

Möglichkeiten und Grenzen des abwehrenden Brandschutzes in unterirdischen Verkehrsanlagen

(Veröffentlicht im Tagungsband der Jahresfachtagung 2012 der Vereinigung zur Förderung des Brandschutzes e.V.)

Brauner^a, Christian; **Dietz^b**, Werner; **Haus^c**, Paul; **Husner^a**, August; **Kummer^a**, Urs; **Mariéthod^d**, Bernard; **Meister^a**, Walter; **Mundwiler^a**, Hans; **Stampfli^d**, Werner; **Vogt^a**, Markus; **Widmer^e**, Patrick; **Zampini^f**, David.

Aufgrund unserer Erfahrungen und abgestützt durch Versuche ist davon auszugehen, dass Feuerwehren erheblich mehr zur Rettung von Menschen aus unterirdischen Verkehrsanlagen (UVA) und zur wirksamen Begrenzung der Sach- und Folgeschäden leisten können, als allgemein angenommen wird. Voraussetzungen sind eine auf die baulichen und organisatorischen Besonderheiten abgestimmte Einsatztaktik und die sichere Beherrschung des Feuerwehrhandwerks. Zur Quantifizierung der möglichen Interventionsleistung sind weitere Versuche erforderlich.

1 Einleitung

In der Tunnel-Fachwelt werden die Interventionsmöglichkeiten bei Tunnelbränden oft als gering eingeschätzt. Schneider und Horvath formulieren z.B: „Durch die schnelle Brandentwicklung sind in den meisten Fällen ein Vordringen der Einsatzkräfte bis zum Brandherd und das Bekämpfen des Brandes aufgrund der vorherrschenden Temperaturen, der entstehenden Brandgase und deren Rauchdichte nicht möglich.“¹ Nach unseren Beobachtungen ist das Gegenteil der Fall: In den *meisten* Fällen werden Brände in Tunneln von den Feuerwehren gelöscht, ehe grosser Schaden entsteht. Im Gotthard-Strassentunnel kam es seit seiner Eröffnung 1980 zu mehr als 200 Fahrzeugbränden, von denen nur einer zu einem Grossereignis eskalierte.²

a: International Fire Academy ifa; b: Feuerwehrinspektor Basel-Stadt; c: Feuerwehrinspektor Solothurn; d: Bundesamt für Strassen ASTRA; d: Feuerwehrinspektor Basel-Landschaft; e: Feuerwehr Koordination Schweiz FKS; f: Schweizerische Bundesbahnen SBB.

¹ Schneider / Horvath, 2006: S. 1.

² Auskunft Schadenwehr Gotthard und Hochrechnung auf Grundlage von: Bandmann, 2003, S. 6.

Für die betroffenen Feuerwehren ist bei jeder Alarmierung zu einem Tunnelbrand zunächst offen, ob sich der Einsatz als Kleinbrand erweisen oder zum Grossereignis mit Verletzten und Toten eskalieren wird. Die Wahrnehmung der Feuerwehren lässt sich folglich vereinfachend so zusammenfassen: Viele Ereignisse, von den die meisten glimpflich verlaufen. Die ingenieurwissenschaftliche Fachliteratur beschränkt sich hingegen auf die Betrachtung von Tunnelbränden mit spektakulären Folgen³ und gelangt zu einer anderen Wahrnehmung: Bei Tunnelbränden sind die Feuerwehren vor kaum lösbare Aufgaben gestellt.

Legt man den Fokus auf Brände wie zum Beispiel im Mont-Blanc-Tunnel (1999), Tauern-Strassentunnel (1999), Gotthard-Strassentunnel (2001) oder Simplon-Bahntunnel (2011), dann werden die *Grenzen* des abwehrenden Brandschutzes in Tunneln offensichtlich. Die *Möglichkeiten* des abwehrenden Brandschutzes sind hingegen nur am anderen Ende der Skala des Ausmasses von Brandereignissen zu erfahren: bei den (noch) kleinen Ereignissen, die von den Feuerwehren tatsächlich beherrscht werden können. An einem „Höllenfeuer“ lässt sich studieren, was die Feuerwehr nicht (mehr) zu leisten vermag. Anhand der vielen erfolgreich bewältigten Tunnelbrände können die Feuerwehren hingegen lernen, welche Vorgehensweisen sich besser bewähren als andere. Auf Basis dieser Erfahrungsgrundlage können Taktik und Technik optimiert und die Leistungsgrenzen erweitert werden. Um die Möglichkeiten und Grenzen des abwehrenden Brandschutzes in unterirdischen Verkehrsanlagen auszuloten, sind also folgende Fragen zu klären:

- Was sind die Aufgaben der Feuerwehren?
- Mit welchen Einsatzbedingungen ist zu rechnen?
- Welche Taktiken und Techniken sind geeignet?
- Wie können diese gelehrt und trainiert werden?
- Wie können sich vorbeugender und abwehrender Brandschutz ergänzen?

2 Definitionen

Eine allgemeingültige Definition von Tunnelbränden ist nicht bekannt. Die ingenieurwissenschaftliche Fachliteratur beschränkt sich bei der Auswahl von Fallbeispielen auf folgenschwere Ereignisse. Aus Sicht der Feuerwehren ist das entscheidende Merkmal die *Eindringtiefe*, die

³ Vgl. z.B.: Carvel / Marlair, 2005: S. 10 ff.

als Begriff hier definiert wird. Als Konsequenz aus dieser Definition ergibt sich eine Erweiterung des Begriffes Tunnelbrand zu *Brändereignissen in unterirdischen Verkehrsanlagen*.

2.1 Tunnelbrände

Die Feuerwehr versteht unter Bränden Schadenfeuer, also Brände, die für die Betroffenen keinen Nutzen, sondern einen Schaden nach sich ziehen.⁴ Die International Fire Academy (ifa) definiert als Tunnelbrand ein Schadenfeuer in einer Tunnelanlage, wobei die Brandobjekte zum Beispiel Fahrzeuge, Ladungen oder Bauwerksteile wie etwa Kabel sein können. Unter Tunneln versteht die ifa unterirdische Hohlräume, die als Transportweg für Fahrzeuge, Personen, Medien, Informationen oder Energie dienen.

