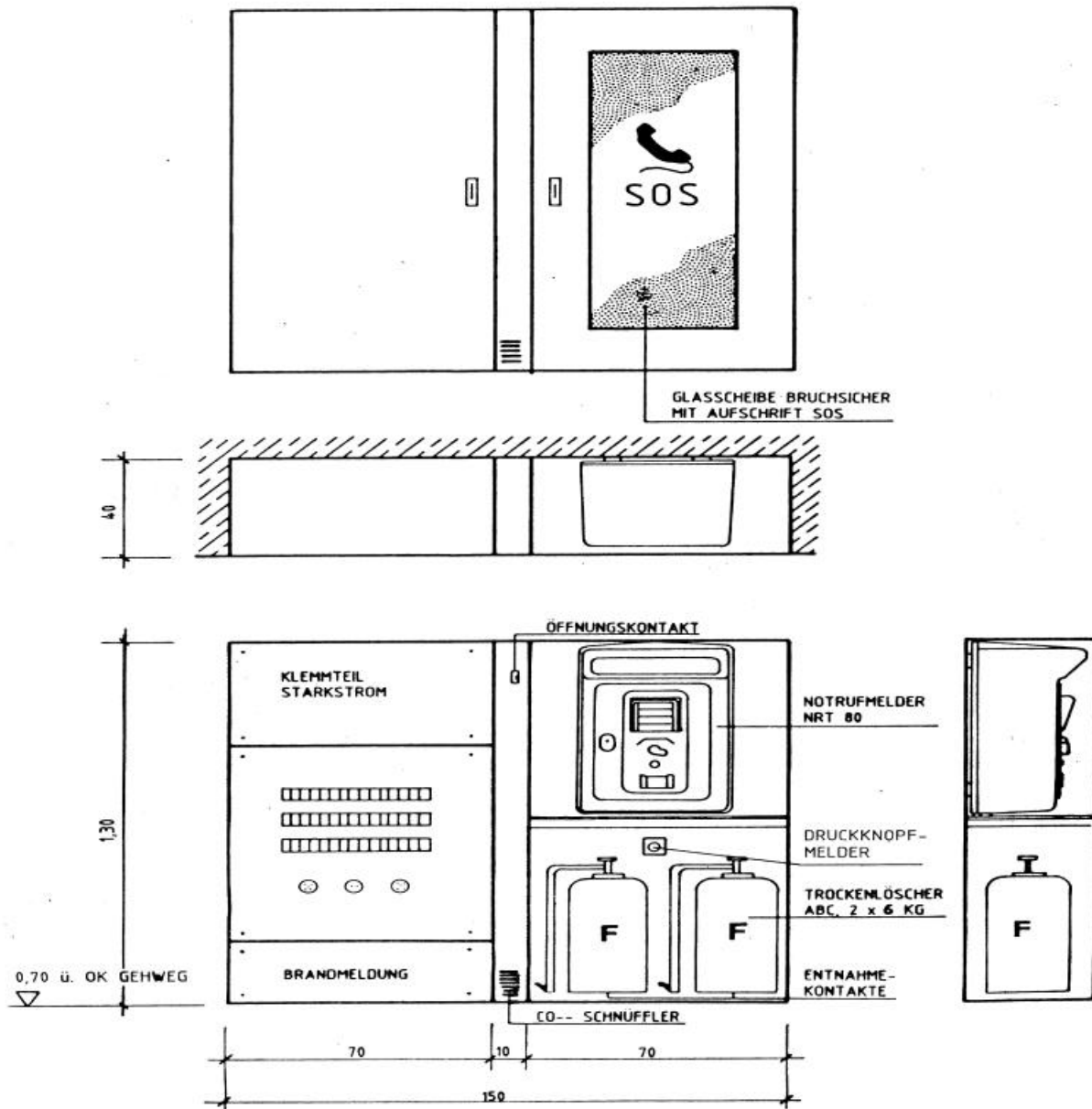
Bild 8 zeigt die allgemein üblichen Sicherheitseinrichtungen sowie die Lüftungskanäle einschließlich der Luftführung im Brandfall bei einer reversierbaren Halbquer-Querlüftung.

Bei dem hier dargestellten Lüftungsprinzip wird die Frischluft über Sekundärkanäle im unteren Bereich des Fahrraums kontinuierlich eingeblasen und mögliche Brandgase über Schlitze im Deckenbereich ebenfalls kontinuierlich abgesaugt. Die kontinuierliche Absaugung bietet den Vorteil, dass auf mechanische Klappen in den Schlitzen verzichtet werden kann und damit eine hohe Funktionssicherheit gewährleistet ist. Ein erheblicher Nachteil ist jedoch darin zu sehen, dass die Absaugleistung nicht auf einen möglichen Brandort konzentriert werden kann und somit über den gesamten Tunnel ein großer Anteil Fremdluft mit abgesaugt wird.

Lüftungstechnisch effektiver wäre eine auf den Brandherd konzentrierte Absaugung. Dies erfordert mechanisch zu öffnende oder zu schließende Klappen in der Zwischendecke. Das Problem der Funktionssicherheit ist aber bisher noch nicht befriedigend gelöst.

Zu den Sicherheitseinrichtungen zählen in Abhängigkeit von der Tunnellänge Vorkehrungen für den Funkverkehr, Fernsehüberwachungsanlagen, Durchsagemöglichkeiten, Brandmeldeeinrichtungen und Notrufstationen (Bild 8). Diskutiert werden muss hier der Einflussfaktor Tunnellänge bzw. kann man, wie bisher in kürzeren Tunneln, auf Teile der Sicherheitseinrichtungen verzichten.

Notrufstationen werden zur Zeit im Abstand von 175 vorgesehen. Sie sind als eingelassene Wandschränke ausgebildet (Bild 9).



**Bild 9:** Notrufstation

Eine Notrufstation enthält einen Notrufmelder, über den eine Verbindung zu den aufgeschalteten Stellen, in der Regel Straßenmeisterei oder Polizei, hergestellt werden kann sowie zwei 6 kg Trockenfeuerlöscher, mit deren Hilfe der Autofahrer Entstehungsbrände selbst löschen kann. Es stellt sich die Frage, inwieweit die Tunnelnutzer mit Pulverlöschern überhaupt umgehen können. Wäre es nicht sinnvoller, grundsätzlich mit Wasser zu löschen? Denkbar wäre z. B. der Einsatz vergleichbar eines Hochdruckreinigers. Wie das Löschmittel, muss auch die grundsätzliche Ausbildung der Notrufstation in Frage gestellt

werden. Eine Sprechverständigung über den Notrufmelder ist infolge der Akustik im Verkehrsraum nur bedingt möglich. Eine Verbesserung könnte dann gegeben sein, wenn man statt des Wandschranks eine begehbare Station baut, vergleichbar einer Telefonzelle. Diese könnte man dann in einem nächsten Schritt soweit aufrüsten, dass sie im Brandfall auch als Fluchraum dienen könnte.

Die Tunnelbeleuchtung trägt wesentlich zur Sicherheit der Tunnelnutzer bei. Sie ermöglicht die Orientierung im Tunnel. Aufgrund der Anforderungen an sie im Normalbetrieb ist sie im Deckenbereich mittig oder seitlich angeordnet (Bild 10).

		1	2	3	4	5
1	Rechteckquerschnitt					
		Breite b bis	2h	4h	3-4h	
2	Beleuchtungs-technik	Bel. Art	MKB + GSB			MKB (GSB)
3		Montage	nur in Ausnahmefällen ( h < 4,80m ) in Betondecke einlassen			Lichtraumprofil beachten
4		Montage	nur in Ausnahmefällen ( h < 4,80m ) in Betondecke einlassen			Lichtraumprofil beachten
5	Gewölbequerschnitte					
		Breite b bis	2h	3-4h		
6	Beleuchtungs-technik	Bel. Art	MKB + GSB			MKB
7		Montage	nicht in Decke einlassen	kurz abgehängt	direkt auf Konstruktionsbeton	
8		Montage	nicht in Decke einlassen	kurz abgehängt	direkt auf Konstruktionsbeton	

**Bild 10:** Leuchtenanordnung

Im Falle eines Brandes sichtet sich zunächst der Rauch unter der Tunneldecke und verdunkelt damit die Beleuchtung. Eine Orientierung für den Nutzer, der aus dem Tunnel fliehen muss, ist nicht möglich. Daraus ist die Erfordernis einer Notbeleuchtung abzuleiten, die im unteren Teil des Verkehrsraumes angeordnet und unterbrechungslos mit Strom zu versorgen ist. Wie soll eine solche Beleuchtung nun dimensioniert werden? Soll sie gemäß Tagungsstättenverordnung ausgelegt werden oder reicht zur Orientierung eine Leuchte

alle 25 m im Bereich des Notgehweges? Dies sind Fragen, auf die wir zur Zeit noch nicht die richtigen Antworten wissen.

Außerdem müssen wir bei einer Katastrophe im Tunnel verhindern, dass unnötig viele Nutzer in den Tunnel einfahren. Der Tunnel muss möglichst schnell für den Verkehr gesperrt werden. Gemäß RABT erfolgt dies in der Regel mit einer dreibegriffigen Lichtzeichenanlage, die bei Alarmauslösung sofort automatisch auf Rotsignal geschaltet wird. Diese Lichtsignalanlagen kennt jeder Verkehrsteilnehmer aus dem Straßenverkehr. Steht das Signal an einer Kreuzung auf rot, so bleibt man stehen. Ein Rotsignal bei einem Tunnel scheint aber nicht die gleiche Bedeutung zu haben. Es gibt immer wieder Autofahrer, die dieses Signal missachten und damit auch zum „Negativvorbild“ für das folgende Fahrzeug werden. Aus diesem Verhalten muss eventuell die Konsequenz gezogen werden, neben dem Rotlicht auch weitere Sperrvorrichtungen vorzusehen, wie z. B. Halbschranken. Gibt es noch andere Möglichkeiten?

Wir werden es im anschließenden Workshop diskutieren.

Neben den Einrichtungen für den Verkehrsteilnehmer sind natürlich auch solche für die Einsatzkräfte erforderlich. Beispielhaft möchte ich auf die Wasserversorgung für den Feuerwehreinsatz eingehen. Bereitstellen von Löschmöglichkeiten bedeutet die Anlage eines Wasserleitungssystems im Tunnel. Als Systeme stehen Trockenleitungs- oder Nassleitungssysteme mit Ring- oder Sticheinspeisung zur Verfügung. Jedes System ist jedoch nur so gut, wie es die Wartung zulässt. In letzter Zeit gab es z. B. häufig Probleme mit Trockenleitungen. Da sich vielfach noch nie ein Brand ereignet hat, wurden sie nicht genutzt, so dass Ventile und Schieber nicht mehr funktionieren. Auch die Entnahmemöglichkeiten für die Feuerwehr bieten unzählige Ausführungsvarianten. So können es Überflurhydranten, Unterflurhydranten, Standrohre mit Schieber oder Kombinationen sein. In vielen Tunneln findet man daher über Flur eingebaute Unterflurhydranten.

Weitere Fragen ergeben sich aus der vorzuhaltenden Wassermenge und dem erforderlichen Versorgungsdruck. Im Zusammenhang mit den Löschmöglichkeiten der Feuerwehr, je nach Lage des Tunnels (Stadtbereich, Überlandbereich, Gebirge usw.) sind für den Einsatz eine Berufsfeuerwehr, eine Stützpunktfeuerwehr oder eine freiwillige Feuerwehr zuständig. Damit verbunden sind unterschiedliche Ausstattungen und Qualifikationen der Einsatzkräfte sowie auch stark differenzierte Ausrück- bzw. Anfahrzeiten, die von wenigen Minuten bis zu einer Stunde reichen können.

Alle Einflüsse müssen letztlich in ein Sicherheitskonzept einfließen, aus dem eine angepasste technische Ausstattung abgeleitet werden kann.

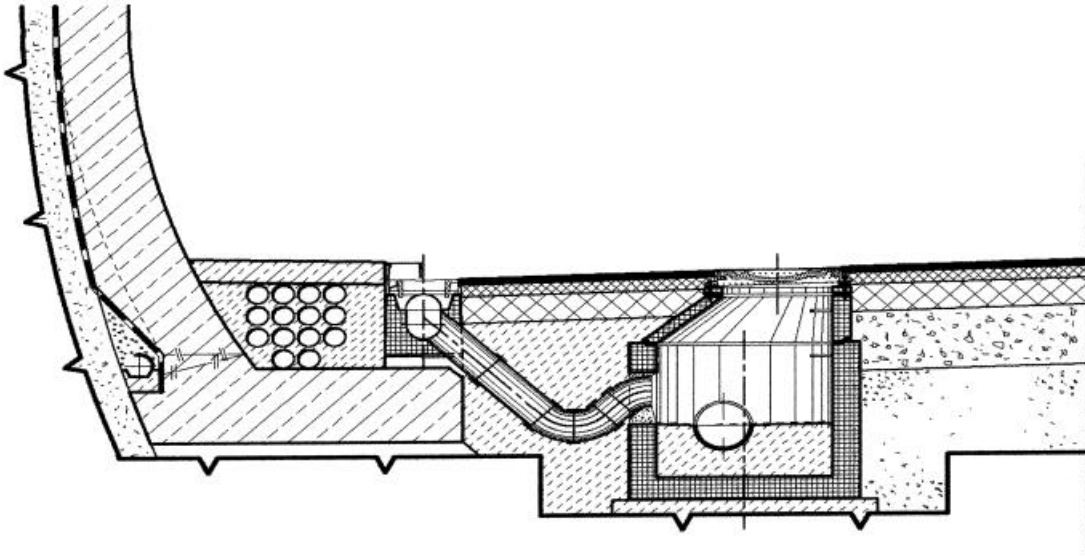
Auch wenn man einen Tunnel mit technischen Anlagen hoch aufrüstet, funktionieren sie letztlich nur so gut, wie die gesamte Sicherheitsplanung ist. Meldungen, die aus dem Tunnel kommen, müssen in einem Rechner verarbeitet werden und zu logisch verknüpften automatischen Maßnahmen führen. Spricht z. B. der automatische Brandmelder im Tunnel an, so muss gleichzeitig der Alarm an die Feuerwehr abgesetzt, der Tunnel gesperrt, die Beleuchtung auf 100 Prozent geschaltet und die Brandlüftung aktiviert werden. Diese Schaltungen müssen alle automatisch ablaufen, um den Zeitraum bis zum Eintreffen der Feuerwehr zur Selbstrettung der Personen nutzen zu können. Vor Ort können die Einsatzkräfte dann entscheiden, ob andere Maßnahmen getroffen werden müssen.

In diesem Zusammenhang ergeben sich eine Reihe von Fragen. Wie kann ein solches System optimiert werden, welche Übertragungsmöglichkeiten können genutzt werden und an wen werden die Informationen übertragen?

Aufgaben übernimmt der Betreiber? In diesem Zusammenhang ist vor allem die Problematik der Einsatzbereitschaft über 24 Stunden zu lösen und die Zeitspanne von Alarm bis zum Einsatz zu minimieren.

Als letzten Punkt möchte ich noch einen Blick auf die bautechnischen Sicherheitsvorkehrungen speziell die Entwässerung richten. Um den Tunnelnutzer vor auslaufenden brennbaren Flüssigkeiten zu schützen, werden zwischenzeitlich in allen Tunneln Schlitzrinnen mit einem Abflussvermögen von mindestens 100 l/s vorgesehen, die alle 50 m abgeschottet und über eine Tauchwand oder einen Nasssiphon (Bild 11) an eine Hauptentwässerungsleitung angeschlossen sind. Es entstehen praktisch Brandabschnitte von 50 m Länge.

Bei dieser Lösung ergeben sich zwei Probleme. Zum einen entspricht das Schluckvermögen des Siphons oder der Tauchwand nicht der Abflussleistung der Schlitzrinne und zum anderen erfüllt der Siphon oder die Tauchwand ihre Aufgabe nur, wenn das System mit Wasser gefüllt ist. Wer garantiert aber die Wasserfüllung, wenn über längere Zeit im Tunnel kein Wasser benutzt wurde?



**Bild 11:** Nasssiphon bei bergmännischen Tunneln

Sehr geehrte Damen und Herren, Sie sehen, dass eine Vielzahl von Fragen im Raum stehen und einer Klärung bedürfen, um die technische Tunnelausstattung, den Betrieb und die Sicherheitsplanung so aufeinander abzustimmen, dass ein optimales System entwickelt werden kann.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

## Stand der Sicherheitsüberprüfung schweizerischer Straßentunnel

Dipl.-Ing. H. R. Scheidegger

IUB - Ingenieurunternehmung AG, Bern, Schweiz

Sehr geehrte Damen und Herren

Gerne bin ich der Einladung von Herrn RDir. Dr.-Ing. Bernd Thamm zu diesem Workshop "Sicherheit in Tunneln" der BAST gefolgt.

Ich freue mich Ihnen den Zwischenbericht Tunnel Task-Force über die Sicherheit in den schweizerischen Strassentunneln vorstellen zu dürfen. Der Bericht wurde durch das Bundes-Amt für **Strassen** ASTRA erstellt. Als Mitglied der Task-Force war ich für den Teil "Infrastruktur" mitverantwortlich.

Im Auftrag des ASTRA leite ich die Arbeitsgruppe für die Erstellung der neuen schweizerischen Tunnellüftungs-Richtlinien und vertrete die Schweiz zusammen mit Herrn Dipl. Ing. Andreas Hofer im Tunnel-Komitee C 5 der PIARC / AIPCR.

