tat in den jährlich erscheinenden polizeilichen Kriminalstatistiken als Kennziffer (Zahl der Straftaten auf 100.000 Einwohner) veröffentlicht. Die Zahl der Straftaten hat sich in den letzten 30 Jahren fast verdreifacht, die Zahl der Brandstiftungen mehr als versechsfacht, d. h.

Straftaten	1953 =	1.491.120
	1982 =	4.291.975
Brandstiftungen		
erfaßte/ermittelte Fälle	1953 =	1.473
	1982 =	9.409

Die Aufklärungsquote liegt seit Jahren konstant bei nur ca. 40 %.

Bei der Analyse dieses starken Anstiegs der Brandstiftungsdelikte in den letzten Jahren muß aufgezeigt werden, daß die Fremdbrandstiftung den größten Anteil bestimmt. Auch das Gewicht der Motive wird immer unterschiedlich bleiben. Während Krankheiten, Haß und Neid u. a. einen weitgehend gleichbleibenden Anteil ausweisen, haben sich Brandstiftungen mit besonderem kriminellen Hintergrund erheblich verstärkt. Dieses Motiv wird dadurch bestimmt, wie stark ein moralischer Verfall breiter Bevölkerungskreise die Hemmschwelle für diese kriminellen Handlungen senkt und der Staat durch zu große Liberalität in der Strafverfolgung kein Gegengewicht schafft.

Nach der Analyse der „Münchener Rück" zeigt sich in der Bundesrepublik Deutschland eine besondere Gefährdung der industriellen, gewerblichen und landwirtschaftlichen Risiken durch Brandstiftung als Folge von Verhaltensstörungen und Brandstiftung mit besonderem kriminellen Hintergrund. Dennoch sind auch verstärkt Brandstiftungen aus politischen Motiven in den letzten Jahren zu beobachten. Hierdurch sind insbesondere öffentliche Gebäude, industrielle und gewerbliche Objekte sowie – in Ballungsräumen – Wohngebäude betroffen.

Der Anteil der Brandstiftungsschäden am Gesamtschadenaufwand hat sich in der Feuerversicherung wie folgt entwickelt:

	1979	1982
Industrie	von 10,8 %	auf 21,4 %
Landwirtschaft	von 20,2 %	auf 26,2 %
Kleingewerbe	von 28,5 %	auf 30,1 %
Verbundene Wohngebäude-Versicherung	von 16,1 %	auf 22,7 %

Berücksichtigen wir in den Statistiken gedanklich nur ca. 50 % der Schäden mit „unbekannter Ursache" als Brandstiftung – und dies ist nach den Erfahrungen aus der Ermittlungspraxis sicherlich realistisch –, dann erreicht der Gesamtteil der durch Menschenhand direkt verursachten Schäden für die Feuer-Risiken insgesamt eine Größenordnung von ca. 1,5 Mrd. DM, d. h. eine Größenordnung von mehr als 40 % des Gesamtschadens in der Feuerversicherung.

Da bekannt ist, daß u. a. verändertes Moralverhalten, wirtschafts- und gesellschaftspolitische Faktoren die zunehmende Häufigkeit der kriminellen Straftaten „Brandstiftung" bestimmen, müssen alle vorbeugenden und abwehrenden Maßnahmen – wie eingehende Risikoprüfung, Verbesserung des baulichen Brandschutzes und des Objektschutzes, Verbesserung und Intensivierung der Ermittlungsmethoden, gesteigerte Öffentlichkeitsarbeit – verstärkt gemeinsam durchgeführt werden.

	TDM / 1979	TDM / 1982	Anstieg
Industrie	von ∅ 68,7	auf ∅ 157,2	129 %
Landwirtschaft	von ∅ 38,2	auf ∅ 51,6	35 %
Verb. Wohngeb.-Vers.	von ∅ 17,2	auf ∅ 23,7	38 %
Gewerbe	von ∅ 24,4	auf ∅ 26,2	7 %

Abb. 2 Anstieg des durch Brandstiftung verursachten Schadenaufwands

Nicht enthalten sind in dieser Darstellung die entsprechenden Angaben in den Versicherungssparten, die ebenfalls das Feuerrisiko enthalten bzw. enthalten können, wie z. B. Technische Versicherungen und Transportversicherungen.

Nicht nur die Häufigkeit der Brandstiftungsdelikte hat sich extrem erhöht. Auch die Höhe der Schäden hat sich in den einzelnen Risikokategorien unterschiedlich, doch insgesamt seit 1979 bis 1982 erheblich verstärkt. So ist der Schaden, der durch Brandstiftung verursacht wurde, in dieser Zeit insgesamt um ca. 60 % gestiegen (Abb. 2).

*) Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft

Anmerkung der Redaktion:
Das Thema „Brandstiftung" wird in dieser Zeitschrift weiter behandelt werden.

Brandschutz in U-Bahnanlagen – Rauchausbreitung und Entrauchung

Manfred Jansen

Die Feuerwehr leistet bei Unglücksfällen und öffentlichen Notständen schnelle und fachgerechte Hilfe. Hierbei treten Probleme auf, die von den Rettungsmannschaften höchste Einsatzbereitschaft verlangen. Der zusätzliche Einsatz von unterschiedlichen technischen Geräten ist heute selbstverständlich.

Brandrat z. A.
Dipl.-Ing. Manfred Jansen,
Berliner Feuerwehr

Unglücksfälle oder Brände in Tunnelanlagen – insbesonders U-Bahntunnel – gehören sicherlich zu den schwierigsten Einsätzen; denn bei einem Brand z. B. in einem U-Bahnwagen werden zahlreiche Personen direkt oder indirekt gefährdet. Erreicht der Zug nicht den nächsten Bahnhof, sondern verbleibt wegen einer Notbremsung im Tunnel, so ist bei einem vollbesetzten Zug mit vielen Verletzten oder sogar Toten zu rechnen. Insbesondere erschwert das große Rauchgasvolumen und die Rauchdichte (die Sicht ist praktisch „Null") die Rettungsarbeiten. Ausgedehnte Anlagen erschweren den Fahrgästen und den Rettern die Orientierung.

Brände in der Vergangenheit in Köln (1979), Hamburg (1980), Bonn (1981) und München (1983) in unterirdischen Verkehrsanlagen stellten die Feuerwehren vor große Probleme. Ein vordringlich zu lösendes Problem ist die Entrauchung von Tunnelanlagen. Der Verfasser berichtet über Entrauchungsversuche in Berlin (1981 und 1983) unter Einschluß von Versuchen in Hamburg (1980) und Frankfurt (1982).

Die Berliner U-Bahn

Berlin verfügt schon seit Jahrzehnten über ein ansehnliches U-Bahnnetz. Das Verkehrsnetz der Berliner Verkehrs-Betriebe (BVG) besteht heute aus 8 U-Bahnlinien mit über 100 km Streckenlänge und 111 Bahnhöfen, davon 16 Umsteigebahnhöfe. Im Jahre 1982 wurden 361,6 Mio Fahrgäste, das sind an Werktagen über 1 Million täglich, befördert. Um diese Leistung zu erbringen, stehen 1000 U-Bahnwagen zur Verfügung [2].

In den Aufstellanlagen hinter den Endbahnhöfen stehen oft bis zu 60 Züge längere Zeit unbeaufsichtigt.

