

## Brandversuche in Straßentunneln – Vereinheitlichung der Durchführung und Auswertung

FA 3.375

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (isac) (Prof. Dr.-Ing. habil B. Steinauer) / Kündig Ingenieurbüro, Zürich

Bearbeiter: Steinauer, B. / Mayer, G. / Kündig, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Februar 2007

### 1 Aufgabenstellung

Um das oft komplexe Zusammenwirken von einzelnen betriebstechnischen Einrichtungen zur Detektion von Brandereignissen und Steuerung der Lüftung sowie den übrigen sicherheitstechnischen Systemen überprüfen zu können, werden nach ZTV-ING im Rahmen der Abnahme Funktionsprüfungen gefordert, indem Brände simuliert und die zu prüfenden Größen messtechnisch erfasst werden. Die Art der durchzuführenden Brandsimulationen wird jedoch nicht weiter spezifiziert. Mit der vorliegenden Untersuchung sollte diese Unsicherheit beseitigt und die Grundlage für eine Standardisierung der Brandversuche geschaffen werden.

Eine Überprüfung der automatischen Abläufe des Lüftungs- und Sicherheitssystems von der Alarmauslösung über die Tunnelsperrung bis zum Schalten der Ventilatoren und Betätigen der richtigen Lüftungsklappen kann nur durch einen oder mehrere klar definierte Brandversuche im Tunnel durchgeführt werden. Zudem ist die Anschaulichkeit eines realen Brandversuchs für das Betriebspersonal wie für die Einsatzkräfte von großer Bedeutung. Da die Systeme wie auch die Randbedingungen von Tunnel zu Tunnel unterschiedlich sind, müssen solche Versuche bei jedem Tunnel mit entsprechender Ausstattung durchgeführt werden.

Reale Brandversuche in Straßentunneln sind jedoch unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit und des notwendigen technischen Aufwands zur Erfassung der interessierenden Branddaten und zum Schutz der betriebstechnischen Einrichtungen sowie des Bauwerks in der Anzahl der Szenarien wie in der Energiefreisetzung begrenzt. Die unter vertretbarem Aufwand erreichbare Brandleistung beträgt ca. 5 MW. Um Aussagen über das Verhalten des Systems bei höheren Brandleistungen und unterschiedlichen realen Randbedingungen zu erhalten, sollten Simulationsrechnungen durchgeführt werden können.

Demgegenüber erlauben numerische Simulationen eine sehr flexible Modellierung des Tunnels und die Ermittlung sämtlicher relevanter Größen an beliebigen Punkten im Untersuchungsgebiet. Standardisierte Brandversuche werden zur Kalibrierung entsprechender Rechenprogramme benötigt und erlauben die Ergebnisse aufgrund der allgemeingültig formulierten mathematischen Zusammenhänge auf beliebige Szenarien zu übertragen. Dies ermöglicht umfangreiche Variationsstudien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen und Szenarien (Brandorte, Verkehrsbelegung, Windverhältnisse usw.).

Ein weiteres Ziel der Untersuchung ist daher die Evaluation eines geeigneten Berechnungsprogramms für die numerische Simulation von Bränden in Straßentunneln mit dem Zweck, Brandversuche auf das zur Funktionsüberprüfung notwendige Minimum beschränken zu können. Das Programm sollte mittels PC und unter vertretbarem Aufwand für die Modellierung und die Darstellung der Ergebnisse betrieben werden können

und verlässliche Aussagen über die sich einstellenden Fluchtbedingungen – auch bei großen Brandleistungen (bis 100 MW) – liefern.

### 2 Untersuchungsmethodik und -ergebnisse

Im Hinblick auf die Evaluation eines geeigneten Rechenprogramms werden die bekannten Programme bezüglich ihrer Eigenschaften und Eignung analysiert. Für die numerischen Simulationen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird der "Fire Dynamics Simulator" (FDS), ein über das National Institute of Standards and Technology erhältliches Open-Source-Rechenprogramm, gewählt. Grundlage des Rechenprogramms bilden die Gleichungen für die Massen-, Impuls-, Energie- und Stoffhaltung, die im dreidimensionalen Raum numerisch gelöst werden. Somit stehen nach dem Lösen der Erhaltungsgleichungen Geschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsfelder bereit.

Mit dem FDS können die Daten aus verschiedenen Versuchsreihen des Memorial-Tunnel-Fire-Ventilation-Test-Program (MTFVTP) verifiziert werden und Anforderungen an einen standardisierten Brandversuch abgeleitet werden. Die vergleichende Gegenüberstellung der einen Brand charakterisierenden Größen Geschwindigkeit und Temperatur ergeben eine überwiegend gute Übereinstimmung der Messwerte aus den Brandversuchen mit den Simulationsergebnissen. Bei Vorgabe exakter Anfangs- und Randbedingungen bezüglich der Geometrie, der Art des Brandguts, den Temperaturen sowie den Ventilationsbedingungen lassen sich mit dem gewählten Rechenprogramm FDS Brandversuche realitätsnah abbilden und detaillierte Aussagen zur Rauch- und Temperaturentstehung in Funktion von Ort und Zeit geben.

Im Hinblick auf die Festlegung einer standardisierten Versuchsanordnung und Durchführung werden aus dem EU-Raum verfügbare Berichte über Brandversuche in Straßentunneln ausgewertet. Sie geben wertvolle Hinweise über Brandmittel, zulässige Brandleistungen, erreichbare Temperaturen und Rauchproduktion, die Handhabung und über notwendige Schutzvorkehrungen.

