

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 82 (1964)  
**Heft:** 48

**Artikel:** Über die Längslüftung von Autotunneln mit Strahlventilatoren  
**Autor:** Rohne, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-67624>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

belages spitzte man den oberen Kork einige Zentimeter tief aus und füllte die entstandene Rinne mit Kittmasse.

Die Betonierung der ganzen Gelenkpartie hatte, soweit möglich, in einem Arbeitsgang zu erfolgen, damit nicht durch Arbeitsfugen Unterbrüche in der Gleichmässigkeit des Gelenkbetons entstehen konnten.

Die damaligen Konstruktionen von R. Maillart sind durch die eingehenden Versuche von Ecublens im Prinzip als gerechtfertigt bestätigt

worden. Alle seither gemachten Erfahrungen und Verbesserungen in der Kornabstufung und der besseren Verarbeitung des Betons haben bewirkt, dass lokal bedeutend höhere Beanspruchungen zugelassen werden dürfen. Damit werden die Gelenkquerschnitte vorteilhaft verkleinert, und die Rissicherheit wird, wie die Versuche von P. Soutter ergeben, ganz bedeutend erhöht.

Ernst F. Stettler, dipl. Ing.  
Egghölzstrasse 74, Bern

## Über die Längslüftung von Autotunneln mit Strahlventilatoren

DK 625.712.35:628.83

Von Dr.-Ing. E. Rohne, Heidenheim a. d. Brenz

Nach einer allgemeinen Übersicht über die gebräuchlichen Lüftungssysteme bei Strassentunneln wird die Längslüftung mit Strahlventilatoren behandelt. Ausser den Berechnungsgrundlagen werden Messergebnisse mitgeteilt und anhand von ausgeführten Anlagen verschiedene Einbaumöglichkeiten gezeigt, die besonders den geringen Platzbedarf beim Einbau von Strahlventilatoren veranschaulichen.

### 1. Einleitung

Der stetige Anstieg des Kraftfahrzeugbestandes und die damit wachsende Verkehrsdichte verlangen einen grosszügigen Ausbau des Strassennetzes. Mit Rücksicht auf kreuzungsfreie Verbindungen und

schnellen Durchgangsverkehr ist man dabei oft gezwungen, die Strassen streckenweise unterirdisch in Tunneln zu führen. Die Abgase der Kraftfahrzeugmotoren können in diesen Tunneln die Atemluft derart verschlechtern, dass zur Vermeidung gesundheitlicher Störungen der Benutzer eine künstliche Belüftung vorzusehen ist [1]\*. Diese lässt sich auf verschiedene Arten durchführen, nämlich als reine Querlüftung, als reine Längslüftung oder als Kombination dieser beiden Lüftungsarten als Zuluft-Halbquerlüftung. Bild 1 zeigt einige Beispiele. Es ist in Sonderfällen auch durchaus denkbar, abschnittsweise in einem Tunnel verschiedene Lüftungssysteme zu verwenden.

Lüftungstechnisch wird die reine Querlüftung als das beste System angesehen, da bei ihr Frischluft aus besonderen Kanälen, verteilt über die ganze Tunnellänge, in den Verkehrsraum eingeblasen und auf der gegenüberliegenden Seite die verunreinigte Luft abgesaugt wird. Diese Lüftungsart ist am unabhängigsten von Witterungsbedingungen und vom Fahrwind, liefert an jeden Ort Frischluft und verschleppt keine Abgase. Sie ist jedoch im Bau und Betrieb die teuerste Methode und wird daher im allgemeinen nur bei langen oder mittellangen Tunneln mit grosser Verkehrsdichte angewendet. Ein solches Lüftungssystem wurde bereits beim Bau des 2580 m langen Holland-Tunnels in New York ausgeführt, der 1927 in Betrieb kam [2], [3].

Im Gegensatz zur reinen Querlüftung wird bei der reinen Längslüftung die Frischluft im allgemeinen nur an einer Stelle dem Verkehrsraum zugeführt und am Ende der Belüftungsstrecke aus dem Verkehrsraum abgesaugt oder ausgeblasen. Saubere Frischluft erhält somit nur der Lufteintrittsquerschnitt, während sich die Qualität der Luft entlang der Belüftungsstrecke dauernd verschlechtert. Die Belüftungsanlage muss daher so bemessen sein, dass selbst bei ungünstigsten Verhältnissen eine festgelegte Abgaskonzentration am Ende einer Belüftungsstrecke nicht überschritten wird. Der durch den Verkehrsraum streichende Luftstrom kann dabei durch die Kolbenwirkung der Kraftfahrzeuge und die Witterungsbedingungen in seiner Wirkung unterstützt oder vermindert werden. Bei diesem Lüftungssystem können bei längeren Tunneln unter der Bedingung einer zulässigen Abgaskonzentration allerdings Windgeschwindigkeiten erforderlich werden, die man den Tunnelbenutzern, meist aus psychologischen Gründen, nicht mehr zumuten möchte. Die Längslüftung ist jedoch das im Bau und Betrieb einfachste und billigste Lüftungssystem. Zu den längsten Strassentunneln mit Längslüftung gehören der Liberty-Tunnel (1790 m) in Pennsylvania, USA, Baujahr 1924 [4], und der St-Cloud-Tunnel (832 m) der Autoroute de l'Ouest in Paris [5], [6].

Das System der Zuluft-Halbquerlüftung, bei dem die Frischluftzufuhr wie bei der reinen Querlüftung, die Abluftabfuhr ähnlich der reinen Längslüftung erfolgt, weist alle Vor- und Nachteile einer Zwischenlösung auf. Die gute Frischluftversorgung wird dadurch beeinträchtigt, dass sich überall die Frischluft gleich mit der Abluft vermischt. Die Bau- und Betriebskosten sind geringer als bei reiner Querlüftung, aber höher als bei reiner Längslüftung. Das bedeutendste Beispiel für diese Lüftungsart ist der 1934 dem Betrieb übergebene 3220 m lange Mersey-Tunnel in Liverpool [7].

Eine Abluft-Halbquerlüftung ist abzulehnen, da der Belüftungseffekt wesentlich ungünstiger ist als im Falle der Zuluft-Halbquerlüftung [8] (S. 13).