Die Triebwagen – die kleinste fahrfähige Einheit ist der Doppeltriebwagen – werden mit 750 V Gleichspannung versorgt. Die Gleichspannung wird an Bord eines jeden Wagens mittels Leistungselektronik in eine dreiphasige Wechselspannung umgeformt. Durch Variationen von Spannung und Frequenz wird der Drehstrommotor hochgefahren.

Die neueren Wagen sind aus Aluminium in Leichtbauweise hergestellt. Die Innenausstattung besteht überwiegend aus Kunststoffen. Die Fahrgastsitze sind schaumstoffgepolstert. Gemäß der Verordnung über den Bau von Straßenbahnen (BOStrab) muß die Innenausstattung so ausgeführt sein, daß der nach dem Stand der Technik erreichbare Schutz für die Insassen gewährleistet ist; insbesondere sind schwerentflammbare Materialien zu verwenden. Der Fußboden besteht aus korkbeschichtetem Wellblech, das mit 8 mm Sperrholz beschichtet ist. Hierauf wird der Bodenbelag aufgebracht. Diese Konstruktion ist gegen Feuer relativ widerstandsfähig. Insgesamt haben U-Bahnwagen eine große Brandlast.

Neben den U-Bahnwagen sind in den ausgedehnten unterirdischen Anlagen weitere Brandlasten vorhanden, wie ausgedehnte Kabelanlagen für 6 oder 10 kV, zahlreiche Umspannstationen und Schaltwarten. In diesen Anlagen sind Störungen und Brände nicht auszuschließen.

Auf den Bahnhöfen sind ca. 270 Läden – vom Kiosk auf dem Bahnsteig bis hin zum Selbstbedienungsladen – eingerichtet. Hinzu kommen Plakatkassetten aus Holz auf den Bahnsteigen und teilweise Verkleidungen aus brennbaren Stoffen.

Brandentstehung und Rauchausbreitung

Untersuchungen an Bränden in U-Bahnbetrieben haben ergeben, daß technische Defekte selten zu größeren Bränden führen, weil diese Schwachstellen bekannt sind und durch besondere Vorkehrungen geschützt werden können. Brände an diesen Orten verlöschen z. T. von selbst oder werden durch Branderkennungsanlagen schon frühzeitig gemeldet, so daß rechtzeitig Maßnahmen eingeleitet werden können.

Größere Brände sind fast ausnahmslos durch Brandstiftung entstanden und haben in der Regel den Totalverlust des Fahrzeuges zur Folge, wenn nicht innerhalb der ersten drei bis fünf Minuten nach der Zündung gelöscht wird. Mit den in den U-Bahnwagen vorhandenen Feuerlöschern kann nur ein Entstehungsbrand gelöscht werden. Gelingt dies nicht, breitet sich der Brand aus. Bis zum Eintreffen der Feuerwehr vergeht wegen der besonderen Schwierigkeiten jedoch erhebliche Zeit. Zu diesem Zeitpunkt ist der Tunnel schon erheblich verraucht, so daß die Rettungs- und Löschmaßnahmen erschwert werden.

Das bei einem Brand eines U-Bahnzuges entstehende Rauchgasvolumen ist erheblich. Der Brand der Hamburger S-Bahn am 8. April 1980 zeigte [6], daß innerhalb weniger Minuten 53.000 m^3 Rauch entstanden. Dabei brannten zwei Waggons vollständig aus. Die giftigen Brandgase verteilten sich unkontrolliert im gesamten Bahnhofs- und Tunnelbereich. Über Öffnungen und Schächte zog der Rauch nach außen ab. Durch einen Brand werden also nicht nur am Unglücksort direkt befindliche Personen betroffen, sondern auch die in großer Entfernung auf Bahnhöfen wartenden Fahrgäste. Diese können sich aber sicherlich schnell ins Freie begeben.

Es stellen sich folgende Fragen:

> Kann der vorbeugende Brandschutz an den Fahrzeugen verbessert werden?
> Wie kann der abwehrende Brandschutz verbessert werden?

Zur ersten Frage wird auf eine ausführliche Darstellung von Albert [1] verwiesen.

Es müssen insbesondere
- systemeigene Brände verhindert oder auf den Entstehungsort begrenzt bleiben,
- Brände durch fahrlässige Brandstiftung von selbst erlöschen,
- Brände durch vorsätzliche Brandstiftung möglichst an der Ausbreitung gehindert werden,
- Brandfolgeerscheinungen (Brandrauch) in der Auswirkung reduziert werden.

Die ersten beiden Forderungen dürften heute weitgehend erfüllt sein, die letzten bedürfen einer weiteren Diskussion. Eine absolute Sicherheit durch vorbeugende Maßnahmen ist nicht möglich (vorsätzliche Brandstiftung oder Terrorakte lassen sich nicht verhindern).

Eine Brandausbreitung im U-Bahnzug ist jedoch durch geeignete Werkstoffwahl zu verhindern. Dies ist jedoch bei schwer entflammbaren Stoffen kaum möglich, denn sie brennen nach der Zündung mit. Ein Ausweichen auf nichtbrennbare Materialien darf aber nicht mit einem Komfortverlust einhergehen. Leider erzeugen alle Kunststoffe große Mengen giftiger Rauchgase, weniger rauchende Stoffe sind vorzuziehen. Hier sind geeignete Kompromisse zu suchen. Dies ist eine Aufgabe für die Konstrukteure und die Verkehrsbetriebe. Die Feuerwehr wird hier nur am Rande mitarbeiten.

Eine wesentliche Überlegung in dieser Richtung wäre eine Ausrüstung der Züge mit einer Notbremsunterdrückung. Wenn ein Fahrgast im Tunnel die Notbremse zieht, so müßte durch technische Maßnahmen sichergestellt werden, daß der Zug erst im nächsten Bahnhof zum Halten kommt. Die Fluchtmöglichkeiten für die Fahrgäste und die Brandbekämpfung würden hierdurch erheblich verbessert werden.

Im Tunnel- und Bahnhofsbereich sollten ausreichende nasse oder trockene „Steigleitungen" installiert werden. Nur so ist eine rasche und erfolgreiche Brandbekämpfung möglich. Ein Ausrollen von Schläuchen auf Schienen und Schwellen in einem verrauchten Tunnel ist ein hoffnungsloses Unterfangen.

In angemessenen Abständen sind Anschlüsse für C-Schläuche vorzusehen. Nur so ist eine schnelle und effektive Brandbekämpfung im Tunnel möglich. Eine Wasserlieferung von ca. 200 bis 400 l / min ist sicherlich ausreichend.

Notausstiege müssen in ausreichender Anzahl vorhanden und auch gekennzeichnet sein. Es ist nicht möglich, in einem verrauchten Tunnel die Notausstiege zu erkennen. Hierfür müssen geeignete Beleuchtungskörper oder Hinweisschilder installiert werden. Eine einfache Beleuchtung reicht nicht aus. Sie ist in einem verrauchten Tunnel nicht mehr sichtbar. Wirkungsvolle Rettungsarbeiten können erst dann einsetzen, wenn der Tunnel weitgehend rauchfrei ist, oder wenn die Sichtweite mindestens einige Meter beträgt.

Entrauchung von U-Bahntunneln

Es ist aus Kostengründen nicht möglich, ein ganzes Tunnelsystem mit fest eingebauten Ventilatoren zu versehen, die im Brandfalle eingeschaltet werden, um den Rauch ins Freie zu befördern. Es sollte aber möglich sein, mit Hilfe mobiler Ventilatoren den Rauch aus dem Tunnel zu saugen. Hier bieten sich ausschließlich auf Fahrzeuge oder Anhänger montierte Geräte an. Die tragbaren Ventilatoren sind in der Leistung viel zu klein.

