

Zur Frage der Sicherheit in Kraftfahrzeugtunneln im Brandfall

Autor(en): **Baum, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 34

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-69519>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

abgeschlossen worden: Otto Keller, Lufttechnik, Jesingen, für Entstaubungsapparate, Voith-Getriebe KG, Heidenheim (Brenz), für Strahlventilatoren, die für Autotunnellüftung verwendet werden, und H. Krantz, Lufttechnik, Aachen, zwecks Ausführung lufttechnischer Anlagen in Kernkraftwerken in der Schweiz.

Dank dieser Umstellung war es möglich, in neue Anwendungsgebiete einzudringen und das Exportgeschäft zu beleben. Bemerkenswert ist die Belüftung von Autotunnels¹⁾, die Klimatisierung ganzer Fabrikkomplexe in der Kunstfaser-Industrie, in Forschungsinstituten, Kran-

¹⁾ Hervorzuheben ist die Lüftung des Bernhardin-Tunnels, s. SBZ 1963, H. 38, S. 661-664.

kenhäusern, Schulen und Bürogebäuden. Unter diesen sei auf das neue Verwaltungsgebäude der Ventilator AG hingewiesen, das nach Plänen von Architekt Dr. J. Dahinden gebaut und im Jahre 1964 eingeweiht wurde²⁾.

Die Ventilator AG Stäfa hat sich in den fünfzig Jahren ihres Bestehens zu einer gesunden, leistungsfähigen und allem Neuen aufgeschlossenen Unternehmen auf dem Gebiete der Lüftungs- und Klimatechnik entwickelt, das im In- und Ausland hohes Ansehen genießt. Möge es ihr auch in Zukunft vergönnt sein, ihren vorzüglichen Ruf erhalten und mehren zu können!

A.O.

²⁾ Über die klimatischen Probleme berichtete Ingenieur E. Wild in SBZ 1965, H. 38, S. 651-656.

Zur Frage der Sicherheit in Kraftfahrzeugtunneln im Brandfall

DK 625.712.35

Von Dr.-Ing. F. Baum, Essen

1. Einleitung

Die Sicherheit in Kraftfahrzeugtunneln beschäftigt heute weite Kreise. Lüftungsfachleute berechnen aus dem mutmasslichen Tunnelverkehr den Frischluftbedarf, um die durch Kraftfahrzeuge emittierten Abgase bis zur Unschädlichkeit zu verdünnen [1], [2], [3]. Feuerungstechniker installieren neben Notrufstationen Schaumlöscher und Hydranten [4], [5]. Verkehrsfachleute treffen Verkehrsregelungen, wie Sperrung des Tunnels für Tankwagen und Kraftfahrzeuge mit leicht brennbarer oder explosiver Ladung, Inbetriebnahme von Lichtsignalanlagen, Kennzeichnung der Fahrspuren im Tunnel usw. [1], [5], [6], [7], [8]. Trotzdem erhebt sich die Frage, ob diese Sicherheitsvorkehrungen in jedem Falle ausreichen. So kann von Zeit zu Zeit beobachtet werden, dass entgegen dem Verbot doch Tankwagen im Tunnel verkehren. Eine mit einem solchen Tankwagen verbundene Brandkatastrophe würde eine Gefährdung der Menschen bedeuten, die sich zum Zeitpunkt der Katastrophe im Tunnel aufhalten [1].

Verkehrsunfälle im Tunnel sind nicht ausgeschlossen. Von Zeit zu Zeit kommt es vor, dass mitten im Tunnel Fahrzeuge wegen Motor- oder Reifenschaden liegen bleiben. Die Gefahr eines Auffahrunfalles mit nachfolgendem Brand ist somit gegeben. Wenn auch bisher ausgesprochene Brandkatastrophen in Verkehrstunneln nicht bekannt wurden und meist nur Vergaserbrände (Bild 1) aufgetreten sind, so sollen doch diese Beispiele auf die Gefahren hinweisen. Während beispielsweise in einem Theater alle Sicherheitsvorkehrungen auf den Katastrophenfall ausgerichtet sind, ist dies bis heute in keinem Verkehrstunnel der Fall.

2. Tunnellüftung und Brandsicherheit

Von einer gewissen Tunnellänge an werden Kraftfahrzeugtunnels mit künstlicher Lüftung ausgestattet (mechanische Lüftung mit Ventilatoren und entsprechenden Leitungs- und Kanalsystemen) [9]. Die im Tunnelbau üblichen Lüftungssysteme sind Längslüftung, Halbquerlüftung und Querlüftung (Bilder 2a bis 2c).