2.2 Eindringtiefe

Der gravierende Unterschied von Tunnelbränden zu Gebäudebränden besteht in der grossen Eindringtiefe. Darunter versteht die ifa den Weg vom Eingang in ein Bauwerk bis zum Arbeitsbereich der Feuerwehr, unter *grossen* Eindringtiefen Distanzen von mehr als 80 m.

2.3 Unterirdische Verkehrsanlagen

Da alle unterirdischen Verkehrsanlagen grosse Eindringtiefen erfordern können, hat die ifa den Begriff Tunnelbrände zu Brandereignissen in unterirdischen Verkehrsanlagen (UVA) erweitert. Unter UVA werden neben Strassen- und Bahntunneln zum Beispiel auch unterirdische Bahnhöfe, Passagen, Einkaufszentren, Tiefgaragen, Versorgungs-, Energie- und Forschungstunnel verstanden.

3 Aufgaben der Feuerwehr bei Einsätzen in UVA

Eine der wichtigsten Aufgaben der Feuerwehr ist das Retten von Menschen und Tieren aus Brandgefahren und anderen Notlagen⁵. Im Kontext dieser Arbeit ist zwischen Selbstrettung und Fremdrettung

⁴ Vgl. Surwald / Ernst, 2011: S. 44.

⁵ Vgl. z.B. Schweizerisches Reglement Einsatzführung: S. 19; ebenso Feuerwehrgesetz Baden-Württemberg, §2.

sowie der eigentlichen Brandbekämpfung zu unterscheiden und nach deren möglichem Nutzen zu fragen.

3.1 Selbstrettung und Fremdrettung

Konzeptionell betont der etablierte Brandschutz für Tunnelanlagen die Selbstrettung: „Im Brandfall steht die Selbstrettung der Tunnelnutzer im Vordergrund.“⁶ Das tatsächliche Verhalten der Nutzer kann davon erheblich abweichen. Marlair et al. berichten in ihrer Untersuchung des Daegu Metro Fire, dass nur 7 % der Nutzer sofort flüchteten, nachdem sie die akute Gefährdung wahrgenommen hatten; 48 % der Betroffenen warteten zunächst auf weitere Anweisungen.⁷ Frantzich / Nilsson beschreiben die typische Reaktion von Autofahrern auf ein Evakuierungssignal als „sit and wait“⁸. Martens erklärt das Fehlverhalten damit, dass die Betroffenen mit für sie ausserordentlichen Lagen konfrontiert werden und deshalb zum Beispiel das Rotlicht an Portalen von Strassentunneln ignorieren, wenn sie dies so noch nie zuvor erlebt hatten.⁹ Je unklarer die Situation, desto eher zögern die Betroffenen, den Tunnel zu verlassen. Ein wesentlicher Grund für solches Verhalten ist die Verunsicherung der Betroffenen¹⁰. Weitere Gründe können zum Beispiel Schock, Verletzung oder Behinderungen sein.

Aus Sicht der Intervention ist entscheidend, dass sich Personen in Brandgebäuden nicht zwingend so verhalten, wie es für eine erfolgreiche Selbstrettung notwendig wäre. Im Gegenteil ist falsches Verhalten besonders häufig dann zu beobachten, wenn die Aussicht auf eine erfolgreiche Selbstrettung eher gross ist, wenn also zum Beispiel zwar ein Warnsignal zu hören, aber kein Rauch zu sehen ist.¹¹

Einsatzleiter müssen folglich davon ausgehen, dass es nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich ist, dass sich zumindest einzelne Betroffene nicht selbst retten (können). Deshalb zählt das Absuchen insbesondere der (verrauchten) Fluchtwege zu den wichtigsten Einsatzgrundsätzen des abwehrenden Brandschutzes¹².

Es stellt sich also nicht die Frage, ob bei Brandereignissen in UVA Selbstrettung *oder* Fremdrettung zu praktizieren ist. Menschenrettung

⁶ Bundesministerium für Verkehr, 2008: S. 8.

⁷ Vgl. Marlair et al., 2006: S. 21.

⁸ Frantzich / Nilsson, 2006: S. 156.

⁹ Vgl. Martens, 2008, S. 71.

¹⁰ Vgl. Frantzich / Nilsson, ebd.

¹¹ Vgl. Frantzich / Nilsson, ebd.

¹² Vgl. Schröder, 2006: S. 84.

besteht immer aus Selbst- *und* Fremdrettung. Deshalb werden Feuerwehren immer, auch bei langen Tunnelanlagen, Fremdrettung versuchen. Mit welchem Erfolg hängt von den konkreten Gegebenheiten ab: Am 8. Juli 2000 retteten zwei Trupps der Berliner Feuerwehr in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der Berliner Verkehrsbetriebe 350 Love-Parade-Besucher, indem sie diese durch die Tunnelröhre aus den verrauchten Bereichen des U-Bahnhofs Deutsche Oper zur nächsten Station führten.¹³ Die Feuerwehr Zürich rettete 1990 bei einem S-Bahn-Brand im Hirschengraben-Tunnel 180 Personen, von denen 60 stationär in Krankenhäuser aufgenommen werden mussten.¹⁴

Fazit: Auch bei Ereignissen in UVA ist die Fremdrettung als Ergänzung zur Selbstrettung selbstverständliche Aufgabe der Feuerwehr.

3.2 Brandbekämpfung

Einsatztaktisch betrachtet ist die Brandbekämpfung ein mögliches Mittel zu dem Zweck, Menschen und Tiere zu retten und Umwelt-, Sach- und Folgeschäden zu begrenzen. Die Brandbekämpfung beschränkt sich nicht auf den eigentlichen Löschvorgang. Auch Kühlmassnahmen exponierter Objekte und das Abhalten oder Ableiten von Brandrauch sind Bestandteile des komplexen Vorgangs der Intervention.

3.3 Möglicher Nutzen der Intervention durch die Feuerwehr

Für mitteleuropäische Feuerwehren ist der Innenangriff bei Gebäudebränden der Regelantritt: Gefährdete Personen werden aus Brandgefahren herausgeholt, der Brand wird direkt angegriffen. Damit erzielen die Feuerwehren sehr hohe Interventionsleistungen. Nur wenn die Risiken zu hoch sind, beschränkt sich die Feuerwehr auf den Aussenangriff. Grundsätzlich sind die Feuerwehren auch bei Bränden in UVA zum Innenangriff bereit und fähig und können Folgendes leisten:

- Retten von Personen und (selten:) Tieren durch Unterstützung der Selbstrettung und/oder Fremdrettung,
- unmittelbare Schadenbegrenzung,
- Begrenzung der Sanierungs- und Betriebsunterbrechzeiten,
- Minderung der Haftungs- und Reputationsrisiken der Betreiber.

