

Sicherheit und Schutz von Straßentunneln - Aktuelle Fragestellungen und Entwicklungen

Tagungsband

16. Juni 2009

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

bast
Bundesanstalt für Straßenwesen

Inhalt

Sicherheit von Straßentunneln in Deutschland	3
Forschung zum Schutz von Verkehrsinfrastrukturen	7
Sicherheitsmanagement für Straßentunnel – Erfahrung aus Österreich	15
Risikoanalysen nach RABT 2006	17
Neue Wege im Betrieb eines Tunnels	29
Gefahrguttransporte durch Straßentunnel – Bewertungsverfahren	33
Berichtswesen nach EG-Tunnelrichtlinie und RABT 2006	39
Forschung zur zivilen Sicherheit von Straßentunneln	43
Untersuchungen von kurzzeitdynamischen Ereignissen in Tunneln	47
Psychologische Aspekte zur Sicherheit im Tunnel	53
Verhaltens- und wahrnehmungsbasierte Flucht- und Evakuierungssimulation	57
Ereignisdetektion mittels digitaler Bildauswertung	63
Akustische Auslegung von Straßentunneln	73
Verhaltensanweisungen bei Notsituationen in Straßentunneln	79

Sicherheit von Straßentunneln in Deutschland

von MR Dipl.-Ing. Joachim Naumann,
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

1. Einleitung

Ziemlich genau 10 Jahre ist es her, dass im Mont Blanc Tunnel ein verheerender Brandunfall vielen Menschen das Leben gekostet hat. Dies, und weitere Unfälle im Tauern- und im Gotthardtunnel waren damals Anlass, die Sicherheit von Straßentunneln und auch von Eisenbahntunneln nochmals grundlegend zu überprüfen. Nach ersten Analysen musste man erkennen, dass trotz moderner Ausstattungs- und Betriebssysteme die Möglichkeiten zur Selbstrettung in den ersten Minuten nach einem Brandereignis nicht ausreichend für die Tunnelnutzer bekannt und organisiert war. Außerdem musste erkannt werden, dass auch die Fremdrettung nicht in allen Fällen optimal war, insbesondere wenn grenzüberschreitende Transitstrecken wie beim Mont Blanc Tunnel betroffen waren.

Die Folge waren vielfältige Aktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene, bei denen aktuelle Erfahrungen ausgetauscht und neue Forschungsergebnisse vorgestellt wurden. Alle Sicherheitsstandards wurden dabei einer Prüfung unterzogen und Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert. In einem gemeinsamen Kraftakt der in der EU zusammengeschlossenen Länder flossen schließlich die Ergebnisse in eine „Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen für die Sicherheit von Tunneln im Transeuropäischen Netz“ (EU-Tunnelrichtlinie) ein, die als Grundlage für die jeweilige nationale Umsetzung von der EU-Kommission verbindlich eingeführt wurde. In Deutschland sind diese Vorgaben inzwischen durch die neue Ausgabe 2006 der „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ (RABT) umgesetzt und damit Vorgabe für neue und bestehende Tunnel.

Im Rahmen eines umfangreichen Nachrüstungsprogramms wird die Anpassung nun nach und nach bei bestehenden Tunneln durchgeführt mit dem Ziel, bis etwa 2013 alle Tunnel auf den neuesten Sicherheitsstandard zu bringen. Für Tunnel in Bundesfernstraßen sind hierzu Investitionskosten von rund 700 Mio. € vorgesehen, die etwa zu gleichen Teilen für die erforderliche bautechnische und sicherheitstechnische Anpassung eingesetzt werden.

2. Tunnelbestand

In den letzten beiden Jahrzehnten hat der Bestand an Straßentunneln in Deutschland im Vergleich zum Zuwachs des Straßennetzes weit überproportional zugenommen. So hat sich die Anzahl der Tunnel in Bundesfernstraßen von 76 in 1990 bis 2007 auf 220 Straßentunnel verdreifacht. Im gleichen Zeitraum stieg die Gesamtröhrenlänge von 55 auf über 217 km. Ende 2007 waren weitere 26 Tunnel in Bau, 47 Tunnel in Planfeststellungsverfahren oder in der Phase der Bauvorbereitung und 70 Tunnel in der Vorplanung. Insgesamt sind in Deutschland 340 Straßentunnel mit einer Röhrenlänge von fast 300 km unter Betrieb. Der längste Straßentunnel ist der nach wie vor der 2003 für den Verkehr freigegebene Rennsteigtunnel im Thüringer Wald mit fast 8 km Länge, der bereits nach modernsten Sicherheitsstandard ausgerüstet ist und beim ADAC-Sicherheitstest 2004 mit der Note sehr gut bewertet wurde.

Rund 51 % der Straßentunnel in Bundesfernstraßen sind Tunnel mit nur einer Röhre, die im Gegenverkehr betrieben werden. Entsprechend den neueren Erkenntnissen ist hier insbesondere bei längeren Tunneln mit hoher Verkehrsbelastung Nachrüstungsbedarf, um z. B. die Lüftungssysteme zu verbessern und die Möglichkeiten zur Selbstrettung über zusätzliche Fluchtwege zu erweitern.

Der weiterhin starke Zuwachs an neuen Tunnelbauwerken begründet sich einerseits darin, dass z. B. bei Ortsumgehungen auf Grund der beengten Verhältnisse oft nur noch Tunnelstrecken als Lösung in Frage kommen und andererseits gestiegene Anforderungen an Lärm- und Landschaftsschutz abschnittsweise nur durch eine Überdeckung der Straßen realisiert werden können. Hierzu werden

inzwischen auch innovative Lösungen mit transparentem Glasdach eingesetzt, wie z. B. bei der Lärmschutzeinhausung Hösbach im Zuge der A 3 oder die Lärmschutzeinhausung Köln-Lövenich im Zuge der A 1, die zur Zeit in Bau ist. Diese Bauwerke werfen allerdings neue sicherheitstechnische Fragen auf, die durch umfangreiche Untersuchungen zu klären sind.

3. Regelwerke für Straßentunnel

Aufgrund der vielfältigen und komplexen Anforderungen, die heute in technischer und betrieblicher Hinsicht an Straßentunnel gestellt werden, gibt es eine große Anzahl von Ausschüssen und Gremien, die sich mit den einzelnen Aspekten des Tunnelbaus befassen, Forschungsvorhaben betreuen und Regelwerke erarbeiten. Die Fachgebiete können dabei im Wesentlichen den drei Bereichen Bautechnik, Ausstattung und Betrieb sowie Sicherheit bei der Baudurchführung zugeordnet werden.

Als wichtige Regelwerke sind im Tunnelbau zu nennen:

- Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen (RAB-ING)
- Richtlinien für Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln (RABT)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV - ING), Teil 5 Tunnelbau
- Teil 5.1 Geschlossene Bauweise
- Teil 5.2 Offene Bauweise
- Teil 5.3 Maschinelle Vortriebsverfahren
- Teil 5.4 Betriebstechnische Ausstattung
- Teil 5.5 Abdichtung

Für die Sicherheit bei der Baudurchführung und die Berücksichtigung von Umweltgefährdungen gelten außerdem die einschlägigen Vorschriften der Tiefbauberufsgenossenschaften (TBG) und der sonstigen Aufsichtsbehörden.

Als Stand der Technik sind darüber hinaus u. a. zu beachten:

- DIN-Normen bzw. DIN-EN-Normen
- Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)
- Empfehlungen des Deutschen Ausschusses für Unterirdisches Bauen (DAUB)
- Fachaufsätze und sonstige Veröffentlichungen

4. Sicherheitsanforderungen bei Planung und Baudurchführung

Voraussetzung für eine erfolgreiche Realisierung von Tunnelbauwerken und einen späteren reibungslosen Betrieb ist eine sorgfältige Planung, bei der schon frühzeitig alle erkennbaren Risiken zusammengestellt und im Rahmen von Risikoanalysen bewertet werden. In den „Empfehlungen des Deutschen Ausschusses für Unterirdisches Bauen (DAUB) zu Planung und Bau von Tunnelbauwerken“ (veröffentlicht 2003) sind eine Vielzahl von Kriterien zusammengestellt, die als Art Checkliste eine gute Hilfestellung geben.

Besonderen Stellenwert haben die Anforderungen an die Tunnelsicherheit. Sie beziehen sich nicht nur auf die Sicherheit der Tunnelnutzer, sondern gleichermaßen auch auf die Aufgaben des Baulastträgers und Betreibers als Hauptverantwortlicher in allen Stadien sowie auch auf die Sicherheit des Baustellenpersonals, betroffener Dritter außerhalb des Tunnels, des eingesetzten Personals bei Betrieb und Unterhaltung und letztlich auch der im Ereignisfall beteiligten Kräfte bei Polizei, Feuerwehr und Rettungsdiensten. Hierzu ist es erforderlich, dass die einzelnen Sicherheitsmaßnahmen eng aufeinander abgestimmt sind und in ein Gesamtsicherheitskonzept einfließen, das alle Phasen des Planens, Bauens und Betriebens umfasst.

In den RABT ist daher vorgeschrieben, dass schon während der Planung alle zu berücksichtigenden Aspekte aus Verkehr, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltbedingungen in einem Gesamtsicherheitskonzept zusammenzustellen sind. Ausgehend von einem typischen

Schadensszenario (Unfall, Brand, etc.) muss dieses Konzept insbesondere Aussagen zur Schadensverhütung, Schadensmeldung, zur Selbst- und Fremddrettung von Personen sowie zur Hilfeleistung und Brandbekämpfung beinhalten. Weist ein Tunnel mit einer Länge von mehr als 400 m eine besondere Charakteristik auf, so ist ergänzend eine Risikoanalyse durchzuführen, um festzustellen, ob zur Gewährleistung der Sicherheit im Tunnel zusätzliche Maßnahmen oder weitere Ausrüstungen erforderlich sind. Das Gesamtsicherheitskonzept ist Grundlage für die Planfeststellungsunterlagen. Vor Baubeginn ist vom Tunnelmanager in Abstimmung mit dem Sicherheitsbeauftragten eine Sicherheitsdokumentation zu erstellen, in der die Unterlagen aus dem Gesamtsicherheitskonzept und der ggf. durchgeführten Risikoanalyse sowie sonstige Sicherheitsgutachten enthalten sind und die nach Inbetriebnahme durch weitere Unterlagen und Berichte laufend zu ergänzen ist.

In der Planungsphase sind auch bereits Untersuchungen für die Zulassung von Gefahrguttransporten durchzuführen. Ferner ist zu prüfen, ob die Belange behinderter Personen ausreichend berücksichtigt sind. Zu beiden Themen liegen umfangreiche Forschungsergebnisse vor, die in Kürze bekannt gegeben werden.

Weniger bekannt ist bei vielen Bauherren und Planern, dass bereits bei der Planung auch ein Sicherheitskonzept für die Ausführungsphase zu erstellen ist. Es umfasst alle Anforderungen und Maßnahmen, die zur Bewältigung möglicher wesentlicher Störfälle sowie geologischer und baubetrieblicher Risiken notwendig sind. Gemäß der „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen“ (Baustellenverordnung) ist hierzu ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordinator (SiGeKo) zu benennen, der während der Planungs- und Bauphase die Beteiligten berät und die getroffenen Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit kontrolliert. Sicherheits- und Rettungskonzepte sollten soweit als möglich bereits Einrichtungen für den späteren Betrieb mitnutzen. Während der Vortriebsarbeiten sind dabei in Abhängigkeit von den aufgefahrenen Tunnellängen unterschiedliche Gefährdungskategorien von A – C zu beachten.

Zur Konkretisierung dieser Sicherheitsanforderungen wurden „Empfehlungen für die Planung und Herstellung von Tunnelbauwerken bezüglich sicherheitsrelevanter Ereignisse“ gemeinsam von DAUB und DA GRW (Deutscher Ausschuss für das Grubenrettungswesen) erstellt, die als Regel der Technik zu beachten sind.

5. Sicherheitsanforderungen bei Betrieb, Unterhaltung und Erhaltung

Die Tunnelsicherheit während des Betriebs bezieht sich bei Straßentunneln in erster Linie auf die Sicherheit der Tunnelnutzer bei einem Ereignisfall. Hierzu ist es besonders wichtig, dass die Tunnelnutzer ausreichend über das Verhalten in Tunneln und die Möglichkeit der Selbstrettung informiert sind. Die vom BMVBS und der BASt herausgegebenen Faltblätter und Broschüren geben hierzu wichtige Hinweise.

Auch in den Tunnel wurde nach den schweren Brandunfällen einige Verbesserungen vorgenommen, die die Möglichkeiten der Selbstrettung der Tunnelnutzer wesentlich erleichtern. Hierzu gehören eine Verkürzung der Abstände von Notausgängen auf 300 m sowie die bessere Erkennbarkeit der Notausgänge durch auffällige Markierung und Kennzeichnung und die Anordnung von Leitsystemen an den Wänden und auf den Gehwegkappen. Des Weiteren gehören hierzu Maßnahmen für eine schnellere und gezieltere Kommunikation der Überwachungsstelle mit den Tunnelnutzern über Lautsprecher, Verkehrsfunk und schallisolierte Notrufeinrichtungen. Auch ist inzwischen eine bessere und schnellere Erkennung und Bewältigung verkehrlicher und betrieblicher Störungen durch technische Weiterentwicklungen bei der Videotechnik und den Verkehrserfassungs- und Verkehrsbeeinflussungsanlagen gegeben, die insbesondere im Brandfall ein schnelleres Eingreifen ermöglichen.

Neu sind mit der Umsetzung der EU-Tunnelrichtlinie einige organisatorische Maßnahmen zur Verwaltung und Überwachung von Tunneln. Für jeden Tunnel sind danach eine

Verwaltungsbehörde, ein Tunnelmanager, ein Sicherheitsbeauftragter und eine Untersuchungsstelle zu benennen. Um im Ereignisfall alle Gefahren beherrschen zu können und einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, soll der Tunnelmanager in Zusammenarbeit mit dem Sicherheitsbeauftragten regelmäßig gemeinsame Übungen für das Tunnelpersonal und die Einsatzdienste durchführen. Mindestens alle 4 Jahre sollen Großübungen unter möglichst realistischen Bedingungen organisiert werden, über die anschließend ein ausführlicher Bericht zu erstellen ist.

Nach RABT sind außerdem von der Verwaltungsbehörde jährlich Berichte über Brände und Unfälle in Tunneln, sowie über deren Häufigkeit und die Ursachen zu erstellen. Hierzu sind diese Vorkommnisse auszuwerten und Aussagen zur Wirksamkeit von Sicherheitseinrichtungen und –maßnahmen zu machen.


Bereits in der Planungsphase sollten auch Überlegungen einfließen, wie später Wartungs- und Unterhaltungsarbeiten schnell und möglichst mit nur geringer Behinderung des Verkehrs ausgeführt werden können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Arbeiten unter Verkehr durch die beengten Verhältnisse und das reduzierte Beleuchtungsniveau in Tunneln besondere Gefahrensituationen für die Verkehrsteilnehmer und das Wartungspersonal darstellen. Betriebseinrichtungen in Tunneln sollten daher gut zugänglich und möglichst wartungsarm sein.

Dies gilt in gleichem Maß für die periodisch durchzuführenden Bauwerksprüfungen nach DIN 1076. Tragende Bauwerksteile sollten nicht durch Verkleidungen und Vorsatzschalen verdeckt sein, um Prüfungen z. B. durch den Einsatz mit Messwagen im fließenden Verkehr zu ermöglichen und dadurch die handnahe Prüfung auf ein Minimum zu reduzieren.

6. Zusammenfassung


Ohne Frage gehören die deutschen Straßentunnel aufgrund des hohen Standards in baulicher und betriebstechnischer Hinsicht zu den sichersten Tunneln der Welt. Umfangreiche Risikobetrachtungen schon während der Planungsphase und zahlreiche Sicherheitseinrichtungen tragen dazu bei, dass auch bei extremen Ereignisfällen die Sicherheit der Tunnelnutzer gewährleistet ist. Soweit dies bei älteren Straßentunneln noch nicht gegeben ist, wird dies durch ein aufwendiges Nachrüstungsprogramm nachgeholt.

Tunnel sind dadurch aber auch zu den kompliziertesten und teuersten Anlageteilen der Straßen geworden, die für den Baulastträger neben hohen Investitionskosten auch mit hohen laufenden Kosten für Betrieb, Unterhaltung und Erhaltung verbunden sind. Für die Realisierung neuer Tunnel ist daher ein strenger Maßstab anzulegen und auch weitere Forderungen nach immer umfangreicherer technischer Ausstattung sind eher kritisch zu betrachten. Bei den in der Regel sehr hohen Verkehrsbelastungen insbesondere auf Bundesfernstraßen bleibt es aber auch in Zukunft richtig und angemessen, zum Schutz der Tunnelnutzer ein hohes Sicherheitsniveau zu gewährleisten.



Technologiezentrum

PROJEKTRÄGER, BEAUFTRAGT VOM




Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Forschung zum Schutz von Verkehrsinfrastrukturen

Symposium
Sicherheit und Schutz von Straßentunneln


16. Juni 2009, Bergisch Gladbach

Dr.-Ing. Karin Wey
VDI Technologiezentrum GmbH
Projekträger Sicherheitsforschung





Technologiezentrum

PROJEKTRÄGER, BEAUFTRAGT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Allgemeine Informationen

	Nationales Programm 	EU-Programm 
Beginn	1. Januar 2007	1. Januar 2007
Laufzeit	01.01.2007 - 31.12.2010 zunächst 4 Jahre	01.01.2007 - 31.12.2013 7 Jahre (Laufzeit 7. RP der EU)
Fördermittel für die Gesamtlaufzeit	123 Mio. €	1.400 Mio. €
Fördermittel pro Jahr	Durchschnittlich 30,75 Mio. € 12 Mio. € in 2007 25 Mio. € in 2008 je 43 Mio. € in 2009 und 2010	Durchschnittlich 200 Mio. € 1. Aufruf in 2007: 155 Mio. € 2. Aufruf in 2008: 119 Mio. € 3. Aufruf in 2009: 200 Mio. €
Geplante Aufrufe insgesamt	8 laut Programm + 3 zusätzliche Aufrufe	8 (6 normale Aufrufe + 2 Joint Calls mit IST)

Seite 2 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

VDI Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Forschung für die zivile Sicherheit - Programm der Bundesregierung

Nationales Programm „Forschung für die zivile Sicherheit“ seit dem 1.1.07
 Agendaprozess zur Programmvorbereitung mit insgesamt drei Expertenworkshops, um

- Fachszene zu formieren
- Forschungsbedarf von Endnutzern und Anwendern zu ermitteln
- Schwerpunkte für die Erforschung und Entwicklung künftiger Sicherheitslösungen zu ermitteln

Ziele des Expertendialogs:

- Formierung der Fachszene
- Ermittlung des Forschungsbedarfs von Endnutzern und Anwendern
- Identifikation von Schwerpunkten für die Erforschung und Entwicklung künftiger Sicherheitslösungen




Seite 3 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

VDI Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Ziele der Sicherheitsforschung

- Im Mittelpunkt steht die Verbesserung des Schutzes der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland. Die Forschung soll Lösungen entwickeln zur Erhöhung der Sicherheit der Menschen, ohne dadurch ihre Freiheit einzuschränken.
- Den Markt für Sicherheitslösungen erschließen
- Einen gesellschaftlichen Dialog anstoßen
- Internationale Forschungsallianzen und europäische Zusammenarbeit aufbauen.




Seite 4 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schwerpunkte des nationalen Programms

Programmlinie 1 - „Szenariorientierte Sicherheitsforschung“

- Fokussierung der Forschung auf Lösungen für komplexe Sicherheitsszenarien
- Einbeziehung der Problemlösungsperspektive der Endnutzer und Anwender
- Einbindung aller notwendigen natur- und geisteswissenschaftlichen Disziplinen und Ausrichtung auf gemeinsame Anwendungsziele
- Plattform, auf der Forscher, Behörden und Unternehmen zusammenwirken.

Programmlinie 2 „Technologieorientierte Sicherheitsforschung“

Technologieverbünde -> Querschnittstechnologien mit szenarienübergreifender Relevanz

- entwickeln innovative Technologiesysteme aus bestehenden und neuen Basistechnologien
- arbeiten anwendungsnah durch Einbeziehung der gesamten Innovationskette.

Seite 5 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009


Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Bekanntmachungen Sicherheitsforschung in der Übersicht

<u>Szenariorientierte Förderung</u>	<u>Technologieverbünde</u>
<p>Schutz der Verkehrsinfrastrukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 03/2007 veröffentlicht • 46 Projektvorschläge eingereicht • 9 Projekte mit 74 Einzelvorhaben werden gefördert 	<p>Detektion von CBRNE-Gefahrstoffen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 03/2007 veröffentlicht • 50 Projektvorschläge eingereicht • 19 Projekte mit 95 Einzelvorhaben werden gefördert
<p>Schutz und Rettung von Menschen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 08/2007 veröffentlicht • 72 Projektvorschläge eingereicht • 16 Projekte ausgewählt (7 derzeit bewilligt) 	<p>Integrierte Schutzsysteme für Rettungs- und Sicherheitskräfte</p> <ul style="list-style-type: none"> • 06/2007 veröffentlicht • 51 Projektvorschläge eingereicht • 7 Projekte mit 57 Einzelvorhaben gefördert
<p>Schutz von Versorgungsinfrastrukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 03/2008 veröffentlicht • 26 Vorschläge eingereicht • 9 Projekte sollen gefördert werden 	<p>Mustererkennung</p> <ul style="list-style-type: none"> • 05/2008 veröffentlicht • 45 Vorschläge eingereicht • 9 Projekte sollen gefördert werden
<p>Sicherung der Warenketten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 01/2009 veröffentlicht • 45 Projektvorschläge eingereicht • Auswahlverfahren läuft 	<p>Biometrie</p> <p>Veröffentlichung im 1. Quartal 2010 geplant</p>






Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schutz von Verkehrsinfrastrukturen

9 Verbundprojekte bewilligt,
35,68 Mio. € Förderung + 15 Mio. € Mittel der Wirtschaft

Projekte zu:

- Flugsicherheit (3)
- Sicherheit im Bahnverkehr (inkl. ÖPNV) (3)
- Sicherheit im Straßenverkehr (insbes. Tunnel, Brücken) (2)
- Sicherheit im Fährverkehr (1)

74 Partner beteiligt

- 12 Endnutzer (3 Bund, 1 Kommune, 8 private Infrastrukturbetreiber)
- 42 Industrieunternehmen (darunter 12 KMU)
- 26 Forschungseinrichtungen (darunter 3 FhG-Institute)

Seite 7 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009



Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Spezielle Rahmenbedingungen

- Einreichung von Projektvorschlägen nur nach Veröffentlichung von Bekanntmachungen unter: <http://www.bmbf.de/foerderungen/677.php>
- Projekteinreichung in einem zweistufigen Antragsverfahren
- Gefördert werden in der Regel Verbundvorhaben mit
 - mindestens zwei Unternehmen oder
 - zwei wissenschaftliche Einrichtungen oder
 - ein Unternehmen und eine wissenschaftliche Einrichtung
- Förderquote für Forschungseinrichtungen und Behörden beträgt in der Regel 100 %



Seite 8 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

VDI Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

7. Rahmenprogramm der EU - 10 prioritäre Themen (32,292 Mrd. Euro)

1. Gesundheit
2. Ernährung, Landwirtschaft und Biotechnologie
3. Information und Kommunikationstechnologien (IST-FP7)
4. Nanowissenschaft ^{neu}, Nanotechnologien, Werkstoffe und neue Produktionstechnologien
5. Energie
6. Umwelt und Klimawechsel
7. **Transport (inklusive Luftfahrt)**
8. Sozio-ökonomische Wissenschaften und Geisteswissenschaften
9. Raumfahrt
10. **Sicherheitsforschung (Security)**







Seite 9 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

VDI Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM
 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schwerpunkte des Europäischen Security Programms

4 Missionen:

1. Sicherheit der Bürger
2. Sicherheit von Infrastrukturen und Versorgung
3. Intelligente Überwachung und Grenzsicherheit
4. Wiederherstellung der Sicherheit im Krisenfall

3 Querschnittsaktivitäten:

5. Integration, Zusammenschaltung und Interoperabilität von Sicherheitssystemen
6. Sicherheit und Gesellschaft
7. Koordinierung und Strukturierung der Sicherheitsforschung

Seite 10 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

VDI Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Geplante Themen mit Verkehrsbezug für den nächsten Call

- **Security of mass transportation phase II (Demonstration project)**
 - create a 'system of systems' demonstration for security of mass transportation
 - focused towards urban and regional public transportation including metro, tram, short distance regional rail transport
 - critical "neuralgic" nodes (such as transport interchanges, where long-distance and international transport is interconnected with urban transport systems)
- **Planning, (re)design, and (re)engineering of urban areas to make them less vulnerable and more resilient to security threats (Capability project)**
 - development of a framework to be able to identify in existing urban area (including public spaces such as public transport terminals, sport venues, shopping and business centres)
 - define/develop tools to be able to develop more robust and resilient "space" in the field of urban planning/design/engineering

Seite 11 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

VDI Technologiezentrum

PROJEKTTÄGER, BEAUFTRAGT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Administrative Randbedingungen für den 3. Security Call

- Derzeit insgesamt 31 Topics geplant
- Voraussichtliche Veröffentlichung: **Ende Juli 2009**
- Verfügbares Budget: 212 Mio. €
- 2 Demonstrationsprojekte mit einem Fördervolumen von jeweils ca. 30 Mio. Euro
- Obergrenze Förderung für CP < 3,5 Mio. €
- Untergrenze Förderung für IP > 3,5 Mio. €

Seite 12 / Dr. Karin Wey / 16.06.2009

Weitere Informationen und Kontakt

Projekträgerschaft Sicherheitsforschung

Dr. Karin Wey

Tel.: 0211/6214-433

E-mail: wey@vdi.de

Nationale Kontaktstelle Sicherheitsforschung

Dr. Thorsten Fischer

Tel.: 0211 6214-628

E-mail: fischer_t@vdi.de



Fax: 0211 6214-484

Internet: www.vditz.de/sicherheitsforschung

www.nks-sicherheit.de



Sicherheitsmanagement für Straßentunnel - Erfahrungen aus Österreich

**von MR Dipl.-Ing. Rudolf Hörhan,
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie**

Die EU-Richtlinie 2004/54/EG über „Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz“ wurde mit dem Straßentunnel-Sicherheitsgesetz 2006 BGBl. 54/2006 (STSG 2006) vom 9. Mai 2006 in österreichisches Gesetz für alle Autobahn- und Schnellstraßentunnel mit Längen > 500 m umgesetzt. Damit wurden für das Sicherheitsmanagement von Straßentunnel wesentliche Vorgaben geschaffen, die insbesondere die Verantwortlichkeiten und organisatorischen Regelungen betreffen. Hinsichtlich des Ausrüstungsstandards ergaben sich durch das STSG kaum Änderungen in den österreichischen Richtlinien.

Derzeit sind auf dem hochrangigen Straßennetz 136 Tunnelanlagen mit insgesamt 301 km Röhrenlänge und auf dem TERN-Netz 107 Tunnelanlagen mit 248 km Röhrenlänge bei einer Gesamtlänge des Autobahn- und Schnellstraßennetzes von 2112 km in Betrieb. Als Tunnel-Verwaltungsbehörde wurde der Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie, vertreten durch die Abteilung II/ST2 eingesetzt. Tunnel-Manager ist gemäß STSG die ASFINAG als Betreiber der Tunnels, konkret die ASFINAG SGO. Weiters wurde für jeden das STSG betreffenden Tunnel ein Tunnel-Sicherheitsbeauftragter von der ASFINAG namhaft gemacht und aufgrund deren Qualifikation von der Tunnel-Verwaltungsbehörde anerkannt. Tunnelinspektionen wurden bereits vor dem Inkrafttreten des STSG vom BMVIT durchgeführt und sind gemäß § 3 STSG als Aufgabe der Tunnel-Verwaltungsbehörde auch gesetzlich definiert.