Bild 2a zeigt den Typ der Längslüftung. Mit Hilfe des Ventilators im senkrechten Schacht wird Frischluft von den Portalen her angesaugt und in Längsrichtung des Tunnels entlanggeführt. Die Ventilatoren können auch an den Portalen installiert sein (Strahlgebläse oder Saccardo-Düsen), die die Frischluft in den Tunnel drücken. Beispiele für Längslüftung sind der Lämmerbuckel-Tunnel (640 m) auf der Schwäbischen Alb [10], der Rendsburg-Tunnel (812 m) in Schleswig-Holstein [11] und der St. Cloud-Tunnel (830 m) in Paris [12]. Dieses Lüftungssystem hat eine Reihe von Nachteilen, von denen vor allem erwähnt werden muss, dass im Brandfall der Tunnel auf weite Strecken verqualmt und somit Sauerstoffmangel auftritt.

Bild 2b zeigt den Typ der Halbquerlüftung. Die Ansaugventilatoren transportieren die angesaugte Frischluft längs einem Frischluft-



Bild 1. Durch Vergaserbrand im Wagenburgtunnel in Stuttgart beschädigter Personenwagen vor dem Tunnelportal

kanal, der unter der Fahrbahn verläuft. Von da aus verteilt sich die Frischluft auf Seitenkanäle und gelangt durch Öffnungen zu beiden Seiten unmittelbar über der Fahrbahn in den Fahrraumtunnel. Die Abluft strömt längs der Tunnelröhre und tritt an den Portalen ins Freie. Ein Beispiel für Halbquerlüftung ist der Mersey-Tunnel (4629 m) in Liverpool-Birkenhead [13]. Auch bei diesem Lüftungssystem tritt im Brandfall eine Verqualmung des Tunnels ein; jedoch wird die Rauchentwicklung geringer sein, da reichlich Frischluft zur Verdünnung der Qualmwolken nachströmt. Die Frischluft wirkt aber zugleich an der Brandstelle feueranfachend.

Bild 2c zeigt den Typ der Querlüftung. Die Frischluft wird – wie bei der Halbquerlüftung – in den Tunnel eingeleitet. Die Abluft wird durch Deckenschlitze abgesaugt und über einen Abluftkanal und einen Abluftschacht ins Freie befördert. Beispiele für Querlüftung sind: der Wagenburg-Tunnel (824 m) in Stuttgart [14], der Holland-Tunnel (2820 m) in New York [15], der Maas-Tunnel (1500 m) in Rotterdam [16] und der Oakland-Tunnel (1353 m) in Alameda [17]. Dieses Lüftungssystem stellt z. Zt. noch die sicherste Lösung für den Brandfall dar. Aber auch hier facht die Frischluft wie bei der Halbquerlüftung den Brand an.

3. Zur Frage der Lüftungsumkehr in querbelüfteten Kraftfahrzeugtunneln

Im Jahre 1938 äusserte Andreae [18] den Gedanken, die Lüftungsrichtung in querbelüfteten Kraftfahrzeugtunnels umzukehren, d. h.

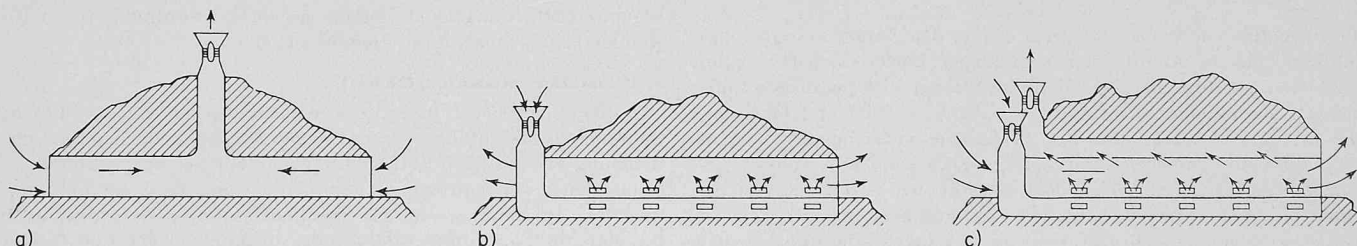


Bild 2. Verschiedene Tunnellüftungssysteme. a) Längslüftung, b) Halbquerlüftung, c) Querlüftung