Im Bereich Wartung und Unterhalt der elektromechanischen Anlagen und Ausrüstungen stehe ich der Expertenkommission für die Erstellung der neuen CH-Norm "Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstung" der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS vor.

Das ASTRA ist im Strassenwesen Ansprechpartner auf nationaler und internationaler Ebene für alle Fragen des Strassenverkehrs. Es verwaltet und lenkt die auf dem Bundesgesetz über die Verwendung der zweckgebundenen Mineralölsteuer basierenden finanziellen Mittel.

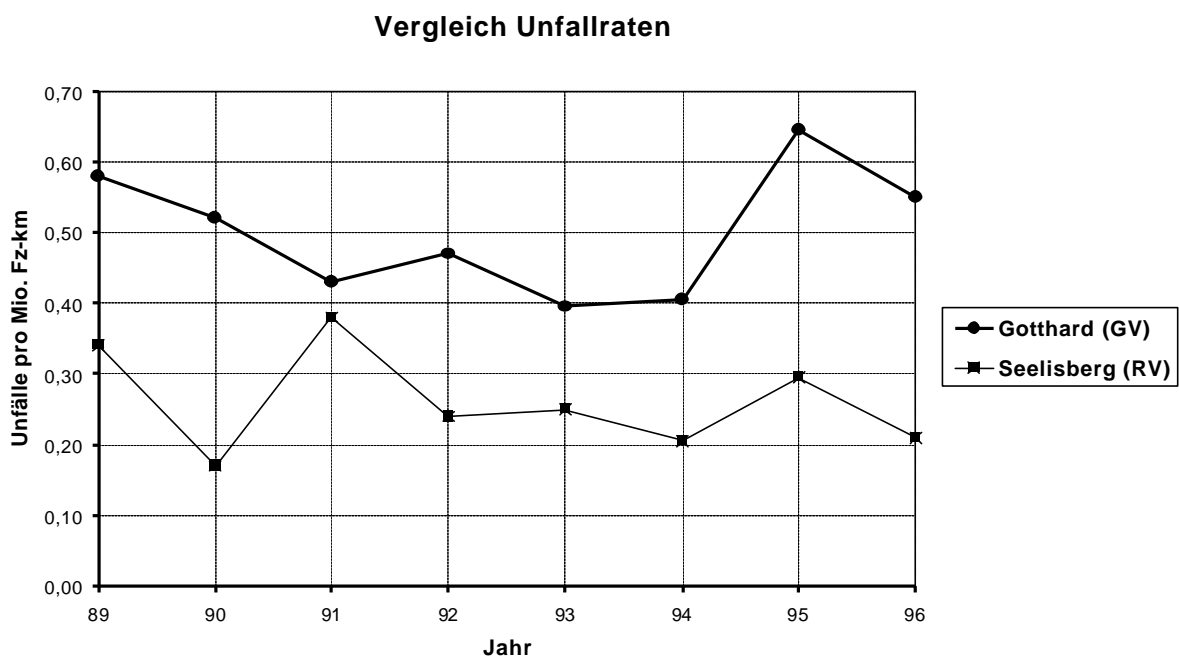
Gemeinsam mit den Kantonen gewährleistet es als Oberaufsichtsbehörde - gegründet auf dem Fundament der Verfassung, der Gesetze und Verordnungen - den Bau, die Erhaltung und den Betrieb eines sicheren und leistungsfähigen Strassennetzes.

Aufgrund dieser Verantwortlichkeiten setzte der Direktor des Bundesamtes für Strassen nach dem Tunnelbrand am Mont-Blanc-Tunnel eine Task-Force zur Überprüfung der schweizerischen Strassentunnel bezüglich der Aspekte Sicherheit und Infrastruktur, Organisation der Ereignisdienste, Fahrzeugsicherheit und Verhalten der Verkehrsteilnehmer im Tunnel ein.

Die Task-Force übernimmt die Führungsrolle und überprüft zusammen mit den Kantonen die Sicherheit der Strassentunnel. Im Bedarfsfall löst sie Sofortmassnahmen aus und beantragt dem Auftraggeber Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit. Fehlende oder zu erneuernde Richtlinien sollen festgestellt und zur Erstellung in Auftrag geben werden. Der Informationsaustausch mit den Nachbarländern ist im Hinblick auf einen Abgleich der Sicherheitsanforderungen aufzunehmen und die Öffentlichkeitsarbeit zu intensivieren.

In einem ersten Schritt wird die Ausgangslage bezüglich Risiko und Sicherheit in Strassentunnel analysiert und bauliche, technische und organisatorische Sicherheitsmassnahmen mit dem Ziel diskutiert, die begrenzten Mittel so einzusetzen, dass vorhandene Risiken am effizientesten reduziert und die Sicherheit am optimalsten erhöht werden können.

Basierend auf Beispielen der Unfallstatistik wird die Aussage abgeleitet, dass aufgrund der höheren Unfallraten mit erster Priorität die Gegenverkehrstunnel (Gotthard) zu überprüfen sind (Bild 1).

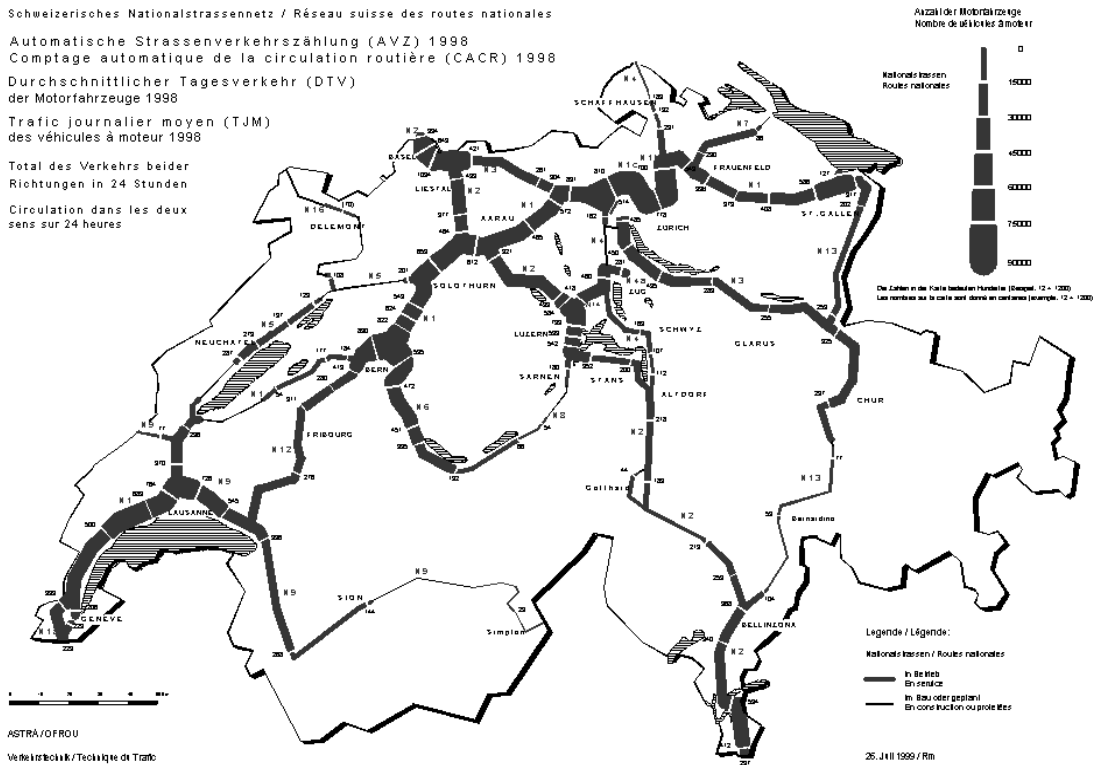


**Bild 1:** Vergleich der Unfallraten zwischen Gotthard- und Seelisbertunnel



Ergänzend dazu soll der Auftrag auf Achsen mit hohem Verkehrsaufkommen (Bild 2), mit zugelassenem Transport gefährlicher Güter und auf komplexe Tunnelanlagen mit zu erwartendem grossen Schadensausmass ausgedehnt werden.

# Verkehrskarte Schweiz



**Bild 2:** Verkehrsaufkommen ausgewählter Verkehrsachsen in der Schweiz

Die folgende Zusammenstellung über die Tunnelbauentwicklung soll die Bedeutung der Task-Force Aufgabe unterstreichen, sind doch 188 in Betrieb stehende Tunnel mit einer Gesamtlänge von ca. 170 km sicherheitstechnisch zu beurteilen und für 77 (110 km) noch zu bauende Nationalstrassentunnels moderne und auf aktuelle Erfahrungen abgestützte Anforderungen und Richtlinien zu erstellen (s. a. Tabelle 1).

CH-Nationalstrassentunnel	Tunnel per Ende 1998		Tunnel per Ende 2015	
	Anzahl	km	Anzahl	km
Einröhrige Tunnel	091	090.5	118	139.0
Zweiröhrige Tunnel	097	078.7	147	141.0
<b>Total</b>	<b>188</b>	<b>169.2</b>	<b>265</b>	<b>280.0</b>

**Tabelle 1:** Anzahl gegenwärtiger und geplanter schweizerischer Tunnel



nützern, zur Verminderung des Schadenausmasses am Bau und zur Gewährleistung eines optimalen Einsatzes der Rettungsdienste im Vordergrund. Ebenfalls ein erklärtes Ziel ist die Reduzierung von Anlagen- und Fahrzeugschäden sowie ein optimaler Umweltschutz. Menschliches Versagen oder Fehlverhalten, oft gepaart mit Informationsmangel, sind zentrale Faktoren aus dem Verkehrsteilnehmerbereich, welche bei kritischen Verkehrssituationen eine wichtige Rolle spielen.

Die Betriebsdienste sind für die Aufrechterhaltung der Funktionssicherheit und Wartung der Anlagen (Erhaltungsmanagement) zuständig und gemeinsam mit der Polizei für die Aufrechterhaltung der Verkehrsleistung und die Verkehrslenkung.

Nur ein zwischen den verschiedenen Einsatzdiensten (Polizei, Feuerwehr, Unterhalts- und Sanitätsdienst) koordiniertes Ereignismanagement ermöglicht erfolgreiche Rettungseinsätze.

Die baulichen Anlagen als Teil der Infrastruktur bestimmen durch die Anzahl dem Verkehr zur Verfügung stehenden Röhren sowie den Zufahrtsmöglichkeiten für die Rettungsdienste den sicherheitstechnischen Standard. Das Konzept der Schutzräume und Fluchtwege sowie deren Kennzeichnung ist ein wesentliches Element sowohl für die Selbstrettung und wie die Fremdrettung.

Die Ausrüstung eines Tunnels soll den sicherheitstechnischen Anforderungen entsprechen. So soll beispielsweise die Notstromversorgung gewährleisten, dass im Ereignisfall die Beleuchtung, die Verkehrsregelungs- und die Alarm- und Kommunikationsanlagen unterbruchsfrei weiterfunktionieren.

Die Lüftung soll im Gegensatz dazu die Flucht der Tunnelbenützer und den Zugang der Rettungsmannschaft erleichtern, die Länge des verbrauchten Tunnels minimieren und zur Verminderung des Schadenausmasses am Bauwerk beitragen. Sie soll zudem flüchtige, toxische Substanzen von den Tunnelbenützern fernhalten und nach einem Brand den Tunnel entrauchten. Ein besonderes Augenmerk muss auf eine möglichst effiziente und rasche Ereignisdetektion gelegt werden. Der Sensorik wurde in der Vergangenheit eine zu kleine Bedeutung beigemessen.

Die technologische Entwicklung im Fahrzeugbau hat im sicherheitstechnischen Bereich grosse Fortschritte gebracht. Es gilt nun diese sicherheitstechnisch zu analysieren und zu überprüfen, welche in Gesetzen verankert oder in Richtlinien übernommen werden sollen.

Als erste Sofortmassnahme löst die Task-Force eine Umfrage über die Tunnelausrüstung bei allen Tunneln > 600 m aus (Bild 5). Zwei wichtige Fragen müssen durch die Tunnelbetreiber beantwortet werden:

- Welche Ausrüstungen sind im Tunnel vorhanden?
- Werden die Funktionen der einzelnen Anlagen regelmässig und mit welcher Periodizität kontrolliert?

#### ■ Umfrage Tunnelausrüstung

- sind alle notwendige Ausrüstungen vorhanden
- werden regelmässig Funktionskontrollen durchgeführt

#### ■ Auswertung mit Prüfung auf

- in Ordnung
- zu überprüfen
- Massnahme notwendig

**Bild 5:** Abfrage und Auswertung des Zustandes von Lüftungs- und Sicherheitseinrichtungen

Die Auswertung der Antworten erfolgt gemäss den drei folgenden Kriterien:

- Alle sicherheitsrelevanten Anlagen sind vorhanden und werden regelmässig überprüft.
- Einzelne Anlagen sind bezüglich Sicherheitsstandard genauer zu untersuchen (Funktionalität, Dimensionierung, Alarm, Ablauf etc.)

Infolge eines erhöhten Sicherheitsrisikos sind Sofortmassnahmen auszulösen.

Die Zusammenfassung der Auswertung findet sich in Tabelle 2.

Wie in der Legende bereits erwähnt, wird durch die Task-Force bei vier Tunnel die Nachrüstung der Brandnotbeleuchtung als Sofortmassnahme vorgeschlagen.

Des Weiteren wird durch die Überprüfung bestätigt, dass hauptsächlich bei einröhrigen und Hauptstrassentunneln (Gegenverkehrstunnel) Handlungsbedarf besteht. Unsicherheiten bestehen insbesondere bei der Lüftung bezüglich Effizienz des vorhandenen Lüftungssystems. Fragen ab welcher Tunnellänge eine Brandmeldeanlage notwendig ist oder

wie die Sensorik (Ereigniserfassung) mit der Brandnotbeleuchtung, der Lichtsignalanlage und mit weiteren Anlagen verknüpft werden sollten, sind zu klären.

	Anzahl Tunnel > 600m				Anzahl Ausrüstungen			
	total	i.O.	zu prüfen	Massnahme nötig	total	i.O.	zu prüfen	Massnahme nötig
einröhrige Tunnel	28	12	13	3	<b>196</b>	<b>171</b>	22 <sup>1</sup>	3 <sup>2</sup>
zweiröhrige Tunnel in städtischen Verhältnissen oder mit Staugefahr	21	19	1	1	<b>147</b>	<b>144</b>	2 <sup>3</sup>	1 <sup>2</sup>
übrige zweiröhrige Tunnel	31	27	4	0	<b>217</b>	<b>213</b>	4 <sup>4</sup>	0
Hauptstrassentunnel	22	10	12	0	<b>154</b>	<b>117</b>	37 <sup>1</sup>	0
Total	102	68	30	4	<b>714</b>	<b>645</b>	65	4
Legende: 1 Ueberprüfung der Lüftung, Abluftschlitze sowie Notwendigkeit einer Brandmeldeanlage, Lichtsignalanlage, Brandnotleuchten, UKW und Funk, sowie Fluchtwege 2 Nachrüsten von Brandnotbeleuchtung 3 Überprüfung der Lüftung, Notwendigkeit von Brandnotleuchten 4 Überprüfung der Lüftung, Abluftschlitze								

**Tabelle 2:** Zusammenfassung der Auswertung

Die Task-Force beantragt deshalb eine Studie zur Festlegung von Beurteilungskriterien, damit notwendige Überprüfungen ausgelöst werden können. Diese führen dann je nach Ergebnis der Auswertung zu weiteren mittelfristigen Massnahmen.

Für die zweiröhrige Tunnel zeigt die Auswertung sehr zufriedenstellende Resultate. Der Sicherheitsstandard entspricht grundsätzlich den nationalen und internationalen Richtlinien.

Damit in den Bereichen Infrastruktur, Betrieb, Fahrzeug und Verkehrsteilnehmer eine rasche, umsetzbare und optimale Massnahmenwahl getroffen werden kann, sind folgende wichtige Massnahmenbeurteilungskriterien festgelegt worden (Bild 6):

- Wird durch die Massnahme eine Risikoreduktion erreicht?
- Ist der Umsetzungszeitbedarf massnahmenbezogen vertretbar?
- Sind die rechtlichen Voraussetzungen gegeben und Europakompatibilität gewährleistet?
- Sind die Massnahmen auch durchsetzbar?
- Ist die Verlässlichkeit der Technologie gegeben?
  - **Haupteinflussfaktoren**
    - Infrastruktur, Betrieb, Fahrzeug und Verkehrsteilnehmer
  - **Massnahmenbeurteilungskriterien**
    - Risikoreduktion (geschätzt)
    - verfügbare Finanzmittel
    - Umsetzungszeitbedarf
    - rechtliche Voraussetzung / Europakompatibilität
    - Durchsetzbarkeit
    - Verlässlichkeit der Technologie

**Bild 6: Massnahmenwahl**

Für diese Phase des Task-Force Zwischenberichtes wurde bewusst auf Zweckmässigkeitsprüfungen, Kosten/Nutzen- und Risikoanalysen verzichtet.

Welche Massnahmen genügen nun obigen Kriterien?