Inzwischen wurden gemäß STSG alle 136 Tunnels auf dem hochrangigen Straßennetz einer Erstbewertung unterzogen und dabei aufgezeigt, wieweit die Vorgaben der EU-Richtlinie in den einzelnen Tunnels eingehalten sind bzw. welche Mindestanforderungen noch umzusetzen sind. Obwohl in den letzten Jahren Milliardenbeträge für Verbesserungsmaßnahmen ausgegeben wurden, fehlen nach wie vor einige sehr teure Maßnahmen, wie zweite Röhren bzw. zusätzliche Fluchtwege.

Die Erstbewertung von Tunnels und die Verfahren für die Baugenehmigung und Inbetriebnahme erfolgten auf Basis einer Tunnel-Sicherheitsdokumentation, die für jeden Tunnel von der ASFINAG als Tunnel-Manager erstellt wurde. Die Tunnel-Sicherheitsdokumentation wird entsprechend einer vom BMVIT herausgegebenen Dienstanweisung ausgeführt und darin z.B. die Anforderungen an die einzelnen Sicherheitsparameter in Tabellenform auch farblich dargestellt, sodass sehr rasch eine besonderer Charakteristik des jeweiligen Tunnels erkannt werden kann.

Zur Berücksichtigung von besonderen Charakteristiken bzw. Effizienzsteigerung wurde auch eine Tunnel-Risikoanalysemethode (TuRisMo) entwickelt und als RVS 09.03.11 veröffentlicht. Diese Standardmethode ist eine quantitative, systemorientierte Risikoanalyse und konzentriert sich auf häufig auftretende mechanische Unfälle und Brände von geringem bis mittlerem Ausmaß. Die dafür verwendete Häufigkeits- und Schadensausmaßanalyse basiert auf einer Auswertung der Unfälle in den Tunnels des hochrangigen Straßennetzes zwischen 1999 bis 2003. Die Brandunfälle werden aufgrund einer modellhaften Schadensausmaßabschätzung ausgewertet. Die Bewertung von besonderen Charakteristiken eines Tunnels sowie von geringfügigen Abweichungen von Mindeststandards sind auf einem relativen Vergleich von Risikoerwartungswerten aufgebaut. Beim österreichischen Modell werden dazu der für einen bestimmten Tunnel ermittelte Risikoerwartungswert dem Risikoerwartungswert eines vergleichbarem Referenztunnels, der exakt die Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunnel gemäß STSG erfüllt, gegenübergestellt.

Zur Bewertung von Standardtunnels wurde eine sogenannte „Vereinfachte Methode“ entwickelt, die auf Basis der TuRisMo die Ermittlung eines Risikoäquivalentwertes ermöglicht. Damit kann ein Tunnel einer von 4 Gefährdungsklassen zugeordnet werden, für die in einzelnen RVS die Ausrüstungsstandards festgelegt sind.

Ein wesentlicher Aspekt eines Sicherheitsmanagements ist die Erfassung und Auswertung von Unfalldaten, um daraus Schwerpunkte für Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können. Dazu wird seitens des BMVIT in Zusammenarbeit mit dem Kuratorium für Verkehrssicherheit seit 1999 eine Statistik über Tunnelunfälle auf Autobahnen und Schnellstraßen geführt. Seit 2006 wurde weiters zusammen mit der ASFINAG eine Tunneldatenbank entwickelt, in der lückenlos alle Tunnelunfälle mit Personen- und Sachschaden dokumentiert werden. Dazu wurde ein Tunnelerhebungsblatt für „Ereignisse im Tunnel“ ausgearbeitet, das u.a. Angaben zur Ereignisstelle, Verkehrsaufkommen zum Zeitpunkt des Ereignisses, Art des Ereignisses und zusätzliche Details im Falle eines Folgebrandes enthält. Für die Erfassung von erheblichen Störungen des Tunnelbetriebes wird ein weiteres Tunnelerhebungsblatt verwendet, um die Angabe wesentlicher Informationen sicher zu stellen. Diese Tunneldatenbank ist u.a. auch die Grundlage für die alle zwei Jahre zu erstellenden Berichte über Brände und Unfälle in Straßentunnels an die EU-Kommission.

Die Genehmigungen des Tunnel-Vorentwurfes, der Inbetriebnahme als auch wesentliche bauliche und betriebliche Änderungen an in Betrieb befindlichen Tunnels werden nach AVG-Verfahren durchgeführt und mit Erlassung eines Bescheides abgeschlossen. Liegen die neuen Tunnels auf einer Trasse, für die ein UVP-Verfahren erforderlich ist, so erfolgt die Genehmigung des Tunnel-Vorentwurfes im Rahmen eines teilkonzentrierten Verfahrens. Der Bescheid legt erforderlichenfalls Bedingungen und Auflagen sowie den Zeitpunkt fest, zu dem diese jeweils zu erfüllen sind.

Die Einreichung zu all diesen Verfahren umfasst den Tunnel-Vorentwurf gemäß einem vorgegebenen Umfang, die Tunnel-Sicherheitsdokumentation mit allenfalls erforderlicher vertiefender Risikoanalyse und Risikoanalyse Gefahrguttransporte und die Stellungnahme des Tunnel-Sicherheitsbeauftragten zum Tunnel-Vorentwurf. Bei allen Bescheidverfahren hat ein im Auftrag der Tunnel-Verwaltungsbehörde für Tunnelsicherheit spezialisierter Sachverständiger diese Unterlagen zu prüfen und darüber eine Sicherheitsbeurteilung abzugeben. Bei UVP-Verfahren wird zusätzlich ein Sachverständiger für Geotechnik und Tunnelbau bestellt.

Seit In-Kraft-Treten des STSG wurden insbesondere für Verbesserungsmaßnahmen für 7 Tunnel § 7 STSG Verfahren für die Genehmigung des Tunnel-Vorentwurfes und für 17 Tunnel § 8 STSG Verfahren für die Inbetriebnahme durchgeführt. Weiters laufen derzeit für 22 Tunnel § 7 STSG Verfahren für die Genehmigung des Tunnel-Vorentwurfes, wovon 14 teilkonzentrierte UVP-Verfahren sind.

Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie 2004/54/EG wurde ein einheitliches Managementsystem für die Planung, den Bau und den Betrieb von Straßentunnel auf dem A+ S Netz geschaffen. Sowohl die wesentlichen Planungsschritte als auch deren Umsetzung sind einheitlich geregelt, sodass auch ein einheitliches Mindestsicherheitsniveau nicht nur für neue Tunnels sondern auch bestehende Anlagen gewährleistet werden kann. Durch rechtliche Vorgaben ergibt sich aber auch ein nicht unerheblicher Verwaltungsaufwand.

Risikoanalyse nach RABT 2006

von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Baltzer,
Bung Ingenieure AG
Englerstraße 4
69126 Heidelberg

FH-Aachen
Bayernallee 9
52066 Aachen

1. Einleitung

Aufgrund der steigenden Verkehrsnachfrage ist es unumgänglich das Straßenverkehrsnetz weiter zu optimieren und zu verbessern. Ziele sind hierbei unter anderem die Steigerung der Leistungsfähigkeit, die Erhöhung der Verkehrssicherheit und die Reduzierung der Umweltbelastungen, wobei vor allem der Schutz vor Lärm- und Schadstoffimmissionen zu sehen ist.

Die Umsetzung dieser Ziele führt in vielen Fällen zu unterirdischen Verkehrswegen, die jedoch, um alle Aufgaben erfüllen zu können, immer komplexer werden. Insbesondere sind sie zum Beispiel im urbanen Umfeld kaum mehr ohne unterirdische Anschlussstellen, Aufweitungsbereiche für Knotenpunkte oder Zufahrten zu öffentlichen Tiefgaragen umsetzbar. Ein- und Ausfahrtvorgänge, Verflechtungsvorgänge sowie Beschleunigen und Verzögern stören den homogenen Verkehrsablauf. Sie führen zu einer Erhöhung des Unfallrisikos und damit zu einer Reduzierung der Sicherheit für den Nutzer.

In machen Fällen kann die Komplexität des unterirdischen Verkehrsweges dazu führen, dass das in den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT 2006) [1] definierte Sicherheitsniveau durch die dort geforderte Regelausstattung nicht mehr erreicht werden kann und ergänzende Maßnahmen in eine Sicherheitsabwägung einbezogen werden müssen.

2. Anforderungen nach RABT 2006

Bei Zwischenfällen, die durch ein liegengebliebenes Fahrzeug, durch einen Unfall oder durch einen Brand verursacht sind, muss zum einen der Tunnelnutzer ausreichende Möglichkeiten zur Selbstrettung haben und zum anderen auch eine Fremdrettung ohne nicht einzuschätzende Risiken erfolgen können. Hierzu sind umfangreiche technische Einrichtungen sowie bauliche Vorkehrungen im Tunnel erforderlich, deren Regelumfang in der RABT 2006 beschrieben ist. Grundlage zur Beurteilung ist ein Gesamtsicherheitskonzept, das ausgehend von typischen Schadensszenarien Aussagen zur Schadensverhütung, Schadensmeldung, zur Selbst- und Fremdrettung von Personen sowie zur Hilfeleistung und Brandbekämpfung beinhaltet. Die Sicherheit wird unter anderem durch die folgenden Parameter beeinflusst:

Tunnellänge

Anzahl der Tunnelröhren und Fahrstreifen

Querschnittsgeometrie

Fahrstreifenbreite

Trassierung

Unterirdische Zu- und Abfahrten

Bauart

Betriebsart (Richtungsverkehr oder Gegenverkehr)

Verkehrsaufkommen je Tunnelröhre (einschließlich der zeitlichen Verteilung)

Anteil des Schwerverkehrs

Vorkommen, Anteil und Art des Gefahrgutverkehrs

Gefahr täglicher oder saisonaler Staubbildung

Geschwindigkeitsbezogene Aspekte

Merkmale der Zufahrtstraßen

Zugriffszeit der Einsatzdienste

Geografische und meteorologische Verhältnisse

Weisen nun Tunnel hinsichtlich der genannten sicherheitsbeeinflussenden Parameter eine besondere Charakteristik auf oder können bzw. sind baulich-technische Vorgaben nicht entsprechend der RABT umgesetzt, so muss eine Risikoanalyse durchgeführt werden, um festzustellen, ob zur Gewährleistung des in der RABT definierten Sicherheitsniveaus zusätzliche Maßnahmen (z.B. Organisation, Steuerung oder Ausstattungselemente) erforderlich werden, die über den Anforderungen der RABT liegen.

3. Risikoanalyse

3.1. Allgemeines

In der RABT sind eine Reihe von Faktoren genannt, die die Sicherheit beeinflussen, insbesondere wenn sie eine Charakteristik aufweisen, die über das Übliche Maß hinausgeht. Doch weder die RABT noch die EG-Richtlinie [2], geben aber Auskunft darüber, ab wann eine besondere Charakteristik vorliegt bzw. das übliche Maß überschritten ist.

Zusätzlich ist bei eventuellen Abweichungen der baulich-technischen Ausführungen von der RABT zu klären, inwieweit die Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Falls das gewünschte Sicherheitsniveau nicht erreicht werden kann, werden zusätzliche Maßnahmen zur Kompensation des Sicherheitsdefizits erforderlich.

Zur Lösung dieser Fragen und damit zur Entscheidung, ob das Sicherheitsniveau ausreichend ist, ob eine qualitative Risikoanalyse oder ob eine quantitative Risikoanalyse erforderlich ist, dient der Leitfaden für Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln gemäß RABT 2006 [3], der aus dem Forschungsbericht Bewertung der Sicherheit in Straßentunneln [4] abgeleitet ist. Der Leitfaden bietet eine pragmatische Hilfestellung bei der Umsetzung der Anforderungen gemäß RABT 2006 sowie der EG-Richtlinie. In knapper Form werden die wesentlichen Grundsätze für die Durchführung von Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln zusammengefasst, die sowohl qualitativen als auch quantitativen Untersuchungen zugrunde liegen. Die Sicherheitsbeurteilung umfasst eine Voranalyse, in welcher der jeweils erforderliche Analysetiefgang bestimmt wird, und die nachfolgende eigentliche Sicherheitsbewertung.

3.2. Voranalyse

Zur Ermittlung des erforderlichen Analysetiefgangs wird auf der Basis einiger wichtiger tunnelspezifischer und risikorelevanter Einflussgrößen anhand einer pragmatischen Methode eine Risikokenngröße für den Szenariotyp „Kollision“ und den Szenariotyp „Brand“ ermittelt. Folgende Einflussgrößen werden hierbei berücksichtigt:

Betriebsart (Gegenverkehr oder Richtungsverkehr)	[BA]
Tunnellänge	[L]
Verkehrsaufkommen	[DTV _R]
Schwerverkehrsanteil	[α _{SV}]
Stauanteil	[α _{Stau}]
Einfluss von Zu- und Abfahrten	[ZA]
Längsneigung	[φ]
Brandlüftungssystem	[BL]
Notausgangsabstand	[d _{Notausgang}]

Mit Hilfe der folgenden beiden Formeln lassen sich dann die beiden Risikokenngrößen für die Kollision und den Brand ermitteln:

$$K_{\text{Kollision}} = N_{\text{Kollision}(BA)} \cdot \sum_i \{L_i \cdot DTV_{R,i} \cdot h_{\text{Kollision}}(BA_i, ZA_i) \cdot f_1(\alpha_{SV,i}) \cdot f_2(\alpha_{\text{Stau},i})\}$$

$$K_{\text{Brand}} = N_{\text{Brand}(BA)} \cdot \sum_i \{L_i \cdot DTV_{R,i} \cdot h_{\text{Brand}}(BA_i, ZA_i) \cdot g_1(\alpha_{SV,i}) \cdot g_2(\alpha_{\text{Stau},i}) \cdot g_3(L_i) \cdot g_4(\varphi_i) \cdot g_5(BL_i) \cdot g_6(d_{\text{Notausgang},i})\}$$

Die einzelnen in den Formeln verwendeten Parameter können anhand von Diagrammen und Tabellen, die im Leitfaden dargestellt sind, abgeleitet werden. Beispielhaft ist hier die Tabelle für den Einflussfaktor g_5 (Brandlüftungssystem) und das Diagramm für den Einflussfaktor g_4 (maßgebliche Längsneigung) angegeben.

	Wert für g_5
Natürliche Lüftung	4
Mechanische Längslüftung (Entrauchung über Tunnelportale)	1
Rauchabsaugung	0.5

Tabelle 1: Beiwert zur Berücksichtigung des Brandlüftungssystems

Zur Beurteilung ist der sich aus den beiden Szenarien ergebende maximale Kennwert maßgebend. Liegt zur Beurteilung des Einflusses besonderer Charakteristika der ermittelte Risikokennwert unter 0,7, so sind keine weiteren Untersuchungen erforderlich. Die mögliche Risikoerhöhung wird als hinnehmbar eingestuft. Liegt er zwischen 0,7 und 1, dann ist eine qualitative Untersuchung angezeigt. Ergibt sich eine Risikokennwert ≥ 1 , so wird eine quantitative Risikoanalyse erforderlich.

Liegen Abweichungen zu den baulich-technischen Vorgaben vor, so sind die die Risikowerte für die Szenarien Kollision und Brand für den Planfall (Tunnel mit Abweichungen) und einen fiktiven Tunnel mit RABT-Standard zu ermitteln. Für die Bewertung ist auch hier die kritischste der ermittelten Risikokenngrößen maßgebend. Die Bewertungskennzahl ergibt sich aus dem Produkt von 100 und der Differenz des Risikokennwertes für den Planfall und des Risikokennwertes für den fiktiven RABT-Tunnel ($100 \times [K_{\text{Planfall}} - K_{\text{RABT}}]$). Liegt die so ermittelte Bewertungszahl unter 1,5, sind keine weiteren Untersuchungen erforderlich. Man geht davon aus, dass die Abweichungen von den Richtlinien nicht risikorelevant sind. Bei einer Bewertungszahl zwischen 1,5 und 3 wird eine qualitative Risikoanalyse erforderlich und bei einem Risikokennwert ≥ 3 eine quantitative.

Zur Beurteilung von Richtungsverkehrstunneln wird die Risikokenngröße für jede Tunnelröhre separat ermittelt und anschließend die Werte der einzelnen Röhren addiert. Die sich ergebende Summe wird der weiteren Bewertung zugrundegelegt.

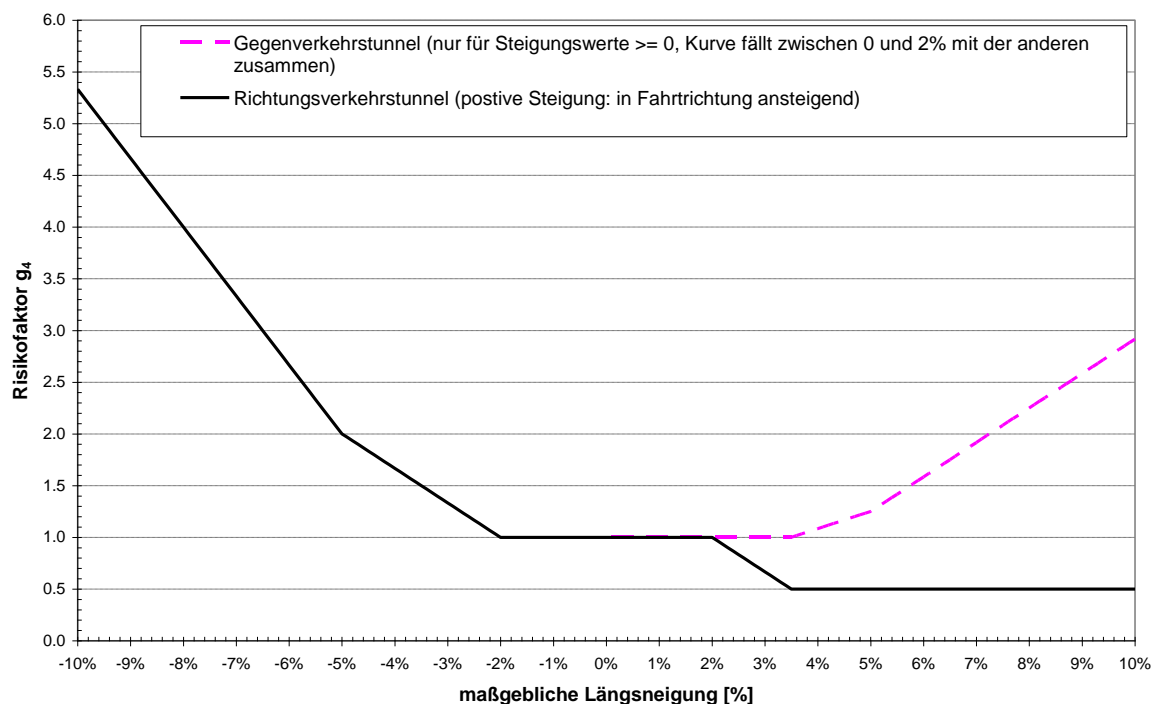


Abbildung 1: Beiwert zur Berücksichtigung der maßgeblichen Längsneigung

Allgemein ist auch bei der Voranalyse mit äußerster Sorgfalt vorzugehen. Die ermittelten Kenngrößen müssen im Kontext der Genauigkeit der ermittelten Daten interpretiert werden, insbesondere ist gegebenenfalls auf sicherheitsbeeinflussende Faktoren einzugehen, die durch die Formeln nicht abgedeckt werden. Im Zweifelsfall ist es angeraten, grundsätzlich eine höhere Untersuchungsstufe anzuwenden.

3.3 Qualitative Risikoanalyse

Die Schritte Analyse, Bewertung und Maßnahmenplanung sind bei einer qualitativen Risikoanalyse im Einzelnen abzarbeiten. Die wesentlichen Überlegungen zu Szenarien, Häufigkeit und Ausmaß sind qualitativ darzulegen. Insbesondere muss der Einfluss auf den Brandablauf (Rauchgas- und Brandausbreitung) beschrieben werden sowie die Einflüsse auf die Selbstrettungs- und Fremdrettungsmöglichkeiten und im Falle einer Kollision die zu erwartende Schwere von Schäden.

Die aus den Häufigkeiten und Ausmaßen abzuleitenden Angaben über das zu erreichende Sicherheitsniveau sind ebenfalls weitgehend qualitative Beschreibungen, die in geeigneter und transparenter Form die Sachverhalte darstellen.

3.3 Quantitative Risikoanalyse

In quantitativen Risikoanalysen werden mit Hilfe von numerischen Berechnungen und Simulationen die einzelnen Risikokenngrößen bestimmt. Hierbei werden zur Bestimmung des jeweiligen Sicherheitsniveaus sowohl Schadensausmaße als auch deren Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt. Als Maß für die Sicherheit dient das Risiko, das aus der Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeiten mit den jeweiligen Schadensausmaßen resultiert.

Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgt mit Hilfe von Ereignisbäumen (Event Trees) und Fehlerbäumen (Fault Trees). Ausgehend von einem auslösenden Ereignis (Top Event) werden im Ereignisbaum sämtliche mögliche Ablaufvarianten bis zu einem Endzustand abgebildet. Die Abschätzung der Verzweigungswahrscheinlichkeiten im Ereignisbaum erfolgt dann auf Basis von statistischen Daten oder Fehlerbäumen (Fault Trees). Durch die Verknüpfung der

Eintrittswahrscheinlichkeiten in den Verzweigungspunkten kann schließlich die zu erwartende Häufigkeit eines Endzustandes berechnet werden.

Zur Durchführung der numerischen Berechnungen sind im Wesentlichen folgende drei Schritte erforderlich:

Dateneingabe

Berechnung

Datenausgabe und Visualisierung

Die Dateneingabe umfasst das Modellieren der Bauwerke mit ihren geometrischen und strömungsmechanischen Eigenschaften. Hierzu ist zunächst eine Diskretisierung des Rechenraums durch Zerlegung in endlich viele Punkte (Knoten) durchzuführen. Die Auflösung ist hierbei abhängig von den zur Verfügung stehenden Ressourcen (Speicher, Rechenleistung) sowie der gewünschten Genauigkeit der geometrischen Abbildung und der Rechenergebnisse. Die eigentliche Berechnung erfolgt anschließend durch den Processor. Abschließend erfolgt dann die Datenausgabe. Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die Visualisierung der Rechenergebnisse. Dadurch lassen sich Aussagen über die Wirkung einzelner Maßnahmen erzielen und darüber entsprechende Schadensausmaße ermitteln. Die drei genannten Schritte müssen für jedes zu untersuchende Szenario durchlaufen werden. Mit Hilfe sog. Häufigkeits-Ausmaßdiagramme ist es schließlich möglich, die jeweils ermittelten Sicherheitsniveaus einander vergleichend gegenüberzustellen (Abbildung 2).

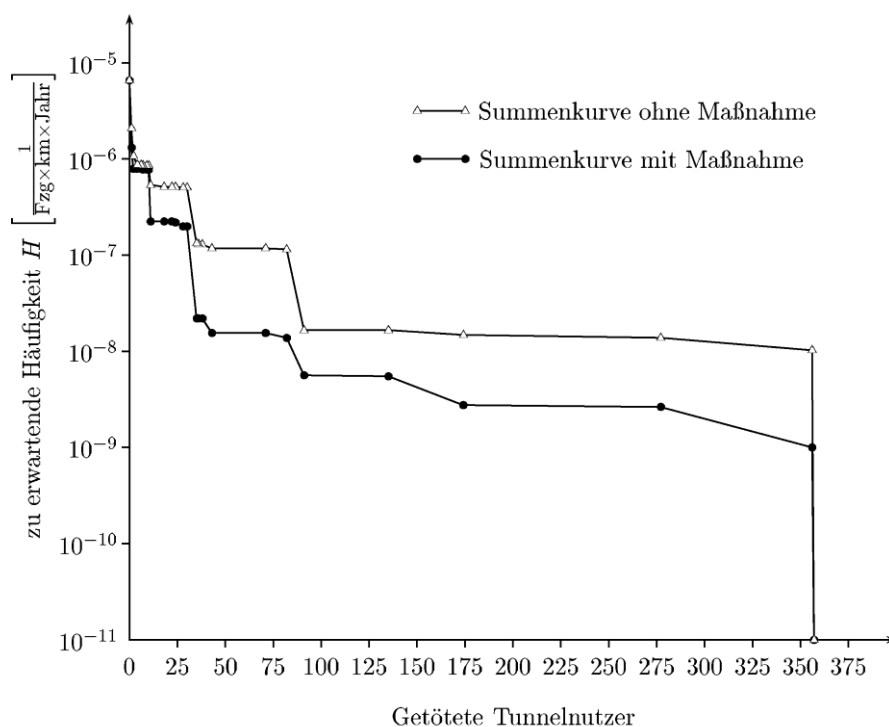


Abbildung 2: Beispiel für ein Schadensausmaßhäufigkeitsdiagramm

Neben den Festlegungen zu den Schadensausmaßen und den Häufigkeiten ist insbesondere die Wirkung der einzelnen Maßnahmen nachzuweisen. Jede Maßnahme ist mit mehr oder weniger hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden und beeinflusst die Sicherheit in unterschiedlicher Höhe. Anhand einer Beurteilung der Kostenwirksamkeit ist es möglich, die zweckmäßigste Maßnahme (größter Sicherheitsgewinn bei geringsten Gesamtkosten) auszuwählen. Dies ist besonders wichtig, wenn Kompensationsmöglichkeiten zur Gewährleistung des angestrebten Sicherheitsniveaus gefunden werden müssen.

4 Beispiele für Risikountersuchungen

4.1 Voranalyse

Als Beispiel zur Anwendung des Leitfadens im Rahmen der Voranalyse dient ein etwa 2000 m langer Richtungsverkehrstunnel in der Planungsphase. Die Kenndaten zur Ermittlung der Beiwerte ergeben sich gemäß Tabelle 2. Mit diesen Kennwerten werden im Anschluss die für die Ermittlung der Risikokenngrößen erforderlichen Beiwerte bestimmt. Die sich ergebenden Werte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

KENNDATEN	
Betriebsart	Richtungsverkehr
Länge	1957 m
Verkehrsaufkommen	35.000 Kfz/d
Schwerverkehrsanteil	18 %
Stauanteil	30 h/a → 0,4 %
Zu- und Abfahrten	vorhanden
Längsneigung	± 2,03 %
Brandlüftungssystem	Längslüftung
Notausgangsabstand	200 m

Tabelle 2: Kenndaten für Richtungsverkehrstunnel

BEIWERTE ZUR FORMELBERECHNUNG		
Einflussfaktoren	K_{Kollision}	K_{Brand}
Normierungsfaktor	32,1	4,40 * E 3
Zu- und Abfahrt	5,28 * E-7	5,04 * E-9
Schwerverkehrsanteil	0,58	0,26
Stautunden	1,0	1,0
Röhrenlänge		1,2
Längsneigung		1,0
Brandlüftungssystem		1,0
Notausgangsabstand		0,8

Tabelle 3: Beiwerte zur Formelberechnung

Gibt man diese Werte nun in die Formeln für die Risikokennwerte ein, dann ergeben sich die folgenden Kennwerte je Röhre:

$$K_{\text{Kollision}} = 0,67$$

$$K_{\text{Brand}} = 0,34$$

Da die einzelnen Kennwerte für die beiden Röhren gleich sind, ist der Beurteilung der Wert für die Kollision mit $2 \times 0,67 = 1,34$ zugrunde zu legen. Da dieser Wert höher als 1,0 ist, ist die Notwendigkeit einer qualitativen Risikoanalyse abzuleiten.

4.2 Quantitative Risikoanalyse bei Tunneln im Bestand

Bei Tunneln im Bestand, die nicht den Anforderungen der RABT 2006 genügen und dementsprechend nachgerüstet werden müssen, ergibt sich häufig das Problem, dass Anforderungen der Richtlinien insbesondere bei baulichen Anpassungen (z.B. Fluchtausgänge, Rauchabsaugungen) aufgrund äußerer Zwänge nicht umgesetzt werden können oder die dafür aufzuwendenden Kosten in keinem Verhältnis zum Nutzen stehen.