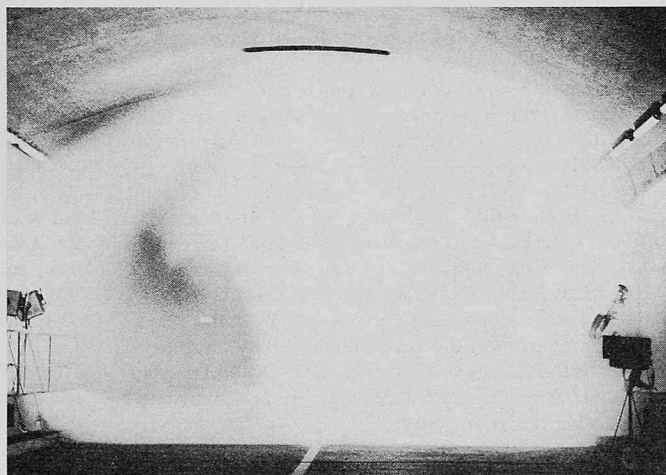
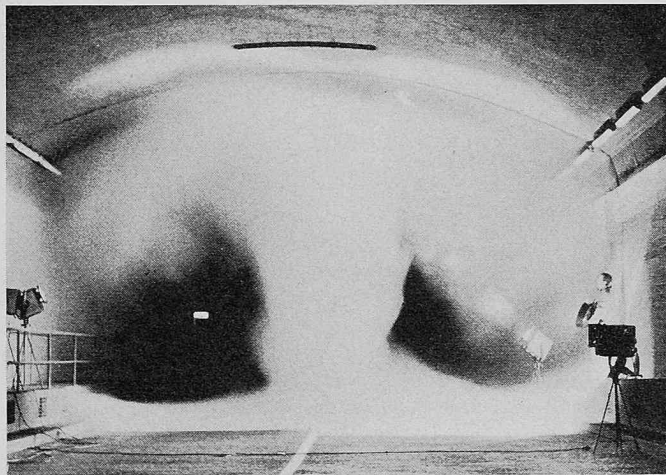
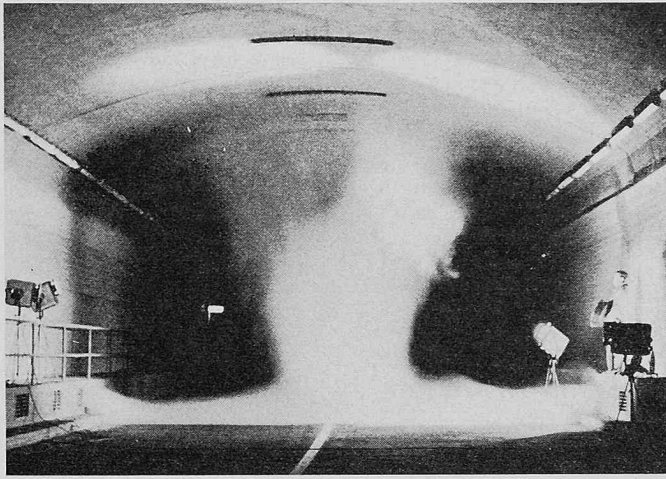


Bild 3. Rauchversuche im Fahrraum des Wagenburgtunnels; drei aufeinanderfolgende Phasen

die Frischluft von der Tunneldecke her in den Fahrraumtunnel einzuführen und die Abluft unten abzusaugen. Bartholomäi [19] nahm 1938 dazu wie folgt Stellung: «Um mit kleinen wirtschaftlichen Luftmengen auszukommen, müssen Auspuffgase, Rauch und Öldampf, wie Professor Andreae andeutet, raschestens auf möglichst kurzem Weg aus dem Tunnel entfernt werden. Dies kann nur dadurch geschehen, dass man sie gleich dort entfernt, wo sie entstehen, d. h. unten, direkt über der Fahrbahn. Die Frischluft muss oben eingeblasen werden.» Neumann [20] griff 1940 die Gedanken von Andreae und Bartholomäi auf und beurteilte den Vorschlag der Lüftungsumkehr

auch vom Standpunkt der Staubbeseitigung positiv: «Beim Fehlen einer nachhaltigen Fahrbahnreinigung wird daher mit starker Staubentwicklung zu rechnen sein und die Lüftung auch noch die Staubabfuhr zu übernehmen haben. Sie dürfte bei einer Strömungsrichtung von oben nach unten am besten erfolgen.»

Ob eine Tunnellüftung von oben nach unten zu diesen vorteilhaften Wirkungen führt und in welchem Ausmass das geschieht, ist durch eingehende Beobachtungen und Versuche im Wagenburg-Tunnel in Stuttgart und durch eine Reihe von Modellversuchen überprüft worden [21], [22], [23]. Hierbei hat sich ergeben, dass bei Lüftungsumkehr die im Tunnel auftretenden Luftverunreinigungen wirksamer entfernt werden als beim Lüften in herkömmlicher Weise von unten nach oben.