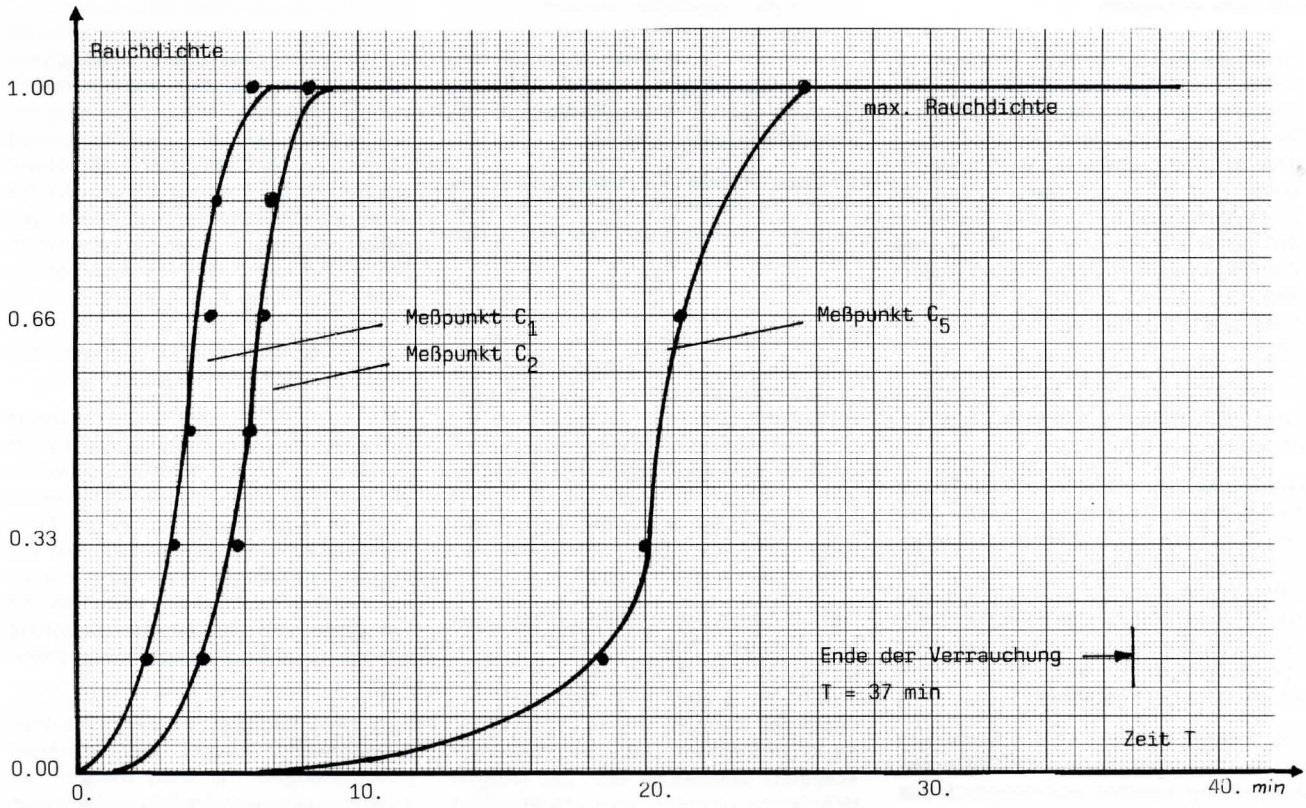

Diagramm 1. Verrauchung des Tunnels bei natürlicher Luftströmung.

Bisher waren Vorkehrungen für eine mechanische Entrauchung noch nicht vorgesehen. Die Rettungsmannschaften müssen sich z. Z. durch evtl. völlig verqualmte Anlagen vortasten.

Folgende Probleme ergeben sich:

- Auffinden des Rettungsweges im verqualmten Tunnel
- Behinderung durch schlechte Begehbarkeit
- Beeinflussung durch Brandwärme
- Körperliche Schäden durch giftige Rauchgase
- Rettung gehbehinderter und alter Menschen
- Gefahrbeseitigung durch die Einsatzkräfte

Sicherlich kann man davon ausgehen, daß eine Rettung der Fahrgäste aus einem brennenden U-Bahnzug äußerst schwierig ist. Diejenigen, die sich nicht innerhalb der ersten Minuten selbst retten können, haben nur minimale Überlebenschancen. Selbst durch Ventilatoren können erst in einer späteren Einsatzphase günstigere Eingriffsmöglichkeiten geschaffen werden. Es ist sehr zeitaufwendig, transportable Ventilatoren am Einsatzort betriebsbereit aufzustellen; zur Sicherstellung der direkten Menschenrettung sind sie nicht geeignet.

Eine wirksame Entrauchung ist nur unter folgenden Bedingungen möglich:

1. Der Ventilator-Förderstrom muß so groß sein, daß im Tunnel eine Luftströmung zum Ansaugstutzen des Entrauchungsventilators entsteht, die stärker ist als die natürliche Luftströmung im Tunnel.
   Die natürliche Luftströmung im Tunnel hat ihre Ursachen in Druckdifferenzen durch Temperaturunterschiede, durch äußere Windeinflüsse und durch fahrende Züge.
2. Der Anschluß der Ventilatorsaugleitung an den Tunnel muß so erfolgen, daß der Absaugestrom des Ventilators voll wirksam werden kann. Dies bedeutet, daß jegliche Undichtigkeit vermieden werden muß. Sonst strömt durch diese Undichtigkeit Luft von außen in die Ansaugöffnung und vermindert dadurch die Entrauchungswirkung.
3. Der Ventilator muß geeignet sein, d. h., er muß auch den Brandrauchtemperaturen über längere Zeit widerstehen.

Rauchversuche in Hamburg

Der Senat der Freien und Hansestadt Hamburg hat im Jahre 1980 eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die die Brandsicherheit in allen öffentlichen Verkehrsmitteln und Verkehrsbauten der Hansestadt Hamburg umfassend untersuchen sollte [5]. Im Zuge dieser Arbeiten wurden Rauchversuche an einer noch nicht in Betrieb befindlichen unterirdischen S-Bahnstrecke durchgeführt. Ziel dieser Versuche war es, die Rauchausbreitung im Tunnel zu ermitteln. Hierzu wurden Nebelgeräte eingesetzt. Es ist klar, daß ein Versuch mit kaltem Nebel die Realität nicht korrekt wiedergibt, da thermische Effekte entfallen.

Folgende Fragen sollten geklärt werden:

- Wie verläuft die Verqualmung über den Tunnelquerschnitt?
- Wird die Verqualmung durch den Fahrbetrieb beeinflußt?
- Gibt es Möglichkeiten der Orientierung an Beleuchtungseinrichtungen?
- Ist der Tunnel durch Ventilatoren rauchfrei zu halten?

Zur Ermittlung der Luftbewegung im Tunnel wurden je ein Tunnelstück mit Gegenverkehr und ein Stück mit Richtungsverkehr (Tübbingröhre) ausgewählt.