Basierend auf den Berechnungen zu den Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilungen wurden schließlich unter den Aspekten der Funktionsüberprüfung der betriebstechnischen Einrichtungen und der Erfassung von Eingangsgrößen für Simulationsrechnungen Anforderungen zur Versuchsanordnung, Branddauer, zum Brandgut und zur Erfassung der relevanten Messgrößen im Längs- und Querschnitt sowie Anforderungen zu Schutzvorkehrungen abgeleitet.

Zur Durchführung von Brandversuchen werden aufgrund der gut definierbaren Branddaten und der einfachen Handhabung Wannenbrände empfohlen. Gasbrenner können jedoch ebenfalls zum Einsatz kommen, wenn die Energie- und Rauchfreisetzungsraten denen von Benzin- oder Heptanwannenbränden entsprechen.

Als Brandmittel können sowohl Benzin, Diesel oder Heptan verwendet werden. Zu beachten ist hierbei lediglich, dass über die bereitzustellende Brandfläche eine Brandleistung von 5 MW erreicht wird. Dazu sind bei Verwendung von Benzin 3,0 m<sup>2</sup> und von Diesel 4,1 m<sup>2</sup> erforderlich (entspricht 3 bzw. 4 Stahlbehältern mit einer freien Oberfläche von je ca. 1,0 m<sup>2</sup>). Bei Verwendung von n-Heptan genügen zwei Stahlwannen mit einer freien Oberfläche von je ca. 1,0 m<sup>2</sup>. Der Rußanteilsanteil entspricht jedoch beim Einsatz von Benzin oder Diesel dem eines realen Kfz-Brands.

Damit aussagekräftige Ergebnisse erhalten werden, sollte die Branddauer mindestens 5 Minuten betragen. Bei Verwendung von n-Heptan sind hierzu  $30,8 \text{ l/m}^2$  notwendig. Wird Benzin eingesetzt, so sind  $20,2 \text{ l/m}^2$  notwendig.

Für die einzustellende Tunnelluftgeschwindigkeit während eines Brandversuchs kann kein einheitlicher Wert genannt werden. Je nach Zielsetzung, welche die RABT und die ZTV-ING nennen, können bestimmte Werte bzw. Wertebereiche, welche im Rahmen der Lüftungsauslegung des betreffenden Tunnels liegen, empfohlen werden. Sollen temperaturabhängige Brandmeldesysteme überprüft werden, so sind bei einem Rechteckquerschnitt des Tunnels  $2,5 \text{ m/s}$  und bei einem Gewölbequerschnitt  $2,0 \text{ m/s}$  ausreichend.

Bei der allgemeinen Funktionsprüfung des Brandmeldesystems eines Tunnels, welches auch bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten eine zuverlässige Detektion eines Brands gewährleisten muss, sollten die Funktionstests bei real innerhalb der ersten Minute nach Ereigniseintritt auftretenden Werten der Strömungsgeschwindigkeit durchgeführt werden. Differenziert nach der Verkehrsart werden für Richtungsverkehrstunnel  $6,0 \text{ m/s}$  und für Gegenverkehrstunnel  $4,0 \text{ m/s}$  empfohlen. Die entsprechenden Einstellungen sind während eines Versuchs beizubehalten bis das Lüftungsregime gezielt, entweder durch das Brandlüftungsprogramm oder manuell, geändert wird.

Zur Erfassung der relevanten Größen soll in der Symmetrieebene, in einem Bereich von  $15\text{--}20 \text{ m}$  vor und nach dem Brandort, eine Traverse mit Anemometern und Temperatursensoren aufgestellt werden. Aufgrund der möglichen Temperaturen sollten nur Messgeräte mit entsprechender Temperaturfestigkeit, z. B. Staurohranemometer mit integrierter Temperaturmessung, eingesetzt werden.

Da die Temperaturen mit zunehmendem Abstand vom Brandort rasch abnehmen, sind bei dem vorgeschlagenen Standardbrandversuch mit einer Brandleistung von maximal  $5 \text{ MW}$  am Tunnelgewölbe bzw. an der Decke flächige Schutzvorkehrungen lediglich unmittelbar über dem Brandort, auf einer Länge von  $20 \text{ m}$  nötig. Im Weiteren sind Leuchten, Funkkabel u. Ä. symmetrisch zum Brandort, auf einer Länge von ca.  $30 \text{ m}$  nach beiden Seiten, mit einer isolierenden Abdeckung zu versehen.

Die bei Wannenbränden verwendeten Behälter dürfen, um Schäden an der Fahrbahn zu vermeiden, nicht direkt auf den Boden gestellt werden. Die Behälter sind auf einem Sandbett oder auf Matten aus Glas- oder Steinwolle aufzustellen.

### 3 Folgerungen für die Praxis

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Definition "eines" Standardbrandversuchs nicht zweckmäßig wäre, da die Zielsetzungen sich zu sehr unterscheiden. Dagegen konnten, wie die Zusammenfassung zeigt, konkrete Grundlagen und Empfehlungen zur Festlegung standardisierter Brandversuche für die gemäß RABT und ZTV-ING vorgesehenen Funktionstests erarbeitet werden. Deren Umsetzung in den Regelwerken ist jedoch nicht mehr Teil der vorliegenden Untersuchung.

Das für die Simulationsrechnungen verwendete Programm FDS bildet derzeit ein adäquates Instrument – nicht nur bezüglich der Simulation von Tunnelbränden unter realen Gegebenheiten und der resultierenden Strömungs- und Temperaturverhältnisse sowie Rauchkonzentrationen, sondern auch in Bezug auf die benötigte Rechner- und Speicherkapazität. Dies bedeutet nicht, dass bekannte, käufliche CFD-Programme nicht ebenso verwendet werden können. Zu beachten bleibt aber insbesondere die weitere Entwicklung dieser Rechenprogramme.