Dass sich der Gedanke der Lüftungsumkehr bisher nicht durchsetzen konnte, obwohl er nahezu drei Jahrzehnte alt ist, hat zwei Gründe, nämlich: 1. Da das von den Kraftfahrzeugen emittierte, giftige CO spezifisch leichter als Luft ist ($\rho_{\text{Luft}} = 1,293 \text{ kg/Nm}^3$; $\rho_{\text{CO}} = 1,250 \text{ kg/Nm}^3$), steigt es nach oben und kann bei Lüftung von unten nach oben gut abgesaugt werden [24]. 2. Im Brandfall steigen infolge des thermischen Auftriebes die Flammen und Rauchschwaden nach oben [25].

Darauf ist folgendes zu erwidern:

Zu 1. Wie Versuche im Wagenburg-Tunnel in Stuttgart gezeigt haben, übersteigt der CO-Gehalt der Luft in Hauptverkehrszeiten, selbst bei abgeschalteter Lüftung, nicht den Wert von 200 ppm. Zu gleicher Zeit entsteht eine starke Trübung der Luft im Fahrraum. Die die Luft trübenden Substanzen sind jedoch spezifisch schwerer als Luft. CO-Konzentrationen von 200 ppm können im Notfall Menschen mindestens 1 Stunde ohne Gefahr aushalten [22]. Ähnliche Ergebnisse wurden auch im Maas-Tunnel in Rotterdam gefunden [26]. Eine in Funktion befindliche Lüftungsanlage mit Lüftungsrichtung von oben nach unten wird genügend CO, Kohlenwasserstoffe und Stickoxyde beseitigen, so dass keine Schädigungen eintreten werden.

Zu 2. Exakte Brandversuche, speziell für Kraftfahrzeugtunnel, sind bisher nicht bekannt geworden. Bisherige Beobachtungen beschränkten sich auf Testversuche, die lediglich zeigen sollten, ob bei der vorgegebenen Lüftung (von unten nach oben) die Rauchgase genügend abgeführt werden [27]. Es fehlen jedoch eingehende Untersuchungen über eine optimale Luftführung in Kraftfahrzeugtunneln mit dem Ziel der Einschränkung allfällig entstehender Brände.

4. Flammenformen

Geraten Kraftstoffe in Brand, so entstehen turbulente Flammen. Bei der Verbrennung wird am Flammenherd Umgebungsluft angesaugt. Die Form der Flammen ist in erster Linie von folgenden Faktoren abhängig [28]: Brennstoffart, Brennstoffangebot, Fläche des Flammenherdes, Zufuhr der Umgebungsluft, Temperatur der Umgebungsluft.

Je grösser die Fläche des Flammenherdes ist, desto grösser sind Länge und Temperatur der Flamme. Die Flammengeschwindigkeit, die von der Temperatur der Flamme abhängt, nimmt mit der Entfernung vom Flammenherd ab, verursacht durch Vermischung und Reibung mit der Umgebungsluft. Die Geschwindigkeiten in den Flammenspitzen liegen im allgemeinen in der Grössenordnung $< 6 \text{ m/s}$. Die aus der Flamme sich ablösenden Rauchpartikel verlieren rasch an Geschwindigkeit.

Wird dem Flammenherd zusätzlich Luft zugeführt, so vergrössern sich Temperatur und Länge der Flammen. Die Geschwindigkeiten in den Flammenspitzen erhöhen sich ebenfalls. Die Brennstoffmenge brennt rascher ab als bei natürlicher Luftzuführung.

Die Flammenform gleicht sich in starkem Masse der Strömungsrichtung der Umgebungsluft an. Strömt die Umgebungsluft zentral von unten nach oben, so werden die Flammen senkrecht aufsteigen. Wirkt Umgebungsluft horizontal auf die Flamme ein, so wird die Flamme seitlich abgelenkt. Durch geeignete Anordnung von Luftstrahlen lässt sich somit die Flamme steuern.

5. Brand im Kraftfahrzeugtunnel

Bild 3 zeigt das Innere des Wagenburg-Tunnels in Stuttgart während der Durchführung von Rauchversuchen, bei denen die Luftströmung bei mittlerer Lüfterleistung sichtbar gemacht wurden. Zu beiden Seiten der Fahrbahn erkennt man erhöhte Bankette und Laufstege. Die Frischluft strömt aus Frischluftöffnungen zu beiden Seiten ein, geht zur Tunnelmitte und von dort nach oben. Die Luft fächert sich auf und strömt nur unvollkommen durch die Abluftschlitze in