¹³ Vgl. Kircher, 2000.

¹⁴ Aussage Einsatzleiter (Hans Mundwiler).

Deshalb gilt für UVA genauso wie für gewöhnliche Gebäude: Bei rascher und richtiger Intervention können die Feuerwehren den Verlust von vielen hundert Menschenleben (siehe die oben angeführten Beispiele des Brandes im U-Bahnhof Deutsche Oper in Berlin sowie des S-Bahn-Brandes im Hirschengraben-Tunnel in Zürich) und Sachschäden in Millionenhöhe verhindern. Nachfolgend wird diskutiert, unter welchen Voraussetzungen diese Chancen genutzt werden können.

4 Die Einsatzbedingungen für die Feuerwehr

Die Einsatzbedingungen der Feuerwehr in UVA sind (ähnlich wie bei Gebäudebränden) durch vier Parameter zu beschreiben:

- Verrauchung
- Wärmebelastung
- Einsturzgefahren
- Erforderliche Eindringtiefen

4.1 Verrauchung

Mit zunehmender Distanz vom Brandherd kühlt der Rauch immer weiter ab und senkt sich nieder.¹⁵ Durch das Backlayering kann sich Rauch entgegen der Zuströmrichtung ausbreiten.¹⁶ Ausgeblasener Rauch kann umkehren und in die nicht-betroffene Röhre eintreten.¹⁷ Konsequenz: Grundsätzlich besteht bei einem Brand in einer UVA in allen Anlageteilen, die nicht abgeschottet und durch Überdruckbelüftung geschützt sind, die Gefahr einer plötzlichen Verrauchung.

Die Feuerwehren sind standardmässig in der Lage, unter Atemschutz in verrauchten Bereichen zu arbeiten und die damit verbundenen Intoxikationsrisiken auf ein akzeptiertes Mass zu begrenzen.

Bereits bei geringen Brandlasten wie zum Beispiel einem Kleinwagen kann die Sicht bei Bränden in UVA Null betragen¹⁸. Mittels Wärmebildkameras können sich die Einsatzkräfte ausreichend Sicht verschaffen. Nach unseren Erfahrungen ist die Orientierung in verrauchten Bahn- und Strassentunneln einfacher als beispielsweise bei Woh-

¹⁵ Vgl. Schneider / Horvath, 2006: S. 84-85.

¹⁶ Vgl. Schneider / Horvath, 2006, S. 49.

¹⁷ Eigene Beobachtungen der Autoren bei Tunnelbränden und Versuchen in Deutschland und in der Schweiz.

¹⁸ Eigene Brandversuche der ifa.

nungsbränden, da sich die typischerweise zu ertastenden Objekte (Fahrzeug, Fahrbahn, Wände, Schienen, menschliche Körper etc.) gut identifizieren lassen. Da diese Objekte thermisch stark kontrastieren, sind Wärmebilder vergleichsweise einfach zu interpretieren.

4.2 Wärmebelastung

Die vertikale Temperaturschichtung und die konvektive Wärmeverfrachtung bei ventilierten Bränden bewirken, dass bei Tunnelbränden auf der Anströmseite in einer für die Feuerwehr relevanten Höhe von bis zu rund 2 m Lufttemperaturen auftreten können, die für Einsatzkräfte noch gut erträglich sind.¹⁹ Dies kann auf der Zuströmseite auch bei hohen Brandlasten ein Vordringen bis zum Brandherd ermöglichen. Auf der Abluftseite sind aufgrund der Konvektion unerträgliche Einsatzbedingungen zu erwarten²⁰. Bei fehlender oder unzureichender Ventilation sind folglich beidseitig der Brandstelle unerträglich hohe Temperaturen möglich. Bei längsbelüfteten Tunnel treten abluftseitig in den unteren Schichten sogar die höchsten Temperaturen überhaupt auf²¹.

Generell günstig wirken sich grosse Raumhöhen und Volumina aus. In einem Strassentunnel ist die Wärmebelastung der Einsatzkräfte bei der Bekämpfung eines PKW-Brandes kaum zu spüren.²² Unter einer nur 2,20 m hohen Tiefgaragendecke herrschen bei gleicher Brandleistung hingegen kaum noch erträgliche Temperaturen.²³

Bei hohen Brandleistungen treten so starke Wärmestrahlungen auf, dass die Einsatzkräfte ausserhalb der Wurfweite ihrer Strahlrohre gehalten werden.²⁴ Dann ist der Angriff nur aus dem Strahlungsschatten, beispielsweise in der Deckung von Fahrzeugen, vorzutragen.

Die Einsatzbedingung Wärmebelastung ist also differenziert zu betrachten. Die Lufttemperaturen und/oder die Strahlung können so hoch sein, dass ein Vordringen zum Brandherd zu gefährlich wäre. Aber selbst bei Grossbränden können ausreichend günstige Bedingungen für eine wirksame Brandbekämpfung gegeben sein; diese zu finden und zu nutzen ist Standardaufgabe der Brandbekämpfung.

¹⁹ Vgl. Blennemann, 2005: Sn. 55,57.

²⁰ Vgl. Guigas et al., 2006: S. 235.

²¹ Vgl. Schneider / Horvath, 2006: S. 54.

²² Praktische Brand- und Löschversuche der ifa

²³ Eigene Versuche der ifa in den Tunnel- und Parkhaus-Übungsanlagen Balsthal.

²⁴ Vgl. z.B. Martin et al., 2005.

4.3 Einsturzgefahren

Viele Fallbeispiele von Tunnelbränden beschreiben den Einsturz von (abgehängten) Tunneldecken²⁵. Vom Felsgewölbe selbst drohen bei fertiggestellten Tunneln in der Regel keine Einsturzgefahren.²⁶ Den Fallbeispielen nach zu urteilen beschränken sich die Einsturzgefahren auf die Deckenbereiche über oder unmittelbar neben Brandstellen. Eine zuverlässige Methode zur Beurteilung der Einsturzgefahren unter Einsatzbedingungen ist uns nicht bekannt.