Im Doppeltunnel mit Gegenverkehr (Maße: Breite ca. 8,5 m, Höhe ca. 4,0 m)

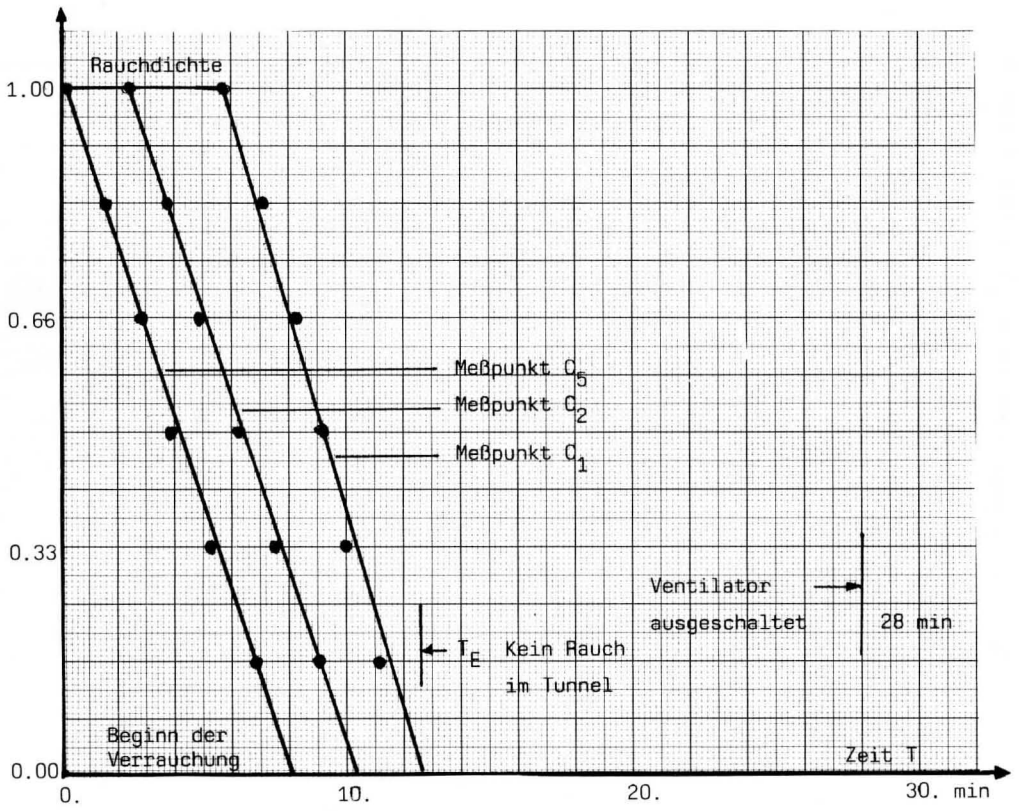

Diagramm 2. Entrauchung des Tunnels mit Ventilator.

wurde im Nullzustand, d. h. ohne Zugbewegung, eine Geschwindigkeit von 0,5 bis 1,0 m s^{-1} gemessen. Vor dem fahrenden Zug wurde eine Geschwindigkeit von etwa 4 m s^{-1} gemessen. Die Strömung auf dem Nachbargleis wies in die gleiche Richtung wie der fahrende Zug.

Es war zu erwarten, daß in den Tunnelröhren mit Richtungsverkehr die Luftgeschwindigkeiten höher liegen würden, da seitliches Ausweichen der Luft nicht möglich ist; zudem ist der Tunnelquerschnitt geringer.

Bei Stillstand des Fahrverkehrs wurde keine Luftbewegung festgestellt. Der Spitzenwert bei Zugverkehr stieg bis auf 8 m s^{-1} an. Hinter dem Zug wurde ein Wert von 6 m s^{-1} gemessen. Nach kurzer Zeit fiel der Wert wieder auf Null ab.

Die gemessenen Geschwindigkeiten lassen den im Tunnel befindlichen Personen kaum eine Möglichkeit vor dem Rauch zu fliehen, da sich der Brandrauch schneller ausbreitet, als die Personen aus dem Tunnel flüchten können. Es ist deshalb erforderlich, daß der Zugverkehr schnellstmöglich in beiden Richtungen eingestellt wird.

Die Versuche wurden an einer Tunnelneubaustrecke der Deutschen Bundesbahn in Hamburg-Harburg durchgeführt.

Es wurde eine Strecke zwischen dem Bahnhof Harburg und Neue Moorwettern ausgewählt. Etwa in der Mitte der Strecke befindet sich ein Notausstieg. Die Versuchsstrecke war 300 m lang. Über die Strecke waren 10 Meßpunkte verteilt. Da der Tunnel an beiden Enden Öffnungen (Tunnelmund) hatte, war die Luftgeschwindigkeit im Tunnel mit 0,8 m s^{-1} recht hoch. Während des Versuches kehrte sich die Strömungsrichtung um.

Bei einem ersten Versuch wurde der Tunnel mit Nebelgeräten „Swing-Fog" vernebelt. Zum Absaugen stand ein Ventilator mit einer Leistung von 1000 m^3 min^{-1} (16,6 m^3 s^{-1}) bereit. Bedingt durch den Einbau des Ventilators konnte nur Luft aus dem Tunnel angesaugt werden. Fremdluft trat nicht hinzu. Über eine Zeit von 14,5 min wurde der Tunnel vernebelt. Mit Hilfe des Ventilators gelang es nicht, bei geöffnetem Notausgang den Tunnel zu entrauchen. Bei geschlossenem Notausgang war der Tunnel ohne Einschaltung des Ventilators nach 15 Minuten rauchfrei, da die natürliche Strömung stärker als die Wirkung des Ventilators war.

Bei einem zweiten Versuch gelang es dann, die natürliche Strömung im Tunnel durch den Ventilator zu verändern. Bei geöffnetem Notausstieg entstand eine Strömung in Richtung Ventilator. Diese Strömung war jedoch nicht über den gesamten Tunnelquerschnitt feststellbar. Ein Teilquerschnitt wies weiterhin die natürliche Strömung in entgegengesetzter Richtung zum Tunnelmund auf. Die Entrauchung war wiederum nicht optimal. Erst bei abgestelltem Ventilator und geschlossenem Notausstieg wurde der Tunnel auf natürlichem Wege entlüftet.

Ergebnis der Versuche

Mit großer Sicherheit saugte der Ventilator während der Versuche Fremdluft über den Notausstieg an. Die volle Leistung des Ventilators kam daher nicht zum Tragen.

An der ausgewählten Strecke war die natürliche Luftbewegung so stark, daß sich eine selbsttätige Entrauchung einstellte.

Rauchversuche in Berlin

Im Jahre 1981 wurden an einer noch nicht in Betrieb befindlichen U-Bahnstrecke Versuche mit tragbaren Ventilatoren durchgeführt. Ein Tunnelteilstück wurde zwischen zwei Bahnhöfen auf einer Länge von 100 m mit Rauchpatronen verraucht. Vorgesehen wurde eine kombinierte Be- und Entlüftung. Aufgrund der eingesetzten Ventilatoren (2 Geräte), die nur eine Leistung von 120 m^3 min^{-1}