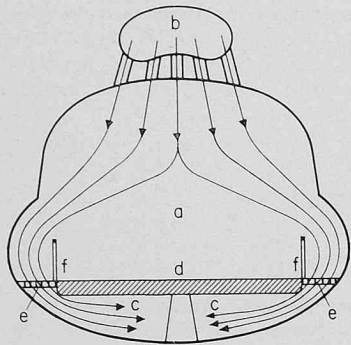


Bild 4. Vorschlag für die Querschnittsgestaltung eines querbelüfteten Kraftfahrzeugtunnels mit Lüftungsrichtung von oben nach unten.
a Fahrraum, b Frischluftkanal, c Abluftkanal, d Fahrbahn mit leicht gewölbter Decke, e Laufgitter, f Geländer

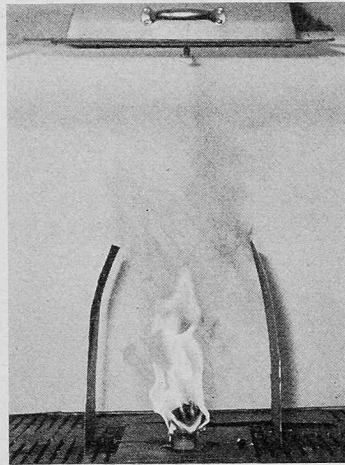


Bild 5a (links). Flammenbewegung bei Luftströmung von unten nach oben (Modellversuch)

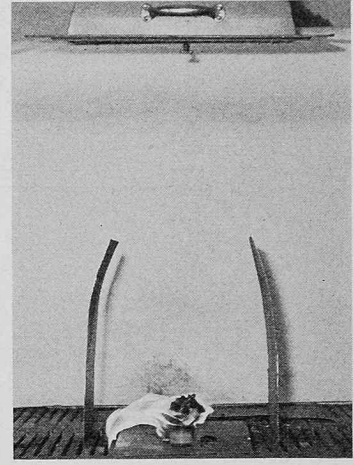


Bild 5b (rechts). Flammenbewegung bei Luftströmung von oben nach unten (Modellversuch)

der Tunneldecke. Zu beiden Seiten der Tunnelwandung bilden sich Luftwirbel.

Würde auf einer der beiden Fahrspuren ein Fahrzeugbrand entstehen und aus dem brennenden Fahrzeug Benzin austreten, so würde dieses in die Breite fließen, wodurch der Flammenherd sich vergrößert. Dem Flammenherd würde seitlich laufend Frischluft in grossen Mengen zugeführt. Aufgrund von Abschnitt 4 würde somit die Flamme vergrößert und eine Lokalisierung der Flamme verhindert.

Deshalb wird vorgeschlagen, eine Bild 4 entsprechende Formgebung des Tunnels und der Luftzuführung zu wählen. Diese Anordnung hätte folgende Vorzüge:

- Eine optimale Beseitigung von Luftverunreinigungen wäre gewährleistet.
- Im Falle eines Brandes würde auslaufendes Benzin wegen der leichten Wölbung der Fahrbahndecke in den Abluftkanal fließen, wodurch das Brennstoffangebot und die Fläche des Flammenherdes verringert und somit Temperatur, Länge und Geschwindigkeit der Flamme kleiner würden.
- Die Frischluftzufuhr zum Flammenherd wäre wegen des entstehenden Rauches, wegen des darin in starkem Masse enthaltenen CO₂ und wegen der Flamme selbst unterbrochen.
- Die Flamme würde wegen der seitlich strömenden Umgebungsluft an die Tunnelwand gedrückt und somit lokalisiert. Bei genügend Frischluftzufuhr wird die Flamme sogar in den Abluftkanal gezogen werden.

In Bild 5 sind die beiden Lüftungsarten unter gleichen Luftbedingungen im Modellversuch einander gegenübergestellt. Daraus wird offensichtlich, dass bei Aufwärtslüftung mit starker Rauch- und Flammenentwicklung zu rechnen ist, bei Abwärtsbewegung sich die Flamme lokalisieren lässt. Aus diesen Überlegungen heraus entsteht die dringende Forderung, das Problem des Brandes in Kraftfahrzeugtunnels eingehend an Hand von Grossversuchen zu klären.

6. Fussgängertunnel als Sicherheitstunnel

Bild 6 gibt einen Querschnitt des Maas-Tunnels in Rotterdam wieder [16]. Die Konstrukteure rüsteten diesen Tunnel komplett mit zwei getrennten Tunnelröhren mit jeweiligem Fahrzeugverkehr in einer Richtung, mit einem Radfahrer- und einem Fussgängertunnel