Beim Ausbau des Verkehrsnetzes wird häufig mit relativ kurzen, jedoch stark belasteten Strassentunneln zu rechnen sein, die meistens ausschliesslich im Richtungsverkehr befahren werden. Gerade für diese Fälle bietet sich die Längslüftung als einfaches und billiges System an, zumal die natürliche Belüftung durch die Kolbenwirkung

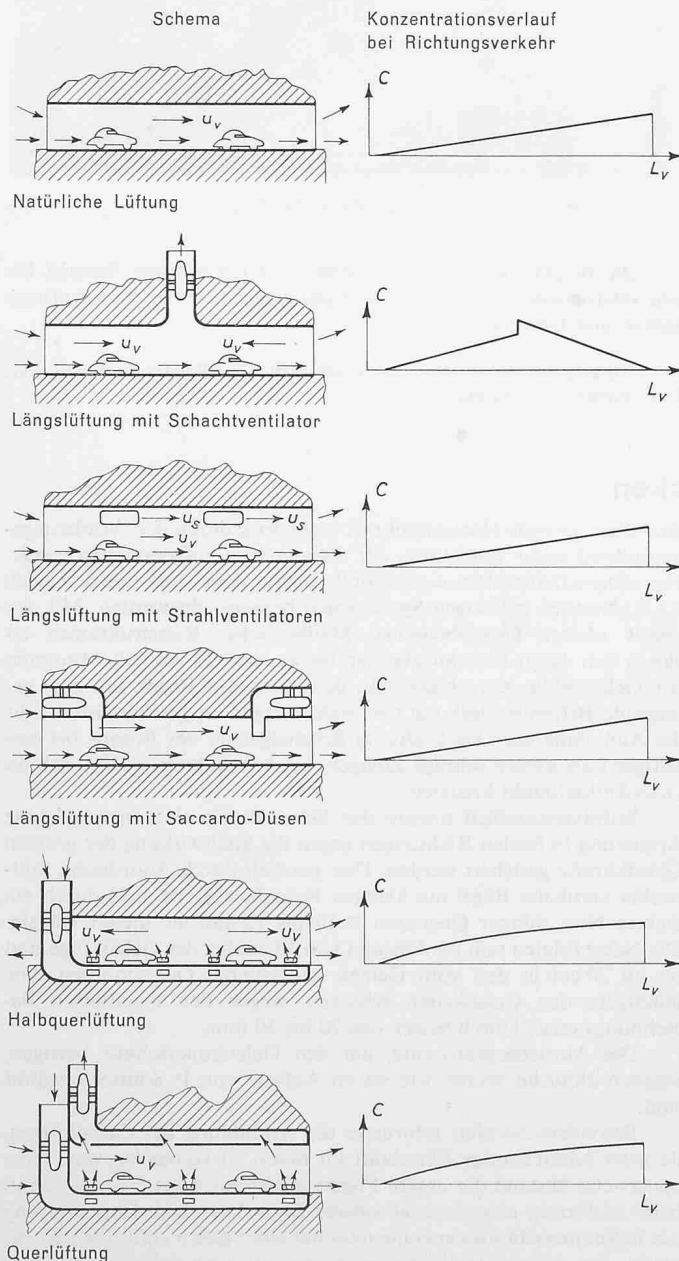


Bild 1. Schematische Übersicht verschiedener ausgeführter Lüftungssysteme bei Kraftfahrzeugtunneln

\*) Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

der Kraftfahrzeuge an sich im Normalfall ausreichen dürfte und die künstliche Belüftung nur in Sonder- und Notfällen einzuschalten ist. Die folgenden Überlegungen beschränken sich daher auf reine Kraftfahrzeugtunnel mit gleichbleibendem Querschnitt der Tunnelröhre, bei denen auf Grund der Gegebenheiten eine Längslüftung ausreicht.

## 2. Die Systeme der Längslüftung

Ausser der rein natürlichen Lüftung durch die Tunnelportale, bei der die Lüftung durch die Kolbenwirkung der Kraftfahrzeuge, eventuell unterstützt durch meteorologisch bedingten Druckunterschied an den Tunnelportalen, bewirkt wird, kann die Lüftung unter Umständen durch einen in der Mitte des Tunnels angeordneten Zugschacht verbessert werden. Allerdings ist diese Lösung bei Richtungsverkehr ungünstig, da der Schacht in einer Tunnelhälfte gegen den vom Verkehr verursachten Luftstrom wirken muss. Der Einbau eines Sauggebläses in den Schacht verbessert die natürliche Lüftung erheblich, jedoch kann der vom Gebläse aufzubringende Unterdruck zur Sicherstellung einer ordentlichen Belüftung auf relativ grosse Mehrleistungen führen [9]. Schliesslich ist es auch noch möglich, an einer oder auch mehreren Stellen des Tunnels hintereinander ausser einem Abluftschacht noch einen Frischluftschacht vorzusehen, so dass die Abluft durch den einen Schacht abgesogen und die Frischluft durch den benachbarten Schacht mit Hilfe eines Gebläses dem Verkehrsraum zugeführt wird. Bei Richtungsverkehr ist eine solche Lösung durchaus möglich, da dabei ein Teil der mit Abgasen angereicherten Luft gegen Frischluft ausgewechselt wird.

Eine weitere Art reiner Längslüftung ist die mit Hilfe von Saccardo-Düsen, wie sie beim Lämmerbuckel-Tunnel (620 m) in Süddeutschland [10] und beim Rendsburgtunnel (640 m) in Norddeutschland ausgeführt wurde. Hierbei wird die Luft an den Tunnelportalen ausserhalb des Verkehrsraumes durch Gebläse angesaugt und der Luftstrahl zur Erzeugung einer künstlichen Luftgeschwindigkeit in den Verkehrsraum gedrückt. Um die Luft immer in der günstigsten Richtung in Bewegung zu halten, sind bei beiden Portalen Gebläse vorzusehen, die je nach Bedarf ein- oder abgeschaltet werden.