4.4 Erforderliche Eindringtiefen

Atemgifte, Sichtnahme, Wärmebelastung und Einsturzgefahren sind den Feuerwehren aus der täglichen Einsatzpraxis vertraut. Gravierend andere Einsatzbedingungen als bei Gebäudebränden ergeben sich aus den erforderlichen Eindringtiefen. Diese entsprechen nicht zwingend der Tunnel-Länge. Entscheidend für die erforderlichen Eindringtiefen sind die Abstände zwischen den Notausgängen, die entweder in einen parallel laufenden Sicherheitsstollen, eine Parallelröhre oder (beispielsweise über Rettungsschächte) direkt ins Freie führen.

5 Taktik und Technik für Einsätze in UVA

Wie oben gezeigt, ergibt sich die wesentliche Komplikation von Einsätzen in UVA im Vergleich zu gewöhnlichen Gebäudebränden aus den räumlichen Dimensionen. Betragen die Fluchtwege in Standardbauten je nach anzuwendender Verordnung maximal 70 m²⁷, lassen die nationalen Umsetzungen der EU-Richtlinie²⁸ für Strassentunnel Fluchtwege bis zu 500 m zu. Bei Tunneln im Bestand betragen die Fluchtwege mitunter mehrere Kilometer, zum Beispiel im Tunnel Sachseln im schweizerischen Kanton Obwalden.

Aufgrund dieser räumlichen Dimensionen werden die Interventionsmöglichkeiten primär durch die Vordringgeschwindigkeit der Einsatzkräfte und deren Reichweite als Funktion von Vorrat und Verbrauch der Atemluft limitiert. Daraus ergeben sich die Rahmenbedingungen für die Entwicklung zielführender Einsatztaktiken und -techniken.

²⁵ Vgl. z.B. Borghi / Perugini.

²⁶ Vogel et al., 2009, S. 160.

²⁷ Vgl. z.B. Klingsohr, 1991, Sn. 104-105.

²⁸ EU-Tunnelrichtlinie, Anhang I, Absatz 2.3.8.

5.1 Vordringgeschwindigkeiten

Versuche zur Vordringgeschwindigkeit wurden von den Feuerwehren Stockholm (2002)²⁹, Wien (2004)³⁰ und Stuttgart sowie von der ifa (2006)³¹ durchgeführt. Die ermittelten Werte sind nicht direkt vergleichbar, weil die Versuche unter ungleichen Bedingungen durchgeführt und dabei unterschiedliche Vorgehensweisen angewandt wurden, woraus alle Autoren die Notwendigkeit eines standardisierten Verfahrens ableiten. Dennoch liefern die Versuchsergebnisse erste Anhaltspunkte.

Vorgehensweise / Tätigkeit / Aufgabe	Erzielte Geschwindigkeit [m/min]	Quelle
Vordringen in verrauchtem Tunnel mit trockenem Schlauch	4	FW Stockholm
Vordringen in nicht verrauchtem Tunnel mit wassergefülltem Schlauch	18	FW Stockholm
Vordringen in verrauchtem Industriegebäude	6	FW Stockholm
Stark verrauchter U-Bahntunnel	5	FW Wien
Verrauchung bei Übung in U-Bahntunnel	12	FW Wien
Nicht näher spezifiziert	20	FW Wien
Rettung von Personen	10	FW Wien
Erkunden (schnelles Durchgehen durch Tunnel mit Wärmebildkamera)	31	ifa
Eindringen mit Einflaschengerät	4	FW Stuttgart
Eindringen mit Zweiflaschengerät	6	FW Stuttgart
Eindringen mit Kreislaufgerät BG 4 -1	6	FW Stuttgart
Eindringen mit Kreislaufgerät BG 4 -2	6	FW Stuttgart
Absuchen von Fahrzeugen in verrauchtem Tunnel mit Wärmebildkamera	11	ifa

Tabelle 1: Ermittelte Vordringgeschwindigkeiten³² (Werte gerundet).

Von den ifa-Versuchen wurden jeweils die Bestwerte genannt. Viele Trupps benötigten erheblich länger; die niedrigste Geschwindigkeit lag bei 3 m/min. Als entscheidende Faktoren für die erreichbare Vordringgeschwindigkeit wurden in den ifa-Versuchen erkannt:

²⁹ Bergqvist, 2006.

³⁰ Peter, 2005.

³¹ ifa, 2006.

³² Bergqvist, 2006; Peter, 2005; BF Stuttgart, 2011; ifa, 2006.

- Einsatzerfahrung der Trupps,
- Ausbildungs- beziehungsweise Trainingsstand,
- angewandte Suchtechnik,
- richtiger Einsatz von Wärmebildkameras,
- Sicherungstechnik.

Einsatzerfahrene Kräfte waren bereits im ersten Versuchsdurchlauf erwartungsgemäss schneller als weniger erfahrene. Diese steigerten ihre Geschwindigkeit jedoch bereits in einem zweiten Durchlauf erheblich. Der Einsatz von Wärmebildkameras führte zu einer markanten Geschwindigkeitssteigerung und einer höheren Trefferquote bei der Personensuche. Sichern die Trupps ihren Rückweg mittels eines (trockenen) Schlauchs oder Sicherungsleinen, verlieren sie erheblich an Geschwindigkeit. Teilweise verhedderten sich die Trupps in den Leinen. Nutzten die Trupps nur optische beziehungsweise akustische Rückzugsicherungen, konnten sie sich schneller vorwärts und freier in den abgesuchten Fahrzeugen (z.B. Reisebus) bewegen.

Die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Sicherungstechniken diskutiert der Abschnitt Taktiken und Techniken.

5.2 Reichweiten

Die Reichweiten werden massgeblich von der Vordringgeschwindigkeit, der eingesetzten Atemschutztechnik und dem Atemluftverbrauch der Einsatzkräfte bestimmt. Nach den Erfahrungen der ifa und in Übereinstimmung mit den Arbeiten von Peter³³ kommen für Einsätze in UVA generell nur Zweiflaschengeräte mit einem Luftvorrat von rund 3'600 l oder Kreislaufgeräte in Betracht.

Unter Berücksichtigung verschiedener Vordringgeschwindigkeiten, des je nach Tätigkeit unterschiedlich hohen Luftverbrauchs und der erforderlichen Reservebildung kalkulieren Peter³⁴ und ifa³⁵ übereinstimmend eine maximale Reichweite von rund 600 m beim Einsatz von Zweiflaschengeräten. Beim Einsatz von Kreislaufgeräten können theoretisch erheblich höhere Reichweiten erzielt werden, die in der Praxis jedoch durch die Belastbarkeit der Geräteträger begrenzt werden, diesen aber mehr Sicherheit bieten.