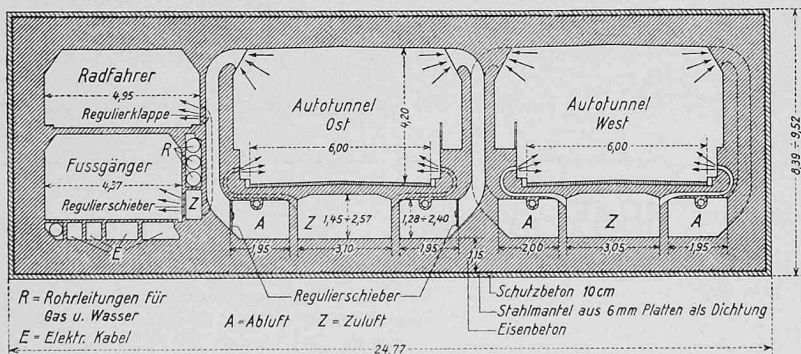


Bild 6. Querschnitt durch den Maastunnel in Rotterdam [16], 1:250

aus (Mehrzwecktunnel). Ähnliche Anordnungen sind auch vorgesehen in einem Plan für den Verkehrsweg Österleden in Stockholm [7]. Konstruktiv wäre es durchaus möglich, die einzelnen Tunnelröhren so anzuordnen, dass der Radfahrertunnel und der Fussgängertunnel zwischen die beiden Autotunnel zu liegen kommen; durch Unter- bzw. Überführung an den Tunnelenden wären der Radfahrer- und Fussgängertunnel erreichbar. Eine solche Anordnung mit Fussgängertunnel ist schematisch in Bild 7 skizziert. Als Lüftungssystem für die Autotunnelröhren ist hierbei eine Querlüftung von oben nach unten vorgesehen, während der Fussgängertunnel mit einer Halbquerlüftung ausgerüstet ist.

Ereignet sich in einer der beiden Tunnelröhren eine Brandkatastrophe und wird daraufhin Alarm ausgelöst (dies kann von Hand oder durch selbsttätige Brandmelde-Geber ausgelöst werden [29]), so treten folgende Sicherheitsvorkehrungen automatisch in Kraft:

- Zwischen der Tunnelröhre, in welcher der Brand ausgebrochen ist, und dem Fussgängertunnel öffnen sich Türen. Die Grösse der dadurch freigegebenen Öffnungen zwischen Autotunnel und Fussgängertunnel als auch der Abstand der Türen zueinander richten sich nach der Bemessung des Tunnels und der Lüftungsanlage.
- Die Frischluftzufuhr im Fussgängertunnel wird verstärkt.

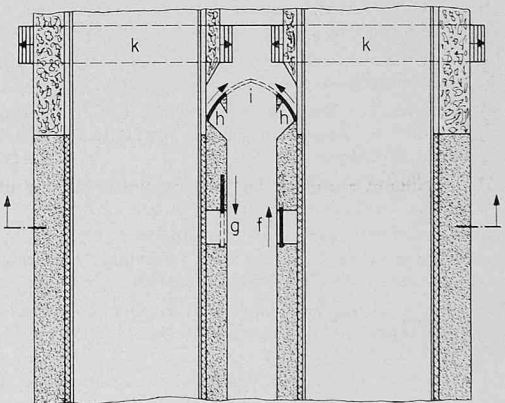
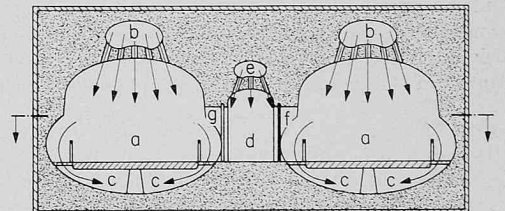


Bild 7. Vorschlag für die Gestaltung eines Kraftfahrzeugtunnels mit Sicherheitsvorrichtungen im Brandfall
a Fahrraum, b Frischluftkanal, c Abluftkanal, d Fussgängertunnel, e Frischluftkanal zu d, f geschlossene Tür, g geöffnete Tür, h Seitentüren, i verschliessbares Portal, k Fussgängerunterführungen

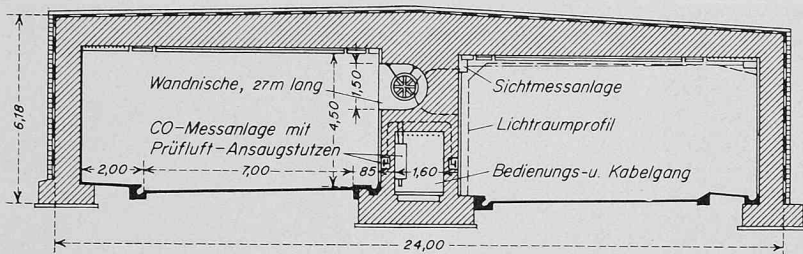


Bild 8. Querschnitt durch den Wallringtunnel in Hamburg [30], 1:250

c) Um ein übermäßiges Abfließen wertvoller Frischluft an den Portalen des Fussgängertunnels zu verhindern, schliessen sich die Portale. Die Fussgänger können den Fussgängertunnel durch kleine Portale verlassen.

