

---

## Kurzfassung der Diplomarbeit

---

Name: Markus Todt

Thema: **Das menschliche Fluchtverhalten in Straßentunneln**

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. J. Stefan Bald, Dipl.-Ing. Romy Reinisch, Dipl.-Ing. Markus Gerigk

---

Am 24. Oktober 2001 kollidierten im St. Gotthard-Tunnel zwei Lkws. Ein verheerender Brand entwickelte sich, 11 Menschen starben, viele andere wurden verletzt. Bereits zwei Jahre zuvor, nämlich am 24. März 1999, kam es zu einem Brand im Montblanc-Tunnel, der insgesamt 39 Personen das Leben kostete. (Shields 2005; Voeltzel/Dix 2004)

Diese und andere Tunnelbrände gaben in den letzten Jahren Anlass zu Untersuchungen, die Sicherheit von Verkehrstunneln zu verbessern (Eder et al. 2009). Dabei ist es unerlässlich, die Forschung zu Sicherheitsmaßnahmen – ebenso wie deren spätere Umsetzung in der Praxis – auf das menschliche Verhalten abzustimmen; andernfalls besteht die Gefahr, dass diese Maßnahmen nicht oder nur unzureichend greifen. Kurzum: Tunnelsicherheit hat den „menschlichen Faktor“ mit zu berücksichtigen. Wie aber verhalten sich Menschen in der Situation eines Straßentunnelunglücks? Wie lässt sich ihr Fluchtverhalten charakterisieren? Dieser Frage wird im Folgenden anhand einer umfassenden Literaturanalyse nachgegangen. Häufig kommt es im Zuge eines Unglücks zu einem Brand, der eines der gefährlichsten Szenarien darstellt. Aus diesem Grunde konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf Brände in Straßentunneln.

Zunächst werden die zentralen Begriffe der Arbeit definiert: Straßentunnel, Fluchtverhalten und Selbstrettung. Unter Straßentunneln versteht man jene Tunnel, die für den motorisierten, nicht schienengebundenen Fahrzeugverkehr freigegeben sind. Dabei wird zwischen Tunneln mit nur einer Fahrtrichtung und Gegenverkehrstunneln unterschieden. Der Begriff Fluchtverhalten wird für diese Arbeit, von seinem eigentlichen Sinne der Ortsveränderung infolge bestimmter Reize, auf das vollständige Verhaltensspektrum der Tunnelnutzer ausgedehnt. Fluchtverhalten stellt eine Form der Selbstrettung dar, die – in Abgrenzung zur Rettung durch Einsatzkräfte – alle Aktivitäten umfasst, die die Betroffenen selbst für ihre Rettung ausüben.

Um das Verständnis der weiteren Ausführungen zu erleichtern, werden allgemeine Grundlagen zu Straßentunnelbränden erläutert. Zu den wesentlichen Brandursachen zählen Verkehrsunfälle, Kurzschlüsse, Schmierfette, die sich entzünden, menschliches Fehlverhalten sowie Brandstiftung. Im Vergleich zur freien Strecke finden Unfälle in Verkehrstunneln seltener statt; u.a. ist dies auf die größere Unabhängigkeit von der Witterung zurückzuführen. Trotzdem treten seit den 1970er Jahren größere Brandunfälle mit einer gewissen Regelmäßigkeit auf, wofür Shields (2005) das stetig wachsende Verkehrsaufkommen, eine erhöhte Frequenz der Tunnelnutzung sowie Veränderungen bei der Art der transportierten Güter anführt (Gefahrguttransporte). Laut einer von der PIARC erstellten Statistik liegt die gemittelte Unfallhäufigkeit in europäischen Autobahntunneln im Richtungsverkehr bei unter einem Unfall je 1 Mio. Fahrzeugkilometer (Brilon/Lemke 2000). Die Brand- und Temperaturentwicklung gliedert sich in eine Entstehungsphase, eine Vollbrandphase, in der Maximaltemperaturen von 850°C bis 1200°C auftreten können und in eine Abklingphase. Naturgemäß steigt die Brandlast mit der Größe des

---

Fahrzeuges an und die Höhe der Temperatur steht in unmittelbarem Zusammenhang zur Entfernung zum Brandherd. Einen entscheidenden Einfluss auf die Temperaturverteilung hat dabei die Größe und Richtung der im Tunnel vorherrschenden Luftströmung. Ebenfalls von der Luftströmung abhängig ist der Brandrauch. (Beard/Carvel 2005; Bürkel et al. 2005; Weatherill 2001) Neben den fluchtrelevanten Sicherheitseinrichtungen des Tunnels, zu denen im Wesentlichen Notausgänge (z. B. zu Rettungstollen), Notrufstationen, Lautsprecher und Fluchtwegkennzeichen gehören (RABT 2006), ist der Brandrauch einer der entscheidenden Faktoren in Bezug auf das Fluchtverhalten und die Überlebens- bzw. Erfolgswahrscheinlichkeit einer Fluchthandlung.