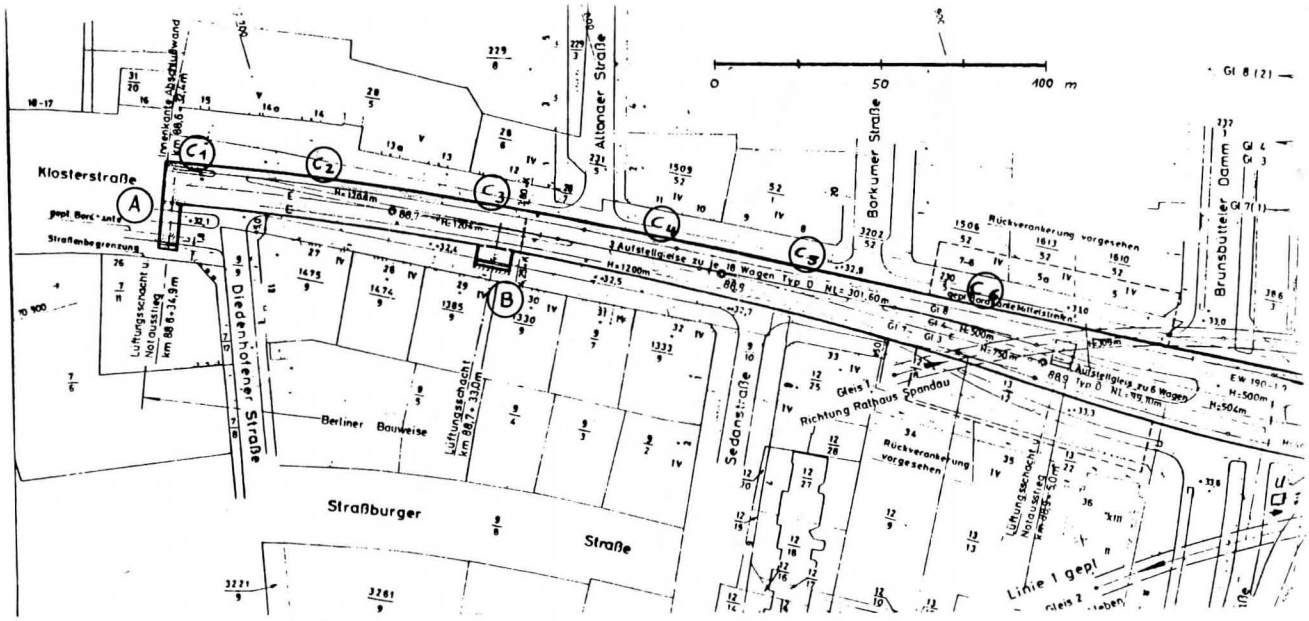

Bild 1. Lageplan der Aufstellanlage Spandau
A = Notausstieg
B = Be- und Entlüftungsschacht
C1...C6 = Meßpunkte

($2\,m^3s^{-1}$) aufwiesen, konnte keine schnelle Entrauchung erzielt werden. So dauerte es 20 Minuten bis der Tunnel rauchfrei war. Hinzu kam das sehr zeitaufwendige Instellungbringen der Ventilatoren [4].

Bei einem weiteren Versuch im Jahre 1983 konnte auf Frankfurter Versuche zurückgegriffen werden. Die Berufsfeuerwehr Frankfurt benutzte dazu einen Abrollbehälter mit einem Entrauchungsventilator. Dieser Ventilator hatte eine Leistung von 72.000 $m^3\,h^{-1}$ (20 $m^3\,s^{-1}$). Die Erprobung dieses Gerätes verlief erfolgreich [7].

Für die Versuche der Berliner Feuerwehr stand der vorgenannte Ventilator ebenfalls zur Verfügung. Zu klären war, ob der Entrauchungsversuch in einem Tunnelendstück, in einem Tunnelabschnitt zwischen zwei Bahnhöfen oder in einem Bahnhof stattfinden sollte.

Die Entscheidung fiel auf ein Tunnelendstück, ca. 600 m vom Bahnhof Rathaus Spandau entfernt. Als Brandobjekt wurden abgestellte U-Bahnwagen angenommen. Das Rauchvolumen konnte sich durch natürliche Luftströmung zum U-Bahnhof verlagern, was durch eine Entrauchung verhindert werden sollte (s. Bilder 1, 2 und 3).

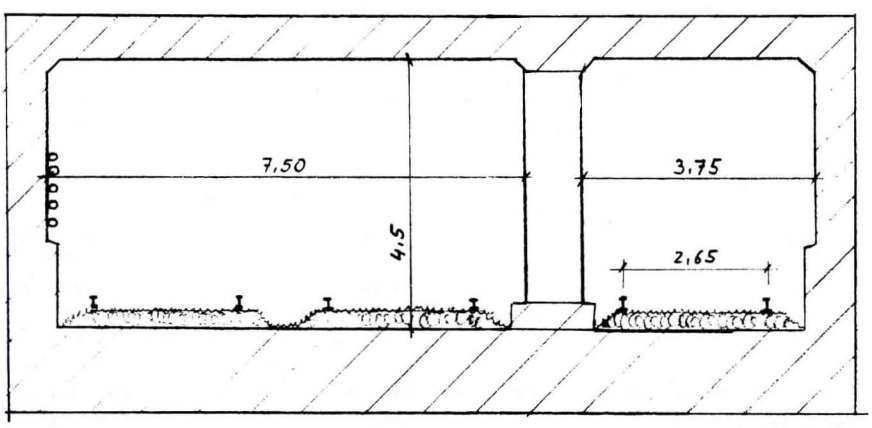

Bild 2. Schnitt durch den Tunnel im Bereich der Meßstelle C1.
Im Bereich der Meßstelle C6 vergrößert sich die Breite auf ca. 25 m (4 Gleise).

Durch Abdichten des Notausstieges und der Be- und Entlüftungsöffnung wurde die natürliche Luftströmung im Tunnel zum großen Teil ausgeschaltet. Der Volumenstrom des Entrauchungsventilators kam daher voll zum Tragen, und es konnte eine gerichtete Strömung zum Ventilator im Tunnel erzeugt werden.

Wie auch die Hamburger Versuche zeigten, ist der Entrauchungseffekt durch einen Ventilator in einem nach beiden Seiten offenen Tunnelabschnitt stark von der Strömung im Tunnel abhängig. Diese kann nicht wie bei einem Endstück durch Abdichtung von Schachtquerschnitten unterbunden werden. Bei einer Querschnittsfläche eines Tunnelstückes zwischen zwei Bahnhöfen von ca. 32 m^2 (Breite 7,0 m, Höhe 4,5 m) ergibt sich eine Luftgeschwindigkeit allein durch den Volumenstrom des Ventilators von ca. $0{,}3\,m\,s^{-1}$. Dies ist sicherlich nicht sehr viel. Dieser Wert ist aber durch den Volumenstrom von 20 $m^3\,s^{-1}$ des Ventilators begrenzt. Gegebenenfalls müßte ein zweiter Entrauchungsventilator eingesetzt werden.

In U-Bahnhöfen ist allerdings der Tunnelquerschnitt wesentlich größer als im Tunnel selbst. Durch die zahlreichen Zu- und Abgänge sind zusätzliche Strömungsquerschnitte vorhanden, so daß auf Bahnhöfen immer eine gute natürliche Lüftung besteht. Darüber hinaus sind für die Personen auf dem Bahnsteig in der Regel gute Rettungsmöglichkeiten gegeben. Ein Einsatz eines Entrauchungsven-

tilators im Bahnhofsbereich ist deshalb nicht erforderlich.

Durchführung und Ergebnisse der Versuche

Zur Raucherzeugung standen Nebelgeräte „Swing Fog SN 11" zur Verfügung. Diese Geräte hatten sich bei den Hamburger Versuchen bewährt. Sie wurden mit einem nichttoxischen Nebelöl gespeist (s. Bild 4).