Durch diese Sicherheitsvorkehrungen geschieht folgendes: Aus dem Fussgängertunnel fließt Frischluft in den Unglückstunnel. Die Luftströmung muss dabei so bemessen sein, dass das Einströmen von Rauch in den Fussgängertunnel verhindert wird. Die durch Feuer gefährdeten Menschen im Unglückstunnel können sich ohne die Gefahr einer Panik im Fussgängertunnel in Sicherheit bringen. Im Fussgängertunnel sind Schaumlöscher und Hydranten mit Schläuchen installiert. Die alarmierte Feuerwehr, der das Löschmaterial an Ort und Stelle zur Verfügung steht, kann, ohne sich selbst in Gefahr zu begeben, den Brandherd wirksam bekämpfen.

Im März 1965 wurde dem Tiefbauamt Hamburg für den Bau des Wallring-Tunnels, der längsbelüftet ist, vorgeschlagen, den in der Konstruktion vorgesehenen Begehungstunnel (Bild 8, [30]) als Sicherheitstunnel auszubauen. Wie aus Pressemitteilungen hervorgeht, können nunmehr im Falle eines Unglücks in diesem Tunnel die Menschen über den Sicherheitstunnel ins Freie gelangen.

7. Zusammenfassung

Entsteht in einem Kraftfahrzeugtunnel ein Brand, so sind die zu diesem Zeitpunkt sich im Tunnel befindenden Menschen gefährdet. Die bisher getroffenen Sicherheitsvorkehrungen reichen nicht aus, den Menschen genügend Sicherheit im Fall einer Brandkatastrophe zu gewährleisten, da entsprechende Notausgänge fehlen. Im Hand vorliegender Tunnelbauten wurde die Frage der Gefährdung durch Brand diskutiert. Hierbei wurden Möglichkeiten gezeigt, den Brand durch Umkehrung der Lüftungsrichtung in querbelüfteten Kraftfahrzeugtunneln (von oben nach unten, statt wie bisher von unten nach oben) einzudämmen.

Durch zusätzlichen Einbau eines Fussgängertunnels ergibt sich die Möglichkeit, Querverbindungen zwischen Kraftfahrzeugtunnel und Fussgängertunnel herzustellen. Eine geeignete Luftzuführung ermöglicht es jedem gefährdeten Menschen im Kraftfahrzeugtunnel, sich im Fussgängertunnel in Sicherheit zu bringen. Der Wallring-Tunnel in Hamburg besitzt bereits ein ähnliches Sicherheitssystem.

Literatur:

- [1] Bericht der Expertenkommission für Tunnellüftung an das Eidgenössische Amt für Strassen- und Flussbau: Die Lüftung der Autotunnel. Mitteilung Nr. 10 aus dem Institut für Strassenbau der ETH Zürich.
- [2] Kress, H. H.: Strassentunnel und ihre Ausrüstung. Aus Neumann, E.: Der neuzeitliche Strassenbau, S. 590/626, Springer-Verlag, Berlin, 1959.
- [3] Kress, H. H.: Lüftungsentwurf für den Wagenburgtunnel in Stuttgart. «Die Bautechnik», 30. Jg. (1953), S. 269/273.
- [4] Beythien, E.: Die Löschmittel und ihre Anwendung. Kleine Fachbücherei der Feuerwehr, Heft 6, Verlag des Ministeriums des Innern, Berlin-Wilhelmsruh, 1959.
- [5] Tiefbauamt Stuttgart: Der Wagenburgtunnel in Stuttgart. Die Arbeiten des Tiefbauamtes, Folge 1, S. 62.
- [6] Jänecke: Brücken- und Tunnelbauten zur Erleichterung des Kraftwagenverkehrs zwischen New York und New Jersey. «Die Bautechnik», Jg. 13 (1935), H. 24, S. 302/305.
- [7] Biehl, K. O. und Feuchtinger, M. E.: Der neue Verkehrsweg Österleden in Stockholm. «Die Bautechnik», Jg. 28 (1951), Teil 1: H. 4, S. 73/77; Teil 2: H. 5, S. 108/112.
- [8] Richter, L.: Frischluftbedarf der Strassentunnels. Schriftenreihe der «Strasse», Nr. 29, Berlin 1943, S. 23/34.
- [9] Gruner, G. und Bürkel, P.: Maximale Länge von Autotunneln ohne künstliche Lüftung. «Schweiz. Bauzeitung», 81. Jg. (1963), Heft 29, S. 511/514.
- [10] Barth, W., Klein, R. und Raab, F.: Eine neuartige Lüftungsanlage im Lämmerbuckeltunnel. «Der Bauingenieur», Bd. 33 (1958), H. 12, S. 469/471.