³³ Vgl. Peter, 2005.

³⁴ Vgl. Peter, 2005: S. 27.

³⁵ Vgl. ifa, 2006, S. 22.

Aufgrund der bislang verfügbaren Versuchsergebnisse ist davon auszugehen, dass erforderlichen Eindringtiefen von bis zu 500 m bei Einsatz von Zweiflaschengeräten für durchschnittlich leistungsfähige und entsprechend ausgebildete beziehungsweise trainierte Atemschutzgeräteträger zu bewältigen sind.

5.3 Taktische Grundsätze für den Einsatz in UVA

Es kann hier nur auf die wesentlichen Unterschiede zu Einsätzen in gewöhnlichen Gebäuden eingegangen werden. Dabei wird die Beachtung allgemeiner taktischer Grundsätze als gegeben vorausgesetzt.

5.3.1 Löschen um zu retten

Je höher die Brandleistung, je stärker die Rauchproduktion und je weiter die Ausdehnung des Rauchs innerhalb der UVA, desto schwieriger wird es, Personen im Rauch zu finden und rechtzeitig zu retten. Deshalb propagiert die ifa in Übereinstimmung mit vielen anderen Feuerwehren, die sich intensiv mit der UVA-Problematik befasst haben³⁶, die prioritäre Brandbekämpfung, um die Rauchproduktion so schnell als möglich zu unterbinden. Die ifa formuliert diesen taktischen Grundsatz als „Löschen um zu retten“. Daraus ergibt sich folgende (stark vereinfacht dargestellte) generelle Vorgehensweise:

- Unterstützung der Fremdrettung
- Lokalisierung des Brandes
- Sofortige Brandbekämpfung
- Einleitung des Such- und Rettungseinsatzes.

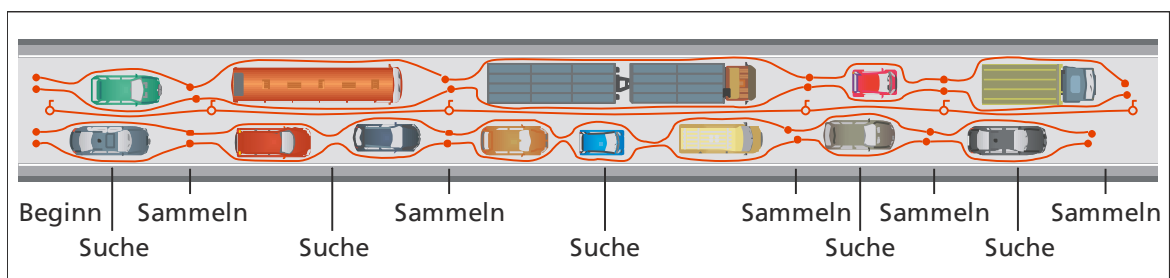
Eine praktische Konsequenz dieses Grundsatzes ist, dass ein Tunnelbrand immer von beiden Portalseiten angegangen werden sollte und diejenige Feuerwehr die Brandbekämpfung aufnimmt, die den Brandort (unter Berücksichtigung der Anmarschwege, Verkehrsbedingungen usw.) als erste erreichen kann. Dies verlangt eine intensive Kommunikation zwischen den Führungskräften der eingesetzten Einheiten bereits während der Anfahrt zum Tunnel.

³⁶ Vgl. z.B. Bergqvist, 2006, S. 281.

5.3.2 Suchtaktik

Die Suchtaktik orientiert sich an den allgemeinen Einsatzgrundsätzen³⁷, wonach zunächst eine Erkundung durchzuführen ist. Auch für UVA gilt: Ohne Lagefeststellung ist keine systematische Einsatzplanung³⁸ möglich. Die ifa propagiert deshalb den Einsatz eines Erkundungstrupps, der mittels Wärmebildkamera den Abschnitt zwischen zwei Notausgängen hinsichtlich Verrauchung, Fahrzeugdichte, Art der Fahrzeuge (Reisebusse, Gefahrguttransporte) erkundet und klärt, ob der nächstgelegene Notausgang passierbar ist. Wie zuvor gezeigt können Erkundungstrupps mit Zweiflaschengeräten Strecken von bis zu 500 m sicher bewältigen. Treffen Sie dabei auf Personen, ist situativ zu entscheiden, ob diese vom Erkundungstrupp oder nachfolgenden Einheiten in Sicherheit zu bringen sind. Der Erkundungstrupp erkundet und führt die Erstsuche³⁹ durch, wie sie z.B. Cimolino definiert.

Die Zweitsuche erfolgt durch einen nachfolgenden Suchtrupp, den die ifa für eine Tunnelröhre mit zwei Fahrbahnen als Staffel (oder in Schweizer Feuerwehrterminologie: Fünfertrupp) konfiguriert: Je zwei Truppleute suchen ein Fahrzeug ab, wobei sie sich jeweils vor dem Fahrzeug auf dessen Seiten teilen und, indem sie stets am Fahrzeug bleiben, unweigerlich wieder zueinanderfinden. Koordiniert werden die beiden Zweiertrupps durch den Staffelführer, der dafür nach unseren Erfahrungen zwingend mit einer Wärmebildkamera ausgestattet sein muss. Die mit dieser Taktik erzielbaren Vordringeschwindigkeiten sollen im Laufe von 2012 in gemeinsamen Versuchen mit der Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg ermittelt werden.



Schemadarstellung der ifa-Suchtaktik mit Fünfertrupp (Staffel).

³⁷ Vgl. z.B. Reglement Einsatzführung.

³⁸ Gemeint ist hier die Planung im Einsatz als Unterschied zur Einsatzvorbereitung.

³⁹ Vgl. z.B. Cimolino, 2003.