Von den rund zwanzig vorgeschlagenen Massnahmen seien hier einige wichtige erwähnt (Bild 7):

- Um das Bewusstsein bezüglich Verhalten im Strassenverkehrstunnels zu fördern, soll möglichst rasch eine Informationskampagne "Verhalten bei Stau und Brand im Tunnel" ausgelöst werden.
- Kontrollen beim Schwerverkehr sollen vermehrt durchgeführt und die Lenkerausbildung von Gefahrguttransporten ergänzt werden.

- Infokampagne "Verhalten im Verkehr"
- Kontrollen im Schwerverkehr verstärken
- Einsatzkonzepte überprüfen
- Überprüfungsstelle für Ereignisdienste schaffen
- Massnahmen aus Ausrüstungsüberprüfung umsetzen
- Tunnellüftungsrichtlinien raschmöglichst fertigstellen
- Konzept der Fluchtwege bei einröhrigen Tunneln überprüfen
- Obligatorium "Feuerlöschanlage" beim Schwerverkehr beantragen

**Bild 7:** Vorgeschlagene Massnahmen

- Die Rettungsorganisationen sollen ihre Einsatzkonzepte überprüfen.
- Die Task-Force schlägt eine neu zu schaffende Überprüfungsstelle für die Ereignisdienste und für Tunneln mit einer Länge > 600 m einen Sicherheitsbeauftragten vor.
- Im Infrastrukturbereich sollen die Sofortmassnahmen aus der Ausrüstungsüberprüfung umgesetzt werden.
- Die neuen Tunnellüftungsrichtlinien sollen raschmöglichst fertig gestellt und weitere sicherheitsrelevante Ausrüstungsrichtlinien dem Stand der Technik angepasst werden.
- Das Konzept der Fluchtwege bei einröhrigen Tunneln soll überprüft werden.
- Sprinkleranlagen sollen weiterhin nicht in CH-Tunnel eingesetzt werden.
- Für schwere Motorwagen zum Gütertransport soll das Obligatorium einer Feuerlöschanlage geprüft werden.
- Die Frage der Untermotorisierung beim Schwerverkehr, insbesondere im Alpengebiet soll neu thematisiert werden.

Zum weiteren Vorgehen schlägt die Task-Force vor, umgehend die Öffentlichkeitsarbeit zu verstärken und Pressecommuniqués vorzubereiten. Die sicherheitsrelevanten fehlende Ausrüstungen sollen in Absprache mit den betroffenen Kantonen raschmöglichst nachgerüstet und ein effizientes Ereignismanagement für Tunneln > 600 m aufgebaut werden (Bild 8).

- **Sofortmassnahmen**
  - Öffentlichkeitsarbeit / Pressekommuniké
  - Sicherheitsrelevante Ausrüstungen nachrüsten
  - Ereignismanagement für Tunnel > 600m aufbauen
- **Mittelfristige Massnahmen**
  - Tunnel mit Sicherheitsdefizite umgehend nachrüsten
  - vorgeschlagenen Massnahmen prüfen / umsetzen
- **Schlussbericht**
  - Schlussbericht bis Mitte 2000 fertigstellen
  - Auflösen der Task Force ASTRA

**Bild 8:** Weiteres Vorgehen

Als mittelfristige Massnahmen sollen Tunnels, welche nach vertiefter Überprüfung Sicherheitsdefizite aufweisen umgehend ergänzt bzw. umgebaut werden.

Die vorgeschlagenen Massnahmen sollen nach Genehmigung durch den Auftraggeber umgesetzt werden.

Der Schlussbericht soll bis Mitte 2000 fertiggestellt, die Task-Force aufgelöst und die Weiterführung der Umsetzung in die ordentlichen Prozesse des ASTRA eingegliedert werden.

Die Task-Force ist sich bewusst, dass es die absolute Sicherheit nicht gibt. Andererseits kann aufgrund der durchgeführten Überprüfungen festgestellt werden, dass die schweizerischen Nationalstrassentunnels sowohl den heute gültigen Sicherheitsnormen des Bundes, als auch denjenigen des Weltstrassenverbandes AIPCR / PIARC genügen. Die erkannten Mängel werden durch Sofortmassnahmen entschärft. Die beantragten Massnahmen gewährleisten unter Berücksichtigung der Notwendigkeit, Zweckmässigkeit, Verhältnismässigkeit und der Zumutbarkeit die Einbringung der gemachten Erfahrungen und die Anpassung an den aktuellen Stand der Technik. Trotz der getroffenen Massnahmen kann ein grosser Unfall auch in der Schweiz nie ausgeschlossen werden.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.



## **Sicherheit in Tunneln**

**Prof. Dr.-Ing. A. Haack**

**Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen, Köln**

Meine Damen und Herren,

nachdem wir nun über die Situation bei der Straße und der Fernbahn gehört haben, befasse ich mich im folgenden mit den Fragen des Brandschutzes bei der dritten Verkehrsart, nämlich dem schienengebundenen unterirdisch geführten öffentlichen Personennahverkehr.

Ich komme aus Köln von der STUVA - Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen. Diese Gesellschaft befasst sich mit Grundlagen- und Experimentalforschung auf dem Gebiet des unterirdischen Bauens im Verkehrs-, Ver- und Entsorgungsbereich. Außerdem möchte ich noch erwähnen, dass wir sehr enge Kontakte mit der ITA - International Tunnelling Association pflegen. Dies ermöglicht uns einen intensiven Erfahrungsaustausch mit den etwa 50 Mitgliedsländern dieser internationalen Dachorganisation.

In meinen Ausführungen werde ich mich konzentrieren auf den Brandschutz in Verkehrstunneln für U-, S- und Stadtbahnen. Weil man im allgemeinen einen Fahrzeugbrand innerhalb eines Tunnels nicht beobachten kann, habe ich mit dem ersten Bild ein Beispiel mitgebracht, das ein in Vollbrand geratenes S-Bahnfahrzeug im Freien in Hamburg zeigt (Bild 1). Wir müssen generell von einem steigenden Brandrisiko ausgehen vor dem Hintergrund einer ständig zunehmenden Verkehrsdichte. Dies gilt selbst vor der Erkenntnis, dass in den zurückliegenden 10 Jahren sowohl bezüglich der Straße und der Fernbahn als auch bezüglich der U-, S- und Stadtbahnen erhebliche Verbesserungen in der Fahrzeugtechnik erreicht wurden. Für die Schienenfahrzeuge ist in diesem Zusammenhang insbesondere die Verabschiedung der DIN 5510 zu nennen, nach der die Fahrzeugtechnik allgemein und insbesondere auch eine gezielte Stoffwahl die Brandgefahr deutlich reduziert haben. Außerdem müssen wir eine zunehmende Geschwindigkeit bei den Schienenverkehrssystemen in unsere Betrachtung einbeziehen. Schließlich ist nicht zu vergessen, dass das Tunnelvolumen ständig wächst, und zwar sowohl im Hinblick auf die Gesamtlänge der Tunnel als auch was die Einzellänge eines Tunnels anbetrifft. Nicht zuletzt müssen

wir aber auch eine wachsende Bereitschaft zu Vandalismus und Terrorismus erkennen. Dies gilt insbesondere für den Nahverkehr. Lassen Sie mich in diesem Zusammenhang an die Gasanschläge in Tokyo, an die Terror- und Bombenanschläge in London und an die Explosionen in Paris erinnern. Nach der Einführung der DIN 5510 kann jedoch allgemein festgestellt werden, dass die mutwillige Entzündung eines U-, S- oder Stadtbahnfahrzeugs mit kleineren Brandsätzen heute praktisch kaum noch möglich ist.



Bild 1: In Vollbrand geratener Zug der S-Bahn Hamburg

Das aufgezeigte Brandrisiko stellt ein internationales Problem dar. Es ist keineswegs nur auf Deutschland beschränkt. Vor diesem Hintergrund ist es sehr zu begrüßen, dass diesem Workshop auch ausländische Gäste beiwohnen.

Die Probleme im Brandfall sind nicht zuletzt gegeben durch die relativ hohen Brandlasten. Dies gilt eigentlich für alle drei Verkehrssysteme, die Personenfahrzeuge im Straßen-, Fernbahn- und U-Bahn- bzw. Stadtbahnverkehr. Da stellt sich natürlich vom Grundsatz her die Frage für diesen Workshop, ob man diese Brandlasten nicht noch weiter reduzieren kann. Generell müssen wir nämlich auch nach Einführung der DIN 5510 mit dem Effekt des flash-over nach etwa 7 bis 10 Minuten rechnen. Das heißt, dass alle unsere Rettungskonzepte auf diese Zeitmarke von 7 Minuten abgestellt sein müssen. Mit anderen Worten muss die Evakuierung der Fahrgäste aus den Nahverkehrsfahrzeugen nach 7 Minuten abgeschlossen sein. Diese Forderung begründet sich auch mit der Freisetzung immenser Rauchgasmengen, mit der schnellen Verrauchung des gesamten Tunnelquerschnitts und der damit verbundenen Sichtbehinderung, mit den Problemen bezüglich der Kommunikation, den heißen Brandgasen und allgemein der geometrischen Raumeige. All diese Teilaspekte können im Ereignisfall leicht psychologische Probleme mit Panikerscheinungen bewirken. Die Rettungskräfte kommen wegen der Hitze und der starken Verrauchung nicht nahe an den Brandherd heran. Ihr Einsatz wird verzögert. Für die Flucht- und Rettungs-

bewegungen stehen nur zwei Richtungen zur Verfügung und nicht wie im Freien normalerweise Fluchtwege in alle Richtungen. Die Löschwasserversorgung gestaltet sich außerordentlich schwierig, wenn nicht von vornherein Standleitungen in den Tunneln installiert sind. Bezüglich dieser Standleitungen ist dann noch zu entscheiden, ob sie trocken oder nass betrieben werden sollten.

Die Brandlast in den Schienenfahrzeugen liegt für den Personenverkehr etwa bei 50 bis 80 kg/m<sup>2</sup> Holzäquivalentlast. Zum Vergleich beträgt die Brandlast in Wohngebäuden in der Regel zwischen 30 und 60 kg/m<sup>2</sup> und in den Warenabteilungen eines Kaufhauses etwa 100 kg/m<sup>2</sup>. Durch diesen Vergleich kann man erkennen, dass die Brandlasten in den Personenzugfahrzeugen des öffentlichen Schienenverkehrs verhältnismäßig hoch sind. Die hohen Brandlasten begründen sich im wesentlichen mit den Komfortanforderungen. Wir erwarten komfortable und bequeme Sitze in schön aussehenden Fahrgasträumen. Das gilt übrigens für den Fernverkehr in gleicher Weise wie für den Nahverkehr. Außerdem gehen wir mehr und mehr dazu über, leichte Bauweisen anzuwenden und in diesem Zusammenhang Stoffe mit geringem spezifischen Gewicht einzusetzen. Dabei handelt es sich um Kunststoffe für die Innenausstattung und Aluminiumlegierungen für das Fahrzeuggehäuse. Beides bringt durchaus Probleme für den Brandfall mit sich.

Statistiken weisen Brandereignisse in unterirdisch geführten Nahverkehrssystemen sowohl im In- als auch im Ausland aus. In Deutschland haben wir bisher sehr viel Glück gehabt, weil wir noch keine Todesfälle zu verzeichnen hatten. Wir hatten zwar in verschiedenen Unfällen Personenschäden in Form von Rauchvergiftungen, aber eben bisher glücklicherweise keine Menschenleben zu beklagen. Was Deutschland betrifft, ist zunächst einmal der Brandunfall bei der U-Bahn in Köln aus dem Jahre 1978 zu nennen (Bild 2).



Bild 2: Ausgebrannte Straßenbahn  
im Tunnelnetz der Stadt  
Köln (1978)

Hier bestand die Ursache in einem fortgeworfenen Zigarettenstummel, der sich im Faltenbalg des Gelenkzuges verfangen hatte. Wenige Jahre später hatte sich am 8. April 1980 in Hamburg als Ergebnis einer Brandstiftung im 1. Klasse-Abteil ein schwerer S-Bahnbrand ereignet. Die von einem Amateurfotografen geschossenen Fotos von diesem Brandereignis lassen deutlich erkennen, dass der Einsatz eines Handfeuerlöschers in einem fortgeschrittenen Stadium der Brandentwicklung nichts mehr bewirken kann. Der Pulverstrahl kann buchstäblich nur als Tropfen auf den heißen Stein bezeichnet werden. Im Jahre 1984 ereignete sich wieder aufgrund einer Brandstiftung ein weiterer schwerer Brand im Tunnel der Hamburger S-Bahn (Bild 3).



Bild 3: S-Bahnbrand vom  
30.4.1984 in Hamburg

Außerdem wurde über Großbrände im Nahverkehr aus New York und London berichtet. Bei dem Londoner Fall handelt es sich um das katastrophale Brandereignis bei London Underground in der Haltestelle King's Cross vom November 1987. Dieser Brand forderte 31 Menschenleben und etwa 100 Verletzte. Der Brand ging von einer hölzernen Fahrtreppe aus. Sehr eingehende analytische Untersuchungen von britischer Seite führten zu dem Ergebnis, dass ein achtlos fortgeworfener Zigarettenstummel durch den Spalt zwischen Treppenwange und Fahrstufe heruntergefallen sein muss und dort auf einer Tragschiene der Fahrstufen landete. In diesem Bereich unterhalb der Fahrtreppen befindet sich normalerweise eine größere Ansammlung von Fett und Staub. Diese Masse entzündete sich durch den Zigarettenstummel, und die Flammen gelangten auf dem umgekehrten Weg wieder durch den Spalt zwischen Treppenwange und Fahrstufen nach oben. Zunächst entzündeten sich dort die hölzernen Treppenwangen mit ihren über Jahrzehnte aufgetragenen mehrfachen Anstrichen und schließlich auch die hölzernen Setzstufen der Fahrtreppe. Der geneigte Treppenschacht bewirkte schließlich einen Kamineffekt, so dass das schnell angewachsene Feuer binnen weniger Minuten die oben gelegene Schalterhalle erreichte. In der Schalterhalle selbst kam es zu entsetzlichen Szenen. Die Verrauchung

nahm in kürzester Zeit jegliche Sicht und Orientierungsmöglichkeit. Viele Fahrgäste waren nicht mehr in der Lage, die Ausgänge zu finden und starben in dem Inferno. Die Rettungseinsätze gestalteten sich außerordentlich schwierig, weil die verschachtelte Geometrie des Bauwerks zu sehr unübersichtlichen Verhältnissen führte. Auch die Sicherheits- und Rettungskräfte hatten keinerlei Orientierung, wo sie sich jeweils befanden und wo sie sich für die Rettungseinsätze hin bewegen mussten. Dieser tragische Unfall in einer komplexen U-Bahnhaltestelle wirft natürlich eine Reihe von Fragen auf. Sie betreffen keineswegs nur die Stoffwahl für Fahrtreppen, Wand- und Deckenbekleidungen in den Zugangsschächten und den Schalterhallen, sondern generell auch Fragen im Hinblick auf die Lüftungstechnische Ausstattung derartiger Anlagen, die Möblierung in den Fußgängerverteilerebenen, Art und Umfang von Verkaufskiosken, das Vorhalten automatischer Brandmelde- und Brandbekämpfungsanlagen, Fluchtwegmarkierung, Ausbildung und Training der Rettungskräfte und vieles mehr.

Keineswegs sind nur gezielte oder fahrlässige Brandstiftungen als Ursache für Brände in den Nahverkehrssystemen zu sehen. Es gibt vielmehr auch zahlreiche Brandfälle, die sich infolge technischer Defekte an den Fahrzeugen insbesondere im Zusammenhang mit den Heizeinrichtungen und den Elektroinstallationen ergeben haben. Auch hierzu gibt die Statistik einige Beispiele aus dem In- und Ausland. Schließlich gibt es aber auch Brandunfälle, deren Ursache später nicht mehr geklärt werden konnte.

Von großem Einfluss hinsichtlich der Brandgefährdung und der Auswirkung eines Brandes auf das Tunnelbauwerk ist generell der Fahrzeugbau. Dies gilt auch nach Verabschiedung der DIN 5510. So haben wir zu unterscheiden zwischen Fahrzeugen mit Ganzstahlgehäuse und solchen, die z. B. im Deckenbereich glasfaserverstärkte Kunststoffe aufweisen oder insgesamt aus Aluminiumlegierungen gefertigt sind. Die beiden letztgenannten Entwicklungen dienen in erster Linie einer Reduzierung des Fahrzeugeigengewichts, um so Traktionsenergie einsparen zu können. Diese unterschiedlichen Fahrzeugbauweisen bewirken ein unterschiedliches Brandverhalten. Beim Ganzstahlgehäuse bleibt beispielsweise der Deckenbereich auch bei einem Vollbrand vollständig erhalten (Bild 4a). Damit wird die Tunnelstruktur insbesondere im Firstbereich durch den Brand weniger belastet. Die Flammen erreichen nicht unmittelbar die Firste, sondern schlagen durch die Fensteröffnungen gegen die Tunnelleibung und erfahren bis zum Erreichen der Firste eine gewisse Abkühlung. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Fahrzeugen mit einer glasfaserverstärkten Kunststoffdecke (Bild 4b). Dieses Bauteil versagt bei einem Vollbrand relativ schnell. Von der Decke ist somit nach einem Fahrzeugbrand praktisch nichts mehr übrig

geblieben außer der tragenden stählernen Rahmenkonstruktion. Dies bedeutet, dass die Flammen unmittelbar auf die Firste des Tunnels einwirken können. In gleicher Weise stellen sich die Verhältnisse bei einem aus Aluminium gefertigten Fahrzeug dar (Bild 4c). Bei solchen Fahrzeugen gehen bei einem Vollbrand nicht nur die Deckenbauteile, sondern auch die oberen Wandabschnitte verloren. Bei Temperaturen oberhalb von 600 bis 700 °C kann das Aluminiummaterial je nach Art der Legierung sogar noch zur Brandlast beitragen.