Der schon erwähnte Rauchgasventilator hatte folgende technische Daten:

Volumenstrom		72.000 $m^3 h^{-1}$
Förderdruck		1.400 Pa
Drehzahl		1.040 U min^{-1}
Leistungsbedarf		43 kW
Gewicht	ca.	1.000 kg

Die Verbindung zwischen Tunnel und Ventilator wurde mit einem Neoprene-Heißluftschlauch hergestellt. Dieser Schlauch hatte einen Durchmesser von 710 mm. Durch die Luftströmung knickte der Heißluftschlauch ständig ein, so daß künftig Formstücke aus Stahlblech mit 1000 mm Durchmesser genommen werden sollten (s. Bild 5).

Zur Kontrolle der Ver- und Entrauchung wurden an 6 Stellen in 50 m Abstand Meßstellen eingerichtet. Genau wie bei den Hamburger Versuchen benutzte man jeweils sechs Lampen (je 6 Watt), die an einer Latte montiert waren. Mittels Stoppuhr wurde die Zeit bestimmt, die vergeht, bis die Lampen durch Rauch nicht mehr sichtbar waren. Jeder Meßlatte wurde ein Beobachter zugeteilt, der aus ca. 10 m Entfernung die Lampen kontrollierte. Der Beginn der Verrauchung und der Beginn der Entrauchung wurde durch einen Signalton angezeigt. Die Beobachter waren mit Langzeitatemschutzgeräten BG 174 und mit Behältergeräten vom BD 73 / 1800-3 ausgerüstet. Jeder Beobachter war über Funk (FuG 10 und FuG 8 b) mit der Versuchsleitung verbunden. Zur Aufrechterhaltung einer guten Funkverbindung im Tunnel wurde eine Relaisstelle (2-m-Band und 4-m-Band) im Tunnel errichtet.

Die Luftgeschwindigkeitsmessungen wurden mittels Hitzdrahtanemometern und Flügelradanemometern durchgeführt. Die Luftströmung wurde mit Rauchröhrchen der Auergesellschaft sichtbar gemacht.

Geplant waren zwei Versuche. Im ersten Falle wurde der Ventilator am Punkt A aufgestellt (s. Bild 1). Der Notausstieg wurde hierfür mit Planen abgedeckt, so daß nur Luft aus dem Tunnel angesaugt werden konnte.

Der Be- und Entlüftungsschacht (Punkt B) wurde ebenfalls verschlossen. Eine natürliche Luftbewegung war daher kaum vorhanden. Für den zweiten Versuch wurde der Ventilator nach Punkt B versetzt. Der Notausstieg (A) wurde geöffnet, so daß sich eine natürliche Luftströmung im Tunnel bilden konnte. Die Windgeschwindigkeit auf Straßenniveau betrug 1,5 ms^{-1} in Richtung Rathaus Spandau.

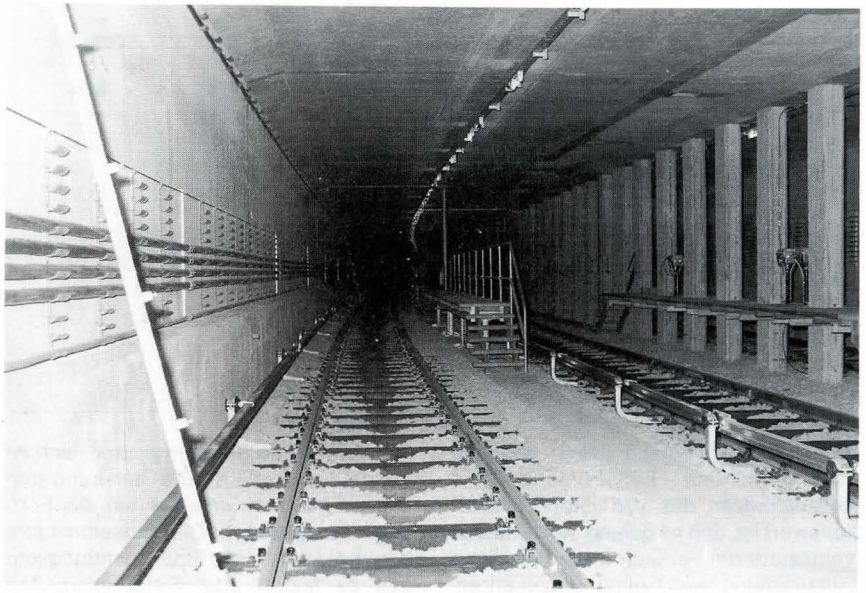

Bild 3. Blick in den Tunnel in Richtung Bahnhof Spandau-Rathaus, auf der linken Seite ist eine Meßlatte mit den Glühlampen sichtbar (Meßstelle C 2).

Die Ergebnisse der Luftmessungen (ohne Rauch) sind den Tabellen 1 und 2 zu

Abstand vom Tunnelende	20 m ohne	20 m mit	100 m ohne	100 m mit	Ventilator
1,5 m Höhe	0,12	0,24	0,02	0,30	m s^{-1}
2,5 m Höhe	0,08	0,28	0,02	0,38	m s^{-1}
3,5 m Höhe	0,02	0,30	0,04	0,46	m s^{-1}
Im Mittel		0,27		0,38	m s^{-1}

Tabelle 1. Luftgeschwindigkeiten im Tunnel beim Versuch 1: Ventilator am Notausstieg.

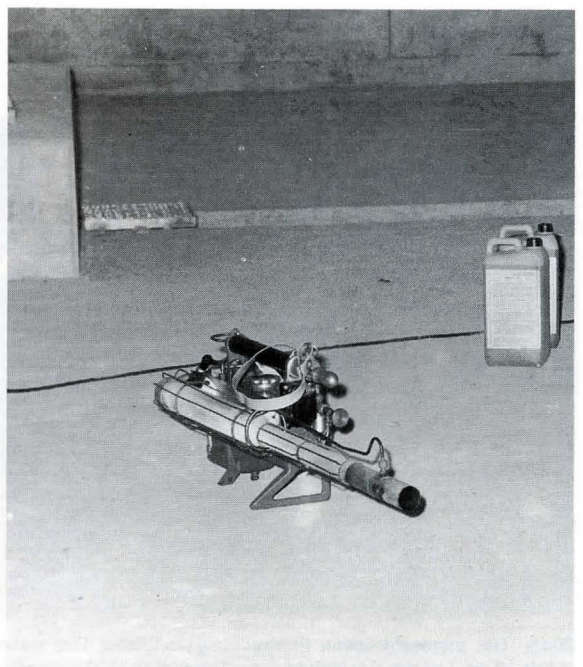

Bild 4.
Nebelgerät mit 2 Kanistern Nebelöl „Swing-Fog SN 11" Fa. Schaid, Hamburg.

Abstand vom Tunnelende	20 m ohne	20 m mit	155 m ohne	155 m mit	Ventilator
1,5 m Höhe	0,20	0,25	0,22	−0,18	m s^{-1}
2,5 m Höhe	0,15	0,25	0,20	−0,19	m s^{-1}
3,5 m Höhe	0,08	0,10	0,08	−0,05	m s^{-1}
Im Mittel		0,18		−0,14	m s^{-1}

Tabelle 2. Luftgeschwindigkeiten im Tunnel bei Versuch 2: Ventilator am Be- und Entlüftungsschacht, Notausstieg geöffnet. Das negative Vorzeichen bedeutet eine Richtungsumkehr der Strömung.

entnehmen. In beiden Fällen entstand eine gerichtete Luftströmung zum Ansaugstutzen des Ventilators. Bemerkenswert ist, daß es gelang, mit Hilfe des Ventilators bei Versuch 2 die natürliche Luftströmung im Tunnel umzukehren. Eine Addition der Geschwindigkeiten ergibt bei beiden Versuchen einen etwa gleichen Wert von ca. 0,3 m s^{-1}.