Alle genannten Längslüftungssysteme mit künstlicher Belüftung verlangen einen zusätzlichen Bauaufwand. Eine andere Lösung bietet sich dadurch an, dass Strahlgebläse direkt in die Tunnelröhre ausserhalb des Verkehrsraumes gehängt werden, so dass kein zusätzlicher Bauaufwand entsteht. Ein relativ kleiner Teil des gesamten durch den Tunnelquerschnitt streichenden Luftstromes wird von diesem Gebläse angesaugt, mit hoher kinetischer Energie versehen und dann dem Gesamtluftstrom wieder zugeführt. Durch den Impulsaustausch des Treibstrahles mit dem Restluftstrom wird diesem Energie zugeführt und der Luftstrom in Richtung des einen Portals in Bewegung gesetzt. Dabei ist der Ventilator so weit vom Austrittsportal des Tunnels entfernt anzuordnen, dass die gesamte Geschwindigkeitsenergie des Treibstrahles an den Restluftstrom abgegeben werden kann. Zweckmässigerweise wird man zur Erzielung kleiner Ventilatorabmessungen den gesamten erforderlichen Ventilatorquerschnitt auf mehrere Ventilatoren aufteilen, die beispielsweise nebeneinander aufgehängt werden können. Bei Tunneln grösserer Länge kann man zur Impulseinleitung mehrere Ventilatoren hintereinander anordnen, wobei der Abstand der Ventilatoren oder Ventilatorgruppen so zu wählen ist, dass in der dazwischen liegenden Tunnelstrecke eine ausreichende Vermischung des Treibstrahles mit dem Restluftstrom und ein gewisser Ausgleich der Geschwindigkeitsverteilung erfolgen kann. Ausserdem können die Gebläse so ausgebildet werden, dass sie durch Umschalten der Drehrichtung der Antriebsmotoren sowohl in einer als auch in der entgegengesetzten Belüftungsrichtung arbeiten können.

## 3. Die Längslüftung mittels Strahlventilatoren

Die theoretischen Grundlagen für die Längslüftung mit Strahlgebläsen sind bereits veröffentlicht worden [11], [12]. In einer kürzlich erschienenen Arbeit [12] wurde auch eine Näherungslösung zur Berechnung der Druckaufprägung  $\Delta p_{tot}$  durch die Gebläse im Tunnel angegeben, deren Fehler gegenüber der exakten Lösung vernachlässigbar klein ist. Diese Vernachlässigung ist um so mehr noch dadurch gerechtfertigt, als die Vorausberechnung der erforderlichen Frischluftmengen und der auftretenden Druckverluste mit wesentlich grösseren Ungenauigkeiten und Unsicherheiten behaftet ist.

Man gelangt zur gleichen Näherungslösung, wenn man von der einfachen Strahltheorie [13] ausgeht, wobei hier vorausgesetzt wird, dass die infolge der endlichen Ausdehnung des Tunnelquerschnittes auftretenden Druck- und Geschwindigkeitsänderungen ausserhalb des Strahles vernachlässigbar seien. Diese Vernachlässigung ist in erster Näherung berechtigt, da die Strahlquerschnittsfläche  $F_s$  allein schon

aus Platzgründen sehr viel kleiner sein muss als der Verkehrsraumquerschnitt  $F_v$  und auch der sekundliche Förderstrom des Gebläses  $V_s$  sehr viel kleiner ist als der durch den Verkehrsraum streichende Luftstrom  $V_v$ . Für den von einem Propeller erzeugten Schub  $S$  ergibt sich dann

$$(1) \quad S = \rho \cdot V_s \cdot (u_s - u_v)$$

wenn mit  $\rho$  die Dichte des strömenden Mediums, mit  $u_s$  die Strahlgeschwindigkeit hinter dem Gebläse und mit  $u_v$  die mittlere Durchflussgeschwindigkeit des durch die Tunnelröhre von der Querschnittsfläche  $F_v$  pro Zeiteinheit streichenden Volumenstromes  $V_v$  bezeichnet wird. Der vom Gebläse erzeugte Schub  $S$  ist gleich der Druckaufprägung  $\Delta p_{tot}$  multipliziert mit der Querschnittsfläche  $F_v$ .

Für die beim Durchströmen der Tunnelröhre auftretenden Druckverluste  $\Delta p_v$  kann man allgemein ansetzen

$$(2) \quad \Delta p_v = \sum_{(n)} \zeta_n \cdot \frac{\rho}{2} u_v^2$$

woraus sich mit

$$(3) \quad W_v = \Delta p_v \cdot F_v$$

die Widerstandskraft zu

$$(4) \quad W_v = \sum_{(n)} \zeta_n \cdot \frac{\rho}{2} u_v^2 \cdot F_v$$

ergibt.

Für die Berechnung der beim Durchströmen der Tunnelröhre auftretenden Druckverluste ist die Wahl der Verlustbeiwerte  $\zeta_n$  ausschlaggebend.

Beim Eintritt der Luft in das Tunnelportal tritt ein Druckverlust auf, der durch Ablösungen an den mehr oder weniger scharfen Kanten des Tunnelportals verursacht wird. Als Verlustbeiwert kann hier  $\zeta_E = 0,3$  bis  $0,6$  eingesetzt werden [1] (S. 97), [8] (S. 25) und [14] (S. 787), wobei die kleineren Werte für gut abgerundete, die grösseren für scharfkantige Tunnelportale gelten. Falls nähere Angaben fehlen, wird man bei der Vorausberechnung  $\zeta_E = 0,5$  wählen. Der Druckverlustbeiwert für den Austritt beträgt  $\zeta_A = 1,0$ . Die Reibungsverluste in der Tunnelröhre lassen sich mit Hilfe der Rohrreibungsformel bestimmen, wobei der Verlustbeiwert  $\zeta_R$  zu

$$(5) \quad \zeta_R = \lambda \cdot \frac{L_v}{D_v}$$

angesetzt werden kann ( $L_v$ -Tunnellänge). Der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  kann bei Tunnellüftungen zu  $0,02$  bis  $0,03$  angenommen werden. Als guter Näherungswert im Mittel gilt  $\lambda = 0,024$  [1] (S. 96). Bei den im Falle der Tunnellüftung vorliegenden Kanaldurchmessern und Luftgeschwindigkeiten ist der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  vor allem von der relativen Wandrauhigkeit abhängig. Der Einfluss der Reynolds-Zahl kann praktisch vernachlässigt werden. Der hydraulische Durchmesser  $D_v$  wird definiert als

$$(6) \quad D_v = 4 F_v / U_v$$

wobei  $F_v$  die Querschnittsfläche und  $U_v$  den benetzten Umfang des Verkehrsraumes bedeuten.