Aus diesen Erkenntnissen, die übrigens in vollem Umfang auch durch die Brandversuche im Rahmen des EUREKA-Projektes EU 499 Firetun bestätigt wurden, leitet sich die Notwendigkeit ab, grundsätzlich den Fahrzeugleichtbau zu überdenken. Dies trifft sowohl für die Fahrzeuge der Fernbahn als auch der schienengebundenen Nahverkehrssysteme zu.

Stellt man nun die verschiedenen Verkehrsträger vergleichend gegenüber und setzt das Unfallrisiko im Hinblick auf einen Brand für die Bahnsysteme (Fernbahn und Nahverkehr) zu 1, dann ergibt sich für den beruflichen Personenkraftverkehr auf der Straße (Busse) der Faktor 2,5 und für den Individualverkehr auf der Straße, d.h. für die Pkws der Faktor 24. Dieses Ergebnis stammt aus einer Prognosestudie aus Oktober 1987. Ähnlich liegen die Verhältnisse nach einer eigenen Unfallstatistik. Danach kann man sagen, dass die Wahrscheinlichkeit von Tunnelbränden in Deutschland für die Straße bei 10 Unfällen und für die Bahn bei etwa 0,5 Unfällen je 1 Mrd. Fahrzeugkilometer liegt. Dies bedeutet wiederum ein Verhältnis zwischen beiden Verkehrsträgern von etwa 1:20 bis 1:25.

In den Haltestellen, vor allem in den größeren Haltestellenkomplexen von Umsteigebahnhöfen sind neben den reinen bahnbetrieblichen Einrichtungen für die Fahrgäste zur Steigerung der Nutzungsattraktivität auch zahlreiche andere Einrichtungen installiert. Hierzu zählen die bereits erwähnten Verkaufskioske, bei zentralen Haltestellen sogar komplette Ladenzeilen, Informations- und Werbetafeln, Sitzmöbel, Papierkörbe und vieles mehr. Was haben diese Einrichtungen für Konsequenzen im Hinblick auf die Brandsicherheit der unterirdischen Haltestellen und Verknüpfungspunkte?

Kann man solche ergänzenden Installationen überhaupt verantworten? Muss man sie gesondert abschotten? Dies sind weitere wichtige Fragen im Hinblick auf die erforderlichen Sicherheitskonzepte. Ladenzeilen oder Zugänge zu Warenhäusern beispielsweise sind nach den gesetzlichen Regelungen durch Sprinkleranlagen zu sichern.



Bild 4a: Ganzstahlkarosserie; Brandunfall der Hamburger S-Bahn am 24. Juli 1979



Bild 4b: Glasfaserverstärkter Kunststoff im Deckenbereich; Brandunfall der Hamburger U-Bahn am 11. April 1979



Bild 4c: Aluminiumkarosserie; Brandunfall der Hamburger S-Bahn am 9. April 1980

Auf den Komplex der Sprinkleranlagen komme ich später noch einmal zurück.

Papierkörbe bilden häufig den Ausgangspunkt kleinerer und größerer Brände. Eine Zeitlang wurden solche Papierkörbe aus Kunststoff hergestellt, um die Entleerung für das eingesetzte Personal zu erleichtern. Nicht selten werden aber solche Papierkörbe in fahrlässiger oder mutwilliger Weise in Brand gesetzt. Kunststoffpapierkörbe stellen dabei eine zusätzliche Brandlast dar und können so zu einer Brandausbreitung im Verteilergeschoss beitragen. Vor diesem Hintergrund wurde bereits vor einigen Jahren das Grundmaterial der Papierkörbe wieder umgestellt auf metallische Werkstoffe.

In Hamburg sind die jüngeren Fahrzeuggenerationen bei der U-Bahn mit Sprinkleranlagen ausgerüstet. Vor Einführung in den Fahrgastbetrieb wurden solche Sprinkleranlagen systematisch hinsichtlich ihrer Wirksamkeit innerhalb des Fahrgastraums überprüft. Dabei ging es generell um die Fragen der technischen Funktionsfähigkeit, der Auslösezuverlässigkeit und des erforderlichen Wasserbedarfs. Ein weiterer Problempunkt war die Frostsicherheit des mitgeführten Löschwassers, da die U-Bahnfahrzeuge in aller Regel während der Betriebspausen, d.h. in den Nächten im Freien abgestellt werden. Es stellte sich heraus, dass die benötigte Löschwassermenge lediglich 70 kg je Fahrzeug beträgt. Bei den Frostschutzmitteln kam es darauf an, solche herauszufinden, die beim Kontakt mit der Haut oder mit Kleidungsstücken keinerlei Irritationen bzw. Schädigungen bewirken. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf einen eventuellen Fehlalarm. Nach der erfolgreichen Einführung eines solchen Sprinklersystems in den U-Bahnbetrieb in Hamburg stellt sich generell die Frage, ob künftige U-, S- und Stadtbahnfahrzeuge grundsätzlich mit einer Sprinkleranlage auszurüsten sind. Natürlich kann diese Frage auch auf den Fernbahnverkehr ausgedehnt werden.

Schließlich ist zu klären, inwieweit und in welchen Bereichen wir Sprinkleranlagen oder andere automatische Löscheinrichtungen in den Haltestellenbereichen der U-, S- und Stadtbahnssysteme benötigen, und ist es vielleicht erforderlich, derartige Anlagen auch in den Streckentunneln vorzusehen? Hätten Sprinkleranlagen z. B. im Mont Blanc Tunnel den Flammenübersprung von einem Fahrzeug zum anderen verhindern können? Können Sprinkleranlagen überhaupt entlang des Fahrwegs wirksam werden? Muss man in diesem Zusammenhang nicht zwischen zwei Situationen unterscheiden, nämlich derjenigen mit einem rollenden Fahrzeug und derjenigen mit einem bereits gestoppten Fahrzeug? Sind im ersten Fall Sprinkler grundsätzlich in der Lage, rechtzeitig zu agieren, oder werden sie erst aktiviert, wenn das Fahrzeug schon einige Meter fortbewegt ist? Wäre es besser, an-



stelle von Sprinklern sogenannte Sprühflutanlagen oder sogar Wassernebelanlagen zu installieren? All dies sind Fragen, die während des Workshops diskutiert werden sollten.

Die Hamburger Verkehrsbetriebe sind generell sehr innovativ. Sie haben nicht nur die Sprinkler innerhalb ihrer jüngsten U-Bahnfahrzeuge eingebaut, sondern auch ein neuartiges Blindenleitsystem entwickelt. Dieses System dient gleichzeitig im Falle eines Brandes als Leiteinrichtung für die fliehenden Fahrgäste und die einrückenden Rettungskräfte. Das Prinzip dieses Leitsystems besteht darin, dass kleine kreisrunde Teller mit einem Durchmesser von etwa 5 bis 6 cm in den Boden eingelassen werden. Sie sind an ihrer Oberfläche mit einem fein verteilten Prismensystem ausgestattet, so dass Lichtkegel z. B. von einer Taschenlampe oder einem Halogenscheinwerfer bei unterschiedlichem Auftreffwinkel reflektiert werden. Dieser Effekt tritt auch bei starker Verrauchung noch auf, so dass auch im Brandfall der Flucht- und Rettungsweg wirkungsvoll markiert bleibt.

Ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf die Flucht- und Rettungsmöglichkeiten ergibt sich mit dem Schutz der Bauwerke vor einem vorzeitigen Kollaps. Ein Verlust der konstruktiven Tragfähigkeit des Bauwerks in einem brandbetroffenen Abschnitt würde von vornherein jegliche Flucht- und Rettungsaktivität vereiteln oder doch zumindest ganz erheblich einschränken. Wenn man in diesem Zusammenhang eine bestimmte Feuerwiderstandsklasse erreichen und darüber hinaus nach Möglichkeit auch Abplatzungen reduzieren will, erhebt sich sogleich die Frage nach der Notwendigkeit eines ergänzenden Brandschutzsystems. Solche Brandschutzsysteme sind in Straßentunneln häufiger anzutreffen, nicht aber bei Fernbahn- oder Nahverkehrssystemen. So ist zu klären, ob solche Brandschutzbekleidungen im Decken- und Wandbereich von U-, S- und Stadtbahnssystemen erforderlich sind, in welchen Tunnelabschnitten sie eingebaut werden sollten und aus welchem Material sie gefertigt sein müssten.

Üblicherweise werden heutzutage in diesem Zusammenhang plattenförmige Brandschutzsysteme auf Silikatbasis oder aufgespritzte mineralische und faserbewehrte Putze eingesetzt. Der Nachteil bei derartigen Systemen besteht darin, dass der Tunnelausbau nicht mehr eingesehen werden kann. Mit anderen Worten kann in der Nutzungsphase der momentane Zustand der Tunnelauskleidungen im Hinblick auf Risse oder Durchfeuchtungen nicht mehr überprüft werden. In dieser Hinsicht stellt ein kürzlich neu entwickeltes System einen deutlichen Fortschritt dar. Es handelt sich dabei um gelochte Stahlbleche, die mit einem Dämmschichtbildner beschichtet sind. Die Lochstruktur der Bleche sichert eine gewisse Transparenz des Brandschutzsystems und ermöglicht die Kontrolle des Tunnelausbaus auch nach dessen Inbetriebnahme. Der Dämmschichtbildner wird bei die-

sem neuartigen System mit der Produktbezeichnung PERfoTEKT in einer Dicke von etwa 700 µm aufgetragen. Er wird ergänzt durch eine vorab aufgetragene Korrosionsschutzschicht und einen abschließenden farblich beliebig gestaltbaren Schutzfilm. Der Dämmschichtbildner schäumt in kürzester Zeit bei Beflammung auf und versperrt so den Flammendurchtritt durch die Lochstruktur der Bleche (Bild 5). Dieser Effekt führt letztendlich zum Schutz der Stahlbetonkonstruktion und zu einer erheblichen Eindämmung der Betonabplatzungen in den stark erhitzten Teilflächen des Tunnelausbaus.

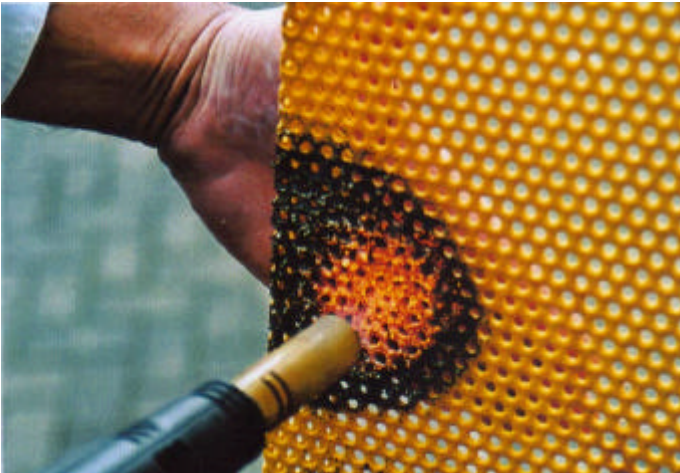


Bild 5: Neu entwickelte  
Brandschutzbekleidung  
PERFOTEKT

Mit diesen kurzen Anmerkungen habe ich versucht, Ihnen den derzeitigen Stand des Brandschutzes im Bereich der U-, S- und Stadtbahnsysteme in Deutschland darzustellen. Natürlich bleibt noch eine Menge von Fragen offen, die wir im Laufe des Workshops diskutieren sollten. Insgesamt tragen wir so zu einer Verbesserung der Sicherheitskonzepte im schienengebundenen unterirdisch geführten öffentlichen Personennahverkehr bei und stellen damit sicher, dass auch in Zukunft die Fahrgäste unbesorgt U-, S- und Stadtbahnsysteme in unseren Städten nutzen können.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

## **Der Brand im Mont Blanc Tunnel**

**Dipl.-Ing. B. Falconnat**

**Scetauroute, Pringy, Frankreich**

Guten Morgen meine Damen und Herren,

ich werde Ihnen hier heute morgen einen Bericht der Untersuchungskommission über den Mont Blanc Tunnel in einer Kurzfassung präsentieren. Ich bitte Sie um Entschuldigung; die deutsche Sprache ist nicht meine Muttersprache und dazu haben wir Montagmorgen und ich bin daher noch ein bisschen derangiert.

Zunächst ein paar Stichworte: Der Mont Blanc Tunnel wurde im Juli 1965 eröffnet. Das jährliche Verkehrsaufkommen betrug im Jahr 1998 2 Mio. Kraftfahrzeuge. Seit der Eröffnung haben 45 Mio. Kraftfahrzeuge den Tunnel passiert. Es ereigneten sich 45 Unfälle mit Personenschäden -drei Personen wurden dabei getötet- und 85 Unfälle mit Sachschäden.

Seit seiner Eröffnung wurde im Mont Blanc Tunnel sehr viel erneuert und die meisten Betriebsausstattungen wurden auf den neuesten technischen Stand gebracht, wofür eine Gesamtsumme von etwa 120 Mio. DM aufgewendet wurde, d.h. der Mont Blanc Tunnel war vor dem Brand kein uralter Tunnel, wie geschrieben wurde. Die Erneuerungsmaßnahmen waren vor dem Brand noch nicht abgeschlossen. In der Planung waren noch die Beschilderung, die Steuerungs- und Kontrollräume, Belüftung und Luftreinigung. Vor dem Brand entsprach der Mont Blanc Tunnel den geltenden französischen Richtlinien aus dem Jahr 1981.

Die Lage des Mont Blanc Tunnels sieht man auf dem nächsten Bild, in Hoch Savoyen, in der Ecke mit der Schweiz und Italien.

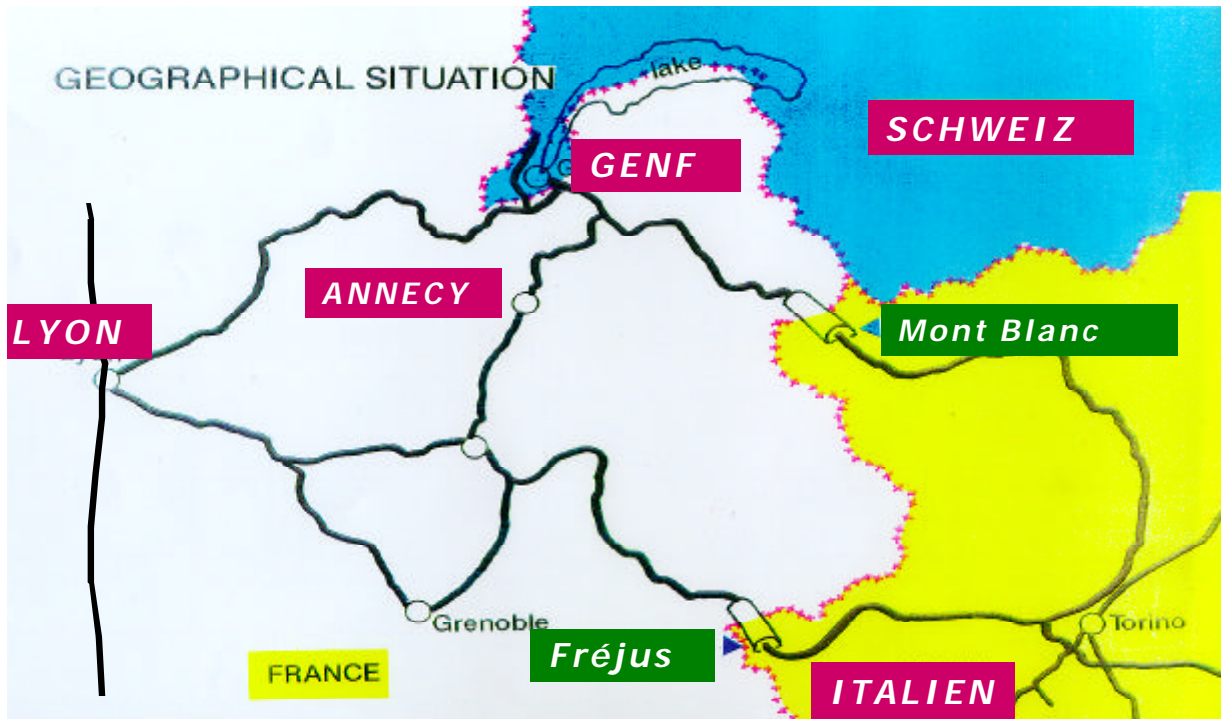


Bild 1: Geografische Lage des Mont Blanc Tunnels

Der Mont Blanc Tunnel ist 11,6 km lang und hat einen Gewölbequerschnitt. Im Längsschnitt gesehen, steigt er auf der französischen Seite mit 2,4 % und 1,8 % an, auf dem italienischen Teil hat er eine Neigung bergab von 0,25%. Eine Strecke von 7,7 km liegt im Frankreich und eine Strecke von 3,9 km in Italien.