5.3.3 Sicherungstechnik

Etablierte Einsatzgrundsätze verlangen die mechanische Rückwegsicherung mittels beispielsweise Schlauch oder Leine. Wie im Abschnitt Vordringgeschwindigkeiten diskutiert, können diese Sicherungseinrichtungen bei Einsätzen in Tunneln zu Verzögerungen und zu Behinderungen der Einsatzkräfte führen. Nach den Erfahrungen der ifa kann in Tunneln unter bestimmten Voraussetzungen, insbesondere einer entsprechenden Ausbildung der Einsatzkräfte, auf die mechanische Sicherung verzichtet werden: Nach unseren Erfahrungen ist die Orientierung in einem Tunnel einfacher als in Gebäuden mit heterogener Möblierung. Es gibt nur zwei Richtungen: diese können eindeutig identifiziert werden. Die Einsatzkräfte können sich kaum verirren⁴⁰. Um zu verhindern, dass Ausgänge überlaufen werden, kennzeichnet die ifa diese mit Markierleuchten, die auch bei starker Verrauchung zu erkennen sind⁴¹. Die von der ifa gelehrtete Sicherungstechnik setzt jedoch zwingend eine genaue Kenntnis des Bauwerkes voraus und muss intensiv trainiert werden.

6 Ausbildung und Training

Eine umfassende Darstellung der (von der ifa praktizierten) UVA-Ausbildung würde hier zu weit führen. Wir diskutieren das Thema Ausbildung und Training nur unter dem Aspekt der Möglichkeiten und Grenzen des abwehrenden Brandschutzes.

6.1 Ausbildungs- und Übungsbedarf

Aufgrund ihrer Standardausbildung und -ausstattung sind Feuerwehren grundsätzlich zu Einsätzen in UVA fähig. Sie verfügen über Mittel und Methoden, sicher mit Hitze und Rauch umzugehen; dies ist das charakteristische Merkmal des Feuerwehrhandwerks. Den meisten Feuerwehren fehlt jedoch konkrete Erfahrung mit grossen Eindringtiefen. Dies kann dazu führen, dass die Einsatzkräfte unnötigen Risiken ausgesetzt werden oder die tatsächlich gegebenen Interventionsmöglichkeiten nicht optimal ausschöpfen können.

Ziel einer speziellen UVA-Ausbildung muss also sein, die einsatzrelevanten Unterschiede zwischen gewöhnlichen (= vertrauten) Bauwer-

⁴⁰ Dies gilt so nur für Tunnel ohne Abzweigungen.

⁴¹ Eigene Versuche der ifa.

ken zu zeigen und erfahrbar zu machen, damit die Führungskräfte geeignete Taktiken entwickeln und sich die Frontkräfte mit den besonderen Bedingungen von UVA vertraut machen können.

6.2 Ausbildungs- und Übungsangebote

Der Umgang mit Hitze und Rauch kann in vielen Objekten und idealerweise in Brandhäusern geübt werden. Um die Einsatzkräfte mit den besonderen Herausforderungen grosser Eindringtiefen vertraut zu machen, sind zwingend hinreichend lange Bauwerke erforderlich. Ideal geeignet sind reale Tunnel. Die stehen den Feuerwehren zeitlich jedoch nur selten zur Verfügung. Für die Breitenausbildung stellt sich damit die Aufgabe, die verfügbaren Zeitfenster (zum Beispiel während Wartungsarbeiten in Tunneln) optimal zu nutzen und/oder geeignete Ersatzobjekte zu schaffen.

Um Taktiken und Techniken für Such- und Rettungseinsätze und die Brandbekämpfung einschliesslich des Einsatzes mobiler Grosslüfter zu entwickeln und zu erproben, bedarf es spezieller UVA-Übungsanlagen wie sie zum Beispiel die ifa im Auftrag der Schweizerischen Eidgenossenschaft in Balsthal und in Lungern erstellte⁴² und auf denen seit Aufnahme des regulären Betriebes in 2009 bereits mehr als 3.400 Feuerwehrleute aus der Schweiz und anderen europäischen Ländern ausgebildet wurden. Aufgrund ihrer Komplexität bieten diese Anlagen die Möglichkeit, alle nur erdenklichen Einsatzsituationen in UVA realistisch darzustellen, um in Zusammenarbeit mit den Feuerwehren die jeweils optimale Vorgehensweise zu erarbeiten.

7 Schlussfolgerungen: Leistungsgrenzen erweiterbar

Bei Tunnelbränden können Temperaturen von mehr als 1.000 °C entstehen.⁴³ Wer mit der Arbeitsweise der Feuerwehren nicht vertraut ist, mag daraus vorschnell den Schluss ziehen, die Feuerwehr stünde solchen Bränden machtlos gegenüber. Dann aber könnten die Feuerwehren auch bei Wohnungsbränden nichts ausrichten, treten doch auch hier Temperaturen von mehr als 1.000 °C auf⁴⁴.

⁴² Siehe auch: www.ifa-swiss.ch.

⁴³ Vgl. z.B. Schneider / Horvath, 2006: S. 45.

⁴⁴ Vgl. z.B. Drysdale, 1999: S. 351.

Die Kunst des Feuerwehrhandwerks besteht darin, Einsatzbedingungen zu differenzieren und in einer lebensfeindlichen Arbeitsumgebung Wege zu finden, über die ein Vordringen zu und Arbeiten in den Gefahrenbereichen mit kalkulierbarem Risiko möglich ist. Spezielle Techniken wie Brandschutzkleidung und Atemschutz allein genügen nicht, weil auch deren Schutzwirkung begrenzt ist. Entscheidend ist die Fähigkeit, die konkreten Einsatzbedingungen ad hoc richtig zu beurteilen und das Machbare von zu hohen Risiken zu unterscheiden.

Um die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen des abwehrenden Brandschutzes beantworten zu können, bedarf es also einer differenzierten Betrachtung der Einsatzbedingungen, wie sie in den vorangehenden Abschnitten skizziert wurden. Zusammenfassend ergeben sich dann folgende Möglichkeiten und Grenzen:

7.1 Möglichkeiten

Auch in UVA können Feuerwehren Brände sicher unter Kontrolle bringen, ehe grosser Schaden entsteht. Sie können Menschen ergänzend zur Selbstrettung aus Gefahrenbereichen retten und die Umwelt-, Sach- und Folgeschäden wirksam begrenzen.

7.2 Grenzen

Für den Einsatzerfolg der Feuerwehr ist entscheidend, *wann* die Intervention wirksam wird. Es kommt nicht darauf an, ob z.B. ein Suchtrupp einen Menschen findet, sondern dass ihm dies vor Überschreiten der (zeitlichen) Reanimationsgrenze gelingt.