Nach Abschluß der Vorversuche wurde der Tunnel mit Hilfe zweier Nebelgeräte verraucht. Die Geräte standen zwischen den Meßpunkten C 1 und C 2. Der Ventilator (Punkt A) war während der Verrauchung nicht in Betrieb. Die Verrauchung war sehr intensiv. Der Verlauf der Sichtänderung ist aus Diagramm 1 ersichtlich. Nach 37 Minuten wurde die Verrauchung eingestellt. Die Sicht betrug auf ca. 250 m Tunnellänge null Meter.

Der Verfasser befand sich während des Versuches im Tunnel. Obgleich ihm die Örtlichkeit gut bekannt war, bereitete es ihm sehr große Schwierigkeiten, sich im Tunnel zu orientieren. Die Gleise und sonstigen Einbauten erschwerten das Fortkommen erheblich. Die Tunnelbeleuchtung bot keine Hilfe. Eine Fluchtmöglichkeit zu finden oder Rettungsarbeiten durch die Feuerwehr durchzuführen, ist bei der vorgenannten Verqualmung unmöglich.

Nach Verrauchung des Tunnels wurde das Signal zur Entrauchung gegeben. Der Ventilator wurde gestartet (T = 0). Der Verlauf der Entrauchung ist im Diagramm 2 zu sehen. Nach 13 Minuten ($T = T_E$) befand sich kein Rauch mehr im Tunnel. Die Sicht war wiederhergestellt. Nach 28 Minuten wurde der Ventilator abgeschaltet.

Der Entrauchungsventilator arbeitete so gut, daß sich nach wenigen Sekunden dichter Rauch auf der Straße ausbreitete, so daß der Fahrzeugverkehr erheblich behindert wurde.

Bild 5. Der angeschlossene Entrauchungsventilator. Der Notausstieg ist z. Z. noch geöffnet, rechts ist ein Teil des Gerätewagens – Generator 2000 – sichtbar.

Zusammenfassung

Rettungs- und Löschmaßnahmen werden in unterirdischen Verkehrsanlagen erheblich behindert. Seit Jahren wird daher untersucht, ob und wie eine Entrauchung von Tunnelanlagen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erfolgen kann.

Versuche in Hamburg und Berlin zeigten, daß eine wirksame Entrauchung nur mit sehr großen Volumenströmen möglich ist. Der Förderstrom des Ventilators und die damit erzeugte Luftströmung im Tunnel muß größer sein als die natürliche Luftbewegung im Tunnel. Fremdluft darf nicht angesaugt werden, sonst vermindert sich die Entrauchungswirkung.

Eine Grenze stellt sicherlich die Gerätegröße (transportabel) und der elektrische Anschluß des Ventilators dar. Bei den Berliner Versuchen wurde ein Ventilator mit einer Leistung von 72.000 $m^3 h^{-1}$ (20 $m^3 s^{-1}$) eingesetzt. Der elektrische Anschlußwert betrug 43 kW. Der erhöhte Anlaufstrom des Elektromotors ist zusätzlich zu berücksichtigen.

Es wurden zwei Versuche durchgeführt. Beim ersten Versuch wurde der Ventilator am Notausstieg eines Tunnelendabschnittes einer noch nicht in Betrieb befindlichen U-Bahnstrecke aufgestellt. Fremdluft konnte nicht in den Tunnel strömen, da sowohl der Notausstieg als auch eine Be- und Entlüftungsöffnung mit Planen verschlossen wurden. Die mittlere Luftgeschwindigkeit betrug in der Tunnelmittelachse 0,05 m s^{-1}. Bei Ventilatorbetrieb erhöhte sich die Geschwindigkeit auf 0,33 m s^{-1}.

Nach der vollständigen Vernebelung des Tunnelabschnittes wurde die Entrauchungswirkung erprobt. Der Tunnel war nach etwa 12 Minuten rauchfrei. Dies entspricht einer mittleren Entrauchungsgeschwindigkeit von 0,3 m s^{-1}.

Bei einem zweiten Versuch wurde die Wirkung des Ventilators auf die natürliche Luftströmung im Tunnel untersucht. Hierzu wurde der Notausstieg geöffnet und der Ventilator am Be- und Entlüftungsschacht aufgestellt. Während auf der Straße in 1,5 m Höhe eine Windgeschwindigkeit von 1,5 m s^{-1} in Richtung Rathaus Spandau festgestellt wurde, betrug die Luftgeschwindigkeit im Tunnel 0,16 m s^{-1} in die gleiche Richtung. Nach Einschalten des Ventilators betrug die Luftgeschwindigkeit im Tunnel 0,18 m s^{-1} vom Notausstieg in Richtung Ventilator und 0,14 m s^{-1} von Rathaus Spandau zum Ventilator. In diesem Bereich hat sich die Strömungsrichtung gegen die natürliche Strömung umgekehrt. Auf eine Vernebelung wurde im zweiten Versuch verzichtet.

Grundsätzlich ist eine Entrauchung von U-Bahntunneln möglich. Es ist sicherlich

Abstand vom Tunnelende	20 m ohne	20 m mit	155 m ohne	155 m mit	Ventilator
1,5 m Höhe	0,20	0,25	0,22	−0,18	m s^{-1}
2,5 m Höhe	0,15	0,25	0,20	−0,19	m s^{-1}
3,5 m Höhe	0,08	0,10	0,08	−0,05	m s^{-1}
Im Mittel		0,18		−0,14	m s^{-1}

Tabelle 2. Luftgeschwindigkeiten im Tunnel bei Versuch 2: Ventilator am Be- und Entlüftungsschacht, Notausstieg geöffnet. Das negative Vorzeichen bedeutet eine Richtungsumkehr der Strömung.

entnehmen. In beiden Fällen entstand eine gerichtete Luftströmung zum Ansaugstutzen des Ventilators. Bemerkenswert ist, daß es gelang, mit Hilfe des Ventilators bei Versuch 2 die natürliche Luftströmung im Tunnel umzukehren. Eine Addition der Geschwindigkeiten ergibt bei beiden Versuchen einen etwa gleichen Wert von ca. 0,3 m s^{-1}.

Nach Abschluß der Vorversuche wurde der Tunnel mit Hilfe zweier Nebelgeräte verraucht. Die Geräte standen zwischen den Meßpunkten C 1 und C 2. Der Ventilator (Punkt A) war während der Verrauchung nicht in Betrieb. Die Verrauchung war sehr intensiv. Der Verlauf der Sichtänderung ist aus Diagramm 1 ersichtlich. Nach 37 Minuten wurde die Verrauchung eingestellt. Die Sicht betrug auf ca. 250 m Tunnellänge null Meter.

Der Verfasser befand sich während des Versuches im Tunnel. Obgleich ihm die Örtlichkeit gut bekannt war, bereitete es ihm sehr große Schwierigkeiten, sich im Tunnel zu orientieren. Die Gleise und sonstigen Einbauten erschwerten das Fortkommen erheblich. Die Tunnelbeleuchtung bot keine Hilfe. Eine Fluchtmöglichkeit zu finden oder Rettungsarbeiten durch die Feuerwehr durchzuführen, ist bei der vorgenannten Verqualmung unmöglich.