Im Tunnel befindliche Kraftfahrzeuge können die Lüftungswirkung entsprechend ihrer Anzahl  $z_F$ , ihrer Querschnittsfläche  $F_F$ , ihres Widerstandsbeiwertes  $\zeta_{wF}$  und ihrer Fahrgeschwindigkeit  $v_F$  unterstützen oder sie behindern. Der Widerstand eines Fahrzeuges beträgt

$$(7) \quad W_F = \zeta_{wF} \cdot \frac{\rho}{2} (v_F \mp u_v)^2 F_F \cdot f_F$$

wobei  $f_F$  einen Faktor bedeutet, der die Erhöhung der Widerstandsbeiwerte der Kraftfahrzeuge im Tunnel berücksichtigt. Die «mittlere Widerstandsfläche»  $\zeta_{wF} \cdot F_F$  kann für die Fahrt im Freien bei Personewagen zu  $1 \text{ m}^2$  und bei Lastwagen zu  $3,3 \text{ m}^2$  angenommen werden [1] (S. 97). Bei der Fahrt im Tunnel ändern sich jedoch infolge der endlichen Begrenzung der Umgebung die Umströmungsgeschwindigkeiten am Wagen und führen zu grösseren Reibungs- und Druckwiderständen. Nach Messungen kann für das bei Personewagen im allgemeinen vorhandene Flächenverhältnis  $F_F/F_v = 0,05$  die relative Widerstandserhöhung zu rund  $10\%$  angenommen werden, d.h.  $f_F(PW) = 1,1$  [8] (S. 21 und 22). Für Lastwagen ist der Zuschlagfaktor mit  $f_F(LW) = 1,5$  einzusetzen [1] (S. 97). Da der Fahrzeugabstand bei normaler Fahrgeschwindigkeit im allgemeinen grösser als zwei bis drei Wagenlängen ist, tritt auch keine messbare Reduktion des Widerstandsbeiwertes  $\zeta_{wF}$  ein, wie Messungen gezeigt haben [8] (S. 24) und [15].

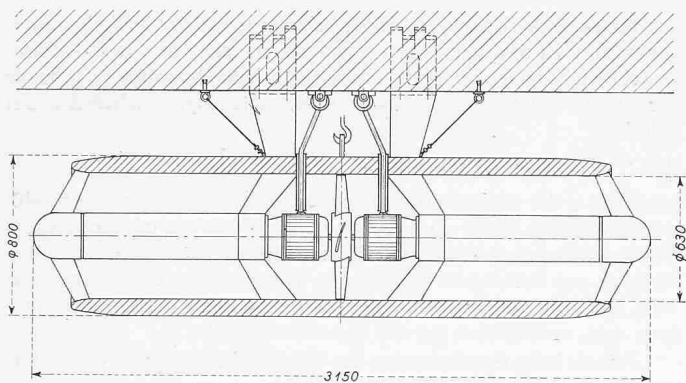


Bild 2. Längsschnitt und Ansicht eines Strahlventilators, 1:40

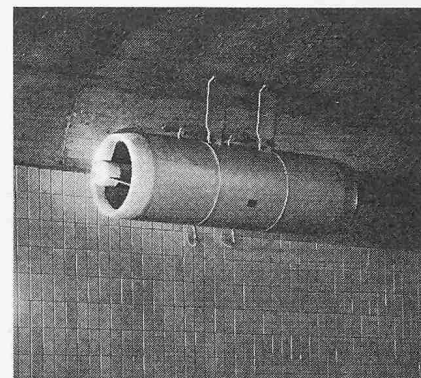
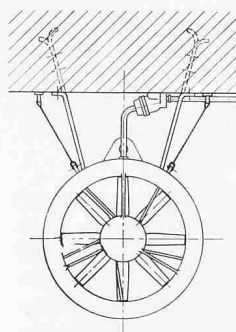