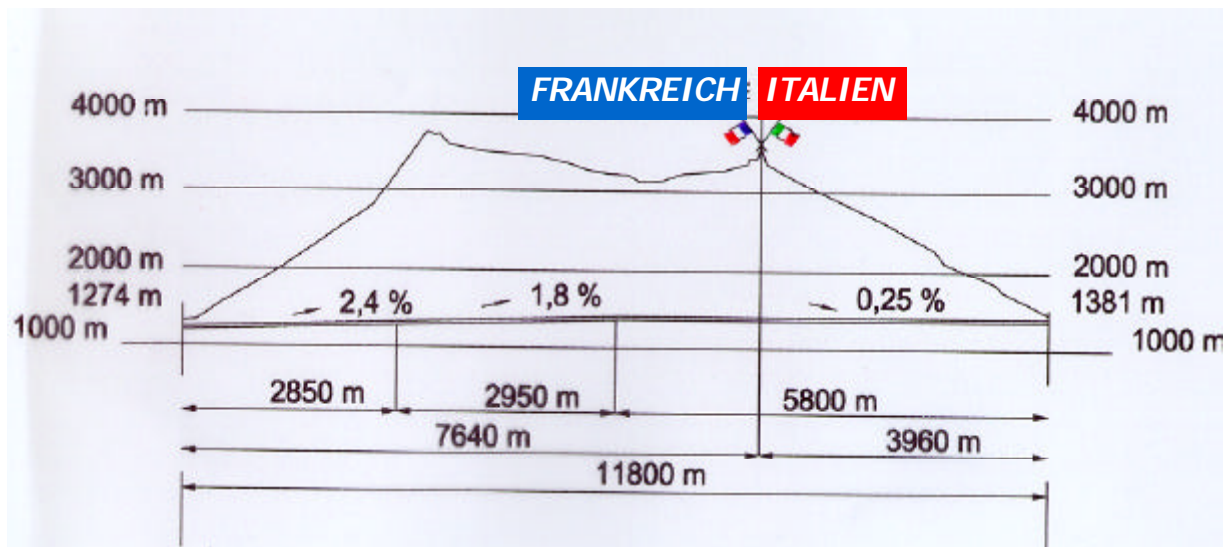
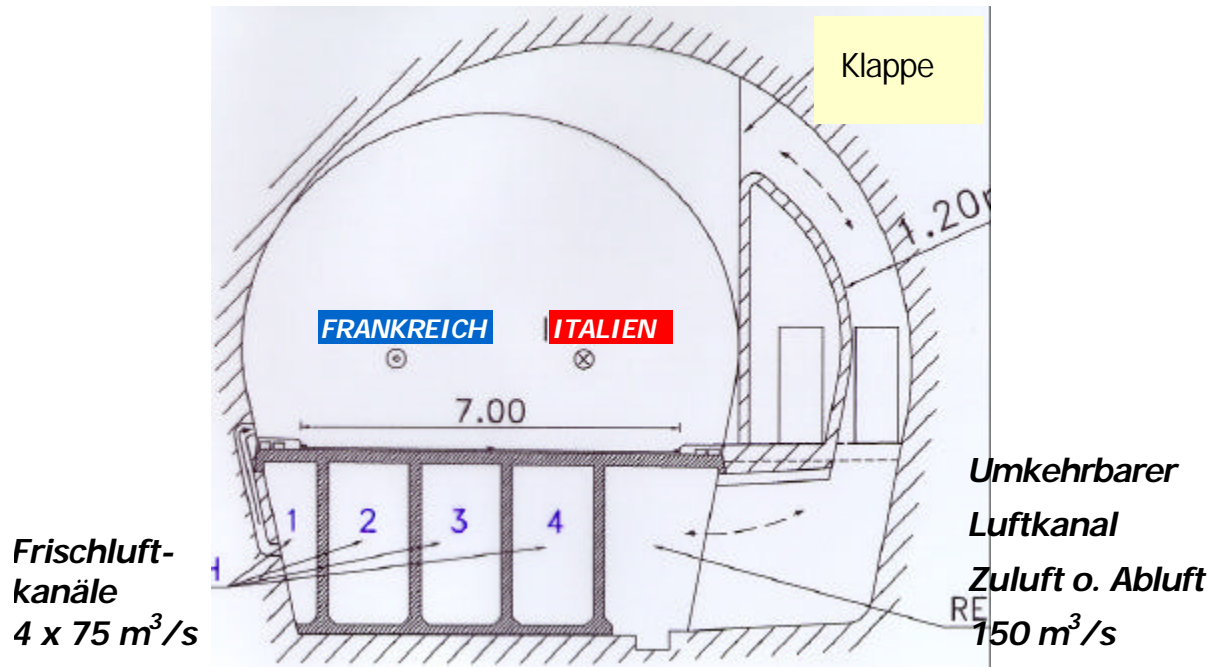


Bild 2: Längsschnitt

Der Querschnitt zeigt, dass der Tunnel ziemlich schmal ist, mit 7,00 m Straßenbreite zwischen den beiden Gehwegen. Die Lüftung besteht aus 4 Luftkanälen für Frischluft unter

der Straße mit jeweils  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  und einem Luftkanal mit unter  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  (Bild-3), der im Falle eines Brandes entweder auf Zuluft oder Abluft umschaltbar ist. Der Rauch wird durch Klappen in Abständen von 300 m abgesaugt. Auf der französischen Seite ist der umschaltbare Luftkanal durch Absperrungen (Damper) in drei Abschnitte unterteilt.



**Bild 3:** Querschnitt bei Pannenbucht

Nun ein Wort über den Verkehr. Man sieht auf dem nächsten Bild (Bild-4), dass sich der Verkehr seit der Öffnung des Tunnels sehr stark erhöht hat, mit einigen Abweichungen im Jahre 1974 (Erdöl-Krise), und im Jahre 1981 nach der Eröffnung des Fréjus Tunnels. Der Verkehr hat sich, nach der Eröffnung der Autobahn zwischen Macon und Genf, ab dem Jahre 1986 wieder stark erhöht. Im Jahre 1990 wurden erste Untersuchungen für einen Basis Straßentunnel unter dem Mont Blanc durchgeführt. Mit einer Länge von 30 km soll er für LKW reserviert bleiben.

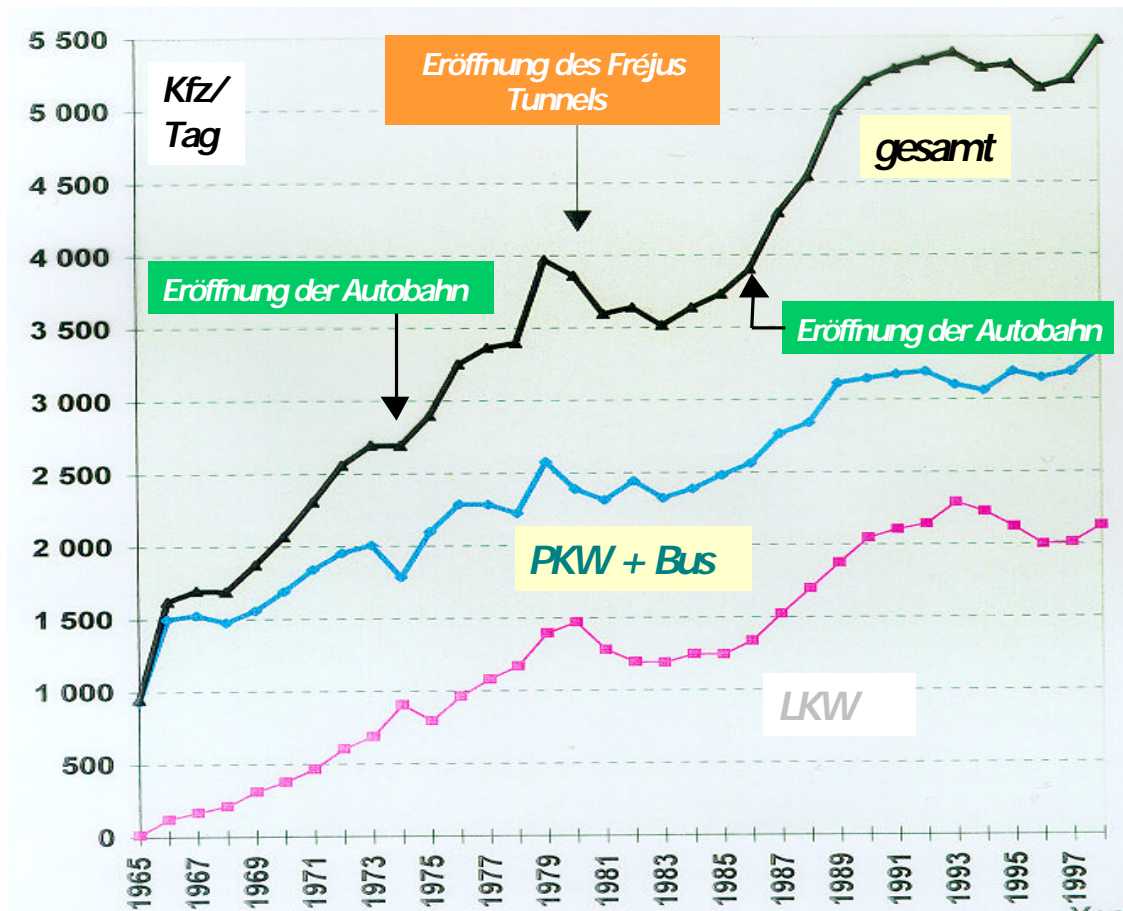


Bild 4: Verkehrsentwicklung

Der Mont Blanc Tunnel wird von 2 Gesellschaften betrieben, eine Tunnelhälfte wird von französischer Seite betrieben, die andere Hälfte von italienischer Seite. Die zwei Betriebszonen sind unabhängig von der staatlichen Grenze. Die staatliche Grenze zwischen Frankreich und Italien liegt in der italienischen Betriebszone; das heißt, dass eine Strecke von etwa 1,9 km in Frankreich ist, aber durch eine italienische Mannschaft betreut wird. (Bild-5).

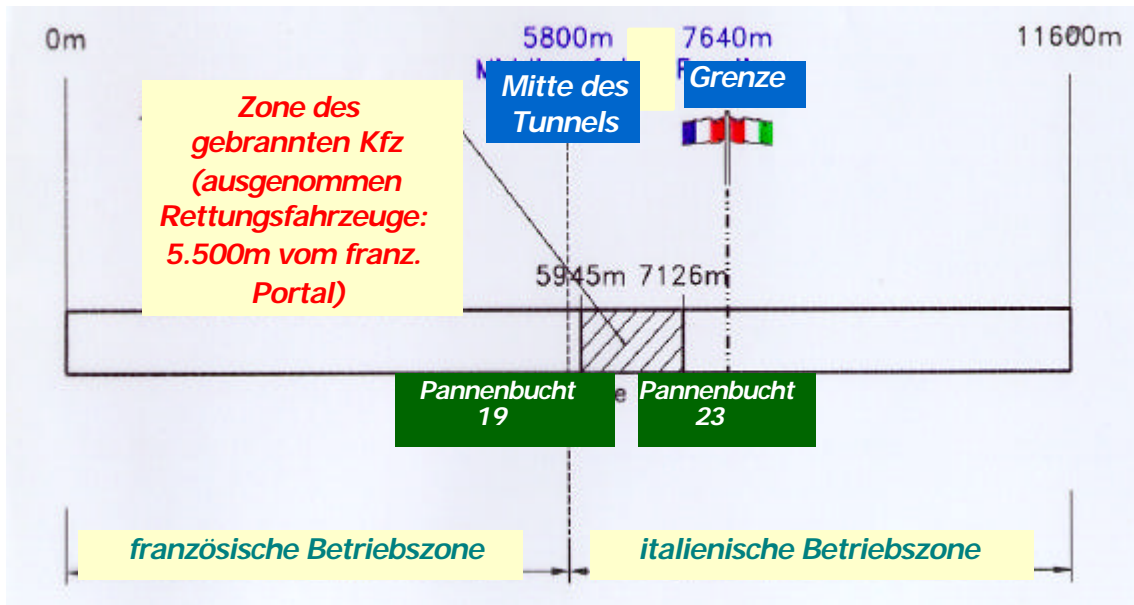


Bild 5: Lage des Brandes

Der Brand geschah in der italienischen Betriebszone, aber auf französischem Staatsgebiet. Das Feuer fängt an vor der Pannenbucht 21, und dehnt sich über ungefähr 600 m in Richtung Frankreich (Bild-6) aus. Die verbrannten Fahrzeuge wurden sowohl in dieser Zone von 600 m Länge als auch in einer Zone von 200 m Länge auf italienischer Seite vorgefunden. Insgesamt 26 Fahrzeuge sind verbrannt: 15 LKW, 1 Van, 9 PKW und 1 Motorrad.

### Anzahl

LKW	15
Van	1
PKW	9
Motorrad	1
Gesamt	26

### Stellung

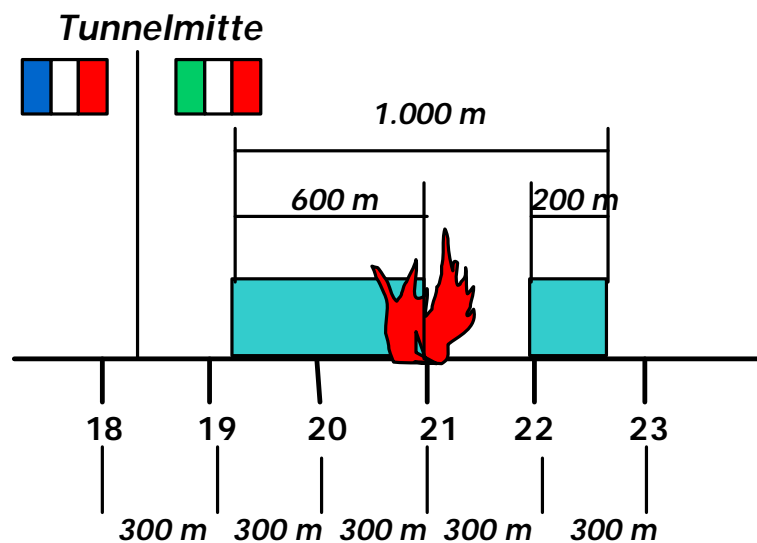


Bild 6: Verbrannte Fahrzeuge

39 Opfer wurden insgesamt gezählt (Bild-7), davon 27 in ihren Fahrzeugen, (d.h. die meisten sind in ihren Fahrzeugen geblieben), 7 im Tunnel, 2 in anderen Fahrzeugen, 2 Personen in einer Telefonnische und 1 Feuerwehrmann außerhalb des Tunnels.

	Fahrer und Reisende	Betriebs-Mannschaft	Feuerwehr-Leute
in ihren Fahrzeugen	27	--	--
im Tunnel	7	--	--
in anderen Fahrzeugen	2	--	--
in einer Telefonnische	1	1	--
Ausserhalb des Tunnels	--	--	1
Gesamt	37	1	1

**Bild 7:** Zahl der Opfer an verschiedenen Stellen im Tunnel

Folgender Ablauf der Ereignisse ist festzuhalten:

- Brandbeginn nach 5 Minuten.
- Rauchalarm gleich zu Brandbeginn
- Tunnelschließung 3 Minuten nach Brandbeginn.
- Temperaturalarm 15 Minuten nach Brandbeginn. Das Temperatur-Detektionskabel war auf der italienischen Seite außer Betrieb. Temperaturalarm wurde von dem Kabel auf französischer Seite ausgelöst, als die Temperatur an der Betriebsgrenze die Auslösetemperatur erreicht hat.
- der Rauch hat sich sehr schnell ausgedehnt, denn nach etwa 25 Minuten war fast die Hälfte der französischen Zone voll Rauch.

Der Brand am 24. März war nicht der erste im Tunnel. Seit Tunnelöffnung wurden schon 17 Brände von LKW, davon 5 mit Feuerwehreinsatz gezählt. Alle diese Brände wurden gemeistert, ohne Tote und mit nur 3 Leichtverletzten.

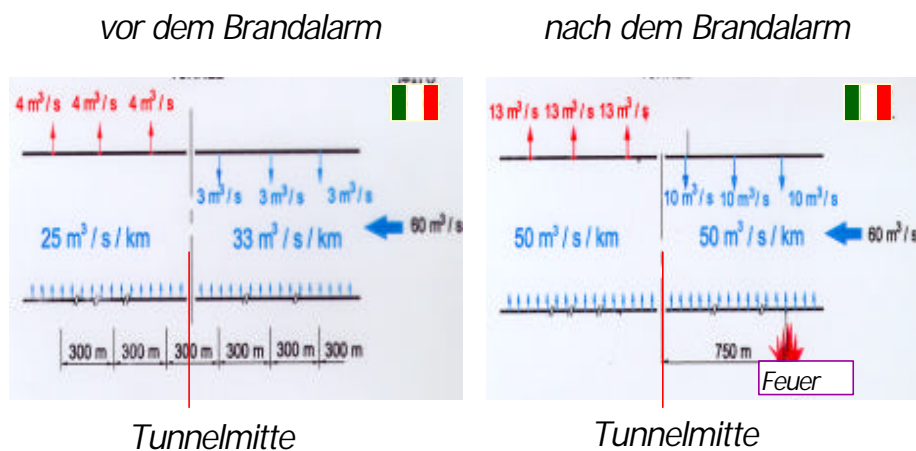


Die Dauer der bisherigen Brände lag normalerweise zwischen 10 und 50 Minuten. Ein paar Brände haben auch viel länger gedauert, so wie vor 10 Jahren: Feuer war auf einem LKW ausgebrochen. Der LKW wurde aus dem Tunnel gezogen und hat noch 3 Tage lang außerhalb des Tunnels gebrannt.