Stellvertretend für andere Projekte wird hier auf die Untersuchungen eines etwa 490 m langen Gegenverkehrstunnels mit zwei Fahrstreifen eingegangen. Er entspricht bis auf den fehlenden Notausgang der RABT 2006. Darüber hinaus sind als besondere Charakteristika die im Tunnel beginnenden Aufweitungsbereiche für die Aufstellungspuren der in Portalnähe liegenden Knotenpunkte zu sehen.

Im Rahmen der quantitativen Risikoanalyse werden nun verschiedene Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Sicherheitsniveau untersucht und mit dem Sicherheitsniveau einer RABT-konformen-Lösung verglichen. Einige Maßnahmen, die zur Kompensation des fehlenden Notausganges in Betracht gezogen werden sind:

Einbau einer Rauchabsaugung

Installation einer automatische Brandbekämpfungsanlage (ABBA)

Verkürzung der Detektionszeit

Mit Hilfe der durchgeführten Simulationen und numerischen Berechnungen zur Ausbreitung von Temperatur, von Gas und Rauch und der Bestimmung von Sichtweiten können Selbstrettungsbereiche der einzelnen Varianten bestimmt werden, mit Hilfe derer die Schadensausmaßhäufigkeitsdiagramme entwickelt werden.

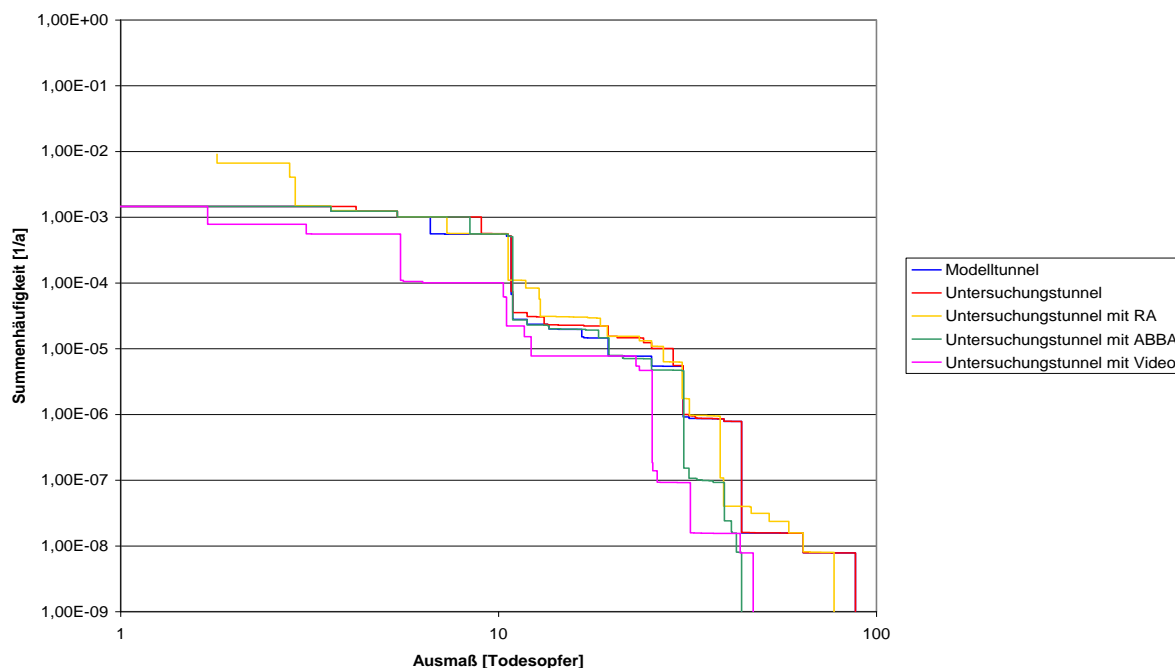


Abbildung 3: Schadensausmaßhäufigkeitsdiagramm (Vergleich der Maßnahmen) [5]

Die Abbildung 3 zeigt deutlich die Wirkungen der untersuchten Maßnahmen auf. Die blaue Linie zeigt das Schadensausmaßhäufigkeitsdiagramm des fiktiven RABT-konformen Tunnels und damit das zu erreichende Sicherheitsniveau. Der vorliegende Tunnel erreicht dieses Sicherheitsniveau nicht, so dass zusätzliche Maßnahmen zu treffen sind. Auch der Einbau einer Rauchgasabsaugung bringt nicht den notwendigen Erfolg. Aufgrund der vorhandenen Längsneigung und der Detektionszeit von 60 s tritt die Wirkung der Absaugung so spät ein, dass eine weitgehende Verrauchung nicht vermieden werden kann. Die gleiche Problematik erweist sich mit einer automatischen Brandbekämpfungs-

anlage. Der Einsatz einer solchen Anlage unter den gegebenen Randbedingungen kann nur unwesentlich zur Verbesserung der Selbstrettungsphase beitragen. Erst die untersuchte Maßnahme der Verkürzung der Detektionszeit auf 15 s (violette Linie Videodetektion) ermöglicht es den Tunnelnutzern, rechtzeitig infolge der früheren Informationen über die Lautsprecheranlage und Einsprachen über das Autoradio sich selbst in Sicherheit zu bringen, ehe eine vollkommene Verrauchung des Querschnitts eine Flucht unmöglich macht.

Die quantitative Risikoanalyse führt hier zu einer kostengünstigen risikomindernden Lösung, durch die das Sicherheitsdefizit infolge des fehlenden Notausgangs nicht nur kompensiert wird, sondern durch die das Sicherheitsniveau über den Standard der RABT 2006 angehoben werden kann.

4.3 Quantitative Risikoanalyse bei Tunneln in der Planungsphase

Verkehrsgerechte Tunnellösungen erfordern umfangreiche Planungsaktivitäten des Ingenieurs. Zahlreiche Lösungsansätze müssen auf ihre Machbarkeit, sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht, überprüft werden. Unterschiedliche Lösungen wie zum Beispiel die Gestaltung und Lage von Verflechtungsbereichen im Tunnel oder die Ausbildung der Gradienten bedingen unterschiedliche Risiken, so dass sich für einzelne Varianten verschiedene Sicherheitsniveaus ergeben. Verknüpft man nun die technisch wirtschaftlichen Machbarkeitsstudien mit quantitativen Risikoanalysen, so können alle Gesichtspunkte in einer Variantenabwägung berücksichtigt werden. Man stellt sicher, dass die Vorzugsvariante durch geringfügige Optimierungen die allgemeinen Anforderungen an die Sicherheit erfüllt, ohne dass aufwändige Zusatzmaßnahmen für die Sicherheit im Brandfall erforderlich werden.

Mögliche Lösungsansätze werden am Beispiel einer innerstädtischen vierstreifigen Autobahn dargestellt. Im Rahmen der Planungsüberlegungen soll die in der Innenstadt geführte Autobahn in einen Tunnel verlegt werden, um zum einen die Umgebung städtebaulich aufwerten zu können und zum anderen Umweltbelastungen zu reduzieren. Erste Lösungen sehen einen etwa 1300 bis 1400 m langen Tunnel vor, der im Richtungsverkehr befahren wird. Besonderheiten ergeben sich durch verschiedene Anschlussstellen im Tunnel, durch die erforderlichen hohen Rampenneigungen, durch den Verkehrsablauf, der eventuell eine Rauchabsaugung erforderlich macht, und durch einen engen Trassierungskorridor innerhalb der vorhandenen Strukturen. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen mögliche Querschnitte für die einzelnen Ausführungsvarianten.

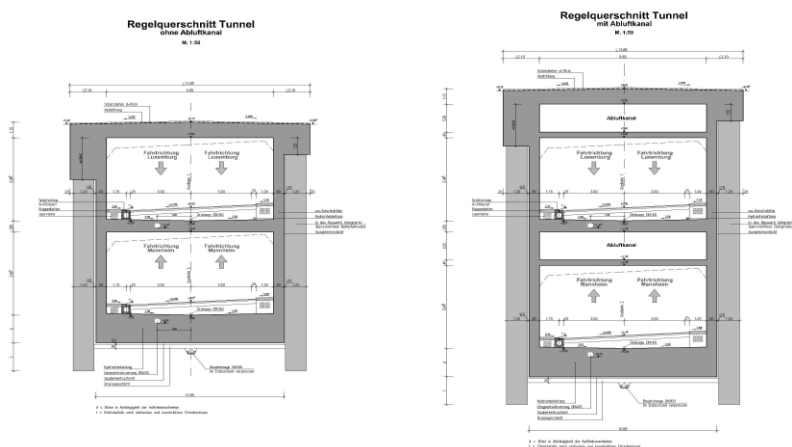


Abbildung 4: Querschnitte Doppelstockvariante [6]

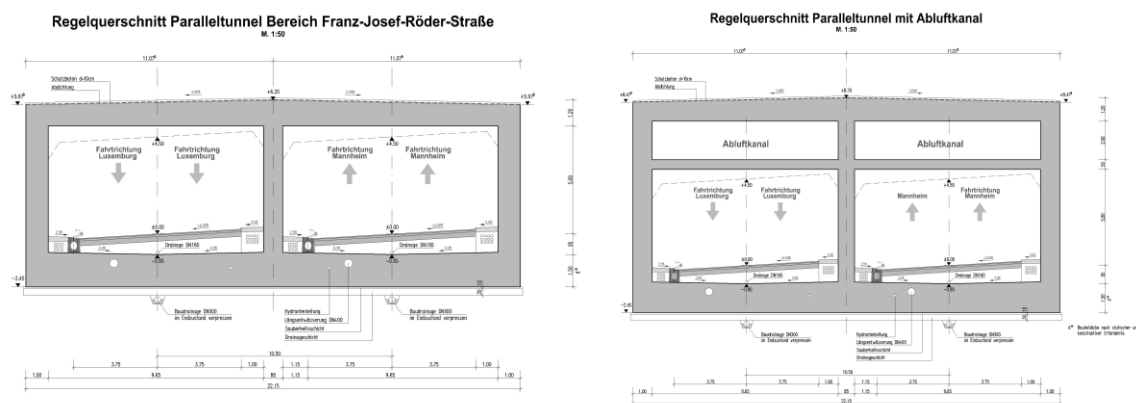


Abbildung 5: Querschnitte Parallellage [6]

Insgesamt werden sieben verschiedene Ausführungsvarianten untersucht.

Die Auswertung aller Szenarien mit Bestimmung der Schadenshäufigkeiten und der Schadensausmaße führt zu den Schadensausmaßhäufigkeitsdiagrammen. Abbildung 6 zeigt die Auswertung für die Nordröhre bei einer Ausführung in Parallellage und Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse für die Südröhre bei einer Ausführung als Huckepacklösung.

In Abbildung 6 ist zu erkennen, dass für den Tunnel in Parallellage (Nordröhre) die Variante ohne Brandabsaugung und mit Verkürzung der Abstände der Notausgänge (Übergänge in die Nachbarröhre) auf 75 m den günstigsten Risikowert aufweist. Die Kurve dieser Variante liegt unterhalb der beiden anderen Varianten. Abbildung 7 weist für die Huckepackvarianten die Lösungen mit Seitenstreifen als risikoärmer als die ohne Seitenstreifen aus. Durch den Seitenstreifen wird der Tunnelquerschnitt vergrößert; dies führt bei den PKW-Bränden zu einer besseren Schichtung des Rauches und damit zu besseren Fluchtverhältnissen.

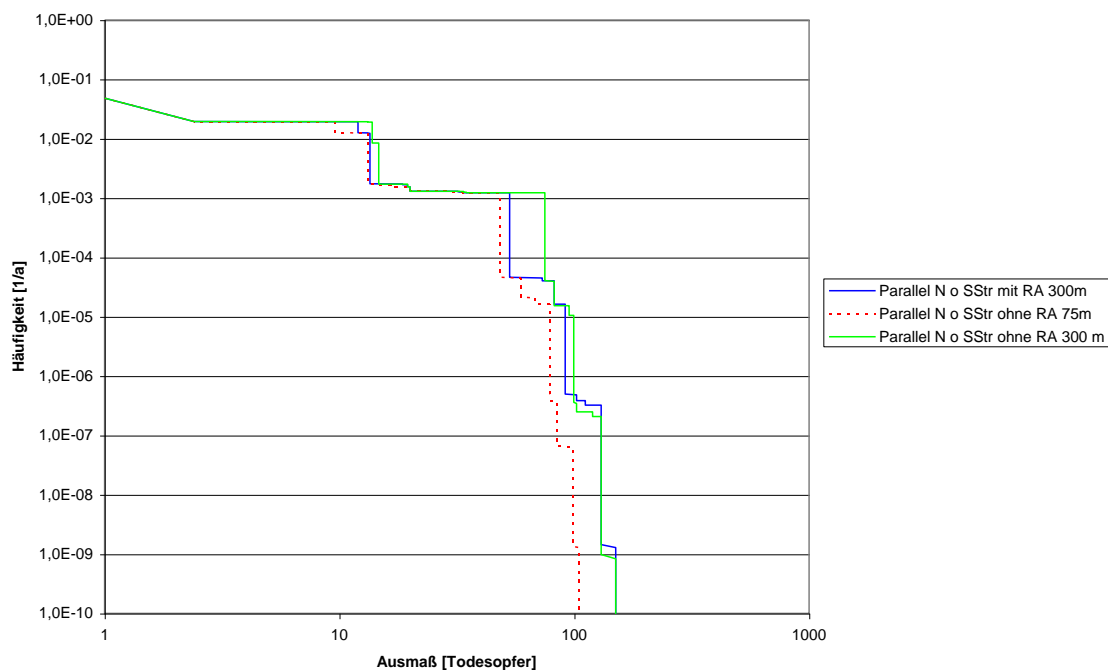


Abbildung 6: Schadensausmaßhäufigkeitsdiagramm für die Nordröhre in Parallellage [6]
(ohne Stanstreifen, mit und ohne Rauchabsaugung)

Vergleich Huckepack Südröhren

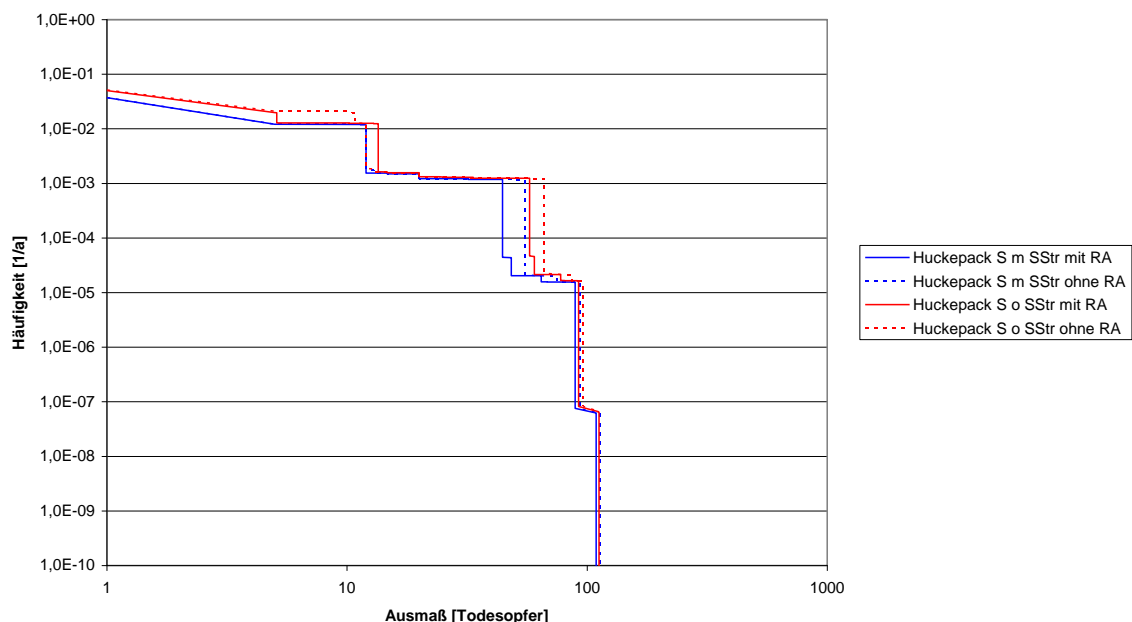


Abbildung 7: Schadensausmaßhäufigkeitsdiagramm für die Südröhre als Huckepacklösung [6]
(mit und ohne Stanstreifen, mit und ohne Rauchabsaugung)

Aus allen durchgeführten Untersuchungen der Varianten sowie in Verbindung mit einer Analyse der Kostenwirksamkeit der einzelnen Maßnahmen ergibt sich für dieses Projekt als zweckmäßige, dem Sicherheitsniveau einer RABT-konformen Umsetzung vergleichbare Lösung eine Projektierung der beiden Tunnelröhren in Parallellage mit verkürzten Notausgangsabständen und einer durchgehenden Längslüftung.

5 Schlussbetrachtung

Risikoanalysen und hier insbesondere quantitative führen zu transparenten, nachvollziehbaren Risikoermittlungen. Über sie lassen sich Vergleiche zwischen unterschiedlich ausgestatteten Tunneln hinsichtlich der Sicherheit durchführen und die Wirksamkeit einzelner getroffener Maßnahmen wie z. B. Verkürzung der Fluchtwegabstände, Reduzierung der Detektionszeit, Reduzierung der Eingriffszeit der Einsatzkräfte oder der Einsatz einer automatischen Brandbekämpfungsanlage nachweisen. Werden sie im Rahmen der Variantenuntersuchung während der Planungsphase eingesetzt, sind sie ein geeignetes Mittel, transparente Grundlagen zur Entscheidungsfindung zu liefern. Sie tragen dazu bei, die Genehmigungsfähigkeit auch bei Lösungen, die aus wirtschaftlichen Überlegungen oder anderen Zwängen die Richtlinien nicht in allen Punkten erfüllen, nachzuweisen. Sie dürfen aber nicht dazu führen die normativen Vorgaben der RABT außer Kraft zu setzen.

6 Literatur

- [1] RABT(2006): Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [2] Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2004): Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz ; Amtsblatt der Europäischen Union, 29. April 2004
- [3] Zulauf,CH. et al. (2008): Leitfaden für Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln gemäß RABT 2006 (Abschnitt 0.5); Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung; Bonn
- [4] Baltzer,W.;Kündig,P.;Locher,P.;Mayer,G.;Riepe,W.;Steinauer,B.; Zimmermann,U.; Zulauf, CH.(2007): Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln; Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung; Bonn
- [5] Baltzer,W.;Brennberger,S.;Mayer,G.;Zimmermann,U.(2008): Risikoanalyse Tunnel Velbert Langenberg; Landesbetrieb Straßenbau NRW Regionalniederlassung Niederrhein, Mönchen Gladbach
- [6] Baltzer,W.;Brennberger,S.;Mayer,G.;Riepe,W.;Zimmermann,U.(2008): Risikoanalyse Tunnel BAB A620 Saarbrücke; Landesamt für Straßenbau; Neunkirchen

Neue Wege im Betrieb von Straßentunneln

von Dipl. Ing. Dirk Schlenso,

Stellv. Leiter des Kompetenzcenter Tunnelbau und Betrieb

Teamleiter Technische Ausrüstung und Betrieb

Projektleiter TLZ Hessen

Ist- Stand zum Betrieb von Straßentunneln

Straßentunnel nehmen im Straßennetz einen besonderen Stellenwert ein. Eine hohe Verfügbarkeit und ein hohes Sicherheitsniveau gehören zu den wesentlichen Anforderungen, die an die Bauwerke gestellt werden, um den Bedürfnissen der Wirtschaft und Bevölkerung gerecht zu werden. Mit der Einführung der Richtlinie zur Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln im April 2006 (RABT2006) sind zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Tunnel Untersuchungsmethoden zu entwickeln und umzusetzen. Im organisatorischen Bereich sind Zuständigkeiten festzulegen. Außerdem ist ein Berichtswesen aufzubauen, was gegebenenfalls Änderungen in Strukturen bei allen beteiligten Behörden erforderlich macht.

- Was ist mit dem Betrieb von Straßentunneln?
- Welche Vorgaben existieren?
- Was ist zu beachten?
- Wer macht was wann?

Wie kann unter diesen Gesichtspunkten ein Straßentunnel oder mehrere Straßentunnel von einer Verwaltung bzw. einer „für den Betrieb zuständigen Stelle“ betrieben und Instand gehalten werden? Bei einem Vergleich zwischen den derzeitigen Anforderungen an einen Betrieb von Straßentunneln und möglichen neuen Wegen, erkannten wir, dass es derzeit keine einheitliche Anforderungen und Vorgaben gibt.

- Für den Betrieb von Straßentunneln liegen keine Bundesweit einheitlichen Grundlagen vor
- Einzelne Unterlagen befinden sich derzeit in der Entstehung

Organisation in Hessen

Die Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung untersteht dem Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. An der Spitze dieser Verwaltung befindet sich das Hessische Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen für die strategischen Aufgaben. Die Operativen Aufgaben werden von 12 Ämtern wahrgenommen. Der Betrieb von Straßen und Straßentunneln gehören zu den Operativen Aufgaben dieser Ämter.

Es ergibt sich hieraus, dass die 12 Ämter gemeinsam die TLZ Hessen als Dienstleister zur Überwachung nutzen.

Die TLZ – ein Diener (zu) vieler Herren ?!

Der Gedanke "Diener zu vieler Herren" kommt dem geneigten Leser hierbei in den Sinn. Es gilt hierbei jedoch mit Hilfe von Standards und einheitlichen Strukturen einen reibungslosen Betrieb sicher zustellen. Anweisungen der einzelnen Ämter dürfen in der TLZ Hessen nicht zu Widersprüchen und unterschiedlichen Handlungen führen. Ein inhaltlicher, struktureller und gleichmäßiger Informationsfluss werden von uns angestrebt. Begriffe werden in Glossars einheitlichen Interpretationen zugeführt.

Eine These: Es gibt zu viele weisungsbefugte Personen

- Tunnelmanager A gibt eine Handlungsvorgabe
- Tunnelmanager B gibt eine Handlungsvorgabe
- Straßenmeister gibt noch eine andere Anweisung

Ein Beispiel hierzu ist die Erfassung von Meldungen und Ereignissen. Wir erkannten, dass die bestehenden Vorgaben der BAST zum Erfassungsbogen einen weiten Spielraum zur Erfassung ließen. Hier wurden in Freitextfeldern bestimmte Stichwörter festgelegt.

Bei unterschiedlichen Vorgaben entsteht:

- a. Furcht bei den Disponenten "Ist alles richtig was wir ausführen?"
- b. Angst beim Tunnelmanager "Werden Weisungen richtig umgesetzt?"

Wir erarbeiten daher ein Handbuch für die Tunnelmanager mit engen Vorgaben. Dies ermöglicht gleiche Handlungsweisen für die TLZ Hessen und einen einheitlichen Sicherheitsstandard für Hessen.

Grundlagen für den Betrieb

Für den Betrieb zuständige Stelle ist es notwendig, einzelne Arbeitsabläufe bzw. Schnittstellen zu ermitteln und darzulegen. Es gilt hierbei immer die Anforderungen der geltenden Rechtsvorschriften und Grundlagen zu beachten. Diese sind teilweise innerhalb der einzelnen Bundesländer, bedingt durch verschiedene Landesgesetze und Verordnungen, unterschiedlich.

Beispiele für Grundlagen die es zu beachten gilt:

- Gesetze und Verordnungen der Bundesrepublik Deutschland und der Länder
- RABT – Richtlinie zur Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln
- Auflagen Dritter
- Instandhaltungsvorgaben der Hersteller

Gesetze und Verordnungen

Allein der Anteil an Gesetzen und Verordnungen, welche für einen Arbeitgeber zu beachten sind, belaufen sich auf mehr als 19 Stück. Unter der Voraussetzung, dass alle arbeiten einer Firma übertragen werden, reduzieren sich die zu berücksichtigenden Gesetze und Verordnungen, sind jedoch nicht komplett eliminiert.

Sofern jedoch eine Leistung mit eigenem Personal erbracht wird, und dies geschieht bereits mit der Überprüfung der Leistung des AN vor Ort, finden alle wieder Ihre Anwendung.

Es gibt hierbei 2 Möglichkeiten mit umzugehen:

1. Allgemeine Vorgabe der Inhalte für Arbeitsschutzanweisungen

Vorteil:	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> - Geringer Personalaufwand bei der Erstellung 	<ul style="list-style-type: none"> - Erheblicher Personalaufwand bei Änderungen - Schulung der Anwendung - Schwierigkeiten in der Umsetzung - Keine Vergleichbarkeit - Organisation Ehrfahrungsaustausch

2. Eine zentrale Stelle arbeitet für alle Betriebsdienste die Arbeitsschutzanweisungen aus

Vorteil:	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> – Geringer Personalaufwand bei der Erstellung – Geringer Fortbildungsaufwand – Einfache Anwendung – Leichte Erlernbarkeit von Anwendern – Schaffung Vergleichbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Bilden der Zentralen Stelle – Organisierung Ehrfahrungsaustausch

Leistungen Bereich Betrieb

Für die öffentlichen und privaten Betreiber eines Straßentunnels ist es bedingt durch den Mangel an expliziten Vorgaben schwierig einen Betrieb zu organisieren und die Arbeitsabläufe übersichtlich darzulegen.

Es gilt die wichtigsten Fragen zu beantworten:

- Wer macht was wann?
- Wer liefert welche Information wann an wen?

Damit diese Fragen beantwortet werden können, ist es notwendig zu klären, welche Organisationseinheiten am Betrieb beteiligt sind. Mit der Aufstellung der Aufgaben, die diese Organisationseinheiten haben, und der Zusammenstellung der einzelnen Abläufe, ergeben sich die Schnittstellen zwischen den einzelnen Organisationseinheiten.

Analysen von Ereignissen

Innerhalb von Hessen werden zukünftig sämtliche Störungen innerhalb von Datenbanken gesammelt. Mittels fester Abläufe und Kategorien werden diese Fehler anschließend systematisch durchforstet.

Nur durch beobachten und bewerten von Messwerten, kann ein wirtschaftlicher Betrieb erreicht werden. Als Beispiel sei hier das wirtschaftliche Verhalten beim Tanken angeführt.

Sofern der Tankinhalt sich dem Ende neigt, orientiert man sich bereits an den Preisen. Sind die Preise günstig wird getankt. Dies geschieht noch bevor die Warnsignale im Cockpit angehen.

Bedingt durch statistische Auffälligkeiten kann u.a. erkannt werden, dass innerhalb einer bestimmten Technik Gruppe es vermehrt zu Störungen und Ausfällen gekommen ist. Je nach Erfassung und Auswertung kann zusätzlich erkannt werden wie z.B. im Tunnel A die Verkehrstechnik öfters gestört ist, als innerhalb eines vergleichbaren anderen Tunnels B.

Rückschluss ist die Verkehrsanlagen in Tunnel A werden geprüft, geändert oder sogar ausgetauscht. Es lässt sich hierdurch ebenfalls die Leistung von Errichtungs-, bzw. Instandhaltungsfirmen kontrollieren und somit eine messbare Leistungsfähigkeit ermitteln.

KISS

Damit die Disponenten in ihrer Arbeit Effektiv vorgehen können, ist es notwendig die Reaktionen innerhalb des Systems und die Gestaltung der Oberflächen streng nach dem Grundsatz „ Keep it simple and stupid“ aufzustellen. Dies ist zwar Aufwendig, dennoch zahlt sich das später durch leichte Erlernbarkeit bzw. einfachere Arbeitsabläufe aus.

Festlegung des Verfahrens zur sofortigen Sperrung

Innerhalb von Festlegungen zur sofortigen Sperrung geben wir nicht nur Arbeitsschritte und Abläufe vor, wie ein Straßentunnel gesperrt wird, sondern es gilt ebenso Festlegungen zu ermitteln auf deren Grundlage eine Freigabe des Verkehrs erfolgen kann.

(Dauer, und Umfang der Einschränkung bis zur Behebung)

Als Beispiel sei hierbei der Ausfall bedingt durch einen Überspannungsschaden genannt. Es gilt hierbei zu klären, welche Anlagenteile sind betroffen und wenn eine SPS betroffen ist, wurde der korrekte Softwarestand in die Steuerung eingespielt.