Bild 3. Im Tunnel eingehängter Strahlventilator

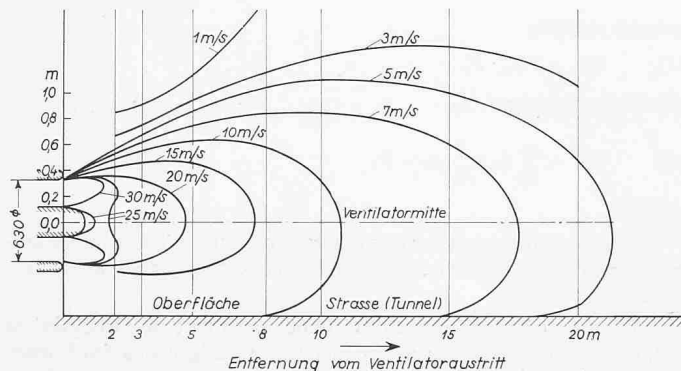


Bild 4. Gemessene Geschwindigkeitsverteilung hinter einem Strahlventilator

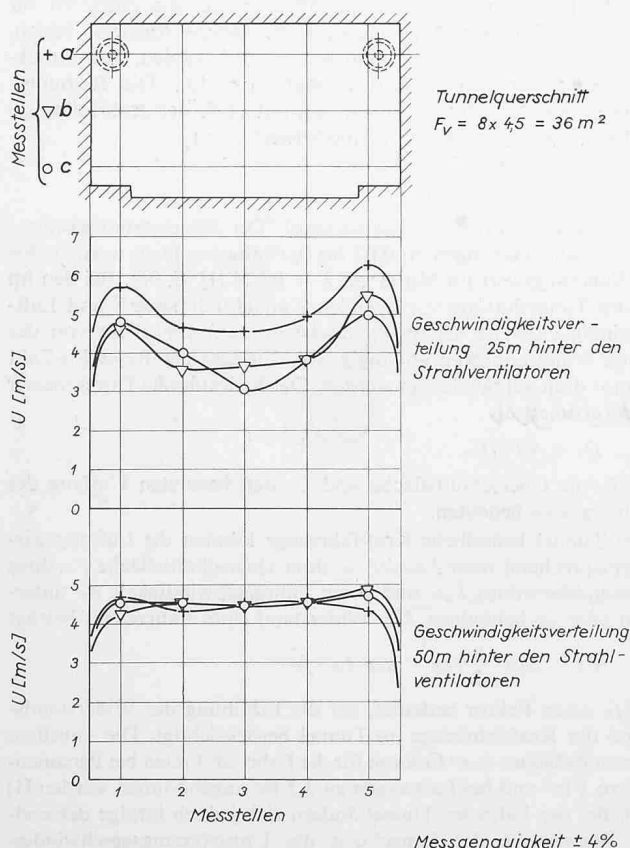


Bild 5. Gemessene Geschwindigkeitsverteilung in einem mit Strahlventilatoren ausgerüsteten Strassentunnel

Windeinflüsse können die Tunnellüftung unterstützen oder ihr entgegenwirken. Bezeichnet man die Windkomponente, die senkrecht auf einem Tunnelportal steht, mit  $u_w$ , so erhält man für die auf das Tunnelportal wirkende Windkraft

$$(8) \quad W_w = \frac{\rho}{2} \cdot u_w^2 \cdot F_v$$

Von der Berücksichtigung der Kaminwirkung durch einen Höhenunterschied der Tunnelportale und Temperaturunterschieden zwischen Tunnelluft und Aussentemperatur wird man bei der Berechnung in den allermeisten Fällen schon wegen der Kürze der in Betracht kommenden Tunnel absehen können.

Es werde nun ein Kraftfahrzeugtunnel konstanter Querschnittsfläche  $F_v$  und gegebener Tunnellänge  $L_v$  betrachtet, für den die erforderliche Frischluftmenge  $V_v$  auf Grund der geschätzten Verkehrsbelastung und der zugelassenen Abgaskonzentration etwa nach den Unterlagen des Expertenberichtes für Tunnellüftung [1] berechnet worden ist. In diesen Tunnel sollen eine Anzahl  $z$  Strahlventilatoren in einem solchen Abstand voneinander eingehängt werden, dass die Anblasgeschwindigkeit für jeden Strahlventilator gleich  $u_v$  ist. Auf die Tunnelröhre werde nun der Impulssatz

$$(9) \quad \sum \mathcal{K}_i = \rho V_v (u_{v2} - u_{v1})$$

angewendet. Da die Ein- und Austrittsgeschwindigkeiten  $u_{v1}$  bzw.  $u_{v2}$  aus der Tunnelröhre infolge der Annahme gleichen Tunnelquerschnittes gleich gross sein müssen, ergibt sich, dass die Summe aller äusseren auf den Luftstrom wirkenden Kräfte  $\sum \mathcal{K}_i$  gleich 0 sein muss. Wird die Lüftungsrichtung als positive Richtung eingeführt, so erhält man

$$(10) \quad z \cdot S - W_v \pm W_w \pm \sum W_F = 0$$

oder die Gleichungen (1), (4), (7), (8) in Gleichung (10) eingesetzt, ergibt

$$(11) \quad z \cdot \rho \cdot V_s (u_s - u_v) - \sum \zeta_n \frac{\rho}{2} u_v^2 F_v \pm \frac{\rho}{2} u_w^2 F_v \pm \sum \zeta_{wF} \frac{\rho}{2} (v_F \mp u_v)^2 F_F f_F = 0$$

Durch Kürzung und Umstellung erhält man schliesslich

$$(12) \quad 2 \cdot z \cdot \frac{F_s}{F_v} \cdot u_s (u_s - u_v) - \sum \zeta_n u_v^2 \pm u_w^2 \pm \sum \zeta_{wF} f_F \frac{F_F}{F_v} (v_F \mp u_v)^2 = 0$$

Ist ein Gebläse von gegebener Querschnittsfläche  $F_s$  und gegebener Strahlgeschwindigkeit  $u_s$  ausgewählt, so lässt sich auf Grund der Gleichung (12) die Anzahl der erforderlichen Strahlventilatoren bei den verschiedenen vorgegebenen Verkehrsbedingungen ermitteln.

#### 4. Die Strahlventilatoren

Für die Zwecke der Längslüftung mit Strahlventilatoren sind besondere Gebläse entwickelt worden. In ihrer einfachsten Form enthalten sie ein einziges Lüfterrad, das für beide Blasrichtungen durch Umkehr der Drehrichtung des Antriebsmotors gleich gut geeignet ist. Ein solcher Strahlventilator ist in Bild 2 im Schnitt und in Bild 3 in eingebautem Zustand in einem Strassentunnel dargestellt. Um die Strahlventilatoren in ihren Abmessungen klein zu halten, sind auch noch Sonderausführungen mit zwei gegenläufigen Rädern entwickelt worden, wobei je nach Bedarf die Einstellung der Laufräder so erfolgen kann, dass die Strahlgeschwindigkeit in der Hauptblasrichtung grösser ist, als in der nur in Notfällen vorkommenden entgegengesetzten Richtung.