Deshalb macht es aus Sicht der Interventionspraxis keinen Sinn, die Interventionsgrenzen in Form physikalischer Grössen wie etwa Brandleistungen zu beschreiben. Je nach konkreter Lage kann das Löschen eines Kleinwagenbrandes schwieriger sein als die Bekämpfung eines LKW-Brandes. Der tatsächlich relevante physikalische Grenzwert ist, wie in den vorangehenden Abschnitten gezeigt, die erforderliche Eindringtiefe. Je länger die Wege im Objekt, desto grösser die Verzögerung aller Einsatzabläufe. Bei einer Geschwindigkeit von zum Beispiel 30 m/min benötigt ein Suchtrupp zum Absuchen einer 500 m langen Strecke 16 min, innerhalb derer eine erfolgreiche Rettung noch gelingen könnte. Beträgt die Distanz zwischen den Notausgängen aber 2 km und die Suchzeit eines mit Kreislaufgeräte ausgestatten Trupps knapp 1 h, ist die Rettungschance minim.

Vor diesem Hintergrund gehen wir beim heutigen Kenntnisstand davon aus, dass die mögliche Interventionsleistung beim Suchen und Retten ab einer Eindringtiefe von rund 500 m rapide abnimmt. Bis zu Distanzen von 500 m bestehen grundsätzlich gute Chancen, Menschen (ergänzend zur Selbstrettung!) zu retten.

Bei der Brandbekämpfung verhält es sich mit den Interventionsgrenzen in UVA gleich wie bei Gebäudebränden: Je früher die Löschnmassnahmen wirksam werden, desto eher kann der Brand unter Kontrolle gebracht werden. Hier kann beim heutigen Stand davon ausgegangen werden, dass ventilierte Brände auf der Anströmseite eher gut zugänglich sind. Bei Ausbreitung von Wärme und Rauch nach beiden Seiten kann sich die Brandbekämpfung hingegen erheblich verzögern.

7.3 Erweitern der Leistungsgrenzen

Aufgrund der allgemeinen Erfahrungen in der Brandbekämpfung macht es nach Auffassung der ifa wenig Sinn, die Einsatzgrenzen physikalisch noch weiter auszudehnen. Es sei auf die aktuelle Diskussion in Feuerwehr-Fachkreisen verwiesen, ob die Einsatzkräfte nicht schon heute häufig zu weit in aufgeheizte Bereiche vordringen.⁴⁵ Stattdessen zielen die ifa-Entwicklungen darauf ab, die mit grossen Eindringtiefen einhergehende zeitliche Verzögerung zu kompensieren.

Wir beobachten, dass praktisch alle Phasen von UVA-Einsätzen beschleunigt werden können, ohne die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gefährden oder die Arbeitsqualität zu schmälern. Bereits die Einsatzvorbereitung und die Gestaltung der Alarm- und Ausrückeordnungen bieten Optimierungspotenzial, erst recht aber die Strukturierung von Entscheidungsfindungsprozessen der Einsatzleiter und die Routinebildung bei typischen Einsatzaufgaben wie Erkunden, Suchen und Retten im Rauch oder dem Aufbau der Wasserversorgung durch lange Fahrzeugkolonnen hindurch.

Viele Massnahmen müssen anlagenspezifisch angepasst werden, weshalb eine genaue Kenntnis der jeweiligen UVA zwingende Voraussetzung für eine rasche Intervention ist. Umgekehrt kann – auf allen Führungsstufen – durch Unsicherheiten bei der Lagefeststellung und -beurteilung die für einen Erfolg erforderliche Zeit verlorengehen.

⁴⁵ Vgl. zum Beispiel Informationsplattform www.atemschutzunfaelle.de

Fazit: Bereiten sich die Feuerwehren auf Einsätze in UVA gleichermaßen vor wie auf Einsätze in gewöhnlichen Gebäuden, dann können sie auch in Tunnels und ähnlichen Anlagen entscheidend zur Begrenzung der Schäden und Folgen beitragen.

8 Ausblick

Die ifa wird zeitnah versuchen, den relativen Zeitbedarf unterschiedlicher Taktiken und Techniken in repräsentativen Versuchen zu ermitteln; unter anderem um verlässliche Grundlagen für eine zuverlässige Kalkulation des wegabhängigen Zeitbedarfs für Atemschutzeinsätze zu bieten.

Von den Ingenieurwissenschaften könnten fundierte Aussagen zu den Einsatzbedingungen der Feuerwehren beigetragen werden. Bisher fokussiert die Forschung auf die Auswirkungen von Bränden auf Tunnelnutzer, Bauwerke und das anlagenseitige Lüftungsmanagement. Für die Feuerwehren wären dezidierte Aussagen beispielsweise darüber nützlich, wie sie akute Einsturzgefahren zuverlässig beurteilen und Standfestigkeiten überprüfen können oder wie mobile Grosslüfter optimal eingesetzt werden können.

9 Literaturnachweis

Bandmann (2003): Vortrag020603_mit Folien.doc. Online verfügbar unter www.efuc.org/old/sudenburg03/papers/12-Bandmann.pdf, zuletzt aktualisiert am 03.07.2003, zuletzt geprüft am 26.02.2012.

Beard, Alan; **Carvel**, Richard (Hg.) (2005): The handbook of tunnel fire safety. London: Thomas Telford.

Bergqvist, Anders (2006): What can the fire brigade do about tunnel fires? In: INTEVIA Technical Institute of Traffic and Transportation (Hg.): 2nd International Symposium on Tunnel Safety & Security. 1. Aufl. Madrid, S. 277–285.

BF Stuttgart (2011): Das UVA-Konzept der BF Stuttgart, Vortrags-Handout

Blennemann, Friedhelm; **Girnau**, Günter; **Grossmann**, Helmut; **Pütz**, Ralph; **Schreyer**, Jörg (2005): Brandschutz in Fahrzeugen und Tunneln des ÖPNV. Fire protection in vehicles and tunnels for public transport. Düsseldorf: Alba-Fachverlag.

Borghi, Marco; **Perugini**, Antonio (Hg.) (2003): Gestione di una catastrofe e responsabilità. Insegnamenti e proposte normative scaturiti dall' incidente del 24 ottobre 2001 nella galleria stradale del San Gottardo. Basel ; Genève ; München: Helbing und Lichtenhahn.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung /. Bundesanstalt für Strassenwesen (Hg.) (2008): Sicherheit geht vor - Strassentunnel in Deutschland. Informationen für Verkehrsteilnehmer und Verkehrsteilnehmerinnen. Bonn.