Kategorisierung bei Störungen

Bestandteil der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne (AGAP) sind eine Vielzahl von Handlungsanweisungen. Die Hauptaufgabe der AGAP ist unseres Erachtens, die Meldungs- und Alarmierungswege mit den Einsatzdiensten festzulegen. Je nach Ereignis können die Einsatzdienste davon ausgehen, dass der Betreiber bzw. die TLZ den Tunnel in einen bestimmten Zustand bringt und versucht diesen Zustand zur Selbstrettung aufrecht zu erhalten. Weiterhin sollten diese Unterlagen darlegen, wie die Einsatzdienste bestimmte Schalthandlungen anfordern können.

Es wird derzeit in Hessen eine Kategorisierung von Ereignissen vorgenommen. Dies geschieht um die verschiedenen Meldungen mit gleicher Handlung zu bündeln. Ziel ist es die Anzahl von Handlungsanweisungen zu reduzieren und schneller reagieren zu können. Die erste Vorstellung hin zu einer Standardisierung ist bereits umgesetzt.

Wiederkehrende Prüfungen

Es gibt eine Reihe von Wiederkehrenden Prüfungen die bereits in der VDE bzw. DIN 1076 geregelt sind. Jedoch ist die Frage inwiefern Prüfungen nach VDE seitens der Untersuchungsstelle wiederholt werden müssen. Es stellt sich die Frage ob die Prüfung selber vorgenommen werden muss, oder nur kontrolliert wird ob die Prüfung sach- bzw. fachgerecht erfolgte. Bei Kraftfahrzeugen besteht für die Überwachungsdienste (TÜV, Dekra, etc.) eine Pflicht zur Prüfung der Bremsen. Dies gilt auch obwohl die Bremsen seitens einer Fachwerkstatt innerhalb einer Wartung geprüft wurden.

Gefahrguttransporte durch Strassentunnel – Bewertungsverfahren

von Christoph Zulauf,
Ernst Basler + Partner AG
Zollikon (CH)

Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Zulässigkeit von Gefahrguttransporten durch Strassentunnel und zur Festlegung etwaiger Transportbeschränkungen sind gemäss geltenden Vorschriften risikobasierte Untersuchungen vorzunehmen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes einer Bund-/Länder-Arbeitsgruppe (Leitung: Freistaat Thüringen) wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein mehrstufiges Verfahren entwickelt, anhand dessen die Risiken aus dem Transport gefährlicher Güter durch Strassentunnel analysiert und beurteilt sowie der Bedarf nach Transportbeschränkungen ermittelt werden können. Das entwickelte Verfahren ist ein Hilfsmittel, das einen einheitlichen Umgang mit der Thematik ermöglichen soll. Die Initiative und diese Herangehensweise wurden auf der Verkehrsministerkonferenz vom Oktober 2007 für Deutschland beschlossen.

1. Einleitung und Ausgangslage

1.1 Risiken von Gefahrguttransporten durch Strassentunnel

Vor dem Hintergrund verschiedener schwerer Unfälle in Strassentunneln wurde in den vergangenen Jahren die Frage nach möglichen Risiken bei einer allfälligen Beteiligung von Gefahrgütern verstärkt diskutiert. Freisetzungen von Gefahrgut sind zwar erfahrungsgemäss sehr seltene Ereignisse, aufgrund der spezifischen Eigenschaften der Gefahrgüter können sie aber ein erheblich grösseres Schadenpotenzial aufweisen, als etwa "herkömmliche" Tunnelbrände.

1.1 Regulative Forderungen

Auf Seiten der regulativen Forderungen sind in der jüngeren Vergangenheit bedeutende Neuerungen im Zusammenhang mit dem Transport von Gefahrgütern durch Strassentunnel erfolgt:

- ADR 2007/2009 (1): Das Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) regelt auf europäischer Ebene die Grundsätze zum Transport von Gefahrgut auf der Strasse und bezeichnet die zugehörigen Vorschriften. In der Fassung des ADR von 2007 wurden neue Bestimmungen für Strassentunnel eingeführt. Sie verlangen eine einheitliche Regelung und Kennzeichnung bei Durchfahrtsbeschränkungen von Gefahrguttransporten durch Tunnel. Etwaige Beschränkungen sollen auf einer Risikoanalyse abgestützt werden und die Tunnel – je nach Grad der resultierenden Transportbeschränkung – bis zum 31.12.2009 einer Tunnelkategorie A bis E zugeordnet werden (vgl. Tabelle 1). Folgende Wirkungsarten von Gefahrguttransporten sind gemäss ADR aus Blickwinkel der (Personen-)Risiken zu berücksichtigen:
 - Explosions-/Druckwirkung
 - Toxizität
 - Brandwirkung
- Tunnelrichtlinie 2004/54/EG (2): Gemäss der Tunnelrichtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz (TERN) ist für alle Tunnel mit einer Länge von mindestens 500 m, die innerhalb des TERN liegen, vor der Festlegung bzw. Änderungen der Vorschriften

bezüglich Gefahrguttransporten eine Risikoanalyse gemäss Artikel 13 durchzuführen. Die Umsetzung der Richtlinie für in Betrieb genommene Tunnel hat bis zum 30.04.2014 zu erfolgen.

- RABT 2006 (3): In den Deutschen "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln" (RABT 2006) wird geregelt, dass für alle Tunnel mit einer Länge ab 400 m Risikoanalysen durchzuführen sind, wenn Festlegungen bzw. Änderungen der Vorschriften bzgl. Gefahrguttransporte vorgenommen werden. Bei Vorhandensein von Umfahungsstrecken sind diese in das Risikoanalyseverfahren einzubeziehen. Darüberhinaus sind beim Vorliegen einer besonderen Charakteristik des Tunnels hinsichtlich der Gefahrguttransporte ebenfalls Risikoanalysen gefordert.

Tunnelkategorie ADR	Beschränkung
A	keine Beschränkung für gefährliche Güter (UN 2919 und 3331, siehe ADR, Abs. 8.6.3.1)
B	Beschränkungen für gefährliche Güter, die zu einer sehr grossen Explosion führen können
C	Beschränkungen für gefährliche Güter, die zu einer/einem <ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr grossen Explosion ▪ grossen Explosion ▪ Umfangreiches Freiwerden giftiger Stoffe führen können
D	Beschränkungen für gefährliche Güter, die zu einer/einem <ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr grossen Explosion ▪ grossen Explosion ▪ Umfangreiches Freiwerden giftiger Stoff ▪ grossen Brand führen können
E	Beschränkungen für alle gefährlichen Güter (ausser UN-Nummern 2919, 3291, 3331, 3359 and 3373)

Tabelle 1: Tunnelkategorien nach ADR¹

Diese Forderungen nach risikobasierten Untersuchungen im Zusammenhang mit Gefahrguttransporten führten dazu, dass anlässlich der Verkehrsministerkonferenz im Oktober 2007 für Deutschland beschlossen wurde ein einheitliches Verfahren – auch im Sinne der Rechtssicherheit – zu entwickeln.

2. Risikoanalysen für Gefahrguttransporte durch Strassentunnel

In der Vergangenheit wurde verschiedentlich, oft ohne auf eine spezifische Risikountersuchung zurückgreifen zu können, anhand pauschaler Einschätzungen über ein generelles Verbot oder eine grundsätzliche Zulassung von Gefahrguttransporten durch Tunnel entschieden. Solche Entscheidungen sind oft massgeblich beeinflusst von subjektiv geprägten Grundhaltungen, die von Verantwortungsträgern und Beteiligten eingebracht werden. Auch standen keine einheitlich anerkannten Verfahren für eine risikobasierte Bewertung und entsprechende Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung.

Für die Untersuchung von Risiken beim Transport gefährlicher Güter durch Strassentunnel liegen heute verschiedene Methoden und Anwendungserfahrungen im In- und Ausland vor. Das Spektrum

¹ Es gilt darauf hinzuweisen, dass die Einteilung der Tunnelkategorien nach ADR streng genommen nicht auf einer risikobasierten Betrachtung basiert sondern auf einer Betrachtung der Schadenpotenziale, d. h. ohne Berücksichtigung der Häufigkeit der betrachteten Schäden.

der angewandten Methoden ist sehr breit und reicht von Experteneinschätzungen, bei denen die Risiken von Gefahrguttransporten durch einen Tunnel qualitativ beurteilt werden, über andere qualitative und semiquantitative Verfahren bis hin zu rein quantitativen Verfahren.

Qualitative und vereinfachte quantitative Verfahren können die komplexen Interaktionen zwischen Tunnel, Tunnelnutzern, Sicherheitsausstattung und Gefahrgutwirkungen nur bedingt erfassen. Um die komplexen Zusammenhänge hinreichend abbilden zu können, haben sich in der Praxis vorwiegend quantitative Verfahren durchgesetzt. Durch die Quantifizierung werden die erforderlichen Annahmen und Modellparameter transparent dargelegt. Massnahmen auf Basis von quantitativen Risikoanalysen haben so den Vorteil, dass sie auf einer objektivierbaren und diskutierbaren Grundlage basieren, auch wenn für die Bewertung der Tragbarkeit von Risiken durchaus Ermessensspielräume bestehen.

3. Risikobasiertes Verfahren zur Umsetzung der ADR-Forderungen für Tunnel in Deutschland

3.1 Übersicht zum Verfahren

Im Rahmen eines Forschungsprojektes einer Bund-/Länderarbeitsgruppe wurde unter der Leitung der Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt) im Zeitraum von Februar 2008 bis März 2009 ein Vorschlag für ein risikobasiertes, mehrstufiges Verfahren entwickelt, mit dem Strassentunnel einer Tunnelkategorie nach ADR 2007 zugeordnet werden können (4). Eine schematische Übersicht zum Verfahren ist in der nachfolgenden Abbildung 1 dargestellt.

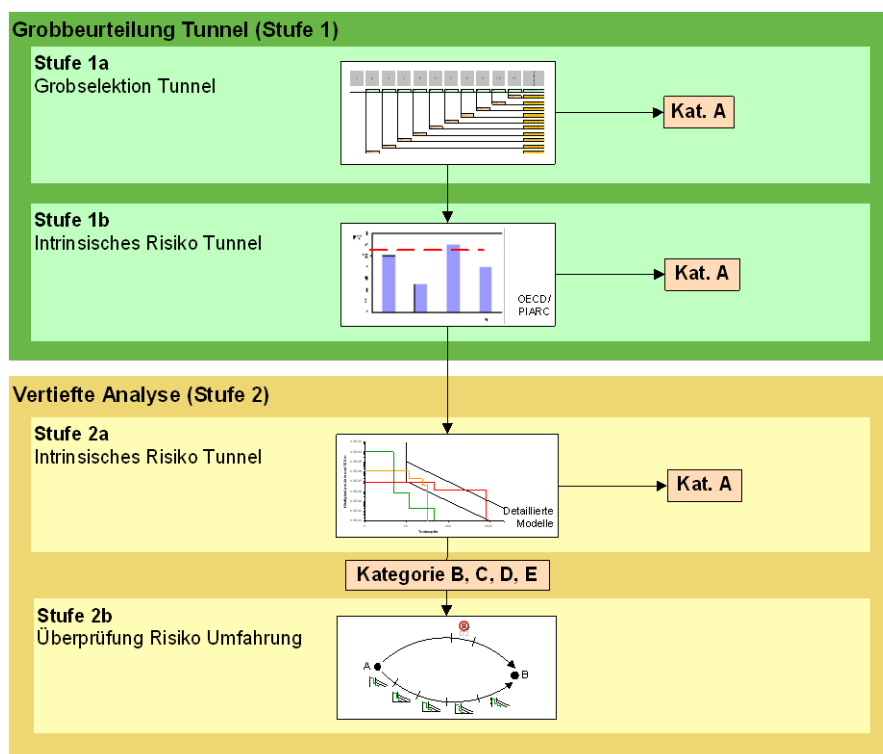


Abbildung 1: Schematische Darstellung zum Ablauf des Verfahrens

Das Verfahren ist mehrstufig aufgebaut und gliedert sich in eine Grobbeurteilung (Stufe 1) und eine vertiefte Analyse (Stufe 2), die wiederum in zwei Substufen unterteilt sind.

4 Schlussfolgerungen

Das Verfahren ermöglicht die Analyse der Risiken sowie gegebenenfalls die Festlegung von Beschränkungen von Gefahrguttransporten durch Tunnel, wie sie in den geltenden Vorschriften und Richtlinien für Tunnel (Tunnelrichtlinie 2004/54/EG und RABT 2006) sowie im ADR gefordert sind. Das entwickelte Verfahren ist als Hilfsmittel für die Kategorisierung zu verstehen, das einen einheitlichen Umgang mit der Thematik ermöglichen soll.

Die Gliederung des Verfahrens in mehrere Stufen erlaubt es, dass nicht für alle Tunnel die Risiken a priori mit komplexen Methoden und Modellen untersucht werden müssen und der Analysetiefgang sich an den jeweiligen tunnelspezifischen Gegebenheiten orientiert. Für die einzelnen Stufen wurden die zu berücksichtigenden anwendungsspezifischen Einflussfaktoren und Randbedingungen hergeleitet und definiert. Bei der Entwicklung des Verfahrens und der Festlegung der Anforderungen an Modelle und Grundlagen wurde darauf geachtet, dass eine einheitliche Umsetzung möglich ist. Grundlage für die methodischen Elemente des entwickelten Verfahrens bildeten Erfahrungen aus bereits vorliegenden Gefahrgutrisikoanalysen sowie Sensitivitätsanalysen mit dem OECD/PIARC QRA Modell hinsichtlich der Eignung im Verfahren.

Die in der Methodik festgelegten Schwellenwerte bzw. Kriterien zur Beurteilung des Handlungsbedarfs mussten auf Grundlage einer vergleichsweise geringen vorliegenden Datenbasis hergeleitet und festgelegt werden. Sie müssen deshalb nach Vorliegen hinreichender Erfahrungen mit dem beschriebenen Verfahren wieder überprüft, gegebenenfalls angepasst und weiter entwickelt werden.

Literatur

- [1] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, UN/ECE (2007/2009):
Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR)
- [2] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT (2004):
Richtlinie 2004/54/EG vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Strassennetz:
- [3] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN, ARBEITSGRUPPE VERKEHRSFÜHRUNG UND VERKEHRSSICHERHEIT(2006):
Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln, RABT
- [4] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG; BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN BAST (2009):
Verfahren zur Kategorisierung von Strassentunneln gemäss ADR 2007 (FE 03.0437/2007/FRB, FE 86.0050/2008)
BUNG Ingenieure AG, Ernst Basler + Partner AG, PTV AG
noch nicht veröffentlicht
- [5] OECD/PIARC/EU (2005):
Transport of Dangerous Goods through road tunnels; Quantitative Risk Assessment Model (versions 3.60 and 3.61); Reference Manual, User Guide and Guide for the Expert User
INERIS
- [6] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG; BUNDESANSTALT FÜR STRASSENWESEN BAST (2009):
Bewertung der Sicherheit von Strassentunneln (FE 03.0378/2004/FRB)
ERNST BASLER + PARTNER AG, BUNG INGENIEURE AG, PTV AG

-
- [7] PIARC TECHNICAL COMMITTEE C3.3 ROAD TUNNEL OPERATION (2008):
Risk Analysis for Road Tunnels;
ISBN 2-84060-202-4

 - [8] ZULAUF C. (2007):
Risikoanalysen für den Transport gefährlicher Güter durch Tunnel;
Beitrag anlässlich des Storck Symposiums vom 27. Februar 2007, Hamburg

 - 8] ZULAUF C., ZIMMERMANN U. (2009):
Umsetzung der ADR-Forderungen für Tunnel in Deutschland;
Beitrag anlässlich des 5. Internationalen Fachkongress' Verkehr und Sicherheit in
Strassentunneln, 6.-8. Mai 2009 in Hamburg

2. Ereignismeldewesen

Die Einführung der EG Tunnelrichtlinie bzw. deren Einarbeitung in die RABT 2006 hat zur Folge, dass seitens der Mitgliedstaaten im Rhythmus von 2 Jahren ein Bericht an die EU-Kommission zu erstellen ist. Dieser Bericht soll nach Artikel 15 der EG-Tunnelrichtlinie Angaben und Auswertungen über Häufigkeit und Ursachen von schweren Unfällen und Bränden in Tunneln des TERN, sowie Angaben zur tatsächlichen Bedeutung und Wirksamkeit von Sicherheitseinrichtungen und –maßnahmen enthalten. Die grundsätzliche Struktur des Ereignismeldebogens ist nach einer ersten Testphase mit den Ländern vorabgestimmt worden. Unter der Berücksichtigung weiterer Auswertergebnisse von realen Ereignissen ist der Ereignismeldebogen an die zur Auswertung erforderlichen Informationen und an die Erfordernisse der Verwaltungsbehörden angepasst und abgestimmt worden. Das Ereignismeldewesen ist mittels ARS 3/2008 vom 01.04.2008 eingeführt worden.

Alle Berichte zu den einzelnen Straßentunneln werden von der BAST im Auftrag des BMVBS gesammelt und für statistische Zwecke ausgewertet. Durch das Ereignismeldewesen sollen alle besonderen Ereignisse und Unfälle einheitlich erfasst werden.

Durch die bundesweite und bundeseinheitliche Ereignisdokumentation in Straßentunneln sollen Erhebungsdaten auf der Basis des beigefügten Ereignismeldebogens und deren Auswertung zukünftig als Grundlage für

- die regelmäßigen Berichte an die EU-Kommission,
- die Erstellung von Risikoanalysen, und
- die Bearbeitung der maßgeblichen Regelwerke

zur Verfügung stehen.

Inzwischen sind bei der BAST die Ereignismeldebögen für den Berichtszeitraum 2006/2007 vollständig sowie für das Jahr 2008 größtenteils eingegangen. Aus der Auswertung der Testphase sowie des Zeitraums 2006/2007 lässt sich ableiten, dass eine unterschiedliche Interpretation zu meldender Ereignisse die Auswertung maßgeblich erschwerte. Um die bestehenden und zukünftigen Auswerteziele abdecken zu können, sollte ein erhebliches Augenmerk auf eine bundesweit einheitliche Datenqualität gelegt werden. Hierfür sind einheitliche und vollständige Ereignismeldungen unabdingbar.

- Die Auswertung von Tunnelereignissen wird sich zukünftig auf die folgenden Ziele richten.
- Wo treten Ereignisse auf?
- Wann treten Ereignisse auf?
- Warum treten Ereignisse auf?
- Welches Ausmaß haben Ereignisse?
- Welche Rolle spielen sicherheitstechnische Einrichtungen und Maßnahmen?

Die jeweils für den vergangenen Erhebungszeitraum, in der Regel der Zeitraum des vergangenen Kalenderjahres, vorzunehmenden Auswertungen erfolgen ca. ein halbes Jahr nach Abschluss des Erhebungszeitraums. Zwischen einem einzelnen Ereignis und der entsprechenden Auswertung können somit auch eineinhalb Jahre vergehen. Zur Verkürzung der Auswerteziträume und hieraus ggf. resultierender Vorteile durch eine schnelleren Bereitstellung von Ergebnissen wären die Möglichkeiten für eine ggf. mittel- bis längerfristig umzusetzende Web-basierte Eingabe von Ereignissen und damit verbundene Vor- und Nachteile in Zusammenarbeit mit den Ländern zu prüfen.

3. Sicherheitsdokumentation

Die Bezeichnung Sicherheitsdokumentation wurde im Zusammenhang mit der EG-Tunnelrichtlinie [1] neu eingeführt und in die RABT [2], Ausgabe 2006 übernommen. Eine Sicherheitsdokumentation

ist für alle Tunnel des Bundesfernstraßennetzes mit einer Länge ab 400 m zu führen. In ihr sind die für die Sicherheit des Tunnelnutzers maßgeblichen vorbeugenden und sichernden Maßnahmen aufzustellen und fortzuschreiben. Die Sicherheitsdokumentation ist für jedes Tunnelbauwerk objektspezifisch zu erstellen und über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerkes fortzuschreiben.

Zur Konkretisierung der Inhalte und zur Festlegung einer einheitlichen Struktur für eine Sicherheitsdokumentation wurde das Forschungsvorhaben „Konzeption der Sicherheitsdokumentation für Straßentunnel nach EG-Richtlinie 2005/54/EG“ [4] durchgeführt. Vor dem Hintergrund eines erheblichen Handlungsbedarfes wurde auf der Basis der Forschungsergebnisse eine bedarfsgerechtere Ergebnisdarstellung für die notwendige praktische Anwendung durch die mit der Umsetzung befassten Stellen in Form eines Leitfadens [5] erarbeitet. In diesem werden

- Grundsätze zur Durchführung von Sicherheitsdokumentationen für Straßentunnel zusammengefasst,
- methodische Grundsätze zur Durchführung von Sicherheitsdokumentationen bei Zulassung einer gewissen Flexibilität bei der praktischen Anwendung aufgeführt, und
- die Durchführung, Vergabe bzw. Beurteilung von Sicherheitsdokumentationen durch die verantwortlichen Behörden /Auftragsverwaltungen durch eine entsprechende Ausrichtung der Inhalte ermöglicht.

Folgende Zielsetzungen wurden den Festlegungen zur Erstellung einer Sicherheitsdokumentation zugrundegelegt:

- Übersichtlichkeit durch konzentrierte Inhalte,
- Einfache Vergleichbarkeit der Sicherheitsparameter,
- Einheitliche Dokumentenstruktur,
- Überblick, welche Zusatzuntersuchungen unter bestimmten Voraussetzungen erforderlich sind,
- Einheitliche Vorgaben zu betrieblichen und organisatorischen Angaben.

Die Sicherheitsdokumentation dient als umfassender Bericht zur Tunnelsicherheit, in dem alle relevanten Aspekte von Bauwerk und Ausrüstung bis Betrieb und Organisation über die Lebensdauer des Tunnelbauwerkes von der Planung über den Bau bis zum Betrieb zusammengefasst werden. Vorgaben zu einheitlichen Inhalten in den einzelnen Phasen definieren, welche Angaben in die Sicherheitsdokumentation aufzunehmen sind. Dabei wird speziell auf die Inhalte des Gesamtsicherheitskonzeptes gemäß RABT, Abschnitt 0.4 eingegangen. Der Umfang und die Notwendigkeit durchzuführender Untersuchungen wird anhand der Vorgaben der RABT 2006 aufgezeigt. Zusätzlich wird angegeben, welche Unterlagen (z.B. der Gefahren- und Abwehrplan) in die Sicherheitsdokumentation mit aufzunehmen sind, bzw. auf welche als externe Unterlage verwiesen werden kann. Abgerundet wird der Leitfaden mit einer Darstellung möglicher Zuständigkeiten bei der Erstellung und Fortschreibung der Sicherheitsdokumentation.

4. Zusammenfassung

Die Umsetzung der EG-Tunnelrichtlinie [1] in die RABT [2] hat für Tunnel ab 400 m Länge zur Einführung regelmäßiger Berichtspflichten geführt. Offene Fragen bezüglich des Berichtwesens bestanden im Hinblick auf die Umsetzung eines den Vorgaben der Regelwerke entsprechenden Ereignismeldewesens sowie Festlegung von Umfang und Inhalten einer Sicherheitsdokumentation. Zur Umsetzung des Ereignismeldewesens wurden Verfahrensschritte entwickelt und mittels ARS durch das BMVBS eingeführt. Zur Verkürzung der Auswertezyklen wird angeregt, die mittel bis längerfristigen Möglichkeiten einer Web-gestützten Erfassung und Auswertung von Ereignissen zu prüfen.

Die bei der Erstellung einer Sicherheitsdokumentation zu beachtenden Aspekte wurden in einem Forschungsvorhaben untersucht. Die Ergebnisse des Vorhabens sind in eine, für die notwendige praktische Anwendung durch die mit der Umsetzung befassten Stellen bedarfsgerechtere Form als Leitfaden [5] zusammengefasst worden, der derzeit in einer sehr weit fortgeschrittenen Entwurfsfassung vorliegt. Es wird angestrebt, den Leitfaden durch das BMVBS einführen zu lassen.

5. Literatur

- [1] Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz“, ABl vom 6.Juni 2004
- [2] Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Ausgabe 2006, FGSV, Köln, 2006
- [3] Tagungsband zum „Seminar RABT 2006-Neuheiten für Straßentunnel“, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, November 2006
- [4] Neumann, C., Hoyer, K., Kohl, B.: Konzeption der Sicherheitsdokumentation für Straßentunnel nach EG-Richtlinie 2005/54/EG; FE 15.432/2006/ERB, Schlussbericht Juni 2006, (unveröffentlicht), Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- [5] Leitfaden: Leitfaden zur Erstellung einer Sicherheitsdokumentation gemäß RABT 2006 (Abschnitt 1.1.5), Entwurfsstand 20.01.2009 (unveröffentlicht), Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Forschung zur zivilen Sicherheit von Straßentunneln

von Dipl.-Ing. Ilja Jungfeld,
Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach

Die Verwirklichung von individuellen und wirtschaftlichen Zielen erfordert ein hohes Maß an Mobilität. Zur Gewährleistung der Mobilität sind leistungsfähige Verkehrsinfrastrukturen notwendig. Das deutsche Straßennetz nimmt, bedingt durch seine zentrale Lage in Europa, eine Schlüsselrolle im transeuropäischen Straßennetz mit einer außerordentlichen Transportleistung im Personen- und Güterverkehr ein: 2005 wurden ca. 70% des Güterverkehrs und mehr als 88% des Personenverkehrs über das Straßennetz abgewickelt [1]. Es stellt darüber hinaus ein wichtiges Bediensystem für weitere Verkehrsträger wie Bahn, Schiff oder Flugzeug dar. Eine wesentliche Aufgabe für die Betreiber des Straßennetzes ist deshalb die Gewährleistung einer hohen Verfügbarkeit aller wichtigen Verbindungen, denn bereits geringe Störungen können zu Verkehrsbehinderungen mit erheblichen volkswirtschaftlichen Folgekosten sowie zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen.

Wesentliche Elemente des deutschen Straßennetzes sind aufgrund ihrer Nadelöhrfunktion die Brücken- und Tunnelbauwerke. Der zivilen Sicherheit dieser Bauwerke gegenüber der in jüngster Zeit zunehmenden Bedrohungslage durch Terrorismus und kriminelle Handlungen, aber auch gegenüber extremen Naturereignissen und der Gefahr von Großunfällen kommt eine zentrale Bedeutung zu. Wesentliche Schäden infolge solcher Ereignisse können strukturelle Schäden, beträchtliche Verluste an Menschenleben, sozio-ökonomische Schäden (Arbeitslosigkeit, Wegzug von Firmen, Wiederherstellungskosten), sozio-politische Schäden (öffentliche Unsicherheit, Vertrauensverlust) und ökologische Konsequenzen, jedes verbunden mit den zugehörigen Kosten, sein.

Der Rat der Europäischen Union hat sich mit dieser Thematik auseinandergesetzt und in der Richtlinie 2008/114/EG [2] vom 08. Dezember 2008 das Ziel ausgegeben, sich mit der Ermittlung und Ausweisung europäischer kritischer Infrastrukturen zu beschäftigen und die Notwendigkeit, ihren Schutz zu verbessern, zu bewerten.

Die Verkehrssicherheit deutscher Tunnelbauwerke wurde in den letzten Jahren und wird auch zukünftig durch die Anstrengungen in der deutschen, europäischen und internationalen Forschungslandschaft stetig erhöht. Hierdurch wird die Sicherheit der Tunnelnutzer im täglichen Betriebsablauf durch bauliche, betriebliche und organisatorische Maßnahmen nachhaltig gewährleistet. Bei der zivilen Sicherheit der Tunnelbauwerke soll der Schutz des Bauwerks und deren Nutzer vor äußeren Einwirkungen durch vorsätzlich ausgelöste, fahrlässig begangene oder unvorhersehbar eingetretene Ereignisse, d.h. vor Einwirkungen aus terroristischen und kriminellen Handlungen, menschlichem bzw. technischem Versagen (Großunfällen) und natürliche Extremereignissen, sichergestellt werden. Ein konkreter Schritt in der Forschung zur zivilen Sicherheit von Verkehrsbauwerken wird zurzeit mit dem Verbundprojekt SKRIBT realisiert.



Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Verbundprojekt „SKRIBT - SCHUTZ KRITISCHER BRÜCKEN UND TUNNEL IM ZUGE VON STRASSEN“ ist ein Projekt im Programm „Forschung für die zivile Sicherheit“ der Bundesregierung und gehört darin zu den neun Projekten im Themenfeld „Schutz von Verkehrsinfrastrukturen“.

Die Fragestellungen in diesem Projekt werden interdisziplinär in einem Forschungskonsortium (s. Abb. 1) mit Partnern aus der Verwaltung, der Privatwirtschaft und weiteren Forschungseinrichtungen bearbeitet. Die Projektkoordinierung sowie das Qualitätsmanagement erfolgt durch die BAST als Konsortialführer.

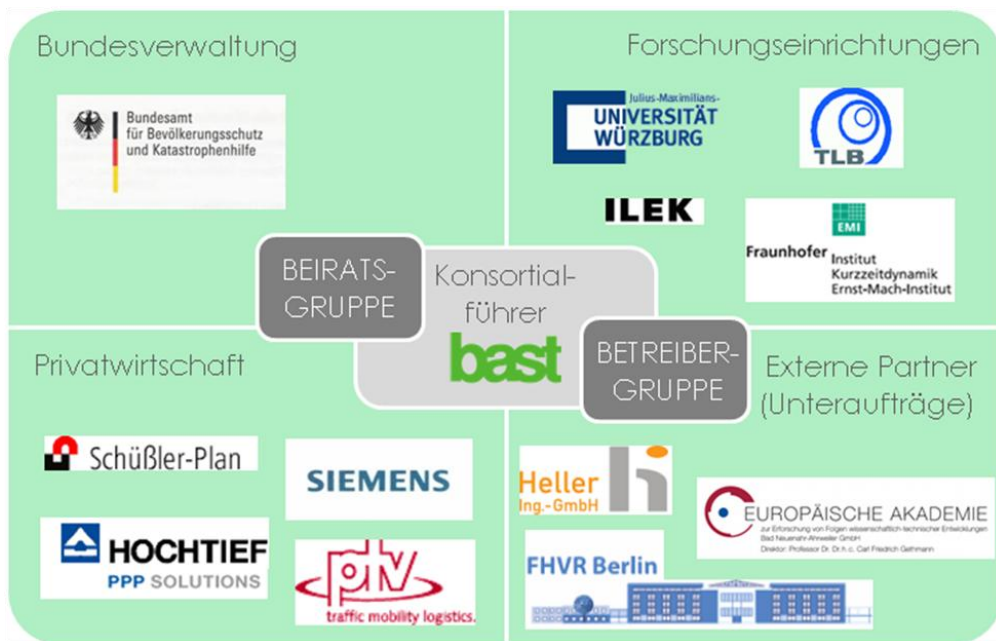


Abbildung 1: Konsortium im vom BMBF geförderten Verbundprojekt SKRIBT

Im Fokus dieser szenariorientierten Sicherheitsforschung stehen die Sicherheit der Bauwerksnutzer sowie die hohe Verfügbarkeit der Brücken- und Tunnelbauwerke. Im Hinblick auf aktuelle und zukünftige Szenarien wird durch eine Bedrohungsanalyse unter Verwendung eines All-Hazard-Ansatzes untersucht, wie Tunnel- und Brückenbauwerke auf die Auswirkungen der Extremereignisse reagieren und welche baulichen, betrieblichen und organisatorischen Gegenmaßnahmen wirtschaftlich und technisch sinnvoll sein können.

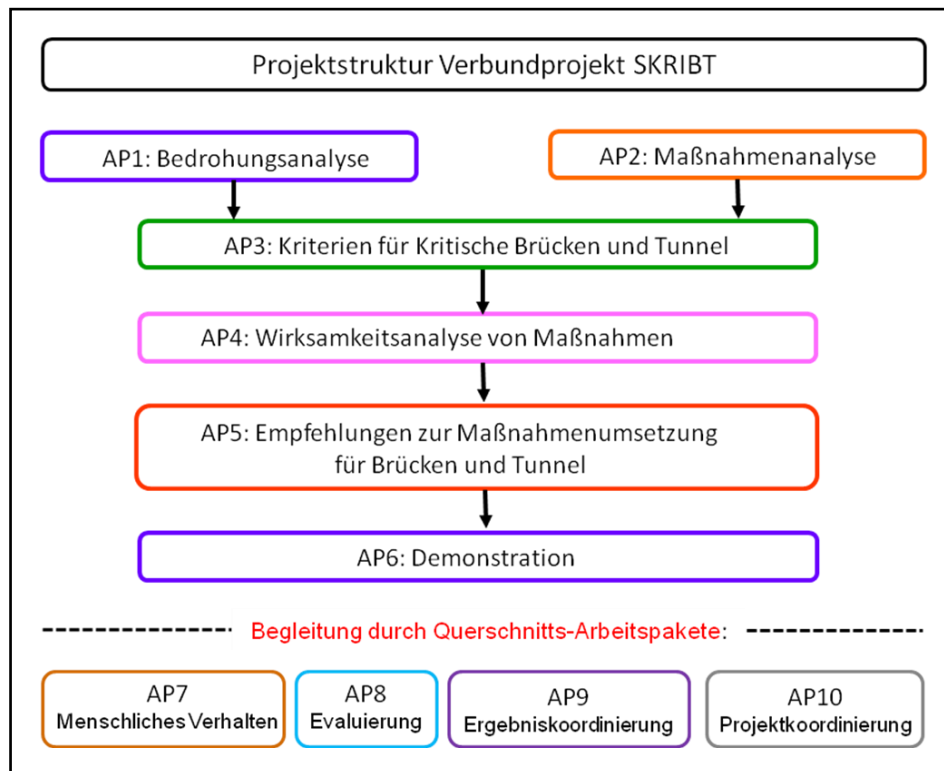


Abbildung 3: Projektstruktur des Verbundprojekts SKRIBT

Im Projektverlauf (s. Abb. 2) werden Untersuchungen zu den Auswirkungen relevanter Extremereignisse auf das Bauwerk, die Nutzer, das Verkehrsnetz und das Umfeld u.a. durch die Anwendung von Simulationen realisiert. Dazu gehören numerische Simulationen auf Hydrocodebasis zur Bestimmung der Auswirkungen von kurzzeitdynamischen Ereignissen (Explosionen) auf Bauwerke, 3D-Cyber-Simulationen zur Bestimmung des Nutzerverhaltens im Ereignisfall in einem Tunnelbauwerk sowie eine Evakuierungssimulation zur Bestimmung der Auswirkung von Stoffausbreitungen in einem Tunnelbauwerke auf das Fluchtverhalten der Bauwerksnutzer. Die Rolle der Betriebs- und Rettungsdienste im Hinblick auf die o.g. Extremereignisse und die besondere Charakteristik von Brücken- und Tunnelbauwerken wird anhand von Experteninterviews untersucht.

Darüber hinaus wird im Rahmen von SKRIBT ein Verfahren zur Identifizierung kritischer Verkehrsbauwerke entwickelt, das Aussagen zur Sensibilität von Brücken- und Tunnelbauwerken gegenüber Extremereignissen zulässt.

Die Ergebnisse des Vorhabens werden in einer Beirats- und einer Betreibergruppe, in denen die zuständigen Ministerien, Auftragsverwaltungen und Einsatzdienste vertreten sind, fortlaufend u.a. im Hinblick auf ihre Praxistauglichkeit diskutiert und im Rahmen der Begleitforschung durch externe Partner in rechtlicher, datenschutzrechtlicher und ethischer Hinsicht evaluiert.

Demonstrationsvorhaben an realen Verkehrsbauwerken runden das Verbundprojekt SKRIBT ab. Eine Auswahl der untersuchten Maßnahmen z.B. in Form von neuen Detektionstechnologien, optimierten Betriebsabläufen im Ereignisfall oder modifizierten baulichen Detailplanungen, kommt im letzten Projektabschnitt zur Anwendung.

[1] Verkehr in Zahlen 2006/2007, S. 237 bzw. 213

[2] Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2008/114/EG des Rates vom 08.- Dezember 2008

Untersuchung von kurzzeitdynamischen Ereignissen in Tunneln

Christoph Mayrhofer

Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut

Am Klingelberg 1, 79588 Efringen-Kirchen

e-mail: christoph.mayrhofer@emi.fraunhofer.de

Einleitung

Diese Arbeit befasst sich mit der Risikoanalyse für Tunnel im Straßenverkehr. Hierbei wird ausschließlich die Gefährdung durch terroristische Angriffe berücksichtigt.

Das Straßennetz stellt eine Schlüsselrolle im deutschen Verkehrswesen dar. Es trägt den größten Anteil am Personen- und Güterverkehr. Weiterhin bilden Straßen ein Bediensystem für andere Verkehrsträger, wie beispielsweise die Schifffahrt, und das deutsche Straßennetz stellt eine zentrale Rolle im trans-europäischen Straßennetz dar.

Im Straßenverkehr stellen Brücken und Tunnel die wesentlichen Elemente des Straßennetzes dar. In den letzten Jahren ist das Verkehrsaufkommen, insbesondere im Güterverkehr, um ein Vielfaches angewachsen [1]. Kommt es zu einer Störung oder zu einem Ausfall eines solchen Elements, bringt dies erhebliche Schäden mit sich. Diese Schäden treten unter anderem in Form von volkswirtschaftlichen Folgekosten auf. Daher ist es von Interesse, die möglichen Risiken aufzulisten.

Tunnel stellen ein attraktives Ziel für terroristische Angriffe dar. Diese Bauwerke sind schwer kontrollierbar und z.T. mit einer großen Personendichte verbunden. Weiterhin sind Brücken und Tunnel leicht zugänglich [2]. Wie der versuchte Anschlag 2007 auf die Hohenzollernbrücke zeigt [3], ist es nicht ausgeschlossen, dass in Deutschland terroristische Aktivitäten stattfinden können. Ein gezielter Anschlag gegen Brücken und Tunnel kann große personelle und wirtschaftliche Schäden mit sich bringen. Folgende Fragestellungen sind von Interesse und werden beispielsweise in dem Forschungsvorhaben SKRIBT bearbeitet:

- Welche Ereignisse können eintreten?
- Was passierte in der Vergangenheit?
- Wie häufig traten diese Ereignisse in der Vergangenheit auf?
- Welche Schutzmaßnahmen können ergriffen werden?
- Welche Kosten und Nutzen entstehen durch diese Maßnahmen?
- Was für Auswirkungen haben gegenwärtige Maßnahmen in der Zukunft?

Szenario- Bewertung

Im Bereich Tunnel wurden bereits einige Risikoanalysen durchgeführt. Diese Analysen bezogen sich jedoch in den meisten Fällen, durch die schweren Unfälle im Mont-Blanc Tunnel (Frankreich-Italien) und Tauern-Tunnel (Österreich) 1999, auf die Unfall- und Feuersicherheit und nicht auf terroristische Bedrohung. So werden beispielsweise von Vuilleumier et. al. [1] die Sicherheitsmaßnahmen am Beispiel des Lötschberg Bahn-Tunnels und des Mont-Blanc Straßen-Tunnels aufgelistet. Weiterhin wird in diesem Bericht das Risiko der beiden Tunnel mit einem »Frequency and Number« (F/N) Diagramm visua-lisiert.

Mammino et. al. [7] bedienen sich einer Risikoanalyse, um eine Sanierung für höhere Feuersicherheit von zwei Straßentunneln durchzuführen.

Im Bereich Brücken wurden in der Literatur bereits einige Berichte gesichtet, die sich auch mit Risikoanalysen für Brücken unter terroristischer Bedrohung befassen. So wird zum Beispiel im Bericht von Ray [8] das Risiko für terroristische Bedrohung als Produkt aus Vorkommnis, Verwundbarkeit und Auswirkung berechnet. Weiterhin fließt bei dieser Betrachtung die Wichtigkeit der Bauwerk-Komponenten mit ein. Im Bericht von Leung et. al. [2] wird die RFRM-Methode (Risk

Filtering, Ranking and Managing) näher erläutert und mit ihr eine Risiko-Analyse gegen terroristische Bedrohung durchgeführt.

Anderson et. al. [10] präsentieren eine Fallstudie über den wirtschaftlichen Schaden bei Ausfall einer Brücke und Tunnel.

Um Aussagen über terroristische Ereignisse machen zu können, wird auf die, am »Fraunhofer Institut für Kurzzeiddynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI)« entwickelte, Datenbank TED (Terror Event Database) zugegriffen.

Die Erfassung der Daten legt eine Definition von Terrorismus zugrunde, so dass eindeutig bestimmt werden kann, welche Ereignisse in vorliegender Datenbank erfasst werden. Insbesondere ist eine Abgrenzung von gewöhnlichen kriminellen Ereignissen nötig. Da die Daten von Quellen stammen, die Ereignisse bereits als terroristische klassifiziert haben, wird hier die Definition von Terrorismus möglichst weit gefasst, um alle Quellen ausschöpfen zu können.

Eine Differenzierung zwischen internationalem und inländischem Terrorismus ist in der Datenbank nicht vorgesehen. Es sind sowohl inländische als auch internationale Ereignisse in der Datenbank zu finden.

Ein Teil der Daten (5480 Ereignisse) wurde von 22 Internetseiten, fünf Büchern und über mindestens zwei Jahre hinweg von Nachrichtenmeldungen zusammengestellt. In einer schriftlichen Dokumentation zur Datenbank sind nur die drei wichtigsten Internetseiten und die Bücher erwähnt [13-20]. In einem Vortrag [21] über die Inhalte der Datenbank sind noch weitere Quellen [22-34] erwähnt. Der zweite Teil der Daten (18486 Ereignisse) wurde von der Internetpräsenz der »MIPT Terrorism Knowledge Base« [18] manuell gesammelt.

Die Datenbank wird kontinuierlich erweitert. Mit diesem System hat man eine gut strukturierte Datenbasis vorliegen, die die Grundlage für Analysen bildet. Um einen Überblick zu geben, werden einige Kennzahlen angegeben, die einen Eindruck über den Umfang der Datenbank geben.

Die Datenbank beinhaltet Daten zu 34 755 Ereignissen (Stand 05/2008) mit bekannten Datumsangaben, 179 Ländern, 1 042 Terrorgruppen, 101 Taktiken und 469 Zielsystemen (Zielobjekten). Die Zielsysteme sind unterteilt in 34 Kategorien.

Gefährdungsbewertung

Bei Explosionsereignissen in Tunneln handelt es sich um Innenraumdetonationen. Aufgrund der behinderten Abströmbedingungen der Expansionsgase erfahren derartige Bauwerke eine weitaus stärkere Belastung als bei Explosionen, die außerhalb von Bauwerken stattfinden.

Bei Innenraumdetonationen tritt eine kombinierte Beanspruchung ein, die auf einer kurzzeitig einwirkenden Schockbelastung (Mikrosekunden) beruht und auf einem nachfolgenden, lang anhaltenden Gasdruck (Millisekunden). Aufgrund der großen Wirkungsdauer, im Verhältnis zur Schockphase (Initial Impulse) wird die Gasdruckphase wegen der Wirkungsweise (lang anhaltend) auch als quasistatisch bezeichnet (Quasistatic Pressure). Diesen Zusammenhang zeigt die Abb. 3 beispielhaft.

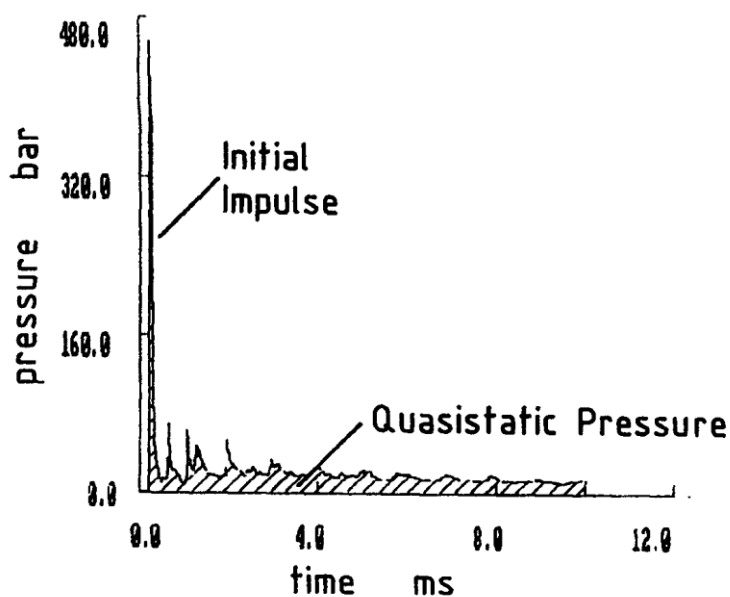


Abb. 3: Druck-Zeitverlauf bei Innenraumdetonationen (/EMI/)

Die Tunnelbelastung wird geprägt durch die Sprengstoffmenge, den Tunnelquerschnitt und die Tunnellänge. Für den zu berücksichtigenden Gasdruck ist der Öffnungsquerschnitt (Entlastungsöffnung an den Tunnelenden) und die Tunnellänge ausschlaggebend.

Der Öffnungseinfluss auf den Gasdruck und Gesamtimpuls kann prinzipiell über die Abb. 4 und Abb. 5 bestimmt werden. In Abhängigkeit der Ladungsdichte (Sprengstoffmenge / Tunnelvolumen) und dem Verhältniswert von Öffnungsquerschnitt zur Oberfläche (A_v/S) ist beispielhaft für kleine Raumvolumen der Zusammenhang für den Gasdruck in Abb. 4 dargestellt.

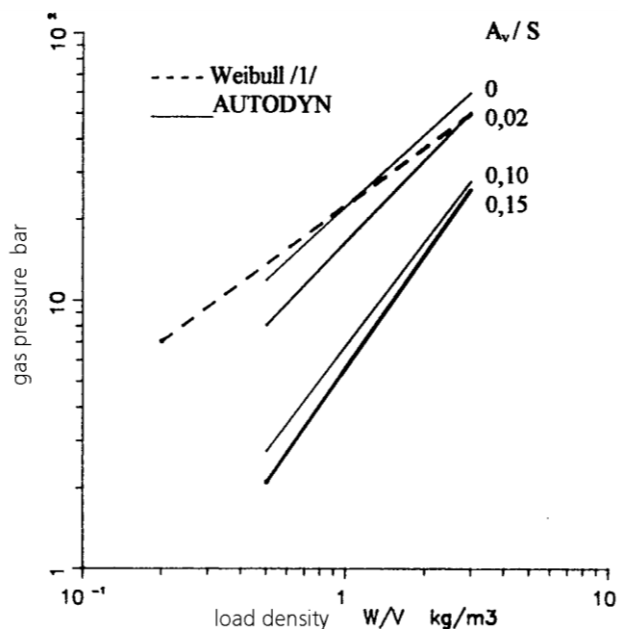


Abb. 4: Öffnungseinfluss auf den Gasdruck (/EMI/)

Die Auswirkungen auf den zeitlichen Druckzeitverlauf für ein willkürlich gewähltes Detonationsereignis zeigt die Abb. 5.

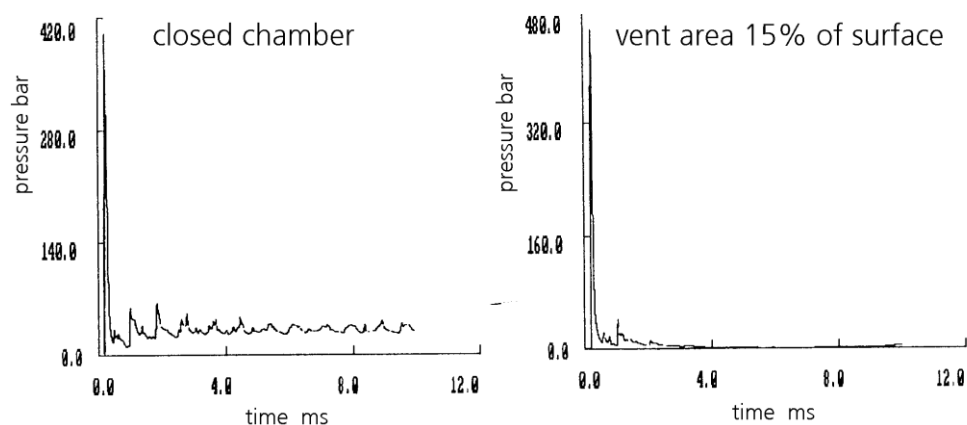


Abb. 5: Öffnungseinfluss auf den Druck-Zeitverlauf bei Innenraumdetonationen (/EMI/)

Eine weitere wichtige Größe für die Bauwerksbewertung ist der Impuls der Belastung (Integral der Last-Zeitfunktion), der für kleine Raumvolumen näherungsweise nach Abb. 6 bestimmt werden kann.

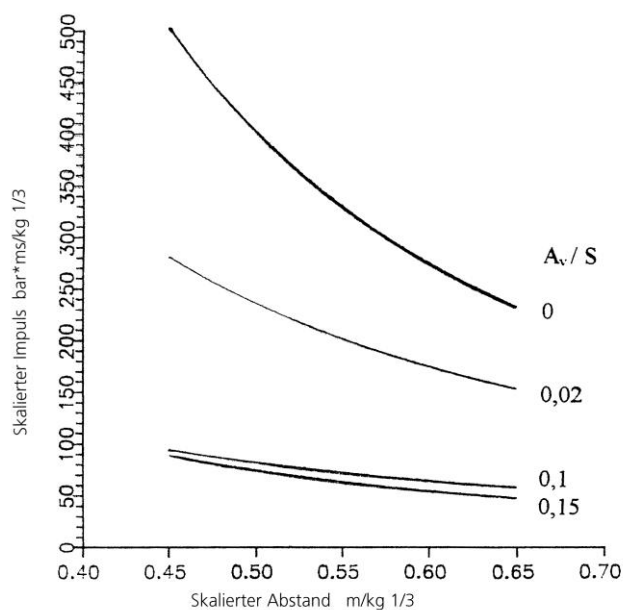


Abb. 6: Öffnungseinfluss auf den Gesamtimpuls (/EMI/)

Die Abbildungen 3 bis 6 können nicht verallgemeinert auf Tunnelbelastungen angewendet werden und gelten näherungsweise nur für kleine Raumvolumen. Damit sollen lediglich Einflussgrößen aufgezeigt werden. Für konkrete Tunnelbewertungen sind Einzelfallbetrachtungen und Berechnungen mit HYDROCODES nötig, die im Vortrag gezeigt werden.

Mit den Werten zu dem sich aufbauenden Druck und dem Impuls der Belastung sind dann mit am EMI entwickelten Methoden zur Grenztragfähigkeit, den sogenannten Zerstörungskennlinien, Bewertungen möglich, die Aussagen zur Tragfähigkeit erlauben. Dort, wo Tragfähigkeitsgrenzen überschritten werden, sind Verstärkungsmaßnahmen zu ergreifen.

Mit diesen Methoden ist es möglich, die Gefährdungen von Tunneln zu bestimmen.

Literatur

- [1] Vuilleumiert, F., A. Weatherill, and B. Crausaz, Safety aspects of railway and road tunnel: example of the Lotschberg railway tunnel and Mont-Blanc road tunnel. TUNNELING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, 2002. 17(2): p. 153-158.
- [2] Leung, M., J. Lambert, and A. Mosenthal, *A risk-based approach to setting priorities in protecting bridges against terrorist attacks*. RISK ANALYSIS, 2004. 24(4): p. 963-984.
- [3] rtr, ddp, and dpa, *Hohenzollernbrücke sollte gesprengt werden*, in *Kölner Stadt-Anzeiger*. 2007, M. DuMont Schauberg: Köln.
- [4] Haimes, Y.Y., *Roadmap for Modeling risks of Terrorism to the Homeland*. Journal of infrastructure systems; American Society of Civil Engineers, 2002. 8: p. 35-41.
- [6] Diamantidis, D., F. Zuccarelli, and A. Westhauser, *Safety of long railway tunnels*. RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY 2000. 67(2): p. 135-145.
- [7] Mammino, A., L. Tonon, and F. Tonon, *Risk analysis as design tool in fire-safety retrofit of two Italian tunnels*. DESIGN OF STRUCTURES 2002, 2002(1814): p. 93-102.
- [8] Ray, J.C., *Risk-based prioritization of terrorist threat mitigation measures on bridges*. JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING, 2007. 12(2): p. 140-146.
- [9] Proske, D. and M. Curbach, *Risk to historical bridges due to ship impact on German inland waterways*. RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY, 2005. 90(2-3): p. 261-270.
- [10] Anderson, C.W., et al., *A risk-based methodology for modeling, assessing, and managing risks to the Hampton roads bridge tunnels*, in 2005 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, Charlottesville, VA, USA, 29/04/2005 2005.
- [11] Bai, Y., W. Burkett, and P. Nash, *Rapid bridge replacement under emergency situation: Case study*. JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING, 2006. 11(3): p. 266-273.
- [12] Counterterrorism, O.o.t.C.f. *Introduction. Patterns of Global Terrorism - 2000*. 2001 [cited 2007-04-05]; Available from: <http://www.state.gov/s/ct/rls/pgtrpt/2000/index.cfm?docid=2419>.
- [13] Edward F. Mickolus, T.S., Jean M. Murdock, *International Terrorism in the 1980s. A Chronology of Events. Vol.1*. Vol. 1. 1989: Iowa State University Press.
- [14] Edward F. Mickolus, T.S., Jean M. Murdock, *International Terrorism in the 1980s. A Chronology of Events, Vol.2*. Vol. 2. 1989, Iowa State University Press.
- [15] Hoffman, K.G.B., *The Rand Chronology of International Terrorism; 1986*. 1990: RAND.
- [16] Hoffman, K.G.B., *The Rand Chronology of International Terrorism for 1987 1991*: RAND.
- [17] Johnson, B.M.J.J., *International terrorism: a chronology, 1968-1974*. 1975: Diane Pub Co.
- [18] The Memorial Institute for the Prevention of Terrorism, M. *MIPT Terrorism Knowledge Base*. 2007 [cited 2007-03-26]; Available from: <http://db.mipt.org>.
- [19] Counter-Terrorism, I.P.I.f. *ICT*. 2003 [cited 2007-03-26]; Available from: <http://ict.org.il>.
- [20] Terrorism Research Center, I.T. *Terrorism Research Center*. 2007 [cited 2007-03-26]; Available from: <http://www.homelandsecurity.com>.
- [21] Brombacher, B., *Vortrag: Datenbank Terrorismus*. 2006.
- [22] Deutschland, B.d.S.l.i.d.B., *Terroranschläge in Israel seit der Unterzeichnung der Prinzipienerklärung; Anschläge auf Zivilisten und Soldaten; 1993-1996*. 1995.

- [23] Chaveer.de. *Bombenattentate und Terroranschläge in Israel seit der Prinzipklärung (September 1993); 1994-2002*. 2004 [cited 2007-05-23]; Available from: <http://www.chaveer.de/artikel.php?artikel=106&rubrik=terrorattentate> or <http://web.archive.org/web/20040910143214/http://www.chaveer.de/artikel.php?artikel=106&rubrik=terrorattentate>.
- [24] defence-net.de. *Terrorismus und Terrorismusbekämpfung*. 2003 [cited 2007-05-23]; Available from: http://www.defence-net.de/article_terror?site=te_index or http://web.archive.org/web/20030619182258/http://www.defence-net.de/article_terror?site=te_index.