Für die Wahl des Abstandes bei Anordnung mehrerer Strahlventilatoren in einem längsbelüfteten Tunnel hintereinander ist die Kenntnis der Geschwindigkeitsverteilung im Strahl erforderlich. In Bild 4 ist diese Verteilung in Abhängigkeit von der Entfernung vom Austrittsquerschnitt für einen Strahlventilator von 630 mm  $\varnothing$  auf-

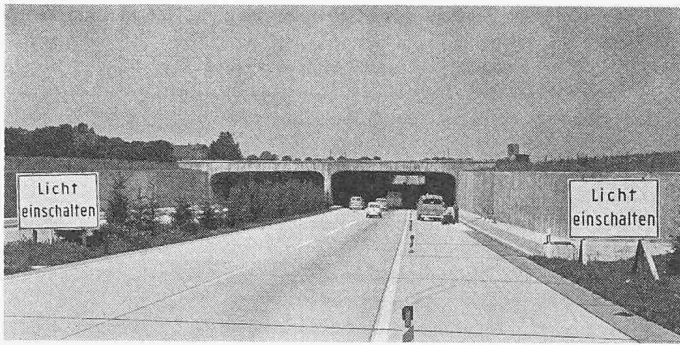


Bild 6. Ansicht der Flugplatz-Unterführung München—Neubiberg (Autobahn München—Salzburg)

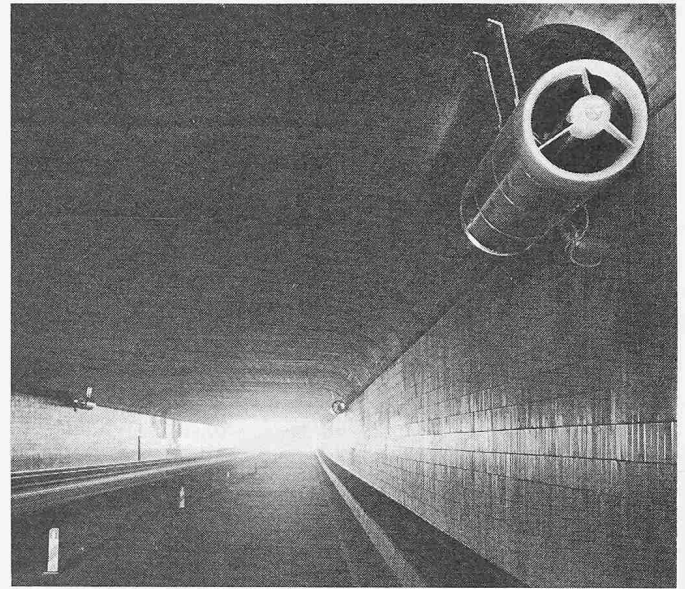


Bild 7. Anordnung der Strahlventilatoren in der Flugplatz-Unterführung München—Neubiberg

getragen. Der Impulsaustausch bei diesen Ventilatoren hat sich nach etwa 50 m vollzogen, d. h. in einem solchen Abstand könnte ein weiterer Strahlventilator angeordnet werden. Dies bestätigen Messungen von Geschwindigkeitsverteilungen im Strassentunnel unter dem Salzburger Flugplatz (Bild 5). Dieser Tunnel weist zwei Röhren mit Richtungsverkehr und je zwei Fahrspuren auf. Die Tunnellänge beträgt 373 m (Baujahr 1960). In jeder Röhre sind vier Strahlventilatoren angeordnet [16].

### 5. Ausführungen

Verschiedene Strassentunnel in Venezuela, Österreich und Deutschland sind mit Strahlventilatoren zur Belüftung ausgerüstet und anstandslos im Betrieb. Die Bilder 6 und 7 zeigen die Flugplatz-Unterführung München-Neubiberg der Autobahn München-Salzburg mit vier eingebauten Strahlventilatoren von 630 mm Durchmesser je Tunnelröhre. Es handelt sich hierbei um einen 1961 gebauten Tunnel mit zwei Röhren, die im Richtungsverkehr mit je drei Fahrspuren befahren werden. Die Tunnellänge beträgt 327 m.

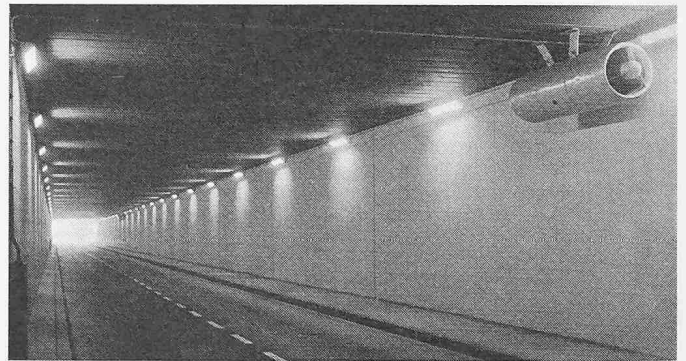


Bild 8. Flugplatz-Unterführung Stuttgart—Echterdingen, Strahlventilatoren einseitig angeordnet

Als weiteres Beispiel sei der Strassentunnel unter der Startbahn des Flugplatzes Stuttgart-Echterdingen, der im Jahre 1961 fertiggestellt wurde, erwähnt. Er ist als eine Röhre mit Gegenverkehr und einer Fahrspur je Richtung ausgeführt. Die Tunnellänge beträgt 383 m. Eingebaut sind drei Strahlventilatoren von 630 mm  $\varnothing$ , die auf einer Seite hintereinander angeordnet sind (Bild 8).

In Caracas, Venezuela, ist ein Strassentunnel von 735 m Länge (Bild 9) mit zwei Röhren und Richtungsverkehr auf je zwei Fahrspuren mit Strahlventilatoren ausgerüstet. Auf Grund der Gegebenheiten erhielt die Bergröhre 27 Strahlventilatoren (Bild 11), die in neun Gruppen von je drei Ventilatoren zusammengefasst sind, und die Talröhre nur sechs Strahlventilatoren (Bild 10).

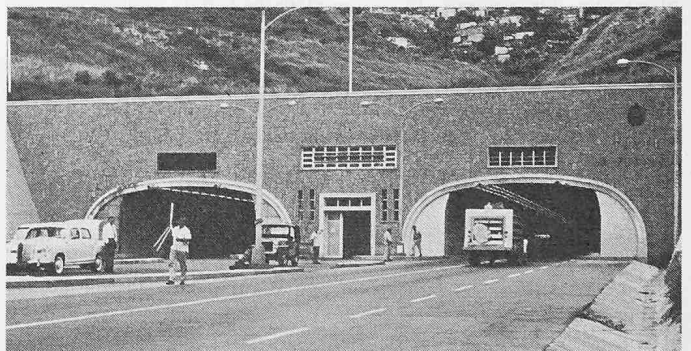


Bild 9. Tunneleinfahrt des Strassentunnels La Planicie, Venezuela

Die beiden im Richtungsverkehr befahrenen Röhren mit je zwei Fahrspuren im Deichtorplatz-Tunnel der Freien und Hansestadt Hamburg erhielten kleine Strahlventilatoren von 500 mm  $\varnothing$ . Dabei wurden je drei Ventilatoren in eine Deckennische ausserhalb des Tunnelquerschnittes eingebaut (Bild 12).