Die Gründe der vorherigen Brände waren allerdings Überhitzung der Motoren oder der Bremsen. Man muss daran denken, dass der Mont Blanc Tunnel auf der französischen Seite in etwa 1200 Meter Höhe liegt, und dass die Lastwagen vorher den Höhenunterschied von 500 Meter bis 1200 Meter auf etwa 15 km Länge überwinden müssen. Die Motoren sind vor Einfahrt in den Tunnel sehr oft überhitzt, und sehr oft sind die Turbolader der Motoren explodiert und haben brennendes Öl zerstäubt.

Bei den bisherigen Bränden hat sich das Feuer nie von einem Kraftfahrzeug zu einem anderen übertragen.

Auf dem folgenden Bild (Bild-8) sind die Lüftungsverhältnisse vor und nach dem Brand dargestellt. Vor dem Brand war die Lüftung nach den Betriebsvorschriften eingestellt: Abluft und Zuluft auf der französischen Seite, nur Zuluft auf der italienischen Seite.



**Bild 8:** Lüftungsverhältnisse vor und nach dem Brand

Nach dem Alarm wurde auf der französischen Seite immer Zuluft eingeblasen und Abluft abgezogen. Auf der italienischen Seite wurde die Zuluft stärker eingeblasen, aber keine Abluft abgesaugt. Das ist sicher der Grund, warum die Rauchausdehnung auf der italienischen Seite begrenzt wurde und sich der Rauch auf der französischen Seite so schnell ausgedehnt hat.

Die Kommission hat auch eine Schätzung der Brandlast gemacht. Für den ersten LKW wurde die Brandlast auf 75 bis 100 MW und die Branddauer auf 1 bis 2 Stunden geschätzt. Das sind nur Schätzungen, da man das sowieso nicht genau bemessen kann.

Für die anderen LKW wurde die Brandlast aufgrund der begrenzten Sauerstoffmenge auf 150 bis 190 MW geschätzt, und die theoretische Dauer auf 7 bis 13 Stunden. Die tatsächliche Dauer war 50 Stunden und das heißt ein Brandlast- Mittelwert von etwa 100 MW.

Man muss bei diesen Werten aufpassen und überlegen, denn es gibt viele Richtlinien, die nur 30 Megawatt für einen LKW-Brand vorsehen.

Die Rauchströmung war sehr hoch in dem Tunnel, wie vorher gesehen (Bild-8). Bei einer Längsgeschwindigkeit von 2 m/s pro Sekunde ist eine 100 Meter lange Tunnelstrecke in weniger als einer Minute voll Rauch.

Die Kommission hat verschiedene Empfehlungen gemacht:

- Gründung eines französisch / italienischen Sicherheitsausschuss für den Mont Blanc Tunnel und Fréjus Tunnel. Es gab vorher 2 Kommissionen, eine für den Mont Blanc, die andere für den Fréjus Tunnel, aber sie waren mehr in Richtung Verwaltung und weniger im Sinne von Sicherheit tätig.
- eine einzige Betreibergesellschaft für den Mont Blanc Tunnel, anstelle der jetzigen zwei.

Die Kommission stellte eine Liste von technischen Empfehlungen auf, von denen die wichtigsten sind:

- Festlegung einer Absaugmenge von  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  auf einer Tunnelstrecke von 600 m und die Größe der Brandlast auf 30 MW. Diese Werte sind unverständlich, wenn man an den Mittelwert der Brandleistung von 100 MW denkt,
- Der Luftkanal für Zuluft und Abluft darf nicht mehr umschaltbar sein,
- Die Saugklappen, vorher in einem Abstand von 300 m, müssen jetzt im Abstand von 100 Meter eingebaut werden. In einigen neuen Tunneln in Frankreich sind die Saugklappen in Abständen von 50 Meter eingebaut worden,

- Begrenzung der Geschwindigkeit des Luftstromes auf 1 bis 1,5 m/s, damit die Schichtung des Rauchs erhalten bleibt und sich die Ausdehnung des Rauchs verlangsamt,
- Der Abstand zwischen den Schutzräumen ist zukünftig 300 m. Der Abstand im Mont Blanc Tunnel war bisher 600 m. Die französischen Richtlinien verlangen 400 m.
- Bau einer Verbindung zwischen den Schutzräumen durch einen Fluchtweg. In der Tat würde der Bau eines parallelen Stollen beim Mont Blanc Tunnel sehr teuer und benötigte sehr viel Zeit. Die geforderten Verbindungen werden zwischen den Schutzräumen und einem Belüftungskanal eingerichtet, der unterhalb der Fahrbahn ist.
- Fläche der Schutzräume bisher 25 m<sup>2</sup>. Die zukünftigen französischen Richtlinien verlangen 50 m<sup>2</sup>,
- Verbreiterung der Fahrbahnbreite: Heute ist die Fahrbahn 7 m breit. Die Kommission empfiehlt eine Verbreiterung bis 7,4 m. Dies ist unmöglich, wenn man noch die lichte Höhe behalten will, oder man muss die Gewölbe seitlich entlang des Tunnels ausfräsen,
- Bau von neuen Pannenbuchten. Heute sind die Pannenbuchten alle 300 Meter einmal links, einmal rechts. Die Kommission empfiehlt einen Abstand von 300 Meter, mit Pannenbuchten auf beiden Seiten. Die französischen Richtlinien verlangen 800 Meter.
- ATMB (die französische Gesellschaft) hat eine Feuerwehrmannschaft rund um die Uhr am französischen Portal. Die Kommission empfiehlt eine zweite Feuerwehrmannschaft rund um die Uhr am italienischen Portal. Inzwischen hat der Sicherheitsausschuss eine dritte Feuerwehrmannschaft in der Mitte des Tunnels rund um die Uhr gefordert.

Die Kommission hat auch besondere Empfehlungen für die LKW ausgesprochen, die nicht nur für den Mont Blanc Tunnel sondern generell für Tunnel in ganz Frankreich gültig sind:

- neue Vorschriften für potentielle Gefahrgüter: Wenn man daran denkt, dass der erste LKW Margarine transportiert hat, muss man sich überlegen, ob Margarine Gefahrgut ist oder nicht. Die Liste der Gefahrgüter ist zu ergänzen,

- besondere Vorschriften für LKW-Kühlfahrzeuge,
- die LKW müssen vor der Tunneleinfahrt kontrolliert werden: Zu kontrollieren ist, ob der Motor überhitzt ist, und auch, ob Flüssigkeiten irgendwo austreten.
- Beschränkung der LKW auf eine Breite von 2,25 und 2,45 m. Breitere LKW dürfen auch durch den Tunnel fahren, aber nur als begleitete Sondertransporte.
- Abstände zwischen den Kraftfahrzeugen beim Fahren oder beim Halten im Tunnel: 100 m.

Das Verhalten der Tunnelbenutzer ist sehr unterschiedlich. Viele fahren sehr selten durch einen Tunnel und wissen nicht wie ein Tunnel ausgestattet ist und welche Sicherheitsmaßnahmen zu beachten sind.

- spezifische Aufklärungsaktionen sind durchzuführen: Die Leute müssen wissen, was im Falle eines Brandes oder bei einer Panne zu tun ist. Man muss ihnen somit Informationen über alle Sicherungsausstattungen geben. Im Mont Blanc Tunnel gab es ein gutes Radiokommunikationssystem, um die Fahrer zu informieren. Aber die Leute müssen das Radio anhaben, und zwar auf der richtigen Frequenz.
- die Schulung und Unterrichtung der Tunnelnutzer ist zu organisieren; das ist ein wichtiger Punkt.

Die Kommission empfiehlt auch:

- den Aufbau einer einzigen Betriebsstruktur, mit einem Kontrollraum und einem Ersatzkontrollraum. Der Mont Blanc Tunnel hatte 2 Kontrollräume. Weiterhin wird eine Koordination zwischen den beiden Mannschaften empfohlen. Ein neues Steuerungskontrollsystem mit automatischer Steuerung war vor dem Brand bereits in Planung.
- Jährliches Training der beiden Mannschaften und der Feuerwehr
- Neue Sicherheits- und Notfallpläne müssen erarbeitet werden. Diese Dokumente gab es schon lange, aber sie müssen um die neuen Ausstattungen ergänzt werden.

Und als Schlusswort:

- Tunnel mit Null Risiko gibt es nicht.
- Die besten Lösungen, um das Risiko zu vermindern, sind wirkungsvolle Maßnahmen gegen den Brand, schnelles Feuerlöschen, und ein umsichtiges Verhalten der Tunnelnutzer im Falle eines Brandes.

## **Der Brand im Tauerntunnel**

**Dipl.-Ing. Rudolf Hörhan**

**Ministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien, Österreich**

Sehr geehrte Damen und Herren,

Einleitend danke ich für die freundliche Vorstellung und die Einladung hier beim Workshop über die Ereignisse im Tauerntunnel zu berichten. Zunächst möchte ich betonen, dass die folgenden Darstellungen auf internen Erhebungen und Unterlagen beruhen und vieles, was über den Unfallhergang und die darauffolgenden Abläufe geschehen ist, von den Gerichten noch als wahr qualifiziert werden muss.

Die Tauernautobahn ist eine der wichtigsten Nord-Süd Verbindungen durch Österreich, sie beginnt am Grenzübergang zwischen Österreich und Deutschland in Salzburg Walsertal und endet im Bundesland Kärnten bei Villach, wo der Verkehr einerseits über die A2 Südautobahn nach Italien und über die Karawankenautobahn nach Slowenien weiterfließt.

Entlang der gesamten Strecke liegen sehr viele Tunnel.

Die längsten Tunnel befinden sich jedoch auf der Scheitelstrecke, der Tauerntunnel mit 6400 m und der Katschbergertunnel mit 5439 m. Gerade diese beiden Tunnel sind im Gegenverkehr betrieben, während alle anderen Tunnel im Richtungsverkehr betrieben werden. Die Verkehrsstärke auf der Scheitelstrecke zwischen Flachau und Gmünd beträgt als mittlerer DTV-Wert unter 15.000 Fahrzeuge pro Tag, wobei in der Hauptreisezeit eine Spitzenfrequenz bis 40.000 Fahrzeuge pro Tag erreicht wird. Der LKW Anteil beträgt rd. 19%.

Der Tauerntunnel wird im Gegenverkehr mit einem Fahrstreifen je Richtung befahren, der Querschnitt weist 2 je 3,75 m breite Fahrstreifen auf, beiderseits befindet sich ein erhöhter Seitenstreifen mit einer Breite von 1,0 m (Bild 1).

Das Lüftungssystem ist eine Vollquerlüftung mit 4 Lüftungsabschnitten, wobei Zu- und Abluft in den äußeren Abschnitten 1 und 4 über die Portalstation transportiert werden, wogegen die mittleren Abschnitte 2 und 3 von einem Lüftungsschacht in Tunnelmitte versorgt werden (Bild 2).

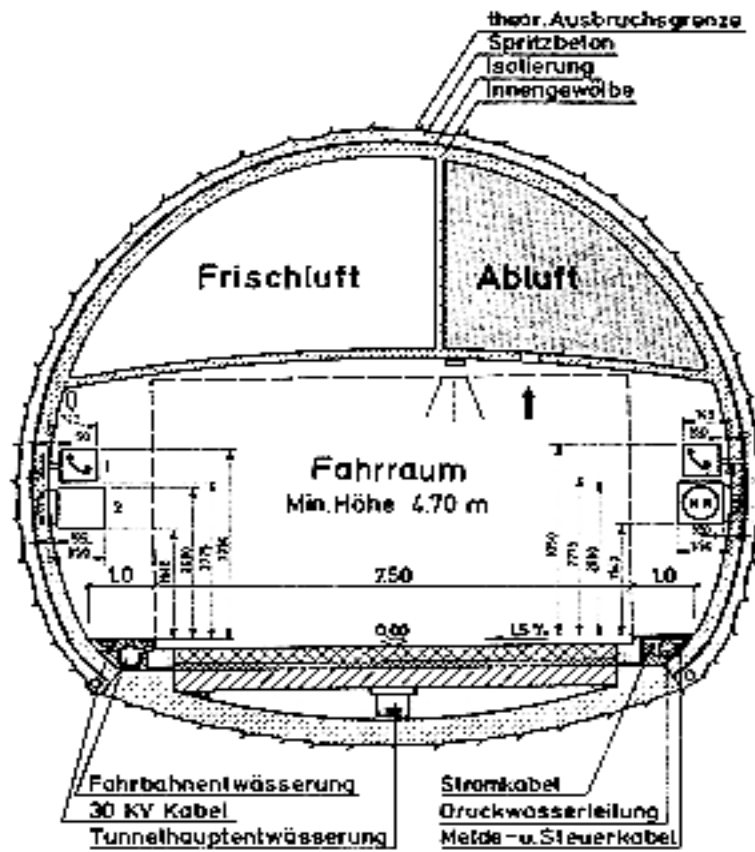


Bild 1: Querschnitt

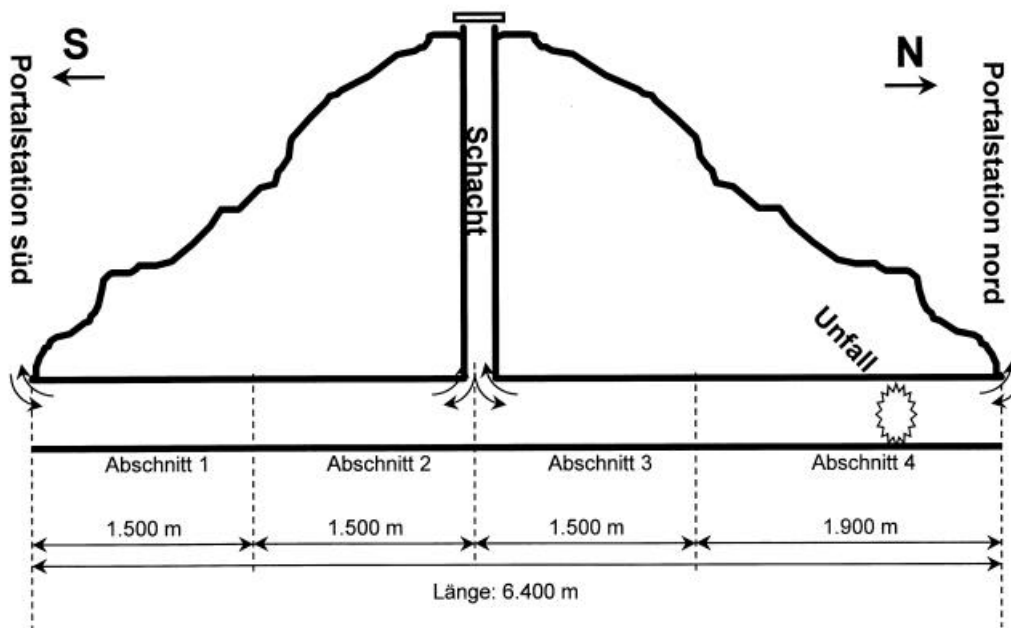
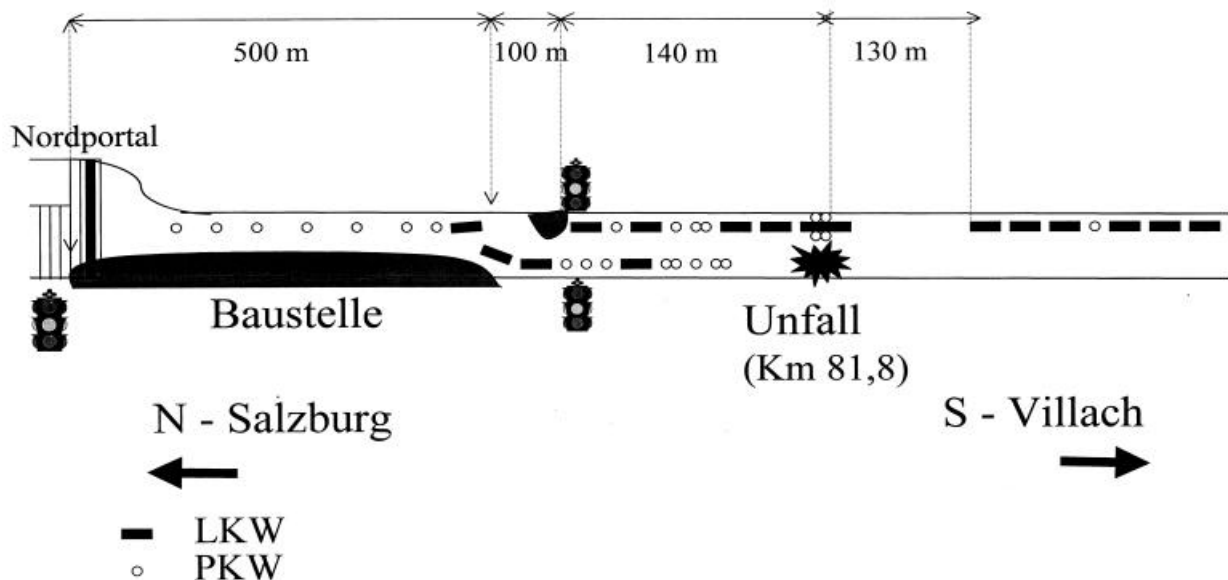


Bild 2: Längsschnitt und Lüftungssystem

Zu- und Abluft werden über Kanäle oberhalb der Fahrbahn befördert, welche durch eine Zwischendecke vom Fahrraum getrennt sind. Die max. Frischluftmenge beträgt entsprechend der Lüftungsberechnung etwa  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  je km. Die max. Abluftmenge beträgt etwa  $115 \text{ m}^3/\text{s}$  je km, bezogen jeweils auf einen Lüftungsabschnitt. Abluftöffnungen sind alle 6 m in der Tunneldecke vorgesehen, für eine gleichmäßige Verteilung der Abluftmenge auf die einzelnen Öffnungen sorgen entsprechend geformte Strömungsbleche bei den Öffnungen. Der Tunnel ist mit einer Löschwasserleitung im Gehsteig ausgestattet, Hydranten befinden sich alle 106 m in Nischen in der Tunnelwand. Alle 212 m ist eine Notrufrutsche angeordnet, bei der sich auch Handfeuerlöscher befinden. Fernsehkameras gestatten eine lückenlose Überwachung des Tunnels von der Tunnelwarte aus. Zur Branderkennung ist der Tunnel mit einer automatischen Brandmeldeanlage ausgestattet.