Psychologische Aspekte zur Sicherheit im Tunnel

von Prof. Dr. Paul Pauli,
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Institut für Psychologie

1. Einleitung

Psychologische Aspekte sind für die Sicherheit im Tunnel unter verschiedenen Gesichtspunkten wichtig, ihre Untersuchung muss in Abhängigkeit von Zieldefinitionen, Zielgruppen und Operatoren erfolgen. Als Ziele können die Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisfalles (primäre Prävention) oder der negativen Auswirkungen (sekundäre Prävention) eines Ereignisfalles definiert werden. Zielgruppen sind neben den Tunnelnutzern die Tunneloperatoren und die Einsatzkräfte. Schließlich muss der zu untersuchende Operator spezifiziert werden, also ob der Fokus der Untersuchung auf die Nutzerfahrzeuge, betriebliche oder bauliche Infrastrukturen oder menschliches Erleben und Verhalten gelegt werden soll. Die Mannigfaltigkeit psychologischer Aspekte und wie diese im Labor mittels virtueller Welten untersucht werden können, wird an vier Untersuchungen unserer Arbeitsgruppe beispielhaft dargestellt.

2. Experimentelle Untersuchungen in Virtuellen Welten

Mittels Virtueller Welten (VR), die über eine Bewegungsplattform und ein Head Mounted Display erzeugt werden, können Versuchspersonen in eine Virtuelle Umgebung versetzt und dann hinsichtlich ihres Verhaltens untersucht werden (s. Abb. 1). Experimente in Virtueller Welt haben viele Vorzüge: sie sind ethisch und organisatorisch leichter umsetzbar als Untersuchungen in realen Umwelten und verbale, behaviorale sowie physiologische Daten können unter standardisierten Bedingungen erfasst werden. Zudem kann die virtuelle Ausstattung im Detail gezielt verändert werden – bei gleichzeitiger Minimierung von Störvarianz durch Konstanz nicht relevanter Umgebungsfaktoren. Die Validität, d.h. die Äquivalenz des Verhaltens in virtuellen und realen Welten sowie die Übertragbarkeit und Trainingseffekte sind empirisch nachgewiesen – sowohl generell für Tunnelfahrten (Mühlberger et al., 2007) als auch spezifisch für Feuerausbrüche (Gamberini et al., 2003) oder Fluchtverhalten (BAST, 2007).



Abb. 1: VR Simulationen am Lehrstuhl für Psychologie I der Universität Würzburg: Bewegungsplattform und virtuelle Tunnelfahrten (Tunneleinfahrt und Tunnelfahrt).

2.1 Primäre Prävention durch Verbesserung der Infrastruktur –Tunnelbeleuchtung

Um Effekte der Tunnelbeleuchtung zu untersuchen, haben wir (Mühlberger et al., 2008) in einem virtuellen Tunnel die Beleuchtung von Tunnelabschnitten variiert. Untersucht wurden Probanden, die als Fahrer oder Beifahrer durch dieses Tunnel gefahren sind. Die Ergebnisse zeigen, dass Angstgefühle in dunkleren Tunnelabschnitten stärker ausgeprägt waren, besonders bei Beifahrern.

Der nachteilige Effekt der Dunkelheit schlug sich in verbalen (Valenzskala) und physiologischen Daten (Startle-Response; Abb. 2)) nieder.

Angst zu haben ist für Tunnelfahren nachteilig. Untersuchungen zur „Processing-Efficiency-Theory“ (Eysenck & Calvo, 1992) haben nachgewiesen, dass Angst einen Teil der Aufmerksamkeit auf interne Prozesse lenkt, so dass für Navigieren, Verkehrsbeobachtung, Detektion und Reaktion auf Verkehrsänderungen weniger kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen, was sich nachteilig auf das Fahrerverhalten auswirken kann. Darüberhinaus vergrößert sich durch unterschiedliche Copingstrategien als Reaktion auf Angst die Varianz im Verhalten der Tunnelnutzer bezüglich Abstandhalten, Spurorientierung und Geschwindigkeit. Beide Faktoren, limitierte Ressourcen und erhöhte Variabilität im Verkehrsfluss infolge von Angstgefühlen bei unzureichender Beleuchtung, können die Unfallwahrscheinlichkeit erhöhen.

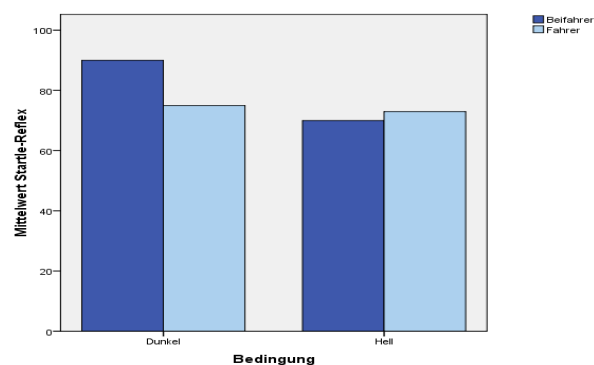


Abb.2: Startle-Reflex in Abhängigkeit der Helligkeit im Tunnel bei Beifahrern (dunkelblau) und Fahrern (hellblau).

2.2 Sekundäre Prävention durch Verbesserung der Infrastruktur – Gestaltung von Notausgängen

In einem Experiment in Virtueller Welt zur verbesserten Gestaltung von Notausgängen haben wir die Kennzeichnung der Fluchttüren systematisch variiert: ohne, mit grüner oder weißer Laibungsbeleuchtung, jeweils mit oder ohne Verrauchung des Tunnels. Als quasi-experimentelle, interindividuelle Variation wurden Tunnel- und nicht-Tunnelängstliche Probanden untersucht. Es zeigte sich, dass Probanden am seltensten zu Notausgängen ohne Beleuchtung fliehen und am wahrscheinlichsten zu Notausgänge mit grüner Beleuchtung (s. Abb. 3); dieser Effekt verstärkte sich bei Rauchentwicklung. Äquivalente Effekte ergaben sich für Reaktionszeiten (BAST, 2007).

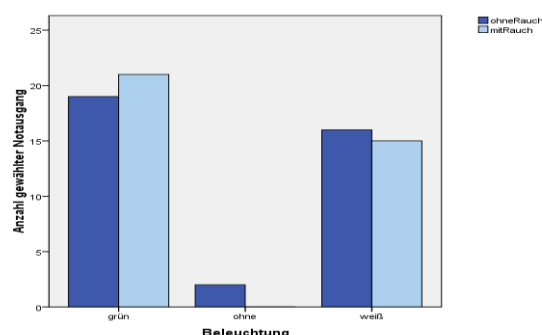


Abb. 3: Gewählte Notausgangvariante (ohne mit grüner oder weißer Laibungsbeleuchtung) in Abhängigkeit von Sichtverhältnissen: ohne (dunkelbau) oder mit (hellblau)Verrauchung.

2.3 Primäre Prävention bei Tunnelnutzern – Therapie von Tunnelphobie

Angst vor Tunnelfahrten (Tunnelphobie) bedeutet einen hohen Leidensdruck und eine reale Gefährdung insbesondere vor und während Tunnelfahrten. Bspw. konnten bezüglich des Fahrerverhaltens und der Gedächtnisleistung für Sicherheitseinrichtungen signifikante Unterschiede zwischen phobischen und non-phobischen Tunnelnutzern beobachtet werden (BAST, 2007). Anhand einer Einzelfallstudie (Chatziastros und Mühlberger, 2003) konnten wir nachweisen, dass eine Tunnelphobie durch eine Expositionsbehandlung mit virtuellen Tunnelfahrten wirksam therapiert werden kann und dass diese Effekte auch nach zwei Jahren noch nachweisbar sind. Vorteile der virtuellen Expositionsbehandlung sind der relativ geringe organisatorische Aufwand, die beliebige Wiederholbarkeit, die gute Kontrollierbarkeit der Situation durch den Therapeuten und damit auch die mögliche Variation einzelner Situationsmerkmale sowie die generell gute Akzeptanz des Mediums bei den Patienten.

2.4 Sekundäre Prävention bei Tunnelnutzern – Orientierung unter Stress

Stress geht einher mit zahlreichen physiologischen und kognitiven Veränderungen, z.B. fehlerhafte oder verzögerte Reaktionen infolge einer stressinduzierten kognitiven Überlastung (Hancock & Szalma, 2007). In einem Computerexperiment sind wir der Frage nachgegangen, inwieweit unter Stressinduktion die in Tunneln üblichen Fluchtwegschilder Orientierungsverhalten unterschiedlich gut steuern. Die Probanden sollten auf verschiedene Fluchtwegschilder so schnell als möglich mit Tastendruck in Richtung des Notausgangs reagieren. Unsere Befunde bestätigen, signifikante Unterschiede zwischen den Schildern, auch zwischen den beiden Varianten, die mit der RABT 2006 vereinbar sind (Schild 1 und 7, s. Abb. 4). Dieser Effekt zeigte sich in Fehlerraten und Reaktionsgeschwindigkeit.

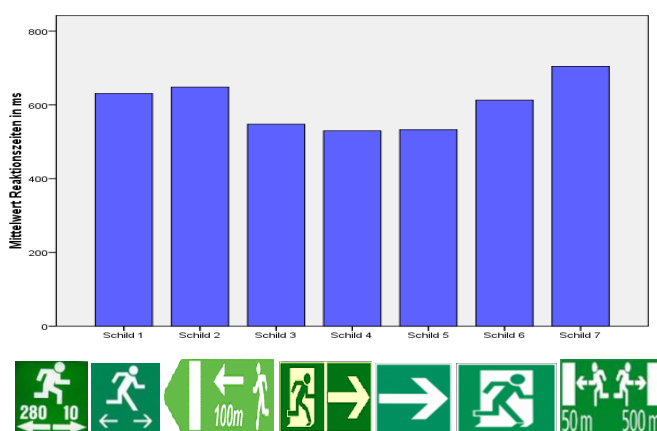


Abb. 4: Reaktionszeiten für verschiedene Fluchtwegskennzeichnungen

3. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist die Anwendung von Theorien der wahrnehmungs-, emotionspsychologischen oder klinischen Psychologie auf Aspekte der Sicherheit im Tunnel ein fruchtbares Forschungsfeld, in dem momentan noch ein Datendefizit besteht. Zur Zeit wird an unserem Institut eine Studie zum Einfluss von Information über Tunnelsicherheit und sicheres Verhalten im Tunnel auf das Fahrer- und Fluchtverhalten durchgeführt, weitere Studien zu primärer und sekundärer Prävention sind geplant.

Literatur

- Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST, 2007). *Gestaltung von Notausgängen in Straßentunneln – Schlussbericht*. Bonn.
- Chatziastros, A. & Mühlberger, A. (2003). Tunnelsimulationen gegen Monotonie und Angst. *Tunnel*, 7, 12-18.
- Eysenck, M.W. & Calvo, M.G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 6, 409-434.
- Gamberini, L., Cottone, P. Spagnolli, A., Varotto, D. & Mantovani, G. (2003). Responding to a fire emergency in a virtual environment: Different patterns of action for different situations. *Ergonomics*, 46, 842-858.
- Hancock, P.A. & Szalma, J.L. (2007). *Performance under Stress*. Surrey: Ashgate Pub.
- Mühlberger, A.; Wieser, M. J & Pauli, P. (2008). Darkness-enhanced startle responses in ecologically valid environments: A virtual tunnel driving experiment. *Biological Psychology*, 77, 47-52.
- Mühlberger, A., Bühlhoff, H. H., Wiedemann, G. & Pauli, P. (2007). Virtual reality for the psychophysiological assessment of phobic fear: Responses during virtual tunnel driving. *Psychological Assessment*, 19, 340-346.

Verhaltens- und wahrnehmungsbasierte Flucht- und Evakuierungssimulation

von Dr.-Ing. Georg Mayer,
PTV AG – Niederlassung Stuttgart
Leiter Tunnelausstattung und –betrieb

1. Einleitung

Die derzeit am Markt verfügbaren Evakuierungsmodelle zur Abschätzung von Betroffenenanzahlen im Falle äußerer Einwirkungen bilden wahrnehmungs- und verhaltenspsychologische Vorgänge nur sehr rudimentär ab und sind häufig nicht in der Lage, vier Dimensionen (Raum und Zeit) abzubilden. Es handelt sich in erster Linie um physikalische Modelle, in denen einzelne Personen wie passive Partikel in einer Strömung, jedoch nicht wie denkende Wesen agieren. Die physischen Eigenschaften des Einzelnen (z.B. individuelle Fluchtgeschwindigkeiten, individuelles Wahrnehmungsvermögen) werden ebenso wenig berücksichtigt wie sein Verhalten unter Einfluss von Rauch, Hindernissen, Beschilderungen oder anderen Flüchtenden („Lemmingeffekt“). Schnittstellen zu anderen Simulationsprogrammen sind i. d. R. nicht vorhanden. Im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projektes SKRIBT (Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen) wird aufbauend auf der bestehenden Fußgängersimulation in VISSIM unter Einbezug von Ergebnissen aus Verhaltensstudien zum menschlichen Verhalten in Stress- und Krisensituationen durch Schaffung von Schnittstellen zu numerischen Codes zur Ausbreitungsrechnung eine Fluchtsimulation entwickelt, die eine räumlich und zeitlich hochauflösende Interaktion zwischen äußeren Einwirkungen und flüchtenden Personen ermöglicht. Im Folgenden werden die zugrunde liegenden Modellansätze erläutert und die Anwendungsmöglichkeiten dieser neuen Fluchtsimulation aufgezeigt.

2 Ausbreitungsmodell (CFD-Modell)

Die Ermittlung von Schadensausmaßen und Maßnahmenwirksamkeiten im Ereignisfall erfordert räumlich und zeitlich hochauflösende Modelle zur Bestimmung von Einwirkgrößen auf den Nutzer. Grundlage hierzu bilden numerische Rechenmodelle (CFD-Modelle) zur Abbildung der relevanten Einwirkungen. Im Folgenden werden das mathematische Modell sowie der Algorithmus zur Abbildung von Bränden und Kontaminationen kurz erläutert.

2.1 Mathematisches Modell

Grundlage der Berechnungen zur Bestimmung der Druck-, Geschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsverteilungen im Raum bilden die nachfolgend aufgeführten zeitabhängigen Erhaltungsgleichungen für Masse-, Impuls-, Energie- und Stofferhaltung.

$$\text{Massenerhaltung} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\text{Stoffenerhaltung} \quad \frac{\partial (\rho Y_i)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i'''$$

$$\text{Impulserhaltung} \quad \rho \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) + \nabla p = \rho \cdot \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}$$

$$\text{Energieerhaltung} \quad \frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot \mathbf{k} \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i$$

Aufgrund ihrer Komplexität sind diese kontinuierlich formulierten Gleichungen nicht mehr analytisch lösbar und können nur näherungsweise mit Hilfe von numerischen Methoden gelöst werden. Hierzu müssen diese partiellen Differentialgleichungen zunächst diskretisiert werden, d.h., die in Raum und Zeit kontinuierlichen Differentialgleichungen werden nur noch an einer endlichen Anzahl von Punkten im Raum zu bestimmten Zeitpunkten betrachtet.

Die zeitliche und räumliche Diskretisierung erfolgt mit Hilfe der Finiten Differenzen Methode. D.h. der Differentialquotient

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{u(x+h, y) - u(x, y)}{h}$$

wird durch den Differenzenquotient

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u(x+h, y) - u(x, y)}{h}$$

approximiert. Die zeitliche Diskretisierung erfolgt hierbei mit einem expliziten Predictor-Corrector Verfahren 2-ter Ordnung. Die räumlichen Ableitungen werden durch Finite Differenzen zweiter Ordnung approximiert. Das resultierende lineare Gleichungssystem lässt sich dann iterativ lösen.

2.2 Algorithmus

Der verwendete Algorithmus zählt zu den sog. Druckkorrekturverfahren. Dabei wird ein nicht divergenzfreies Geschwindigkeitsfeld mit Hilfe des Druckes durch Lösen einer Poissongleichung in ein divergenzfreies Geschwindigkeitsfeld überführt. Im Einzelnen werden folgende Schritte bis zum Erreichen der vorgegebenen physikalischen Endzeit durchlaufen:

1. Festlegung der physikalischen Endzeit der Berechnung t_{end}
2. Bestimmung der Zeitschrittweite δt
3. Berechnung eines nicht divergenzfreien Geschwindigkeitsfeldes $u(n)^*$
4. Iterative Lösung einer Poissongleichung für den Druck $p(n+1)$ mit Hilfe des nichtdivergenzfreien Geschwindigkeitsfeldes $u(n)^*$
5. Berechnung der Geschwindigkeiten $u(n+1)$ durch Korrektur des vorläufigen Geschwindigkeitsfeldes mit Hilfe des Druckes $p(n+1)$
6. Berechnung von $T(n+1)$, $c(n+1)$, ...
7. Erhöhung der Zeit t um die Zeitschrittweite δt
8. Wiederholung der Schritte 1-7 bis t_{end} erreicht

Die Zeitschrittweite bestimmt sich aus den folgenden nach Courant-Friedrichs-Lewy (1928) benannten Stabilitätsbedingungen

$$\delta t < \frac{\delta x}{|u_{max}|} \quad \delta t < \frac{\delta y}{|v_{max}|} \quad \delta t < \frac{\delta z}{|w_{max}|}.$$

Danach darf sich ein Fluidteilchen innerhalb der Zeitschrittweite δt um nicht mehr als eine Gitterweite δx bewegen.

Der Zeitaufwand zur Durchführung der Simulationsrechnungen resultiert somit aus der Zeitschrittweite δt und den zur Lösung der Poissongleichung benötigten Iterationen. Typischerweise entstehen dadurch für ein Szenario Rechenzeiten von mehreren Tagen. Nachfolgende Abbildung 1 zeigt Beispiele für unterschiedliche Ausbreitungsszenarien.

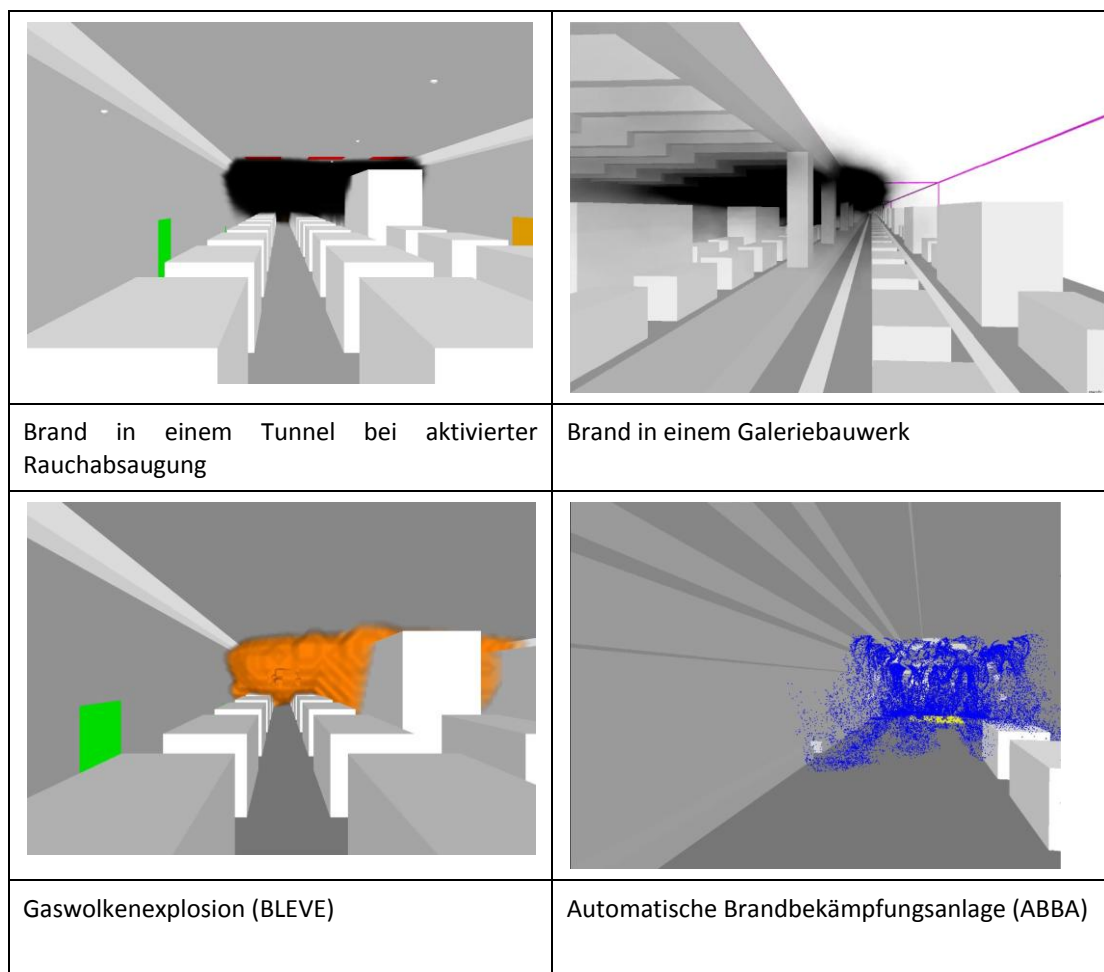


Abbildung 1: Beispiele für Ausbreitungsberechnungen

3 Personenmodell

Das Personenmodell zur Bestimmung von szenarioabhängigen Schadensausmaßen setzt sich aus dem in VISSIM bereits integrierten Fußgängermodell und entsprechenden Modellerweiterungen zur Berücksichtigung äußerer Einwirkungen zusammen.

3.1 Basis- bzw. Bewegungsmodell

Das in VISSIM implementierte Fußgängermodell basiert auf dem von Helbing und Molnár entwickelten Social Force Modell (1995). Die Bewegungen von Fußgängern werden darin basierend auf Ansätzen aus der Newton-Dynamik durch unterschiedliche Kräfte modelliert. Da Fußgänger in der Regel zielgerichtet mit einer Wunschgeschwindigkeit auf ein Ziel zulaufen, wird diese Bewegung mit Hilfe einer Antriebskraft abgebildet. Auf dem Weg zu ihrem Ziel können jedoch unterschiedliche Einwirkungen dazu führen, dass sich die Route beispielsweise durch Abstandhalten zu anderen Fußgängern und räumlichen Begrenzungen oder durch weitere Reize bzw. Attraktionen verändert. Die Routenwahl hängt somit sowohl von der individuellen Wahrnehmung als auch von der individuellen Bewertung ab. Es existieren also psychologische (social force) und physikalische Komponenten, die bei der Modellierung beachtet werden müssen. Nachfolgende Abbildung 2 zeigt schematisch die Prozesse, die zu einer Verhaltensänderung führen.

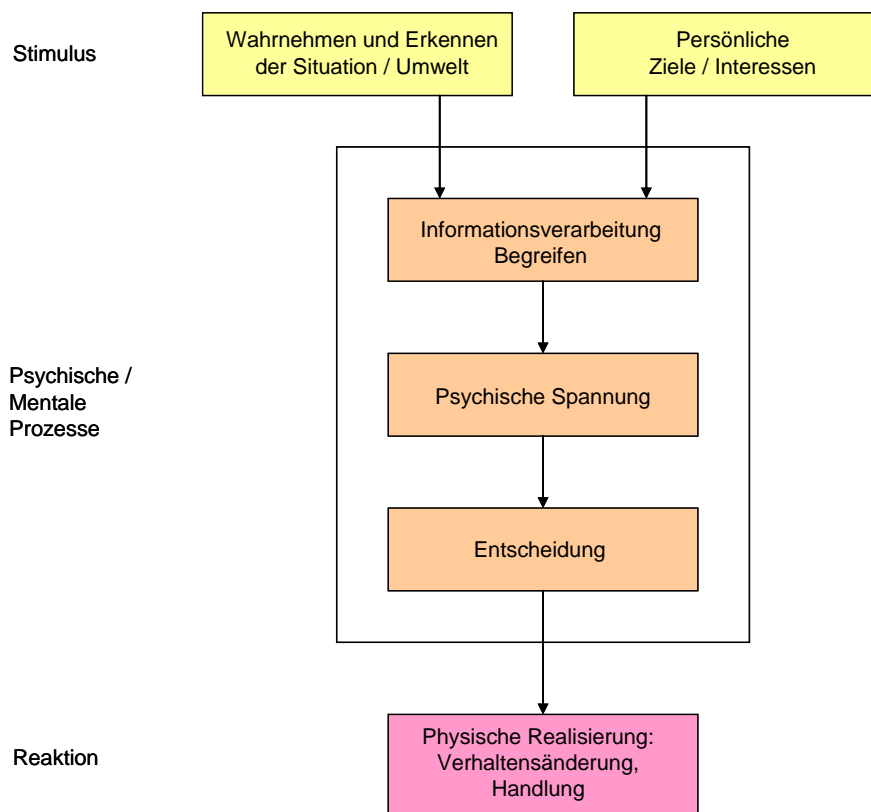


Abbildung 2: Prozessablauf zur Verhaltensänderung

Die Bewegung der Fußgänger bestimmt sich im Social Force Modell über folgende Kraftfelder:

$$\frac{d\vec{v}_{\alpha} t}{dt} = \vec{f}_{\alpha}^0 + \sum_{\beta} \vec{f}_{\alpha\beta} + \sum_{\beta} \vec{f}_{\alpha b} + \sum_i \vec{f}_{\alpha i} + \sum_{\beta} \vec{f}_{\alpha\beta}^{att} + \xi$$

mit:

\vec{f}_{α}^0 : Antriebskraft:

$\vec{f}_{\alpha\beta}$: Abstoßende Kraft zwischen Fußgängern

$\vec{f}_{\alpha b}$: Abstoßende Kraft zu räumlichen Begrenzungen

$\vec{f}_{\alpha i}$: Anziehende Kraft zur Berücksichtigung von attraktiven Effekten

$\vec{f}_{\alpha\beta}^{att}$: Anziehende Kraft zur Berücksichtigung von Gruppenverhalten

ξ : Fluktuationsterm zur Berücksichtigung von individuellem Verhalten

Für die im Projekt SKRIBT betrachteten Szenarien eines unerwünschten Ereignisses im Tunnel wie Überflutung, Austreten von Schadstoffen, Brand etc. fehlen jedoch abstoßende Kräfte, die z.B. das Zurückweichen von Personen vor Feuer und Rauch beschreiben.

3.2 Interaktion mit Ausbreitungsmodell

Zur Berücksichtigung von Einflüssen auf das Verhalten von flüchtenden Personen infolge externer Einwirkungen sowie zur Schadensausmaßermittlung ist eine Schnittstelle zum Ausbreitungsmodell realisiert worden, über welche die maßgebenden Einwirkgrößen wie Druck, Temperatur und Konzentrationen räumlich und zeitlich hochauflösend an die Fußgängersimulation übergeben werden.

3.3 Wahrnehmungsmodell

Das erfolgreiche Reagieren auf äußere Einflüsse setzt das Wahrnehmen und Erkennen von Situationen und Informationen voraus. Neben individuellen Faktoren ist dies auch von lokal vorherrschenden Bedingungen abhängig. Das Grundmodell wurde daher um ein Sichtprüfungs- und Erkennungsmodell erweitert, um beispielsweise Verdeckungen durch Fahrzeuge und Rauch sowie Informationsinhalte auf Schildern berücksichtigen zu können. Dadurch lassen sich Änderungen bei der Routenwahl realistisch wiedergeben.

3.4 Verhaltens- und Entscheidungsmodell

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Psychologie der Universität Würzburg wurde ein verhaltens- und wahrnehmungsbasiertes Entscheidungsmodell entwickelt und über ein Faktorenkonzept in VISSIM implementiert. Dieses ermöglicht es, unter Berücksichtigung von externen und internen Faktoren die psychische Spannung über ein Reaktionspotential auszudrücken. Auf Basis dieses Reaktionspotentials werden dann impulsive und reflektive Handlungen zum Einleiten einer Flucht unterschieden.

Durch externe Faktoren werden Effekte der Gefahrenintensität wie beispielsweise durch die Wahrnehmung von Rauch oder sozialer Einfluss durch Gruppenverhalten (Lemming Effekt) bei der Bestimmung des Reaktionspotentials berücksichtigt. Interne Faktoren berücksichtigen Effekte wie Ängstlichkeit, Selbstvertrauen, Selbstregulation, Verhaltensroutinen und Wissen.