Die Bilder veranschaulichen besonders den geringen Platzbedarf derartiger Belüftungsanlagen. Sie zeigen auch, dass es in den meisten Fällen möglich sein dürfte, in bestehenden Tunneln mit natürlicher Lüftung durch nachträglichen Einbau von Strahlventilatoren die Luftverhältnisse ohne Bauaufwand zu verbessern, falls dies aus verkehrstechnischen Gründen erforderlich wird.

Bild 10. Eingehängte Strahlventilatoren im Tunnel La Planicie (Talröhre)

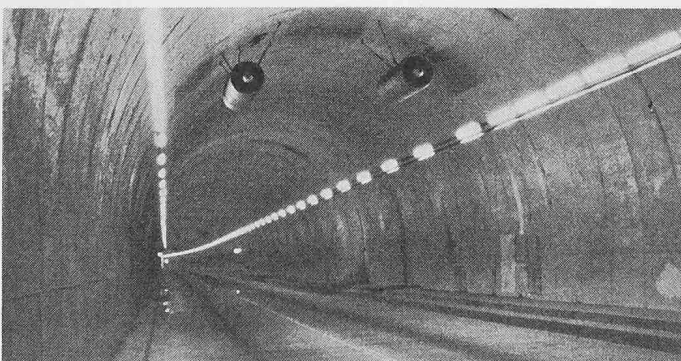
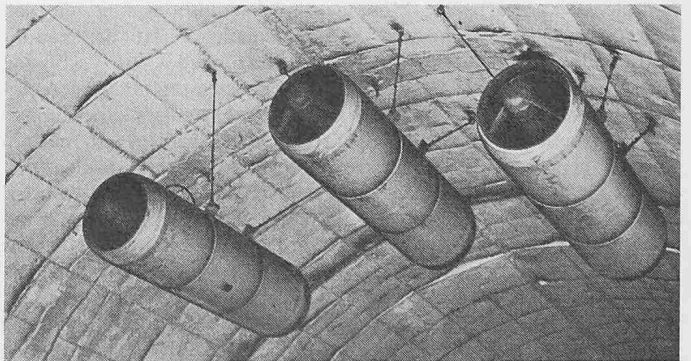


Bild 11. Eingehängte Strahlventilatorengruppe im Tunnel La Planicie (Bergröhre)



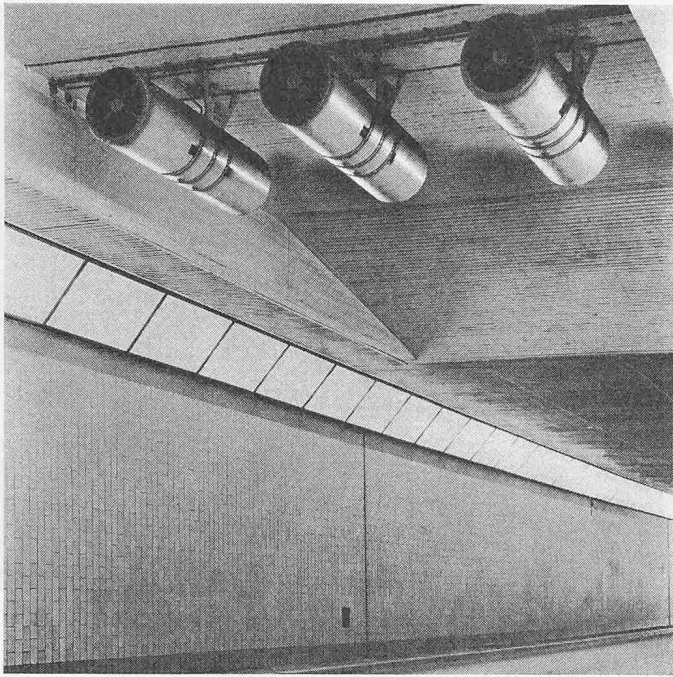


Bild 12. Strahlventilatorengruppe, angeordnet in einer Deckennische im Tunnel Deichtorplatz

#### Literaturverzeichnis

- [1] Ackeret, J., Haerter, A., Stahel, M.: Die Lüftung der Autotunnel, Bericht der Expertenkommission für Tunnellüftung an das Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, veröffentlicht als Mitteilung Nr. 10 aus dem Institut für Strassenbau an der ETH Zürich 1961.

- [2] Singstad, O.: Ventilation of Vehicular Tunnels, World Engineering Congress, Tokyo 1929.
- [3] Fieldner, Yandell, Henderson, Paul, Sayers and others: Ventilation of Vehicular Tunnels; Report of US. Bureau of Mines, New York 1927.
- [4] Fieldner, C.: Natural Ventilation of the Liberty-Tunnel, «Eng. News Rec.», New York, Bd. 93 (1924).
- [5] Buffévent, M.: Le Tunnel de St-Cloud, «Annales des Ponts et Chaussées», Paris, Bd. 111 (1941).
- [6] Buffévent, M.: Le Tunnel Routier de St-Cloud, «Travaux», Paris, Nr. 288, Okt. 1958.
- [7] Anderson, D.: The construction of the Mersey-Tunnel. «Journ. of the Institution of Civil Engin.», London, Nr. 6, 1935/1936.
- [8] Haerter, A.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Lüftungsanlagen von Strassentunneln. Diss. ETH Zürich 1961.
- [9] Barth, W., Klein, R., Raab, F.: Entlüftung von Tunneln und Stollen durch Schacht- und Längsgebläse, «Eisenbahntechn. Rundschau» (1953) Heft 8/9.
- [10] Barth, W., Klein, R., Raab, F.: Eine neuartige Lüftungsanlage im Lämmerbuckel-Tunnel, «Der Bauing.», Bd. 33 (1958), S. 469/71.
- [11] Wieghardt, K.: Belüftungsprobleme in U-Bahn- und Autotunneln, «Schiffstechnik» 9 (1962) S. 209/16.
- [12] Meidinger, U.: Längslüftung von Autotunneln mit Strahlgebläsen, «Schweizerische Bauzeitung» 82 (1964) S. 498/501.
- [13] Rankine: «Trans. Instn. naval Archit.» Bd. 6 (1865) S. 13. Froude: Ebenda Bd. 30 (1884) S. 390.
- [14] Highway Capacity Manual, US. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, United States Government Printing Office, Washington 1950. Deutsche Übersetzung: Leistungsfähigkeit der Strassen, Forschungsgesellschaft für Strassenwesen e.V. Köln 1956.
- [15] Wieghardt, K.: Messungen über Fahrzeugwiderstände in Tunneln, mitgeteilt an das Comité des Tunnels Routiers, Exposé et Observations sur la Documentation recueillie dans les Pays suivants: Belgique, France, Grand-Bretagne, Italie, Pays-Bas, Suisse. Lyon, August 1959.
- [16] Heinrich, M.: Der Strassentunnel Flughafen Salzburg, «Österreichische Ingenieur-Zeitschrift» 4 (1961) S. 217/23.