Mit diesem Hintergrundwissen kann anschließend gezielt das Fluchtverhalten im Falle eines Straßentunnelbrands analysiert werden. Dabei wird sich dem Thema auf vier Arten genähert:

- Die verschiedenen *Verhaltensmodelle* versuchen das Fluchtverhalten in einem Ablaufschema dazustellen und benennen Phasen, die der eigentlichen Fluchthandlung vorausgehen. Neben weiteren Einflussfaktoren determinieren die Phasen Schritt für Schritt die spätere Handlung.
- Die *quantitativen und qualitativen Befunde* beruhen auf Umfragen und praktischen Versuchen, die sich mit dem Fluchtverhalten von Tunnelnutzern beschäftigen.
- Die umfangreiche Darstellung der *Einflussfaktoren* stellt jene Faktoren vor, die sich auf das Fluchtverhalten auswirken.
- Und schließlich liefert die *Analyse ausgewählter Tunnelbrandereignisse* die einzige Datenquelle unter realen Bedingungen.

Die Verhaltensmodelle (von Canter, Passenier und Van Delft, Flannery, Eder et al. und der Society of Fire Protection Engineers) ähneln sich und lassen sich grob zusammengefasst wie folgt darstellen: Sie starten zumeist mit der Erkennung bzw. Wahrnehmung eines Reizes. Darauf folgt eine Phase mit Interpretationen und Einschätzungen, an die sich nach der Entscheidungsfindung bzw. Handlungsvorbereitung die Handlung als solche anschließt. Je nach Modell wird die Tätigkeit vor der Reizwahrnehmung (Canter), impulsives Verhalten bei eindeutiger Situationslage (Passenier und Van Delft sowie Eder et al.) und rekursives Verhalten (Flannery) in Betracht gezogen.

Die qualitativen und quantitativen Befunde skizzieren zunächst eine Klassifikation von Schneider/Kirchberger (2007): Ca. 70 % der Menschen verhalten sich ruhig und passen sich der Gruppe an, während der Rest sich etwa zu gleichen Anteilen in Personen mit Führungspotenzial und Personen, die irrational reagieren, aufgliedert. Die Ergebnisse aus Befragungen von Tunnelnutzern und praktischen Tests (Unglückssimulation in einem Tunnel mit Einrichtungsverkehr) von Boer stimmen nur zum Teil überein. Im Gegensatz zu den Interviews offenbarte die Praxisstudie nicht beabsichtigtes, sondern tatsächliches Fluchtverhalten: Die zunächst mehrheitlich passive Handlungsweise (Verbleiben im Auto und Warten) wurde erst durch eindeutige Tunneldurchsagen aufgegeben. Nahezu alle Personen flüchteten dann rückwärts (also weg von der Unfallstelle) zu Fuß über die Notausgänge. Sie orientierten sich am Verhalten anderer, denen sie in die Notausgänge folgten. Wenn notwendig, wurde anderen Menschen Hilfe geleistet. Vereinzelt kehrten Personen zu ihren Fahrzeugen zurück, um dort etwas zu erledigen und setzten anschließend ihre Flucht fort.

Die Einflussfaktoren auf das Fluchtverhalten lassen sich in personenbezogene, umgebungs-, sowie soziale und gruppenbezogene Faktoren differenzieren. Diese Faktoren treten nie isoliert auf und stehen untereinander in Interaktion. Bei vielen ist noch offen, ob und/oder wie sie auf das Verhalten Einfluss nehmen. Insbesondere die Wechselwirkungen der Faktoren untereinander sind noch recht unerforscht. Die *personenbezogenen Faktoren* sind an Einzelpersonen geknüpft. Hierzu gehören u.a. physische Faktoren wie z. B. das Alter, das die Fluchtgeschwindigkeit bestimmt oder auch emotional-psychische Faktoren wie bspw. Stress, der Denkprozesse erschwert und so die Identifikation sinnvoller Fluchtmöglichkeiten beeinträchtigt.