- [11] Jensen, W.: Grundgedanken zum Bau eines Fahrzeugtunnels unter dem Nord-Ostsee-Kanal in Rendsburg. «Die Bautechnik», 35. Jg. (1958), S. 10/15.
- [12] de Buffévent: L'auto-route de l'Ouest, nouvelle sortie de Paris. «Annales des Ponts et Chaussées», 1941, VII-VIII, S. 5 ff.
- [13] Proetel, H.: Die neuen Unterwassertunnel unter dem Mersey-Fluss bei Liverpool und unter der Maas bei Rotterdam. «VDI-Zeitschrift», Bd. 84 (1940), Nr. 48, S. 932/938.
- [14] Kress, H. H.: Die neue Lüftung des Wagenburgtunnels in Stuttgart. «Die Bautechnik», 35. Jg. (1958), H. 10, S. 377/383.
- [15] Singstad, O.: Bau von Unterwassertunneln in den Vereinigten Staaten von Amerika. «VDI-Zeitschrift» Bd. 77 (1933), Nr. 10, S. 265/270.
- [16] Schnitter, E.: Autotunnelbelüftung, dargestellt am Beispiel des Maastunnels in Rotterdam. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 119 (1942), Nr. 17, S. 195/200.
- [17] Collins, M. C.: Designing Ventilation System for a Vehicular Subway in California. «Engineering News-Record», Vol. 98, Nr. 10, S. 392/398.
- [18] Andrae C.: Zur Frage der Lüftung langer Autotunnel. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 111 (1938), Nr. 18, S. 225/230.
- [19] Bartholomäi, A.: Zur Frage der Lüftung langer Autotunnel. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 112 (1938), Nr. 8, S. 84/86.
- [20] Neumann, E.: Lüftung langer Kraftwagentunnel. «VDI-Zeitschrift», Bd. 84 (1940), Nr. 14, S. 239/240.
- [21] Baum, F.: Untersuchungen zur wirkungsvollen Beseitigung von Luftverunreinigungen in einem Verkehrstunnel von 824 m Länge und 5,5% Gefälle mit Fahrzeugverkehr in beiden Richtungen in einer Tunnelröhre im Zentrum einer Grosstadt. Dissertation Technische Hochschule Stuttgart, 1964.
- [22] Baum, F.: Untersuchungen zur wirkungsvollen Beseitigung von Luftverunreinigungen in einem Verkehrstunnel. «Gesundheits-Ingenieur», 85. Jg. (1964), Teil 1: H. 11, S. 325/334; Teil 2: H. 12, S. 370/383.
- [23] Baum, F.: Strömungsversuche in einem Autotunnel. «Staub», Bd. 25 (1965), Nr. 8, S. 301/306.
- [24] Kress, H. H.: Lüftungsentwurf für den Wagenburgtunnel in Stuttgart. «Schweiz. Bauzeitung», 71. Jg. (1953), Teil 1: Nr. 36, S. 521/526; Teil 2: Nr. 37, S. 536/542.
- [25] Haerter, A.: Tunnellüftung. «Heizung, Lüftung, Haustechnik», Bd. 11 (1960), Nr. 6, S. 141/164.
- [26] De Vries Robles, E. J.: Enige beschouwingen ten aanzien de luchtverontreiniging in de Maastunnel te Rotterdam. «Tijdschrift voor sociale Geneeskunde», 40. Jg. (1962), Nr. 25, S. 739/750.
- [27] Fire in Vehicle-Tunnels. «Engineering News-Record», Vol. 99, Nr. 19, S. 742.
- [28] Thomas, P. H.: The Size of Flames from natural Fires. Ninth Symposium on Combustion, Academic-Press, New York and London (1963), S. 844/859.
- [29] Kayser, G. A.: Beiträge zur Theorie und Praxis selbsttätiger elektrischer Brandmelde-Geber. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 1033, Westdeutscher Verlag Köln und Opladen, 1961.
- [30] Herzke, K.: Bau und Betrieb von Längslüftungen in Hamburger Strassentunneln. «Der Bauingenieur», 41. Jg. (1966), H. 10, S. 400/409.

Adresse des Verfassers: (43) Essen-Margarethenhöhe, Helgolandring 120.

1869
1969 G.E.P.

Haben Sie den Einzahlungsschein zugunsten der Jubiläumsspende schon zur Post getragen? Wenn ja, so danken wir herzlich. — Wenn nein, bitten wir Sie freundlich, dies in den nächsten Tagen zu tun. Besten Dank im voraus.