Der Tauerntunnel wurde 1975 eröffnet, dementsprechend sind immer wieder Sanierungsarbeiten erforderlich. So wurden z. B. die Beleuchtung und die Notrufrutschen bereits zu Gänze erneuert. So musste auch im Frühjahr dieses Jahres der Beton saniert werden und ein neuer Tunnelanstrich im Portalbereich auf einer Länge von rd. 500 m aufgebracht werden. Mit diesen Arbeiten wurde nach einer winterbedingten Pause im Mai dieses Jahres begonnen. Es wurde hierzu eine Ampelregelung im Bereich des Nordportales des Tunnels eingerichtet (Bild 3).



**Bild 3:** Unfallstelle im Tauerntunnel

Bei Sanierungsarbeiten im Vorjahr war eine Ampelregelung außerhalb des Tunnels an den Portalen angeordnet worden, was jedoch aufgrund der langen Räumzeiten zu so großen



Staus führte, dass nunmehr eine Ampel für die Fahrtrichtung nach Süden im Bereich des Nordportals vorgesehen wurde, die andere jedoch – für die Fahrtrichtung nach Norden – im Tunnel, ca. 600 m vom Portal entfernt. Vor den Lichtsignalanlagen wurde die zulässige Geschwindigkeit von 80 km/h auf 50 km/h und dann auf 30 km/h reduziert.

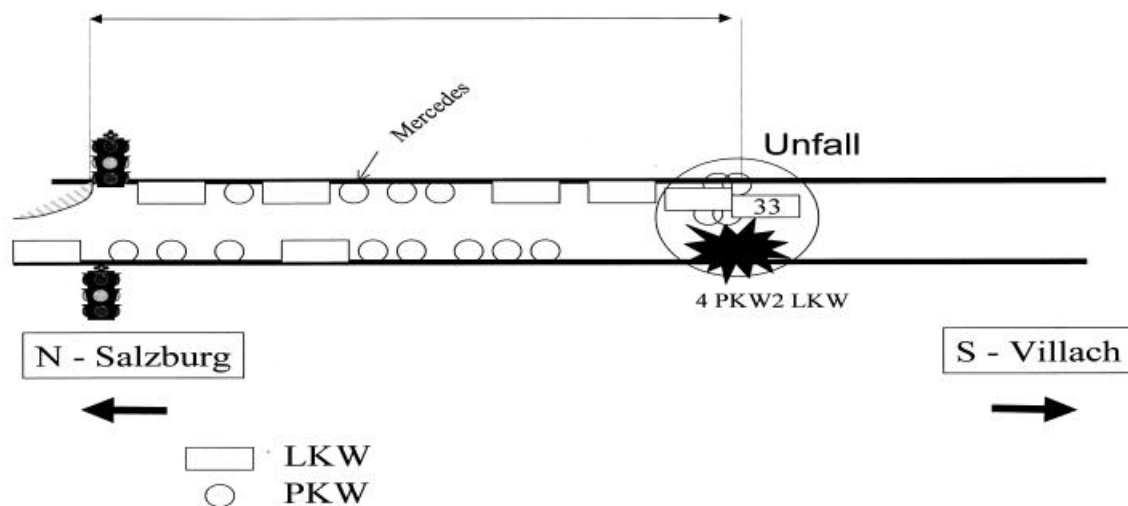
Nun zum eigentlichen Unfallgeschehen: Am 29. Mai 1999 musste bereits um 2.08 Uhr die Tauernautobahn nördlich des Katschbergtunnels in Fahrtrichtung Salzburg gesperrt werden, da sich ein schwerer Unfall ereignet hatte. Aufgrund dieser Sperre bildete sich vor dem Südportal des Katschbergtunnels ein erheblicher Stau. In Fahrtrichtung Süden d.h. in Richtung Villach war an diesem Samstag morgen ebenfalls schon ein erhebliches Verkehrsaufkommen zu verzeichnen, es waren ca. 800 – 1000 Fahrzeuge in der Stunde. Um dieses Verkehrsaufkommen bestmöglichst bewältigen zu können, wurde die Ampelregelung bei der Baustelle von der Warte auf gesteuerten Handbetrieb geschaltet. Mit den längeren Grünphasen sollten mehr Fahrzeuge über den Gegenverkehrsbereich gebracht werden.

Um 4.41 Uhr wurde die Ampel in Richtungsfahrbahn Salzburg auf Rot geschaltet. Nach einer Räumphase von ca. 40 Sekunden wurde der Verkehr Richtung Süden freigegeben. Um 4.50 schlug der Brandmelder in der Tunnelwarte Alarm. Sofort hat der Bedienstete von der Warte 4 Kameras auf den Unfallort aufgeschaltet, womit er in einem Bereich von 850 m einsehen konnte. Der Mitarbeiter der ÖSAG konnte jedoch kaum etwas erkennen und setzte sich mit der Autobahngendarmerie in Verbindung. Diese ist ebenfalls mit synchron laufenden Bildschirmen ausgestattet und wies den ÖSAG Bediensteten in der Warte an, Feuerwehr und Rettung zu verständigen. Sofort wurden die beiden Portalampel auf Rot geschaltet und zur gleichen Zeit erfolgte die Meldung an Feuerwehr und Rettung. Der Gendarmeriebeamte konnte in der Folge am Monitor beobachten, dass der Verkehr bereits unmittelbar nach dem Unfall zum Stillstand gekommen war. Er konnte bereits zu diesem Zeitpunkt flüchtende Personen am Bildschirm erkennen, kurz darauf fiel das Bild aus. Um 4.53 Uhr wurden entsprechend den technischen Protokollen die ersten Handfeuerlöcher aus den Notrufrischen entnommen.

Auslöser für das Ereignis war ein Auffahrunfall. Ein mit verschiedenen Spraydosen, unter anderem Lacke der Gefahrgutklasse 9, beladener LKW war in Richtung Norden unterwegs und musste hinter einigen schon vor der Baustellenampel stehenden Fahrzeugen anhalten. Dahinter hielten vier PKW ordnungsgemäß an. Nun näherte sich ein LKW der stehenden Kolonne, wahrscheinlich infolge eines Fahrfehlers, sowie überhöhter Geschwindigkeit

fährt dieser auf die stehende Kolonne auf, sodass 2 PKW unter den stehenden LKW mit den Spraydosen geschoben und 2 PKW zur Tunnelwand gedrückt wurden (Bild 4).

Die beiden LKW standen nachher direkt hintereinander, also Ladebordwand an Windschutzscheibe. In 3 der 4 PKW starben vermutlich als direkte Folge des Auffahrunfalls 8 Personen. Aus einem der beiden an die Wand gedrückten PKW konnten 2 Personen leicht verletzt flüchten (Bild 5).



**Bild 4:** Detail Unfallstelle mit ausgebrannten Fahrzeugen



**Bild 5:** Unfallbereich mit einem an die Wand gedrückten, ausgebrannten PKW

Neben den 8 vorher erwähnten Opfern gab es noch weitere 4 Todesopfer, welche vermutlich durch menschliches Fehlverhalten in dem den Unfall folgenden Brand ums Leben kamen. 2 Personen aus Belgien blieben aus unerklärlichen Gründen in ihrem Auto sitzen.

Ein Fernfahrer aus Griechenland kehrte, nach dem er bereits in Sicherheit war, zu seinem Fahrzeug zurück, um Dokumente zu holen. Es setzte sich nachher zu den beiden Belgiern ins Auto. Ein deutscher Fernfahrer erstickt etwa 800 m von der Unfallstelle entfernt auf der Flucht. 3 seiner Kollegen waren in eine Notrufzelle geflüchtet, hatten die Tunnelwarte von dort aus angerufen und wurden schließlich von der Feuerwehr gerettet.

Es ist anzunehmen, dass bei dem Auffahrunfall die Treibstofftanks der PKW aufgerissen wurden, der Treibstoff ausfloss und sich entzündete. Auch der mit Lacksprühdosen beladene LKW ging rasch in Flammen auf. Die Sprühdosen explodierten und flogen durch den Tunnel. Ein Großfeuer brach aus. Wie bereits erwähnt, wurde der Brand vom Brandmeldesystem sehr rasch erfasst und lokalisiert. Die Belüftungsanlage wurde nach der Brandmeldung automatisch auf Brandbetrieb umgeschaltet. Dadurch konnten im nördlichen 4. Abschnitt bis zu 230 m<sup>3</sup> Rauchgase je Sekunde nach oben in den Abluftkanal gesaugt werden. Es entstand eine Schichtung wobei der Rauch im wesentlichen an der Decke war und eine rauchfreie Zone in Bodennähe entstand. Diese Schichtung konnte entsprechend den Augenzeugenberichten ca. 15 – 20 Minuten aufrecht erhalten werden. Viele Personen, wahrscheinlich werden es um 80 gewesen sein, konnten dadurch teilweise mit ihren Fahrzeugen, teilweise zu Fuß den Tunnel verlassen. Es kam dann zu mehreren Explosionen, wodurch eine sehr starke Hitze- und Rauchentwicklung entstand. Es konnte zwar immer wieder der Rauch abgesaugt werden, schließlich wurde jedoch die Hitze- und Rauchentwicklung so groß, dass der Fahrraum nicht mehr rauchfrei gehalten werden konnte und der Rauch zum Nordportal strömte.

Unmittelbar nach der Alarmierung von Feuerwehr und Rettung wurde ein Elektrotechnikfachmann der ÖSAG alarmiert. Dieser erschien bereits um 5.15 Uhr in der Tunnelwarte. Zu diesem Zeitpunkt übernahm er die manuelle Steuerung der Lüftungsanlage. Durch das automatische Brandprogramm war der nördliche Abschnitt 4 des Tunnels auf Abluft geschaltet, es wurde keine Frischluft zugeführt. Nachdem er nach 15 Minuten davon ausgehen konnte, dass sich im Norden die Personen in Sicherheit gebracht haben, wurde der 3. Lüftungsabschnitt mit Zuluft versorgt, und damit der Rauch in Richtung Nordportal gedrückt und somit der von Süden her kommenden Feuerwehr ermöglicht die 3 in einer Notrufnische eingeschlossenen Personen zu retten. Nach der Rettung dieser 3 Personen und dem Löschen der ca. 15 – 17 Fahrzeugen von Süden her, war ein weiteres Vordringen der Feuerwehr aufgrund der Hitze- und Rauchentwicklung aus dieser Richtung nicht mehr möglich. Daraufhin wurde der 3. Abschnitt der Lüftung auf Abluft geschaltet, sodass der Rauch Richtung Süden und den Abluftschacht geblasen wurde. Dadurch wurde langsam

der Nordbereich des Tunnels wieder rauchfrei. Dieses ermöglichte es der Feuerwehr nun den Brand von Norden her zu bekämpfen. Vorerst mussten jedoch die Sicherheitsverhältnisse im Hinblick auf die Standsicherheit des Tunnels überprüft werden. Es mussten Abstützungen im Randbereich der Zwischendecke durchgeführt werden, um ein Abknicken der Tunneldecke zu verhindern. Die Tunneldecke war keineswegs eingebrochen, lediglich ein 6 m langes Element knickte in der Mitte ab und blieb an einem Anker im Bereich der Trennwand zwischen Frisch- und Abluftkanal hängen. Dieses geschah jedoch erst nach dem starken Abkühlen des Betons nach dem Brand. Nach Durchführung der Abstützungen in den Nachmittagsstunden konnte die Feuerwehr den Brand etwa gegen 22.00 Uhr endgültig löschen (Bild 6).



**Bild 6:** Brandstelle nach dem Löschen und Entfernen ausgebrannter Fahrzeuge

Die Bilanz des Unfalls mit anschließenden Brand waren 12 Todesopfer (8 durch unmittelbare Unfalleinwirkung, 4 durch Rauchgasvergiftungen) und 49 leicht verletzte Personen, zumeist leicht Rauchgasvergiftungen und leichte Verbrennungen, welche in den umliegenden Spitälern behandelt wurden. Im Tunnel sind 16 LKW und 24 PKW verbrannt.

Die Schäden im und am Tunnel werden anhand von Bildern sehr augenscheinlich dargestellt. Zunächst sprechen die Aufnahmen von den ausgebrannten LKW bzw. Fahrzeugen, die beim Auslösen des Unfalls involviert waren, für sich (Bild 5). Eine weitere Aufnahme vom Bereich der größten Brandeinwirkung zeigt die Betonschuttberge, die von der abgeplatzten unbewehrten Innenschale und den Abplatzungen der Zwischendecke aufgetreten sind (Bild 6).

Die Chronologie der nachfolgenden Sanierungsarbeiten kann wie folgt angegeben werden:

- 29.5.1999 Tag des Brandereignisses: Beiziehung von Sachverständigen
- 30.5.1999 Erste Vorbereitungsarbeiten zur Absicherung der Zwischendecke
- 31.5.1999 Beginn der Schutträumung
- 1.6.1999 Beginn der Schadensfeststellung
- 2.6.1999 Begehung der Zu- und Abluftkanäle
- 5.6. u. 6.6.1999 Zusätzliche Sicherung der Zwischendecke mittels Anker im Ulmenbereich
- 7.6.1999 Übergabe des Tunnels von der Kriminalabteilung an die ÖSAG.
- 28.8.1999 Verkehrsfreigabe

Die Sanierungsarbeiten liefen auf Hochtouren – etwa. 60 Mann arbeiteten 24 Stunden pro Tag und das 7 Tage in der Woche – um die Wiederinbetriebnahme bald zu ermöglichen und die hohen Verluste durch den entgangenen Mautgewinn niedrig zu halten. Als Sanierungsmaßnahmen war zunächst erforderlich, den gesamten Tunnel vom Russ zu reinigen. Dieses erfolgte mit Hochdruckwasserstrahlen.



**Bild 7:** Sanierung der Brandstelle

Des weiteren musste die Zwischendecke auf einer Länge von ca. 350 m mittels Fertigteilen erneuert werden. Die Fertigteile wurden auf an die Ulme geankerte Fertigteilkonsolen aufgelegt. Der Ringbeton musste über eine Länge von 350 m aufgrund der Abplatzungen mit Spritzbeton saniert werden (Bild 7).

Die Betonfahrbahndecke musste im Unfallbereich über eine Länge von rd. 800 m aufgrund der Abplatzungen auf einer Stärke von 5-8 cm abgefräst und mit Kunststoff vergütetem Beton ergänzt werden. Die gesamte Tunnelwand musste neu beschichtet werden. Notrufnischen mussten in einen Bereich von 800 m erneuert werden (Bild 8).



**Bild 8:** Tunnel nach erfolgter Sanierung

Durchgeschmolzene Funkkabel, die Beleuchtung sowie die Kabel im Zuluftkanal mussten zwar erneuert werden, hatten aber ihre Funktion bis über den Brand hinaus aufrechterhalten. Ebenso war es mit den Kabeln im und unter dem erhöhten Seitenstreifen angeordneten Kabelkanal.



**Bild 9:** Abluftjalousien

Die Totalsperre des Tunnels wurde auch dazu genutzt, um Verbesserungen am Lüftungssystem vorzunehmen. Dafür wurden an Stelle der alten kleinen Öffnungen in der Decke zum Abluftkanal 2,3 x 2,2 m große Öffnungen herausgeschnitten, in welche Abluftjalousien hineingebaut wurden (Bild 9). Es handelte sich dabei um 126 Öffnungen, wie sie bei den modernen Tunnel in Österreich mit Vollquerlüftung nun Standard sind. Diese Jalousien sind grundsätzlich geöffnet, werden jedoch im Brandfall mit einem hydraulischen Antrieb bis auf die dem Brandherd am nächsten liegenden geschlossen.

Kleinere Adaptierungen, wie eine verbesserte Fluchtweg-

kennzeichnung wurden jedenfalls im ganzen Tunnel vorgenommen. Die Kosten der Sanierung betragen rd. 600 Mio. ÖS, davon entfielen auf die Rußreinigung rd. 0,7 Mio. ÖS. In diesen Beträgen nicht enthalten sind die Kosten für das verbesserte Lüftungssystem mit rd. 1,5 Mio. ÖS. Am 28. August 1999 fast genau 3 Monate nach dem katastrophalen Ereignis konnte der Tunnel wieder dem Verkehr freigegeben werden. Es waren mehr als 2 Wochen früher als vorgesehen. Für diese ausgesprochene rasche und effiziente Arbeit wurde der ÖSAG eine Auszeichnung der Europäischen Wirtschaftskammer verliehen.