---

Die *umgebungsbezogenen Faktoren* beinhalten alle Einflüsse aus dem Umfeld der Flüchtenden, z. B. bauliche Gegebenheiten, die von der Brandsituation unabhängig sind oder auch den Brandrauch, der die Orientierungsfähigkeit der Flüchtenden herabsetzt, wodurch sich ihre Fluchtgeschwindigkeit verlangsamt und ihre Sichtweite reduziert, so dass eine Orientierung am Verhalten anderer Personen erschwert wird. Hier ist auch die örtliche Positionierung der Tunnelnutzer innerhalb der Röhre einzuordnen, die das Fluchtverhalten entscheidend beeinflussen kann: Befindet sich jemand in unmittelbarer Nähe zum Unfallereignis, kann z. B. seine Fluchthandlung schneller einsetzen (auch „Fluchtreflex“), weil die Gefahr falscher Interpretationen geringer ist und keine Zeit für umfangreiche Reflexionen bleibt. Erwähnenswert ist zudem die Gestaltung von Sicherheitseinrichtungen, welche die Fluchthandlung beeinflussen. So werden z. B. Fluchtwegkennzeichen mit nur einer Richtungsangabe schneller und besser erkannt und verkürzen die Reaktionszeit. Notausgänge mit grüner Beleuchtung werden häufiger aufgesucht als solche ohne bzw. mit nur weißer Beleuchtung. (Baltzer/Mayer 2009; Pauli 2009)

*Soziale und gruppenbezogene Faktoren* beziehen sich auf die Anwesenheit und das Verhalten anderer Personen. Betroffene neigen im Falle eines Unglücks dazu, sich anderen Personen (bekannten und unbekannt) anzuschließen (Affiliatives Verhalten). Daraus können sich auch Gruppen entwickeln oder Kollektive, die aus Individuen bestehen, die gleichzeitig, koordiniert und ohne zentrale Steuerung durch Führungspersonen agieren (Schwärme). Ein Schwarm registriert mehr Details seiner Umgebung, Fluchtmöglichkeiten geraten dadurch eher in den Blick. Das Kollektiv vermittelt zudem Sicherheit, die jedoch dazu verleiten kann, sich zu sehr auf andere Personen und ihre Fähigkeiten zu verlassen.

Als Tunnelbrandereignisse wurden die Brände im Montblanc-Tunnel 1999, im Tauern-Tunnel 1999 und im St. Gotthard-Tunnel 2001 für eine nähere Betrachtung ausgewählt. Im Gegensatz zu der Boer-Studie sind alle Tunnel Gegenverkehrstunnel. Die Ergebnisse zum Fluchtverhalten lassen sich wie folgt zusammenfassen: Neben der Flucht zu Fuß versuchten einige Personen durch einen U-Turn (Kehrtwende) mit dem Fahrzeug zu flüchten bzw. beim Montblanc-Tunnelbrand auch die Unglücksstelle zu passieren. Das Verbleiben im Fahrzeug einerseits und die Flucht über die Tunnelstrecke andererseits wurden mehrfach beobachtet, wobei beides für viele Personen aufgrund der großen Rauchentwicklung den Tod bedeutete. Soziales Verhalten (Informationsweitergabe, Rettung anderer) wurde ebenso beobachtet wie eine Rückkehr zum Fahrzeug nach bereits begonnener Fluchthandlung.

Auf Basis der Ergebnisse wurde ein eigenes Modell zum menschlichen Fluchtverhalten in Straßentunnel entwickelt. Es setzt sich aus insgesamt fünf Phasen zusammen, in denen jeweils Einflussfaktoren wirksam werden. Ausgangspunkt des Modells ist ein auslösendes Ereignis. Zum Beispiel kommt es infolge eines Verkehrsunfalls im Tunnel zu einem Brand. Das Ereignis „sendet“ Zeichen aus (z. B. Rauch), die von einem Tunnelnutzer wahrgenommen und anschließend interpretiert und bewertet werden. Darauf folgt eine Abwägung von Handlungsalternativen und die Entscheidungsfindung, in der eine Alternative vom Tunnelnutzer ausgewählt wird. Im letzten Schritt wird die zuvor getroffene Entscheidung in eine aktive oder passive Handlung umgesetzt. Das Modell ist rekursiv gestaltet und berücksichtigt z. B. auch die Möglichkeit, dass Flüchtende ihr Verhalten aufgrund veränderter Gegebenheiten neu ausrichten, was sich auch in den praktischen Tests und den realen Tunnelbrandereignissen herausstellte (z. B. Rückkehr zum Fahrzeug, U-Turn mit anschließender Flucht zu Fuß).

Als eine wesentliche Schlussfolgerung lässt sich ableiten, dass es eines klaren, eindeutigen Signals (z. B. Durchsage) bedarf, um Passivität aufzubrechen und dem Unterschätzen von Gefahren entgegenzuwirken. Bezüglich der Notausgänge, Alarmierung etc. sind weitergehende Untersuchungen angeraten, um die Gestaltung im Hinblick auf Sicherheitsaspekte zu optimieren. Darüber hinaus erscheint es angebracht, die Öffentlichkeit stärker als bisher für die Thematik zu sensibilisieren und präventiv aufzuklären. Wichtig ist, ein Bewusstsein für das richtige Verhalten zu schaffen, damit solch tragische Unglücke wie im Montblanc- oder im St. Gotthard-Tunnel in Zukunft einen besseren Ausgang nehmen.

**Markus Todt** (Januar 2010)