3.5 Schadensausmaßermittlung

Zur Bestimmung von Schadensausmaßen wurde das Fractional Effective Dose –Model (FED) von Purser (1995) integriert, wodurch personenabhängig auf die Handlungsfähigkeit von Menschen unter dem Einfluss von Einwirkgrößen wie Temperatur und Schadstoffkonzentrationen in Abhängigkeit der jeweiligen Expositionszeit geschlossen werden kann. Darüber hinaus ist ein Modell integriert, das es ermöglicht, Fluchtgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von vorhandenen Sichtbedingungen abzubilden.

4 Anwendung

Die Entwicklung der Flucht- und Evakuierungssimulation erfolgte unter dem Fokus, zukünftig die Wirksamkeit von Maßnahmen unter Berücksichtigung von Nutzerverhalten zuverlässiger bestimmen zu können. Hauptanwendungsgebiete werden daher in der Ermittlung von Schadensausmaßen im Rahmen von Risikoanalysen sowie in der Entwicklung von Flucht- und Evakuierungskonzepten gesehen.

Nachfolgende Abbildung 3 zeigt ein Beispiel der Koppelung der CFD Simulation mit der Fußgängersimulation in VISSIM.

Das entwickelte Modell wird derzeit im Projekt SKRIBT für verschiedene Schadensszenarien (Überflutung, Austreten von Schadstoffen, Brand etc.) weiter angewendet und getestet.

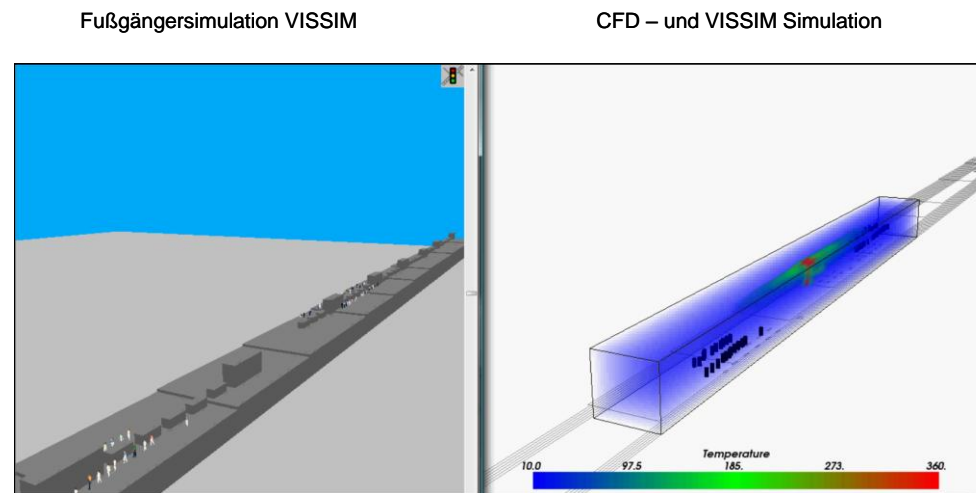


Abbildung 3: Koppelung der CFD-Simulationen mit der Fußgängersimulation in VISSIM

Ereignisdetektion mittels digitaler Bildauswertung

Dipl.-Ing. Thorsten Becher

Rheinisch-Westfälisch Technischen Hochschule Aachen

Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau

Kurzfassung

Ziemlich Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Videodetektionssysteme in Straßentunneln: Langzeituntersuchung“ wurde die automatische Detektion von Ereignissen mittels digitaler Bildauswertung untersucht. Die zentrale Aufgabe bestand in der Ermittlung der Praxistauglichkeit entsprechender Videodetektionssysteme (VDS) auf Basis von Langzeitversuchen. Vor diesem Hintergrund sollten in verschiedenen Tunneln nach HAACK et al. (2005) geeignete VDS hinsichtlich der auftretenden Ereignismeldungen analysiert werden. Zu diesen zählt neben den Ereignismeldungen von verkehrlichen Störfällen auch die Erfassung der Ereignismeldungen von Verrauchungsfällen. Diese mittels VDS aufgenommenen Ereignisse wurden auf ihren Wahrheitsgehalt analysiert, aggregiert und mit den nach Ereignismeldebögen tatsächlich dokumentierten Ereignissen sowie den von einem VDS-Vergleichssystem detektierten Fälle verglichen.

Als Datengrundlage hierzu dienten empirische Untersuchungen zu Ereignismeldungen in fünf Untersuchungstunneln über einen Zeitraum von je nach Tunnel 203 bis 371 Tagen. Des Weiteren wurden für die Analyse neben den Ereignismeldebögen die Verkehrsdaten sowie die spezifischen Tunneldaten, wie Querschnitt, Kameraposition etc. zu allen Tunneln erhoben.

Ein entscheidender, vorbereitender Schritt für die Aufnahme der Ereignismeldungen mit den zugehörigen Videos bzw. Bildern war die Aufstellung einheitlicher Protokolle und Ereignistypen für die Video- und Bildbewertung nach einem zuvor definierten Bewertungsschema. Mit deren Hilfe und den hieraus resultierenden Überlagerungen von Modul-Ereignissen und den tatsächlichen Zuständen konnten Auswertungsmatrizen für die Analysen erstellt werden.

Die Analysen haben gezeigt, dass die absolute Anzahl an Meldungen der Branddetektion je nach Tunnel, d. h. je nach Jahreszeit, Geometrie, Querschnitt, Länge, Anzahl an eingesetzten Kameras mit VDS etc. zwischen Null und 1,2 Meldungen pro Tag und somit auf einem geringen und für einen Tunnelleitzentralenbetrieb gut handhabbaren Niveau liegt. Die meisten Störfallmodule, d. h. Stau, Belegung des Seitenstreifens, Belegung der Pannenbucht und stehendes Fahrzeug zeichnen sich bereits heute je nach System mit Fehldetektionsquoten von bis zu Null Prozent aus. Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass sich die VDS in Langzeitversuchen bewährt haben und praxistauglich sind.

Die Untersuchungen haben des Weiteren gezeigt, dass die Tunneloperatoren in einer Tunnelleitzentrale durch ein VDS entlastet werden.

Als Begrenzung der Fehldetektionsquoten erscheint ein Wert von 10 % als praktikable Größe, ohne die Akzeptanz von VDS zu gefährden. Zur Erreichung eines möglichst sehr guten Detektionsverhaltens und einer hohen Akzeptanz der VDS, muss eine aktive Kalibrierungsphase mit einer Anpassung der Module über einen Zeitraum von etwa drei Monaten erfolgen. Zusätzlich müssen die Tunneloperatoren in die Handhabung von VDS eingewiesen werden. Daneben ist für die angesetzte Lebensdauer des VDS eine entsprechende Wartung und Instandhaltung zu gewährleisten, die einen Ausfall des Gesamtsystems länger als 6 h/Monat verhindert.

1. Einleitung

Ziel der Forschung war es u. a. zu prüfen, inwiefern sich videobasierte Systeme (VDS) bei der Detektion von Brand- und Störfällen eignen und ob durch diese Systeme eine Steigerung der Sicherheitsstandards in Tunneln ermöglicht wird. Dazu sollte neben der Prüfung der Alltags- bzw. Praxistauglichkeit untersucht werden, welche Anforderungen an ein VDS zu stellen sind.

Derzeit erfolgt die Überwachung des Verkehrsraums in Straßentunneln anhand von Verkehrsdatenerfassung z. B. mittels Schleifen (Bild 1) oder Infrarotsensoren, anhand von manuellen und automatischen Brandmeldeeinrichtungen wie Linienbrandmelder oder auch Sichttrübungsmessgeräte sowie bei Tunnel über 400 m auch über zusätzliche lückenlose Videobeobachtung, aber auch über Kontaktauslösungen wie z. B. durch Öffnen der Schranktür zur Entnahme eines Feuerlöschers oder bei Öffnung einer Tür zur Notrufnische.



Bild 1: Herstellung einer Schleife im Vorfeld eines Tunnels

Die Videobeobachtung (Bild 2) erfolgt derzeit rein visuell, wenn nicht eine der o. g. Kontaktauslösungen die relevanten Kameras automatisch aufschalten. Im Fall eines Tunnelleitzentralenbetriebs erfolgt die Beobachtung durch den Operator, bei anderen Konzepten wie z. B. die Videobilder lediglich zur Feuerwehr oder Polizei zu leiten, wird die relevante Kamera erst aufgeschaltet, wenn ein Alarm ausgelöst wurde.



Bild 2: Videobeobachtung in einer Tunnelleitzentrale (TLZ) oder bei der Feuerwehr bzw. Polizei

Um die Videobeobachtung (Bild 2) effizienter zu gestalten und für einen Operator in einer TLZ mehrere Tunnel gleichzeitig überwachen zu lassen, kann eine Automatisierung der Detektion über das Videobild erfolgen. Diese Automatisierung kann die Brand- und Störfalldetektion verbessern, wenn sie die Selbstrettungszeit verlängert, eine Alarmplausibilisierung visuell und zugleich automatisch erreicht, eine direkte und automatische Erfassung in Echtzeit sowie eine räumlich und zeitlich exakte Detektion ermöglicht.

Können diese Anforderungen erfüllt werden, liegen darin auch die Stärken bzw. besonderen Vorteile gegenüber der klassischen Detektion. Zusätzlich gewinnt man die Möglichkeit, den gesamten Verkehrsraum auf Ereignisse nach Art, Umfang und Ursache überprüfen zu können. D. h. es lassen sich Ereignisse verkehrlicher Störfälle wie Stau, stehen gebliebenes Fahrzeug, Seitenstreifenbelegung etc. analysieren oder betriebliche Störungen wie z. B. Beleuchtungsänderungen oder Umfeldereignisse wie z. B. Nebel erkennen. Es bleibt jedoch die Frage, ob die Systeme diese Vorteile wirklich ausnutzen können.

2 Methodik

Die beschriebenen Fragen und Möglichkeiten wurden anhand einer zweiteiligen Forschung untersucht. Zunächst sollte im ersten Teil geklärt werden, ob die Systeme prinzipiell den aufgestellten Anforderungen genügen. Der zweite Teil sollte überprüfen, inwiefern sich die Systeme im Dauerbetrieb unter realen Verhältnissen einsetzen lassen.

Der erste Teil sah die folgende Methode vor (Bild 3):

Auf Basis einer Grundlagenstudie wurden Brandversuche mit den verschiedenen Detektionssystemen durchgeführt und u. a. deren Auslösezeit erhoben und anschließend bewertet. Des Weiteren wurden Störfalluntersuchungen durchgeführt, bei denen bestimmte verkehrliche Situationen nachgestellt und ebenfalls nach ihrer Detektionszeit bewertet wurden.

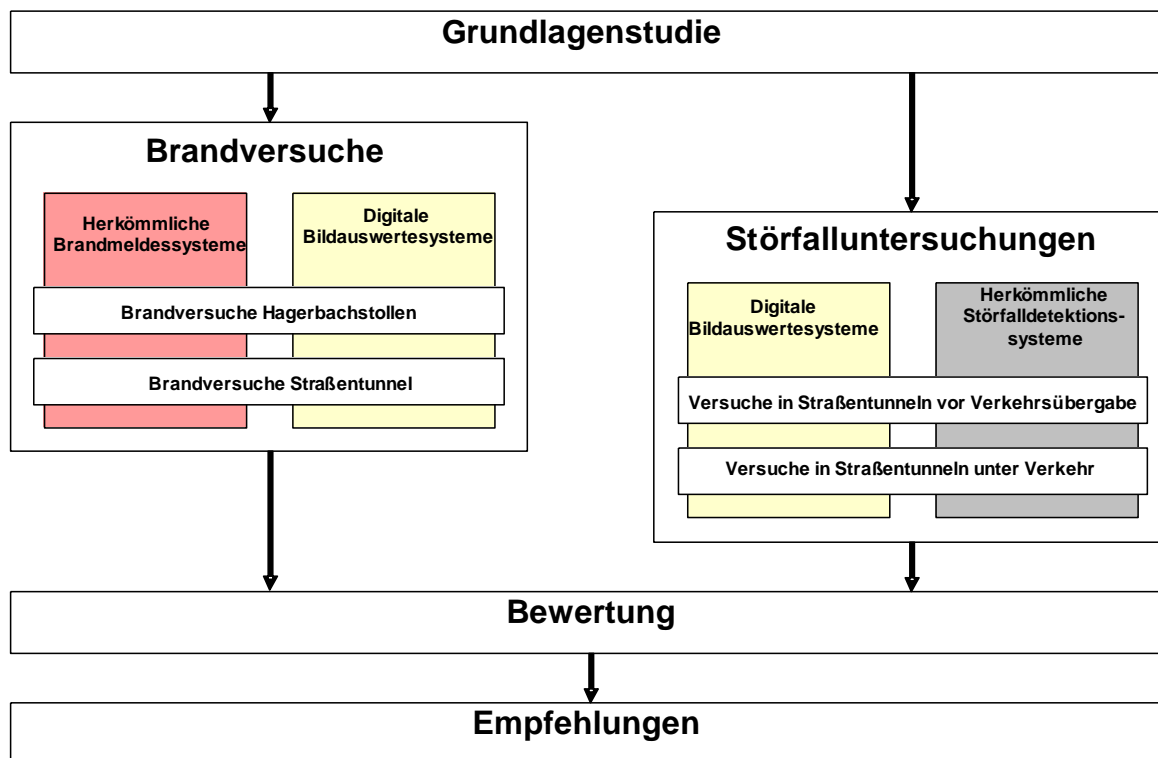


Bild 3: Methodik des Vorgehens in Teil 1 der Forschungsstudie

Bei den Brandversuchen erfolgte der Vergleich der verschiedenen Systeme in unterschiedlichen Umgebungen: Hagerbachstollen, Elbtunnel und Rennsteigtunnel. Neben den Tests mit Videodetektionssystemen und u. a. Linienbrandmelder wurden auch CO-, CO₂- und Sichttrübungsmessungen durchgeführt.

Des Weiteren wurden verkehrliche Störfälle künstlich erzeugt und deren Detektion mit VDS und verschiedenen Störfallverfahren wie z. B. MARZ getestet.

Die Ergebnisse hierzu sind in Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik in Heft 925 veröffentlicht.

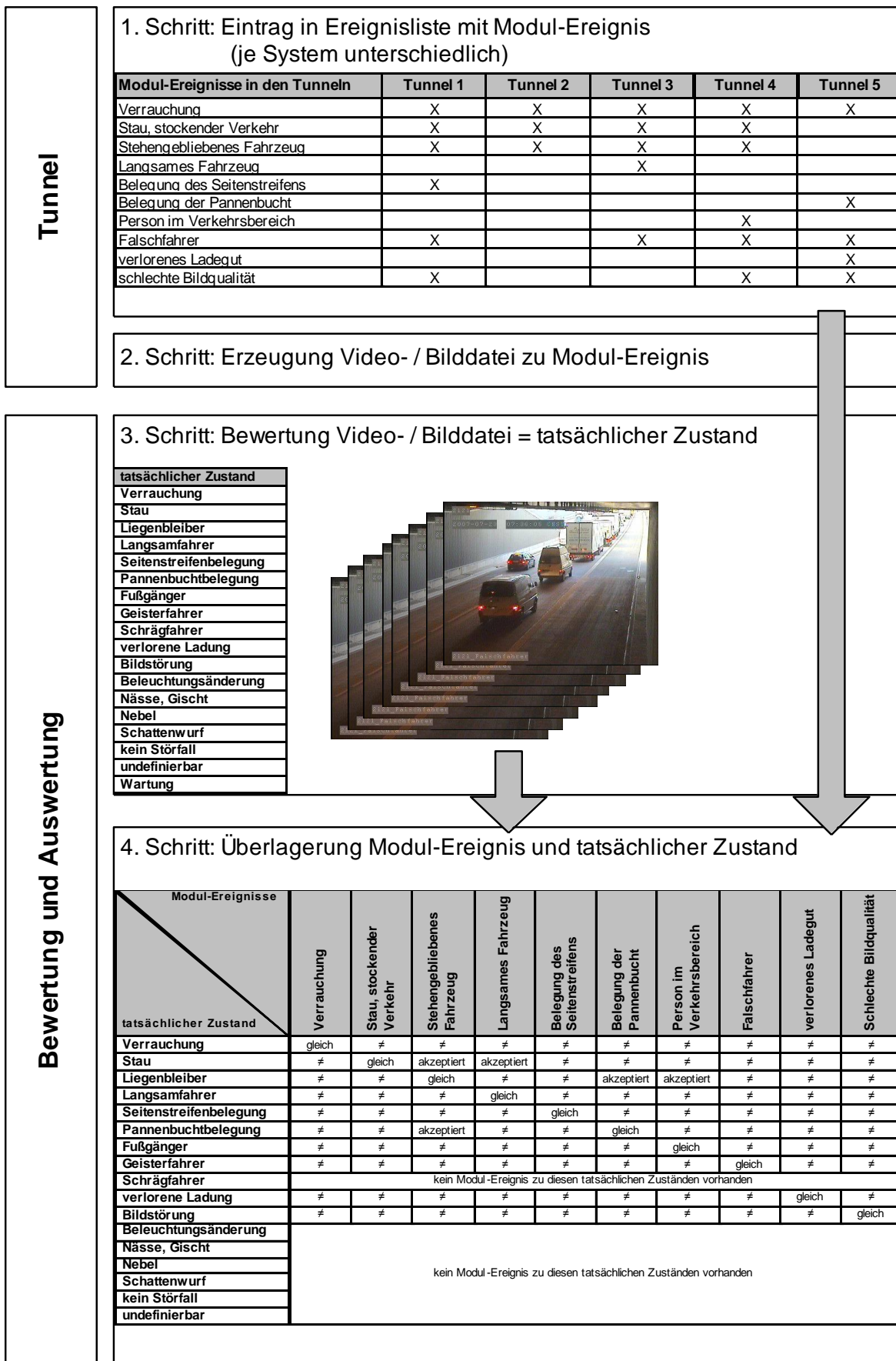
Die Analysen und Untersuchungen zu VDS im Dauerbetrieb erfolgten für den zweiten Teil der Forschung in fünf verschiedenen Tunneln: Döggingen, Engelberg, Aubing, Pfaffenstein und Dillenburg. Zum Einsatz kamen hier nur die VDS, die den entsprechend des ersten Teils aufgestellten Anforderungen entsprachen, d. h. einem positiven Eignungstest unterlagen.

Das Vorgehen im zweiten Teil sah u. a. vor, als tunnelspezifische Daten die durch das installierte VDS aufgenommenen Videos und Bilder zusammen mit deren Event-Meldungen in vordefinierten Event-Listen sowie die Ereignismeldebögen, Verkehrsdaten und Tunneldaten zu analysieren. Als Vergleichssystem diente zusätzlich das institutseigene Detektionssystem isac-DVA, welches ebenfalls Videos eines ausgewählten Kameraquerschnitts aufnahm, um es später mit dem vorinstallierten VDS zu vergleichen. Die Datenbasis wurde um eine Profilerhebung der Aufgaben eines Tunneloperators in einer TLZ sowie um die Investitionskosten der Detektionssysteme erweitert. Eine abschließende Analyse und Auswertung erfolgte auf dieser genannten Datenbasis, woraus sich letztendlich Empfehlungen zum Einsatz von VDS ableiten lassen.

Die Analyse und Auswertung der Daten basierte auf dem Schema, die beschriebenen tunnelspezifischen Daten zu modularisieren, d. h. je nach Modul-Ereignis auszuwerten. Dabei lagen je Untersuchungstunnel nicht sämtliche, sondern nur ausgewählte Module vor.

Jedes Modul-Ereignis wurde in einem weiteren Schritt anhand der vorliegenden Videos und Bilder nach dem tatsächlichen Zustand bewertet.

Zur endgültigen Aufbereitung der Daten, die als Grundlage für die Analysen und Auswertungen herangezogen wurden, erfolgte die Überlagerung der Modul-Ereignisse mit dem tatsächlichen Zustand. Diese Überlagerung wurde ebenfalls bewertet, so dass jedes Modul-Ereignis zusammen mit dem tatsächlichen Zustand in die Kategorie „gleich“, „akzeptiert“, „ungleich“ oder „kein Modul-Ereignis zu diesem tatsächlichen Zustand vorhanden“ zugeordnet werden konnte. Somit ergibt sich der in Bild 4 abgebildete Bewertungsablauf.



3 Ergebnisse des Kurzzeittests

Verschiedene Brandversuche in den Tunneln Hagerbachstollen, Elbtunnel und Rennsteigtunnel wiesen je Detektionssystem verschiedene Detektionszeiten auf. Dabei erwiesen sich im Durchschnitt Videosysteme als schneller und zuverlässiger als klassische Systeme. Lediglich im Hagerbachstollen konnten die Linienbrandmelder eine schnellere Detektion als das schnellste Videosystem aufweisen (Tabelle 1).

Der Vergleich der Systeme im Rennsteigtunnel zeigt, wie viel Zeit beim Einsatz von Videosystemen gewonnen werden kann, wenn das System für die Randbedingungen geeignet ist. Doch nicht jedes VDS scheint geeignet zu sein und jedes Modul gleich gut zu beherrschen. Gegenüber der Sichttrübung gewinnt das schnellste VDS 20 s, gegenüber dem schnellsten Linienbrandmelder sogar 69 s. Dieser Zeitgewinn verbunden mit einer genauen Lokalisierung des Brandortes kann entscheidend bei der Rettung von Menschenleben sein. Ein zusätzlicher Nutzen von VDS ergibt sich über die Möglichkeit, verkehrliche Störfälle zu detektieren, wie z. B. Seitenstreifenbelegung, Stau, Personen im Verkehrsraum, verlorenes Ladegut oder Falschfahrer.

Im Rahmen der hier vorgestellten Forschung wurden vier verschiedene verkehrliche Störfälle untersucht: haltendes Fahrzeug, haltendes Fahrzeug zusammen mit einer Person auf der Fahrbahn (ausgestiegen aus Fahrzeug), Fahrzeug in falscher Richtung fahrend sowie verlorene Ladung (Karton fällt aus Fahrzeug).

Tabelle 1: Ergebnisse der Brandversuche im Rahmen des Kurzzeittests

Testtunnel	System	Detektionszeiten	
Hagerbachstollen	Linienbrandmelder	von 11 s	bis 46 s
	Videosystem 1	von 16 s	bis 37 s
	CO-Messung	von 95 s	bis 125 s
	CO ₂ -Messung	von 20 s	bis 35 s
	Sichttrübung (50 m)	von 30 s	bis 174 s
Elbtunnel	Linienbrandmelder	von 43 s	bis nicht detektiert
	Videosystem 1 bis 4	von 7 s	bis 48 s
	Videosystem 5	von 58 s	bis 131 s
	Videosystem 6 hat bei 2 von 3 Versuchen gar nicht detektiert)		
Rennsteigtunnel	Linienbrandmelder	von 1:18 Minute	bis 2:59 Minute
	Videosystem 1,2,3,5	von 9 s	bis 53 s
	Videosystem 4 und 6	von 23 s	bis 131 s
	Sichttrübung	von 29 s	bis 96 s

Diese verkehrlichen Störfälle wurden im Elbtunnel und Rennsteigtunnel nachgestellt und per Video aufgezeichnet, um anhand der Videos die VDS zu testen. Dabei hat sich eine zeitnahe Detektion aller Störfälle bei gleichzeitig korrekter Typisierung herausgestellt. Die Detektionszeit lag je nach Störfall zwischen 1 s und 12 s.

Als resultierende Erkenntnisse lassen sich aus der beschriebenen vergleichenden Untersuchung folgende Punkte festhalten:

- Eine zuverlässige und schnelle Detektion von Brand- und Störfällen ist durch Videodetektionssysteme unter Versuchsbedingungen (Kurzeittests) gegeben.
- Erfahrungen über den Einsatz von Videodetektionssystemen (VDS) im Dauerbetrieb wären besonders wichtig, um die VDS im Realeinsatz bewerten zu können.
- Prüfvorschriften, welche VDS auf ihre Funktion und generelle Eignung testen, sind notwendig.

4 Ergebnisse des Dauerbetriebs im Realverkehr

Ein besonderes Augenmerk wird hier auf die Analyse der Brand- und Störfallmeldungen sowie die modulare Bestimmung der Detektionsquoten der verkehrlichen Störfälle mit einer abschließenden Bewertung der Videodetektion gelegt. Aus den Ergebnissen der Analyse lässt sich ein Fazit für das Regelwerk ziehen, im Rahmen dessen u. a. Beispiele für Einsatzbereiche aufgezeigt werden.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die Tunnel 1, 2 und 3 (Tabelle 2 und Bild 5). Brandmeldungen und Störfallmeldungen werden getrennt betrachtet. Wesentliches Merkmal der Brandmeldungen ist, dass sie auf Grund des seltenen Brandereignisses auch nur sehr selten auftreten und visuell eine Unterscheidung zwischen Nebel und Rauch nur schwer möglich ist. Vor allem in portalnähe, d. h. bis etwa 200 m Entfernung zum Portal verursachen Umwelteinflüsse und Beleuchtungsänderungen Fehlmeldungen. Diese könnten anhand von Plausibilitätsprüfungen in einer Kalibrierungsphase nach Installation des VDS stark reduziert werden. Mit 0,138 bzw. 0,571 Meldungen pro Kilometer und Tag liegt die Anzahl an Brandmeldungen für einen Operator in einer TLZ aber bereits jetzt auf einem akzeptablen Wert.

Verkehrliche Störfälle wie z. B. Staus oder Liegenbleiber treten dagegen wesentlich häufiger auf, so dass es insgesamt auch zu wesentlich mehr Meldungen kommt.

Tabelle 2: Modulare Analyse der Störfallmeldungen in Tunneln mit lückenlosem VDS-Einsatz

Untersuchungs-tunnel	Stau [Meldungen pro Kilometer und Tag]	stehengebl. Fzg. [Meldungen pro Kilometer und Tag]	Seitenstreifen [Meldungen pro Kilometer und Tag]	Falschfahrer [Meldungen pro Kilometer und Tag]	schlechte Bildqualität [Meldungen pro Kilometer und Tag]
1	0,227	0,922	5,721	0,030	0,480
2	0,275	1,005	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden

Je mehr Module installiert sind, desto mehr Meldungen treten natürlich auch auf. Ebenfalls steigt damit auch die Wahrscheinlichkeit für Fehlmeldungen. Die hier aufgezeigten Werte liegen aber für ein Konzept mit TLZ in einem gut handhabbaren Rahmen.

Der Wert für die Seitenstreifenbelegung sieht mit 5,721 zwar hoch aus, doch die zu 95 % richtige Detektion relativiert diese Zahl wieder (Bild 5).

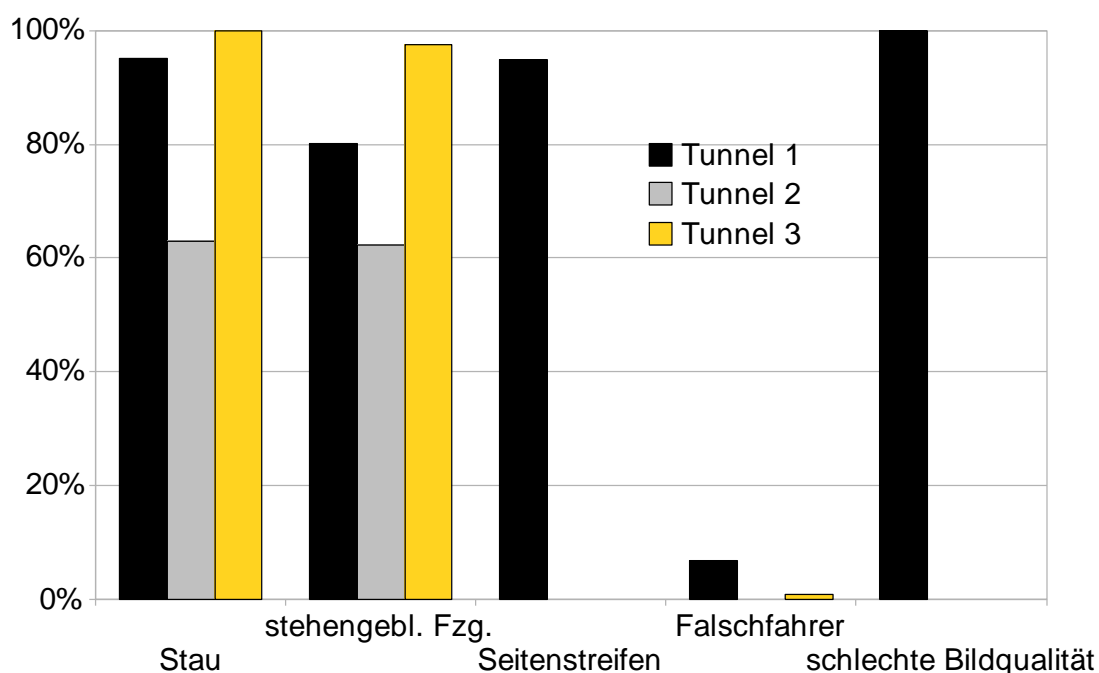


Bild 5: Detektionsquoten der Untersuchungstunnel 1, 2 und 3

Insgesamt liegen die Detektionsquoten, d. h. die Meldungen richtig erkannter Ereignisse bis auf die Erkennung der Falschfahrer auf einem sehr guten Niveau. Dies hängt aber auch stark vom System und der Einstellungen der Systeme ab. Tunnel 2 weist dabei nicht so gute Ergebnisse auf wie Tunnel 1 und 3.