Nach Verrauchung des Tunnels wurde das Signal zur Entrauchung gegeben. Der Ventilator wurde gestartet (T = 0). Der Verlauf der Entrauchung ist im Diagramm 2 zu sehen. Nach 13 Minuten ($T = T_E$) befand sich kein Rauch mehr im Tunnel. Die Sicht war wiederhergestellt. Nach 28 Minuten wurde der Ventilator abgeschaltet.

Der Entrauchungsventilator arbeitete so gut, daß sich nach wenigen Sekunden dichter Rauch auf der Straße ausbreitete, so daß der Fahrzeugverkehr erheblich behindert wurde.

Bild 5. Der angeschlossene Entrauchungsventilator. Der Notausstieg ist z. Z. noch geöffnet, rechts ist ein Teil des Gerätewagens – Generator 2000 – sichtbar.

Zusammenfassung

Rettungs- und Löschmaßnahmen werden in unterirdischen Verkehrsanlagen erheblich behindert. Seit Jahren wird daher untersucht, ob und wie eine Entrauchung von Tunnelanlagen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand erfolgen kann.

Versuche in Hamburg und Berlin zeigten, daß eine wirksame Entrauchung nur mit sehr großen Volumenströmen möglich ist. Der Förderstrom des Ventilators und die damit erzeugte Luftströmung im Tunnel muß größer sein als die natürliche Luftbewegung im Tunnel. Fremdluft darf nicht angesaugt werden, sonst vermindert sich die Entrauchungswirkung.

Eine Grenze stellt sicherlich die Gerätegröße (transportabel) und der elektrische Anschluß des Ventilators dar. Bei den Berliner Versuchen wurde ein Ventilator mit einer Leistung von 72.000 $m^3 h^{-1}$ (20 $m^3 s^{-1}$) eingesetzt. Der elektrische Anschlußwert betrug 43 kW. Der erhöhte Anlaufstrom des Elektromotors ist zusätzlich zu berücksichtigen.

Es wurden zwei Versuche durchgeführt. Beim ersten Versuch wurde der Ventilator am Notausstieg eines Tunnelendabschnittes einer noch nicht in Betrieb befindlichen U-Bahnstrecke aufgestellt. Fremdluft konnte nicht in den Tunnel strömen, da sowohl der Notausstieg als auch eine Be- und Entlüftungsöffnung mit Planen verschlossen wurden. Die mittlere Luftgeschwindigkeit betrug in der Tunnelmittelachse 0,05 m s^{-1}. Bei Ventilatorbetrieb erhöhte sich die Geschwindigkeit auf 0,33 m s^{-1}.

Nach der vollständigen Vernebelung des Tunnelabschnittes wurde die Entrauchungswirkung erprobt. Der Tunnel war nach etwa 12 Minuten rauchfrei. Dies entspricht einer mittleren Entrauchungsgeschwindigkeit von 0,3 m s^{-1}.

Bei einem zweiten Versuch wurde die Wirkung des Ventilators auf die natürliche Luftströmung im Tunnel untersucht. Hierzu wurde der Notausstieg geöffnet und der Ventilator am Be- und Entlüftungsschacht aufgestellt. Während auf der Straße in 1,5 m Höhe eine Windgeschwindigkeit von 1,5 m s^{-1} in Richtung Rathaus Spandau festgestellt wurde, betrug die Luftgeschwindigkeit im Tunnel 0,16 m s^{-1} in die gleiche Richtung. Nach Einschalten des Ventilators betrug die Luftgeschwindigkeit im Tunnel 0,18 m s^{-1} vom Notausstieg in Richtung Ventilator und 0,14 m s^{-1} von Rathaus Spandau zum Ventilator. In diesem Bereich hat sich die Strömungsrichtung gegen die natürliche Strömung umgekehrt. Auf eine Vernebelung wurde im zweiten Versuch verzichtet.

Grundsätzlich ist eine Entrauchung von U-Bahntunneln möglich. Es ist sicherlich

zweckmäßig, zwei gleich große Ventilatoren zur Entrauchung großer U-Bahntunnel einzusetzen. Ein zufriedenstellender Entrauchungseffekt wird sich dann auch bei ungünstigen Tunnelgeometrien oder stärkeren natürlichen Luftströmungen im Tunnel einstellen.

Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, daß der Zeitfaktor hinsichtlich der wirksamen Entrauchung eines Tunnels eine wesentliche Rolle spielt, damit die Feuerwehr ordnungsgemäße Rettungs- und Löschmaßnahmen durchführen kann.

Literaturverzeichnis

1. Albert, H.: Überlegungen zum vorbeugenden Brandschutz an U-Bahn-Schienenfahrzeugen der Hamburger Hochbahn AG, VFDB-Zeitschrift 1, 1984, S. 23 ff.
2. Berliner Verkehrs-Betriebe (Hrsg.): „Die rollende Leistung" und „U-Bahn kurzgefaßt", Informationsschriften
3. Epperlein, E.: Entrauchungsversuche im U-Bahntunnel, Berlin, 1983, Gutachterliche Stellungnahme
4. Grosser, W.: Rauchabzug durch Zwangsbe- und entlüftung in U-Bahntunneln, interner Vermerk Berliner Feuerwehr v. 23. 6. 81
5. Rohr, B.: Rauchausbreitung in Rettungswegen – Durchführung und Auswertung von Versuchen zur Messung von Rauchausbreitungsgeschwindigkeiten in Tunnelanlagen von Schnellbahnen, Hamburg, 1980
6. Stapelfeld, J. P.: Anatomie eines Brandes – S-Bahnzug im Bahnhof Hamburg Altona, VFDB-Zeitschrift, 1980, S. 134
7. Zepnek, K.: Entrauchungsversuche in Frankfurt, interner Vermerk Berliner Feuerwehr v. 16. 9. 82

Feuerschutztüren für denkmalgeschützte Gebäude

Erwin Knublauch

Problemstellung

Erhaltung und Modernisierung wertvoller Bausubstanz erfordert stets besonders große planerische Vorarbeiten. Es zeigt sich in vielen Fällen, daß eine Erhaltung nur in Verbindung mit einem veränderten Nutzungskonzept für die Räume möglich ist.

Nutzungsänderungen von solchen Gebäuden sind in der Regel abhängig von bauaufsichtlichen Genehmigungen und werfen auch vielschichtige Probleme versicherungstechnischer Art auf. Im Mittelpunkt solcher Fragen steht häufig der vorbeugende bauliche Brandschutz und dabei die sichere Unterteilung des Gebäudes, um im Brandfall einerseits die Brandausbreitung möglichst zu begrenzen und andererseits sichere Flucht- und Rettungswege offenzuhalten.

Sehr rasch stellt sich unter den vielen Einzelfragen für den Planer auch die Frage nach den zu verwendenden Feuerschutzabschlüssen, die dann mit den Stilelementen des Gebäudes in Einklang gebracht werden müssen.

Lösungen

In der Praxis wird hier recht unterschiedlich – geschickter und ungeschickter – vorgegangen. Aus dem Schutzgedanken heraus am wenigsten überzeugend ist ein Antrag auf Ausnahmen oder Befreiungen, um so den Einbau von Feuerschutzabschlüssen zu vermeiden. Die in einem solchen Fall glaubhaft zu

Prof. Dr.-Ing. Erwin Knublauch
Fachhochschule Hagen

Bild 1.
Feuerschutztür T 30 in einer dem Baustil anpaßbaren äußeren Gestaltung, Ausführungsbeispiel. (Werkfoto: Firma Schörghuber, Mühldorf)