## Das Fertigbau-System «Tersons»

DK 69.002.22

Die Firma Tersons Ltd., eine führende Baufirma in England, hat in mehrjähriger Entwicklungsarbeit ein Grosstafel-Fertigbausystem entwickelt. Besonderen Anklang hat diese Bauweise bei den Londoner Baubehörden gefunden, die zur Zeit ein umfangreiches Wohnungsbauprogramm durchführen. In Zusammenarbeit mit Architekten und Ingenieuren wurde ein Fertigungs-Modus gefunden, der z.B. die Bauzeit für einen 20stöckigen Wohnblock auf ein Drittel der normalen Bauzeit in konventioneller Bauweise gesenkt hat. Nach Fertigstellung der Fundamente wurde für diesen Wohnblock eine Bauzeit von nur 25 Wochen benötigt. Dabei konnten die Baukosten erheblich gesenkt werden.

#### Die Fertigungsanlage

Entgegen der weitverbreiteten Auffassung, eine industrialisierte Fertigung könne nur in einer stationären Fabrik erfolgen, hat Tersons Ltd. die Produktion der Bauelemente auf die Baustelle verlegt. In einer mobilen Fertigungsanlage, einer sogenannten Feldfabrik, werden alle Bauelemente direkt auf der Baustelle hergestellt und dadurch höhere Investitionskosten für zusätzlichen Transport und Maschinenpark sowie andere Kosten vermieden. Fenster, Türen, Trennwände, Badezimmer- und Kücheneinheiten, Installationseinsätze für Versorgungsschächte sowie deren Verkleidungen werden auf die Baustelle geliefert und dort eingebaut.

Genau ausgearbeitete Montage- und Produktionspläne, die den Einsatz und die Bewegung der Maschinen und den Verlauf der Produktion regeln, sowie durch rationelle Ausnützung des zur Verfügung stehenden Baugeländes können auch knapp bemessene Bauzeiten eingehalten werden. Den jeweiligen Erfordernissen entsprechen mobile Fertigungsanlagen, die von modernsten Betonieranlagen, fahrbaren Giessformen und Härteöfen bis zur einfachen Feldfabrik reichen und ohne allzu grosse Investitionskosten erstellt werden können. Während bisher einfache Giessformen für einmalige Verwendung an einer bestimmten Baustelle verwendet wurden, sind neuerdings universale Giessformen entwickelt worden, die für mannigfaltige Produktionsaufgaben verwendet werden und von Baustelle zu Baustelle erneut zur Anwendung gelangen. In allen Fällen gewähren die Giessformen eine massgenaue Produktion der Elemente. Auf einer Grossbaustelle wird

man die Produktionsanlage zweckmässig in die Mitte der zu errichtenden Bauten legen, um Arbeits- und Transportwege möglichst klein zu halten. Bei kleineren Baustellen ist es möglich, die Montage- und Produktionsbewegungen mit einem Kran auszuführen, wenn die Fertigungsanlage mit dem dazu gehörigen Lagerplatz für die Elemente direkt neben dem zu errichtenden Bauwerk aufgestellt werden kann.

#### Deckenelemente

Für alle Deckenelemente wird an den unterstützten Rändern gelenkige Lagerung vorausgesetzt. Je nach Anordnung der tragenden Wandelemente werden die Platten als zweiseitig, dreiseitig oder vierseitig gelagerte Platten ausgebildet. Die bei der Montage auftretenden Beanspruchungen können für die Bemessung massgebend sein. Vier bis sechs Montageschlaufen, je nach Grösse der Platten am äusseren Umfang angeordnet, erfüllen nicht nur ihren Zweck während der Montage, sondern dienen gleichzeitig für die notwendige Verbindung der Platten untereinander. Sie sind in schwalbenschwanzförmigen Aussparungen eingelassen, die nach dem Ausrichten mit Ortbeton ausgegossen werden. Eine umlaufende Nut an den Stirnflächen der Deckenelemente bildet mit dem jeweilig benachbart anliegenden Deckenelement einen Montagestoss, der nach dem Ausrichten vergossen wird. Für die statische Berechnung wird gelenkige Verbindung zwischen den Platten zu Grunde gelegt. Alle Deckenelemente werden in horizontalen Giessformen hergestellt.

#### Wandelemente

Die tragenden Wandelemente sind derart bemessen, dass alle vertikalen Lasten durch die Betondruckspannungen aufgenommen werden. Für den Montagezustand ist es jedoch unerlässlich, eine leichte Mattenbewehrung anzuordnen. Für vorgesehene Tür- und Fensterausparungen in diesen Elementen ist eine weitere Bewehrung notwendig. Statisch gesehen sind alle Wandplatten zumindest als zweiseitig gehalten anzusehen. Durch entsprechende Querschnittsausbildung der vertikalen Stossfugen wird ein gegenseitiges Halten der Wandelemente untereinander erreicht. Ebenso sind in diesen Stossfugen gegeneinander versetzte Schlaufen angeordnet, in die ein vertikal stehendes Bewehrungsseisen vor dem Verguss der Fuge eingeführt wird.