Für Tunnel 1 lagen zusätzlich sämtliche Ereignisse aus den Meldebögen für den Auswertzeitraum vor. Der Vergleich von Ereignismeldebögen mit den Modulereignissen zeigt ein sehr gutes Bild für die VDS. Neben dem sehr hohen Erkennungswert von durchschnittlich 88 % aller Ereignisse aus den Meldebögen konnten weitere Ereignisse aufgedeckt werden, die nicht in den Meldebögen erfasst waren (Bild 6).

Als abschließende Bewertung von VDS lässt sich festhalten, dass die meisten Module je nach System eine gute Ereignisdetektion im Dauerbetrieb aufweisen. Eine Ausnahme bilden hier die Falschfahrer. Hier werden im Wesentlichen Fehlmeldungen produziert.



Bild 6: In Ereignismeldebögen nicht aufgeführter brennender LKW

Als Fazit für den zweiten Teil der Untersuchung lässt sich festhalten, dass VDS sehr hilfreich und zweckmäßig eingesetzt werden können. Eine weitere Reduktion von Meldungen lässt sich über ein Störfallmanagement verwirklichen, welches die Informationen des VDS nutzt. Dies sollte intelligentes und ereignisgesteuertes Umschalten von Störfällen ermöglichen. D. h. eine Überprüfung von Ereignissen würde vor dem Umschalten über Plausibilitätsprüfungen erfolgen. Anhand der Kamerabilder ließe sich das Ereignis verfolgen und die Ursache möglicherweise finden. Ein Ereignis würde auf den weiteren Kameras keinen Alarm auslösen, sondern nur Informationen liefern. Des Weiteren könnten über das Störfallmanagement Handlungsempfehlungen zur Beseitigung des Störfalls abgegeben werden.

5 Neue Erkenntnisse aus dieser Forschung

Welche Erkenntnisse lassen sich nun aus den Teilen 1 und 2 ableiten bzw. gewinnen:

- Eignung der VDS im Kurzzeittest und je nach Modul auch im Langzeittest gegeben,
- d. h. sehr kurze und zuverlässige Detektionszeiten durch VDS möglich,
- d. h. geringe Fehlerquoten oder geringe Anzahl an Meldungen bei div. Modulen,
- so dass Verbesserung der Fluchtbedingungen zur Unterstützung der Selbstrettung umgesetzt werden kann,
- zusätzlicher Gewinn an Informationen von Vorfällen in Tunneln,
- Gesamtfazit für das Regelwerk: Funktionierendes Störfallmanagement ist zwingende Voraussetzung für eine Aufnahme in das Regelwerk,
- Basisvorschlag für eine Prüfvorschrift wurde erstellt.

Akustische Auslegung von Straßentunneln

von Oliver Reimann, IFB consulting, Bischofsheim / Estebrügge
und Volker Löwer, IFB consulting, Bischofsheim

Status Quo der Tunnelbeschallungstechnik und die akustischen Probleme

Die bisherige Situation von Tunnelbeschallungen ist in vielen Fällen durch einen relativ hohen technischen Aufwand bei unverhältnismäßig schlechten Ergebnissen der erzielten Verständlichkeit geprägt. In sehr vielen praktischen Fällen ist annähernd kein Verstehen der Durchsagen möglich. Ein exemplarischer Tonmitschnitt einer solchen Evakuierungs-Durchsagenqualität wird am Anfang des Vortrags vorgeführt.

Ursachen: Die Situation eines Verkehrstunnels stellt unter akustischen Gesichtspunkten annähernd einen „Super-GAU“ dar, denn:

Weshalb sind Sprachübertragungen in Tunneln
schwierig zu realisieren?

Akustische Extrembedingung

Nachhall !

Nachhallzeiten immer mindestens 5 sec bis zu 20 sec !

Das wohl größte Problem für die Realisierung verständlicher Ansagen sind die in fast allen Tunneln ausschließlich vorhandenen Materialien: Beton, Asphalt, Fliesen, Brandschutzplatten und Stahl. Alles sogenannte „schallharte“ Materialien und damit Verursacher praktisch ungedämpfter Schallreflexionen und eines immensen Nachhalls.

Unter diesen Bedingungen sind mit herkömmlicher Beschallungstechnik akzeptable Sprachübertragungen weitestgehend ausgeschlossen:

Nachhall und Reflexionen sind DIE EIGENTLICHEN HERAUSFORDERUNGEN BEI DER LÖSUNG DER VERSTÄNDLICHKEITSPROBLEME VON TUNNELBESCHALLUNGEN!

akustische Extrembedingung

Verkehrslärm !

Maximaler Verkehrslärmpegel > 90 dB(A)

Erschwerend steht an zweiter Stelle auch der gigantische Lärmpegel in Tunneln. Da die Störpegel in Spitzenbelastungszeiten typisch im Bereich Lp-Stör ≈ 90 dB(A) ... 95 dB(A) gemessen werden, muss

die Lautsprecheranlage folglich in der Lage sein, einen Sprach-**Lautstärkepegel von etwa 105 dB(A)** zu produzieren.

Das neue Konzept der synchronisierten Längsbeschallung (SLASS)



Erfahrungen der letzten Jahre und die aktuelle Forschung im Auftrag der BAST haben den Weg aufgezeigt zu realisierbarer gleichzeitiger Sammelrufbeschallung einer gesamten Tunnelröhre mit ausreichender Sprachverständlichkeit. Daraus hervorgegangen ist das Konzept der synchronisierten Längsbeschallung (neudeutsch: synchronised longitudinal announcement speaker system (SLASS)).

Zeitgleich entwickelte die Industrie passende neuartige Lautsprechersysteme der Bauart „Grenzflächenhorn“ mit für Tunnel geeigneten akustischen und geometrischen Parametern, mit denen dieses Konzept praktisch zu realisieren ist.

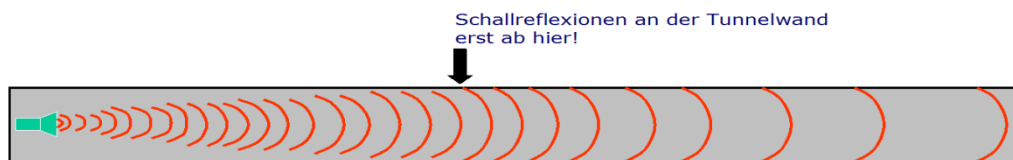
1. SLASS-Prinzip = Schallbündelung: Herkömmliche Lautsprecherbauarten, die in Tunneln eingesetzt werden konnten, machten das Erreichen der erforderlichen hohen Schalldruckpegel möglich, besaßen aber ungeeignete Schall-Abstrahlcharakteristiken. Das neue Konzept der SLASS-Beschallung erfordert stark richtende Hochleistungslautsprecher, die den Schall breitbandig in einem engen Winkelbereich abstrahlen und zudem eine breitbandige hohe Rückwärtsdämpfung besitzen. Moderne Grenzflächenhörner für die Tunnelbeschallung vereinen die notwendige präzise Schallbündelung mit einer „tunnelquerschnitts-kompatiblen“ minimierten Bauhöhe.



Der entscheidende Punkt für eine funktionierende SLASS-Beschallung ist die bereits bei niedrigen Frequenzen notwendige Bündelung der Lautsprecher.

Das ist aber nur realisierbar durch große mechanische Dimensionen eines Lautsprechers. Lautsprecher für diese Anforderung

derungen müssen daher typischerweise mehr als 1,5 m lang und rund 1 m breit sein. Durch geschickte Ausnutzung des akustischen Prinzips der Grenzflächen-Ankopplung konnten die Entwickler aber die auch erforderliche große Bauhöhe auf „tunnelverträgliche“ Maße bei rund 0,3 m reduzieren.

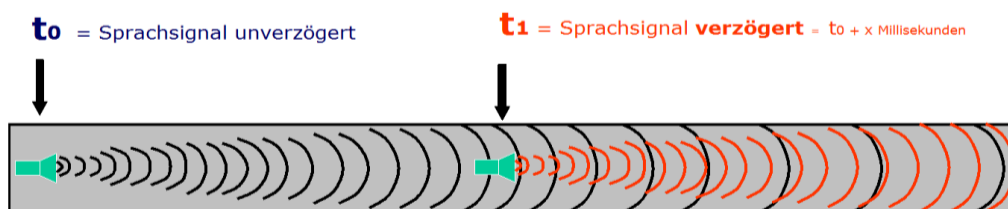


1. SLASS-Prinzip

weniger Tunnelwandreflexionen und Nachhall
durch
**schallbündelnde
Hochleistungslautsprecher**

2. SLASS-Prinzip = Laufzeit-Synchronisierung mit Delaytechnik: Auch von solch andersartigen Lautsprechern muss natürlich jeweils eine gewisse Anzahl zur Aufrechterhaltung des Schalldruckpegels über der Tunnellänge installiert werden. Die notwendigen Abstände müssen durch sorgfältige Planung ermittelt werden, sie liegen bei heutigen Grenzflächenhörnern - abhängig von den Tunnelquerschnitten und geometrischen Besonderheiten - in der Regel typisch im Bereich von 35 m 70 m.

Der Nachteil jeder Lautsprecheranzahl $N > 1$ ist aber ein genereller: **Lautsprecher stören sich grundsätzlich (in beliebigen Beschallungskonzepten) gegenseitig!** Bedingt durch die langsame Ausbreitung des Schalls (Schallgeschwindigkeit von $c \approx 340$ m/s) werden auch bei einer Tunnellängsbeschallung durch die erforderlichen Zusatzlautsprecher massive störende Echos generiert, die die Verständlichkeit massiv beeinträchtigen. **Lösungsweg im SLASS-Konzept:** Echos können hier durch präzise elektronische Verzögerung der von den zusätzlichen Lautsprechern abgestrahlten Schallsignale verhindert werden. Diese Synchronisierung der einzelnen Lautsprechersignale wird heute durch digitale Delays in Audio-Signalprozessoren realisiert.



2. SLASS-Prinzip

Delaytechnik (Signalverzögerung)

Kompensation der Schallgeschwindigkeit
→ Synchronisierung aller Einzellautsprecher
mit der „Start-Schallwelle“

Grundüberlegung: Es soll „eine einzige Schallwelle“ durch die gesamte Tunnellänge bewegt werden (die unterwegs immer wieder synchronisiert „aufgefrischt“ wird). Jeder einzelne Lautsprecher erhält beim SLASS-Konzept einen kompletten eigenen Audiokanal mit separater Signalverzögerung (Delay).

Ausreichende Verständlichkeit erfordert die Umsetzung weiterer Prinzipien:

3. SLASS-Prinzip

Breitbandig lineare Übertragung
kompletter Sprachfrequenzbereich
250 Hz 8.000 Hz

- nicht nur Telefonbandbreite!
- kein „Horntrötensound“!

3. SLASS-Prinzip = Breitbandigkeit:

In der extrem kritischen Tunnelakustik wird jeder potentielle Verständlichkeitsanteil der Sprache zwingend benötigt –

was hier dringend eine Übertragung mindestens des Bereichs von 250 Hz 8.000 Hz erzwingt!

SLASS-Lautsprecheranlagen dürfen daher keinesfalls in der (... sonst gerne fälschlich-üblichen Weise auf Telefonband-) Bandbreite eingeschränkt werden, und müssen diesen Frequenzbereich linear in einer Toleranz von ± 3 dB übertragen!

4. SLASS-Prinzip

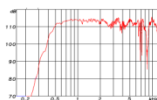
Präzise akustische Parametrierung
(„Einmessung“)

Akustische Messungen + Abgleiche aller Lautsprecher im Tunnel vor Inbetriebnahme:

Delayzeiten! 

Pegel! 

Frequenzgänge!



4. SLASS-Prinzip = Parametrierung:

Grundsätzlich benötigen (jedwede!) Beschallungsanlagen bei Inbetriebnahme eine fachmännische sehr präzise Parametrierung.

Das gilt natürlich auch für SLASS-Beschallungen. Das ist nicht ohne einige Stunden je Tunnel-km erfordernde akustische Messungen unmittelbar im Tunnel möglich – wird aber immer wieder grundsätzlich unterschätzt oder wegen bauablaufs-/verkehrstechnisch- logistischer Kollisionen zurückgestellt - was dann „zu guter Letzt“ die Funktion der gesamten Anlage gefährdet. Ein ausreichendes Zeitfenster und erfahrene Messtechniker müssen deshalb immer eingeplant werden.

Die „richtigen“ Sprachansagen – das ergänzende 5. SLASS-Prinzip

Weitere Maßnahmen zur Sicherstellung der Verständlichkeit müssen sich auf die **Qualität und die Eigenschaften des eigentlichen Sprachsignals** und dessen **Informationsgehalt** konzentrieren! Die verwendete Sprache muss sprachlich und sprecherisch präzise an die extremen akustischen Tunneleigenschaften angepasst werden durch: - (über-)deutliche Artikulation - verringertes Sprechtempo - besondere Sprechdynamik - spezielle Sprachpausengestaltung - spezielle Frequenzübertragung.

Ebenso natürlich: - passende Wortwahl und (einfach verständliche) Formulierungen.

Das erfordert für die Audioproduktion der „Sprach-Konserven“ professionelle Sprecher und beschallungserfahrene Tonregie, für das Leitwartenpersonal eine spezielle Einweisung und Schulung.

Die eigentliche sprachliche Information als Bestandteil jeden technischen Alarmierungskonzepts:

- 5a **Spezielle professionelle Ansagetext-Sprachaufnahmen**
für die digitalen Sprachspeicher ✓
- 5b **Mikrofon- und Sprechschulung**
für das Leitwarten-Personal ✓

Das Verhältnis von Aufwand-zu-Nutzen kann für optimierte Sprachansagen als außerordentlich hoch eingestuft werden.

Erfahrungen bei erster Inbetriebnahme einer SLASS-Beschallung in Deutschland

Es zeigte sich, dass das Lautsprecherkonzept der SLASS-Beschallung bei fachgerechter Planung, Installation und Inbetriebnahme Verständlichkeitsqualitäten erreicht, die mit gemessenen STI-Werten $\approx 0,50$ sogar in den Bereich der Anforderungen der DIN 60849 fallen (die heute Versammlungsstätten-Alarmierungsanlagen anzuwenden ist, nicht aber für Tunnelbeschallungen). Ein Original-Hörbeispiel wird am Ende des Vortrags vorgestellt, das eine subjektive Einschätzung dieser objektiven Messwerte ermöglicht.



Tunnellänge rd. 780 m
ca. 15 Stück Grenzflächenhörner
Aufbauhöhe rd. 33 cm
Abstand ca. 45 – 55 m
Lautsprecher-Einzelverkabelung
ca. 15 100-V-Verstärkerkanäle (+ Reserve) a 100 W
digitaler Audiosignalprozessor mit rd. 16 Ausgängen (+ Reserven)

Erste Installation nach SLASS-Prinzip in Deutschland März 2009

Der erste deutsche Straßentunnel mit einer SLASS-Beschallungsanlage wurde im März 2009 auf der A 81 in Betrieb genommen.

Er ist bestückt mit **15 Grenzflächenhörnern** auf einer Länge von 780 m, montiert in Abständen von je 45 m 55 m,

jedes Horn verfügt über **je einen separaten Signalprozessor-Kanal** und **je einen separaten Leistungsverstärker-Kanal a 100 W**. Eine **Anzahl Sprachansagen** in Deutsch und Englisch wurden speziell produziert für die akustischen und beschallungstechnischen Parameter des Tunnels.



Die ungewöhnlich guten praktischen Ergebnisse der Verständlichkeit mit STI-Werten $\approx 0,50$ und höher lassen es nach derzeitiger Einschätzung ratsam erscheinen, für zukünftige Installationen bisherige Tunnel-Beschallungskonzepte zu verlassen und stattdessen nach SLASS-Konzept zu beschallen.

Verhaltensanweisungen bei Notsituationen in Straßentunneln

**von Prof. Dr. Berthold Färber
Institut für Arbeitswissenschaft
UniBw München**

1 Ausgangslage

Im Rahmen einer Studie im Auftrag der BASt (Färber & Färber , 2009) wurde unter anderem eine Internet-Befragung mit 423 Teilnehmern durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse sind:
Das theoretische Wissen über Sicherheitseinrichtungen in Tunnel sowie das richtige Verhalten bei Störfällen kann als weitgehend gut eingestuft werden. Zwei Bereiche sind im Bewusstsein der Nutzer zu wenig ausgeprägt:

- Die Notwendigkeit, das Fahrzeug zu verlassen
- Die Dringlichkeit der Reaktion speziell bei Bränden.

Ein Vergleich dieser Befragungsergebnisse mit der Beschreibung von Verhaltensweisen bei Störfällen und die entsprechenden Konsequenzen zeigt interessante Parallelen auf:

- Bei frühzeitigem Eingreifen durch Nutzer oder Mitarbeiter konnte die Situation bei einem Störfall meist unter Kontrolle gebracht werden.
- Das subjektive Sicherheitsempfinden im eigenen Fahrzeug war teilweise verhängnisvoll.

2 Ziel

Setzt man diese Ergebnisse der Befragung sowie die Beschreibung des konkreten Verhaltens bei Unfällen und Bränden in Beziehung, so werden folgende Schwerpunkte deutlich:

- Der Übergang von der leichten, beherrschbaren, zur schweren Störung, bei der nur noch Flucht hilft, muss deutlich gemacht werden. Ziel muss zunächst sein, dass Betroffene kleinere Störungen (z.B. Motorprobleme, die aber eine langsame Weiterfahrt noch ermöglichen) selbst beheben, durch Aufsuchen der Pannenbucht oder Ausfahren aus dem Tunnel.
- Wird die Situation kritisch, hat durch entsprechende Maßnahmen und Warnungen eine schnelle Räumung des Tunnels zu erfolgen. Hierfür müssen adäquate optische und akustische Signale eingesetzt werden.

In kritischen Situationen kommt der Aufforderung, das Auto zu verlassen, eine besondere Bedeutung zu. Auch hierfür müssen entsprechende Signale entwickelt werden.

Es gilt somit, zwei Signalarten zu entwickeln:

- Warnungen bei kleineren Störfällen,
- Notfall-Warnungen, die ein sofortiges Verlassen des Tunnels auf dem hierfür besten Weg garantieren.

3 Lösung

In mehreren Experimenten in einer Bunkeranlage, die bezüglich des optischen und akustischen Eindrucks einem Tunnel ähnlich ist, wurden optische, akustische und haptische Einrichtungen getestet, die Personen dazu bringen, das Fahrzeug zu verlassen, den Notausgang zu finden und diesen auch zu nutzen.

3.1 Akustische Signale

Bei den akustischen Signalen wurde besonderer Wert auf Sprachfreiheit sowie die Berücksichtigung der Halligkeit von Tunnel gelegt. Als Ergänzung zu Durchsagen per Lautsprecher oder über Radio kamen daher vor allem Töne und Geräusche zum Einsatz, die die intendierten Effekte erzielen sollen, ohne Panik auszulösen.

3.1.1 Verlassen des „Schutzraums“ Fahrzeug

Um Personen zum Verlassen des Fahrzeugs zu bewegen sind prinzipiell Töne geeignet, die Gefahr signalisieren als aversiv empfunden werden. 40 Personen, die in einem Fahrzeug in einem abgedunkelten, tunnelähnlichem Raum saßen, hatte die Aufgabe, 4 verschiedene Sounds einzuschätzen:

- Sägezahn (Sweep 10 – 50 Hz)
- Dreieck 26 Hz
- Orgelpfeife 8 Hz
- Sirene „Feueralarm“

Obwohl der Feueralarm von 80 % richtig interpretiert wurde, äußern nur 30 % der Probanden eine Erfolg versprechende Handlungsstrategie. Der Bass-Sound "Sägezahn", der seine Periode über die Gesamtdauer von 10 auf 50 Hz verändert, bringt 76 % richtiger Interpretationen, während der Bass-Sound "Dreieck", der konstant bei 26 Hz liegt, nur in 41 % der Fälle richtig interpretiert wird. Die Orgelpfeife liegt bezüglich der richtigen Interpretation mit 54 % an 3. Stelle, bei der beschriebenen Handlung jedoch an 2. Stelle (61 %).

3.1.2 Zum Notausgang locken

Haben die Personen das Fahrzeug verlassen müssen sie den Notausgang aufsuchen. Hierzu sind sowohl optische als auch akustische Signale geeignet. Die akustischen Signale sollen zum einen gut zu orten sein, und zum anderen aufgrund des semantischen Gehalts die Verwendung des Notausgangs sicher stellen. In einem Experiment wurden 8 verschiedene Sounds in einem schallharten Raum mit Störgeräuschen (Lkw-Fahrgeräusch im Tunnel und Strahltriebventilatoren) dargeboten. Die Personen mussten entscheiden, aus welcher Richtung der Sound kommt und welche Assoziation sie mit dem Sound verbinden.

Abb. 1 zeigt die verwendeten Sounds und die Ergebnisse.

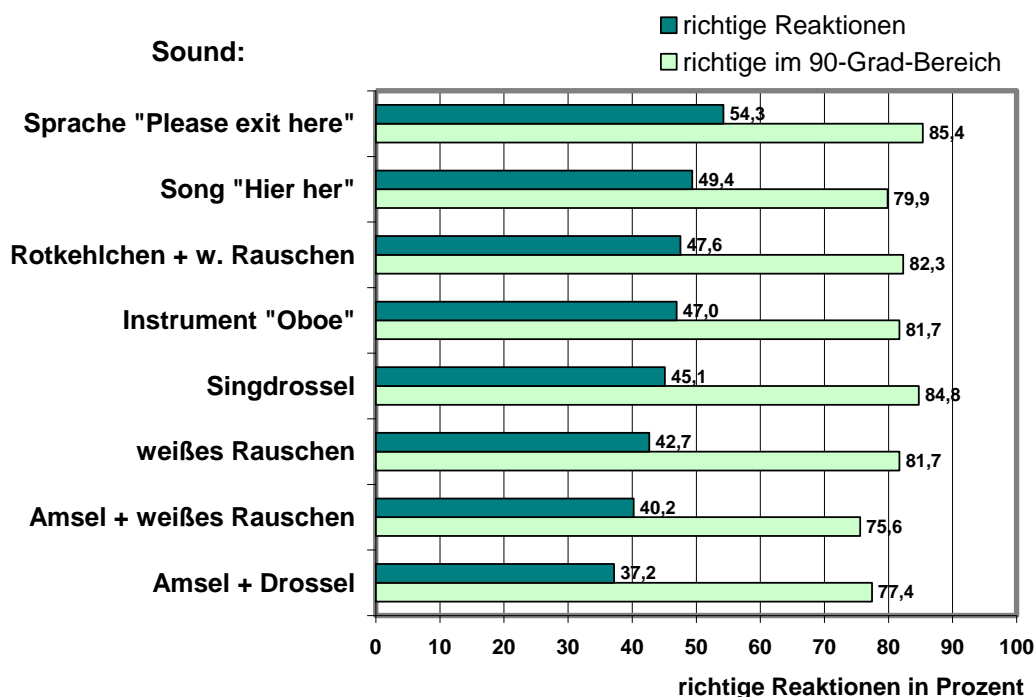


Abb. 1: Verwendete Sounds und Ergebnisse für richtige Ortung sowie Ortung im richtigen Bereich (90 Grad-Bereich).

Um Personen in der turbulenten Geräuschkulisse eines Tunnels zu einem Notausgang zu locken, ist, entgegen den bisherigen Aussagen in der Literatur, das weiße Rauschen (ohne Zusatz) nicht zu empfehlen. Vielmehr eignen sich die Sounds "please exit here" "Hier her" (weibliche Altstimme, getragen, Rufertz), im Wechsel mit dem Lockgesang des Rotkehlchens, das mit leichtem weißen Rauschen hinterlegt ist. Diese Signalkombination ist sehr gut zu orten, wird im richtigen Sinne interpretiert und positiv beurteilt.

3.2 Optische Signale

Ziel dieser Untersuchung war die Verbesserung der optischen Leiteinrichtungen, wenn der Tunnel bereits verraucht ist oder zum Erreichen der Fluchttüren das Überqueren der Fahrbahn erforderlich ist. Erprobt werden Möglichkeiten, durch optische und / oder haptische Signale Personen bei einem Brand im Tunnel

- zum Auffinden eines Notausgangs zu bringen,
- einen eventuell erforderlichen Seitenwechsel auszulösen
- und zur Nutzung des Notausgangs zu veranlassen.
- In einem verrauchten tunnelähnlichen Versuchsraum werden die Varianten in Tabelle 1 mit 54 Probanden untersucht:

optisch	"Lauflicht" <ul style="list-style-type: none"> • fluoreszierendes Band bis zu LEDs • 7 LEDs "laufen" • Laser pulst Richtung Ausgang
haptisch	"Handlauf": <ul style="list-style-type: none"> • Handlauf (an Anfang und Ende markiert) • Laser pulst Richtung Ausgang
optisch + haptisch	"Lauflicht" + "Handlauf": <ul style="list-style-type: none"> • Handlauf (an Anfang und Ende markiert) • 7 LEDs "laufen" • Laser pulst Richtung Ausgang

Ergebnisse:

Die besten Ergebnisse erzielt die Kombination aus optischen und haptischen Hilfen:

- Die Probanden fühlen sich hier nicht nur am besten orientiert,
- die Zeit bis zum Erreichen des Notausgangs ist hier besonders kurz und
- die Erfolgsquote beim Finden und Nutzen des Notausgangs liegt mit 89 Prozent am höchsten.

Erreicht wurde dieses positive Ergebnis durch drei Komponenten:

- einem Handlauf, der an Anfang und Ende mit einer fluoreszierenden Folie markiert ist und am Ende eine 90-Grad-Biegung Richtung Notausgang aufweist,
- einem Lauflicht mit 7 LEDs (Durchmesser 5 mm, gelb-grüne Farbe, Wellenlänge des emittierten Lichts 555 nm), deren Abstand zum Ende hin kürzer wird (anfangs 50, am Ende 20 cm),
- und abschließend ein Dioden-Laser-Modul (Durchmesser von 3 mm, 5 mW, grünes Licht, 532 nm), gerichtet auf den Türgriff des Notausgangs.

4 Folgerungen

Die Ergebnisse der Versuche, die in realitätsnaher Umgebung gefunden wurden zeigen, dass in Ergänzung zu den bereits bestehenden Verfahren von Lautsprecher- oder Radiodurchsagen mit einfachen Mitteln eine Lösung der zentralen Probleme: „Schnelles Verlassen des Fahrzeugs“ und „Auffinden und Nutzung der Notausgänge“ erreichen lässt.

5 Literatur:

Färber, B. & Färber, B. A. (2009) Verhaltensanweisungen bei Notsituationen in Straßentunneln. Forschungsprojekt FE 03.0406, BASt, Schlussbericht (im Druck)