- Carvel**, Richard; **Marlair**, Guy (2005): A history of fire incidents in tunnels. In: Alan Beard und Richard Carvel (Hg.): The handbook of tunnel fire safety. London: Thomas Telford, S. 3–41.
- Cimolino**, Ulrich (2003): Suchen und Retten. In: Arvid Graeger und Ulrich Cimolino (Hg.): Einsatz- und Abschnittsleitung. Das Einsatz-Führungs-System (EFS). 1. Aufl. Landsberg: Ecomed Sicherheit, S. 277–299.
- Drysdale**, Dougal (1999): An introduction to fire dynamics. 2nd. Chichester ;, New York: Wiley.
- Frantzich**, Hakan; **Nilsson**, Daniel (2006): Human Behaviour in Tunnel Fires - Reality and Modelling. In: INTEVIA Technical Institute of Traffic and Transportation (Hg.): 2nd International Symposium on Tunnel Safety & Security. 2nd International Symposium on Tunnel Safety & Security. Madrid, 15.-17. März 2006. 1. Aufl. Madrid, S. 135–163.
- Graeger**, Arvid; **Cimolino**, Ulrich (Hg.) (2003): Einsatz- und Abschnittsleitung. Das Einsatz-Führungs-System (EFS). 1. Aufl. Landsberg: Ecomed Sicherheit.
- Guigas**, Xavier; **Weatherill**, Alain; **Bouteloup**, Christian (2006): Water Mist Tests for the A86 East Tunnel. In: INTEVIA Technical Institute of Traffic and Transportation (Hg.): 2nd International Symposium on Tunnel Safety & Security. 1. Aufl. Madrid, S. 233–241.
- ifa** (2006): Bericht über die Versuche vom 11.4.2006.; Internes Dokument, nicht veröffentlicht..
- INTEVIA Technical Institute of Traffic and Transportation** (Hg.) (2006): 2nd International Symposium on Tunnel Safety & Security. 1. Aufl. Madrid.
- Kircher**, Frieder: Feuer im U-Bahnhof Deutsche Oper. Grosseinsatz während der Love Parade in Berlin. In: *Brandschutz* (9/2000), S. 883–893.
- Klingsohr**, Kurt (1991): Vorbeugender baulicher Brandschutz. 3. Aufl. Stuttgart, Stuttgart: Kohlhammer; Dt. Gemeindeverl.
- Marlair**, Guy; **Le Coze**, Jean-Christophe; **Woon-Hyung**, Kim (2006): The Daegu Metro Fire: A Review of Technical and Organizational Issues. In: INTEVIA Technical Institute of Traffic and Transportation (Hg.): 2nd International Symposium on Tunnel Safety & Security. 1. Aufl. Madrid, S. 15–25.
- Martens**, M.H (2008): Modelling human behaviour in tunnels - Expectations and reality. In: Peter J. Sturm (Hg.): New developments in tunnel safety. 4th International Conference Tunnel Safety and Ventilation, 21. - 23. April 2008, Graz University of Technology. International Conference Tunnel Safety and Ventilation; Symposium Tunnel Safety and Ventilation; Tagung Sicherheit und Belüftung von Tunnelanlagen. Graz: Verl. der Techn. Univ., S. 67–73.
- Martin**, Jean-Claude; **Delémont**, Olivier; **Calisti**, Claude (2005): Tunnel fire investigation II: The St Gotthard Tunnel fire, 24 October 2001. In: Alan Beard und Richard Carvel (Hg.): The handbook of tunnel fire safety. London: Thomas Telford, S. 53–76.
- Peter**, Frank (2005): Vorbereitende Massnahmen zur Durchführung von Feuerwehreinsätzen in Tunnels. In: VdS Schadenverhütung (Hg.): Brandschutz in Tunnelanlagen. Brandschutz in Tunnelanlagen. Köln, 19. und 20. Oktober 2005. VdS Schadenverhütung. 1. Band. 1. Aufl. Köln: VdS Schadenverhütung.
- Schneider**, Ulrich; **Horvath**, Johannes (2006): Brandschutz-Praxis in Tunnelbauten. Brandverhalten, Brandschutzmassnahmen, Sanierung ; mit Projektbeispielen. 1. Aufl. Berlin: Bauwerk-Verl.
- Schröder**, Hermann (1995): Einsatztaktik für den Gruppenführer. 14. Aufl. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.
- Schröder**, Hermann (2006): Brandeinsatz. Praktische Hinweise für die Mannschaft und Führungskräfte. 2. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.

Sturm, Peter J. (Hg.) (2008): New developments in tunnel safety. 4th International Conference Tunnel Safety and Ventilation, 21. - 23. April 2008, Graz University of Technology. International Conference Tunnel Safety and Ventilation; Symposium Tunnel Safety and Ventilation; Tagung Sicherheit und Belüftung von Tunnelanlagen. Graz: Verl. der Techn. Univ.

Suhrwald, Wilhelm; **Ernst**, Armin (2011): Feuerwehrgesetz für Baden-Württemberg. Praxiskommentar mit Landeskatastrophenschutzgesetz und Feuerwehrmustersatzung. 8. Aufl. Begründet von Wilhelm Suhrwald. Stuttgart, München, Hannover, Berlin, Weimar, Dresden: Boorberg.

VdS Schadenverhütung (Hg.) (2005): Brandschutz in Tunnelanlagen. Brandschutz in Tunnelanlagen. Köln, 19. und 20. Oktober 2005. VdS Schadenverhütung. 1 Band. 1. Aufl. Köln: VdS Schadenverhütung.

Vogel, Thomas; **Zwicky**, Daia; **Joray**, Dominic; **Diggelmann**, Martin; **Høj**, Niels Peter: Tragsicherheit bestehender Kunstbauten; Forschungsauftrag AGB 2005/107, Bericht Nr. 623. Schweizerische Eidgenossenschaft; Bundesamt für Strassen, Bern.

Feuerwehrgesetz für Baden-Württemberg, vom 02.03.2010.

EU-Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz. EU-Tunnelrichtlinie.

Reglement Einsatzführung, herausgegeben durch Feuerwehr Koordination Schweiz FKS, 2011.