## **Erfahrungen mit Eisenbahntunneln**

**Dipl.-Ing. Hans-Heinrich Grauf**

**Eisenbahnbundesamt, Bonn**

Sehr geehrter Herr Vorsitzender, meine Damen und Herren,

### **Die erste Phase:**

Die erste Eisenbahn in Deutschland fuhr am 7. Dezember 1835 von Nürnberg nach Fürth. Nach heutigem Sprachgebrauch handelte es sich dabei um eine Referenzanlage, da diese Strecke nicht Bestandteil des späteren Eisenbahnnetzes wurde.

Die erste "echte" Eisenbahn wurde nur wenig später, am 7. April 1839 zwischen Leipzig und Dresden eröffnet.

Für den Bau dieser Strecke wurden Trassierungsparameter angewandt, die uns heute geradezu luxuriös erscheinen müssen:

- Obwohl die damaligen Dampflokomotiven nur Geschwindigkeiten von 30 bis 40 km/h erreichten, wurde ein Regelhalbmesser von 2230 m festgelegt, der Mindestradius betrug 930 m.
- Nach den Regeln der Eisenbahn-Bau- und Betriebs-Ordnung könnte bei diesen Radien eine Geschwindigkeit von 210 km/h bzw. 140 km/h zugelassen werden!

Bei derart großzügigen Trassierungselementen verwundert es nicht, dass bereits die erste Eisenbahnstrecke von Leipzig nach Dresden einen Tunnel aufzuweisen hatte.

Erster deutscher Eisenbahntunnel war der Oberauer Tunnel in der Nähe von Dresden. Mit einer Länge von 512 m stellte er zur damaligen Zeit eine echte technische Herausforderung dar. 95 Jahre später wurde er aufgeschlitzt, weil sein Querschnitt für den Bahnbetrieb zu eng und sein Gewölbe baufällig geworden war.

Der Oberauer Tunnel war der Beginn einer ersten Phase des Eisenbahntunnelbaus, deren Schwerpunkt noch im letzten Jahrhundert lag und die bis etwa 1960 währte.

Diese Zeit war dadurch gekennzeichnet, dass Tunnel vor allem als bautechnisches Problem gesehen wurden. Die Tunnel waren je nach Strecke ein- oder zweigleisig, die Längen



bewegten sich vorwiegend zwischen 15 und 1000 m, der längste Tunnel war der Kaiser-Wilhelm-Tunnel bei Cochem mit 4205 m.

Fragestellungen hinsichtlich möglicher Unfälle und Maßnahmen zur Hilfeleistung wurde zur damaligen Zeit geringeres Gewicht beigemessen. Deshalb gibt es für diese Tunnel - von einzelnen Ausnahmen abgesehen - noch kein besonderes Sicherheitskonzept. Ebenso wenig gibt es eine Entmischung zwischen Reise- und Güterverkehr.

### **Die zweite Phase:**

Eine zweite Phase begann in den 60er Jahren mit der Planung der ersten Schnellfahrstrecken zwischen Hannover und Würzburg, sowie Mannheim und Stuttgart.

Im Unterschied zu früher erforderte der Hochgeschwindigkeitsverkehr eine gestreckte Linienführung. Von einzelnen Ausnahmen abgesehen handelt es sich deshalb um zweigleisige Tunnel mit Längen zwischen 1 und 11 km. Die maximale Längsneigung der Strecken lag bis 20 ‰. Aus Lärmschutzgründen wurde eine siedlungsferne Trassierung angestrebt.

Bei der Planung dieser Strecken standen wiederum die technischen Fragestellungen im Vordergrund. Dabei ging es vor allem darum, die wesentlich längeren Tunnel mit größeren Querschnitten und wirtschaftlich aufzufahren.

Diese Situation änderte sich schlagartig, nachdem sich am 19.04.1980 in der unterirdischen S-Bahn-Haltestelle Hamburg Altona ein Brand mit schwerwiegenden Folgen ereignete.

Glücklicherweise gab es zwar keine Personenschäden, aber es wurde deutlich, dass

- die Evakuierungschancen für Fahrgäste nur gering sind, falls der Zug infolge eines Brandes im Tunnel liegen bleibt und die nächste Haltestelle nicht mehr erreicht, und
- die Feuerwehren und Rettungskräfte in unterirdischen Verkehrsanlagen sehr schnell die Grenzen ihrer Möglichkeiten erreichen.

Diese Erfahrung führte bei der Deutschen Bundesbahn zu einer Überprüfung ihres Sicherheitskonzepts für Hochgeschwindigkeitsstrecken.

Dabei kam es zu einem folgenschweren Missverständnis:

Während die Bahn in der traditionellen Sichtweise der Eisenbahner die Prävention betrachtete, wiesen Feuerwehren und Rettungsdienste auf Defizite im Bereich der Gefahrenabwehr hin.

In dieser Diskussion vertrat die Bahn lange Zeit die Auffassung, eine umfassende Prävention könne Maßnahmen zur Personenrettung entbehrlich machen.

In diesem Zusammenhang wurde von 1984 bis 1986 eine umfassende Risikoanalyse durchgeführt. Diese Studie bestätigte die hohe Systemsicherheit der Bahn, was die Auffassung zu stützen schien, weitergehende Maßnahmen zur Gefahrenabwehr seien entbehrlich.

Ein ernsthafter Dialog zwischen Bahn und Feuerwehren entwickelte sich deshalb erst ab 1987. Hierbei wurde für die Tunnel der Schnellfahrstrecken ein besonderes Sicherheitskonzept erarbeitet, das auch Maßnahmen der Personenrettung und der Brandbekämpfung mit einbezog.

Zum damaligen Zeitpunkt befanden sich die Tunnel ausnahmslos im Bau oder waren bereits fertiggestellt. Das Rettungskonzept musste sich deshalb an folgenden Gegebenheiten orientieren:

- zweigleisige Tunnelröhre,
- Fluchtwege deutlich länger als 1000 m,
- siedlungsferne Lage der Tunnel in strukturschwachen Gebieten.

Insbesondere der letztgenannte Umstand führte zu der Erkenntnis, dass die örtlichen Freiwilligen Feuerwehren bei einem Tunnelleinsatz sowohl personell, wie auch hinsichtlich ihrer Materialausstattung überfordert sein würden. Bahn und Feuerwehren gelangten übereinstimmend zu der Überzeugung, dass unter diesen Gegebenheiten

- die Bereitstellung des notwendigen Materials,
- die Transportkapazität für Material und Verletzte,
- die Versorgung mit Löschwasser und elektrischer Energie, sowie
- die Kommunikation zwischen Einsatzkräften und Einsatzleitung

nur mit Hilfe von Rettungszügen darstellbar war. Dieser Ansatz hatte zugleich den Charme, dass es damit möglich war, Berufsfeuerwehren zum Einsatz zu bringen. Er hatte und hat aber den Nachteil, dass der Rettungszug erst dann abfahren und zum Einsatz kommen kann, wenn alle Beteiligten, Bahn, Feuerwehr und Rettungsdienst im Zug sind.

In dieser Diskussion wurde aber auch deutlich, dass nicht mehr beherrschbare Szenarien entstehen, wenn eine Beteiligung von Gefahrgut unterstellt wird. Deshalb wurde für alle

neuen Tunnel ein Begegnungsausschluss zwischen Reise- und Güterzügen postuliert.

### **Die dritte Phase:**

Allen Beteiligten war klar, dass es sich bei dem Rettungszugkonzept um eine Notlösung handelte. Für die Planung weiterer Schnellfahrstrecken wurden deshalb andere Wege gesucht, die in die Planung der Strecken Köln - Rhein/Main, Nürnberg - Ingolstadt und Nürnberg - Halle/Leipzig eingeflossen sind.

Exemplarisch für diese dritte Phase beim Bau von Eisenbahntunneln steht dabei die Schnellfahrstrecke Köln - Rhein/Main, deren Planung ab 1991 begann.

Diese Strecke ist für reinen Personenverkehr trassiert und weist deshalb zweigleisige Tunnel mit Längsneigungen bis 40 ‰ auf. Hierdurch konnte gegenüber der Strecke Hannover - Würzburg die Zahl der Tunnel und deren Länge reduziert werden.

Aus Gründen des Umweltschutzes wurde eine Trassierung gewählt, die sich eng an die Autobahn A3 Köln - Frankfurt anlehnt. Im Vergleich zu den Tunneln der Strecke Hannover - Würzburg sind die Tunnel der Strecke Köln - Rhein/Main für Straßenfahrzeuge gut erreichbar.

Als im Zuge der Bahnreform 1994 das Eisenbahn-Bundesamt errichtet wurde, begannen die ersten Planfeststellungsverfahren für diese Tunnel. Deshalb erwies es sich als notwendig, die baulichen Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes verbindlich festzulegen.

Zwischen den Landesinnenministerien und dem Eisenbahn-Bundesamt entwickelte sich sehr schnell eine vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit, zu der später auch die DB AG hinzutrat. Dabei wurde zahlreiche offene Fragen geklärt und in Form einer Richtlinie definiert.

Ich denke in diesem Zusammenhang vor allem an

- den konsequenten Begegnungsausschluss zwischen Reise- und Güterzügen
- die Begrenzung der Fluchtweglänge auf 500 m
- den Funktionserhalt aller Systeme
- die Sicherheitsbeleuchtung
- die Abschaltung und Noterdung der Oberleitung

- die Verfügbarkeit des BOS-Funks,
- die Bereitstellung von Löschwasser und elektrischer Energie,
- die Anlage von Zufahrtswegen und Rettungsplätzen.
- die Vorhaltung von Transporthilfen

Darüber hinaus wurden in einem Arbeitskreis zwischen DB AG und den Innenministerien der Länder die organisatorischen Rahmenbedingungen für einen Einsatz der öffentlichen Feuerwehren und Rettungsdienste geschaffen und in einem Vertrag festgeschrieben.

### **Wo stehen wir heute?**

Bei der Diskussion der Sicherheit von Eisenbahntunneln können wir von einem hohen Niveau ausgehen.

Dieses lässt sich in etwa wie folgt beschreiben:

- im Bereich der Prävention
  - die hohe Systemsicherheit der Bahn
  - die Trennung von Reise- und Güterzügen
  - die Notbremsüberbrückung mit Selbstrettungskonzept
  - im Bereich der Gefahrenabwehr
  - Fluchtwege
  - Sicherheitsbeleuchtung
  - ferngesteuerte Abschaltung und Notfallerdung der Oberleitung
  - Verfügbarkeit des BOS-Funks
  - Transporthilfen (vertikal: Fahrstühle, horizontal: Rollpaletten)
  - Energiezuführung
- sowie neuerdings noch
  - Löschwasserversorgung und -verteilung bis in die Tunnel.

Ich denke, das Erreichte kann sich durchaus sehen lassen. Dennoch - das zeigt das Bild der Sicherheitskaskade nachdrücklich - bleibt ungeachtet aller Maßnahmen ein Restrisiko. Dieses Restrisiko möglichst klein zu halten und Rechenschaft darüber abzulegen, ob tat-

sächlich alles getan worden ist, was getan werden muss und zumutbar ist, ist Ziel des heutigen Workshops.

### **Offene Fragen:**

Meiner Meinung geht es heute nicht

mehr um Grundsatzfragen - diese sind längst gelöst. In der bisherigen Diskussion sind aber Fragen offen geblieben, für die keine eindeutige Antwort gefunden werden konnte.

Hierbei handelt es sich um die Frage

- eingleisige oder zweigleisige Tunnelröhre?
- Belüftung bzw. Entrauchung im Brandfall?
- Leiteinrichtungen in den Tunneln?
- Rettungsgerechte Gestaltung der Fahrzeuge.

### **Fluchtwege**

Die maximale Länge der Fluchtwege wird seit mehr als 10 Jahren diskutiert. In dieser Diskussion hat sich zwischenzeitlich ein Maximalwert von 500 m etabliert. Dieser Wert stellt einen Kompromiss zwischen dem Bestreben

- nach kurzen Fluchtweglängen einerseits (Schutz der Betroffenen, Atemschutz der Helfer) und
- nach möglichst großen Abständen zwischen zwei Notausgängen (Investitionskosten, Umweltschutz)

dar.

Dessen ungeachtet wird von Praktikern immer wieder vorgebracht, dass eine Wegstrecke von zwei mal 500 m für den Hin- und Rückweg unter Berücksichtigung der maximalen Einsatzdauer von Atemschutzgeräten (Preßluftatmer) sehr lang sei.

In Kenntnis der bisherigen Entwicklung erscheint eine weitere Diskussion der Fluchtweglänge wenig zielführend. Im Rahmen des Workshops sollte jedoch versucht werden, die technischen Grenzen von Preßluftatmern auszuloten und ggf. Alternativvorschläge für die Darstellung der Atemluftversorgung während des Einsatzes zu entwickeln.

In diesem Zusammenhang wäre auch die Frage eines Tunneldesigns mit zwei getrennten, eingleisigen Röhren zu untersuchen.

## **Entrauchung**

Eine der Fragen, die bisher nicht abschließend geklärt werden konnten, betrifft das Problem der Entrauchung. Aus meiner Sicht gliedert sich das Problem in zwei Teilaspekte, nämlich:

1. In welchen Fällen (Tunnelquerschnitt, Längsneigung) reicht die natürliche Luftströmung aus, bzw. in welchen Fällen sind besondere Belüftungs-/Entrauchungsanlagen notwendig?
2. Wie wirkt sich eine Belüftung/Entrauchung auf die Brandentwicklung, für die zu rettenden Personen und für die Retter aus?

Diese Fragestellungen werden in Fachkreisen durchaus kontrovers diskutiert. Ich möchte diese Diskussion auch nicht hier und während des Workshops führen, dazu dürfte uns die Zeit fehlen. Ich erwarte mir jedoch von diesem Workshop, dass die Vorgehensweise, wie diese Fragen geklärt werden können, an Kontur gewinnt.

## **Leiteinrichtungen**

Eine weitere Fragestellung, die mir wichtig erscheint, wurde durch den Unfall von Eschede in das Bewusstsein gerückt: Durch die Masse der nachfolgenden Wagen wird ein Schienenfahrzeug nach einer Entgleisung häufig quer zur Gleisachse ausgelenkt. Entgleisen daraufhin weitere Wagen, gerät der Zug in eine "zollstockförmige" Lage. Dies könnte in einem Tunnel die Rettungsmaßnahmen behindern. Um dies zu verhindern, aber auch, um einer möglichen Kollision mit einem Gegenzug entgegenzuwirken, gibt es Vorschläge, in Tunneln besondere Leiteinrichtungen vorzusehen oder zwischen den Gleisen Leitwände zu errichten.

Da solche Leiteinrichtungen, vor allem aber Leitwände die Rettungsarbeiten auch behindern können, ist auch hier das Für und Wider zu diskutieren.

## **Fahrzeuge**

Anders als beim Straßenverkehr bilden Fahrzeuge, Fahrweg und Sicherungssystem bei der Eisenbahn eine technische Einheit. Die Fahrzeuge sind deshalb in die Betrachtung mit einzubeziehen.

Die Anforderungen an Schienenfahrzeuge hinsichtlich des vorbeugenden Brandschutzes ergeben sich aus DIN 5510. Weitergehende Anforderungen, z. B. hinsichtlich

- Lage und Größe von Notausstiegen, oder
- Ausrüstung mit Notbremsüberbrückung

sind bisher nur im internen Regelwerk der Bahnen enthalten.

Die Erfahrungen mit dem Unfall Eschede haben gezeigt, dass die hohe Strukturfestigkeit von Fahrzeugen für den Hochgeschwindigkeitsverkehr den Rettungskräften erhebliche Schwierigkeiten bereiten kann, in umgestürzte oder zerstörte Fahrzeuge einzudringen. Es erscheint deshalb notwendig, die Zusammenhänge zu diskutieren und verbindliche Regelungen auf internationaler Ebene anzustoßen.

Die Ausrüstung mit Notbremsüberbrückung wird nach dem internen Regelwerk der DB AG nur für Schnellfahrstrecken gefordert, da für bestehende Tunnel Bestandsschutz geltend gemacht wird. Die grundlegende Erneuerung bzw. Erweiterung von Tunneln (z. B. Schlüchterner Tunnel, Mainzer Tunnel) wirft jedoch die Frage auf, ob langfristig gesehen eine grundsätzliche Anwendung der Notbremsüberbrückung vorgesehen werden muss.

## **Internationale Abstimmung**

Schon während der Planung der ersten Schnellfahrstrecken Hannover - Würzburg und Mannheim - Stuttgart fanden Abstimmungsgespräche auf internationaler Ebene statt. So befasste sich in den Jahren 1988 bis 1990 eine trilaterale Arbeitsgemeinschaft der Eisenbahnaufsichtsbehörden von Deutschland, Österreich und der Schweiz mit der Sicherheit von langen Eisenbahntunneln.

Ich freue mich deshalb besonders, heute Kollegen aus Österreich und der Schweiz, mit denen mich eine langjährige Zusammenarbeit verbindet, begrüßen zu dürfen.