

Zur Frage der Lüftung langer Autotunnel

Autor(en): **Andreae, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **111/112 (1938)**

Heft 18

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-49847>

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.

oder vernichten sich gegenseitig, je nach Vorzeichen, d. h. je nach der Bewegungsrichtung, die sie der Luft erteilen, und nach der Grösse. Es sind dies

1. Der Unterschied der Lufttemperatur innerhalb und ausserhalb des Tunnels. Die dadurch hervorgerufene Druckhöhe ist

$$h_t = \gamma H \frac{\alpha (t_1 - t_2)}{1 + \alpha t_1} \text{ mm W. S., wobei } \gamma = \text{sp. Gew. der Luft}$$

in kg/m³, H = Höhenunterschied der beiden Portale (wenn ein Schacht vorhanden, Höhenunterschied zwischen Schachtmund und Portalebene), t₁ = Temperatur der Luft im Tunnel (bzw. Schacht),

$$t_2 = \text{Lufttemperatur ausserhalb des Tunnels, } \alpha = \frac{1}{273}$$

2. Der Unterschied des barometrischen Druckes, auf gleiche Höhe reduziert, an beiden Portalen (bezw. Schachtmündung). Die dadurch hervorgerufene Druckhöhe in mm W. S. ist h_b = ζ Δb, wobei ζ = sp. Gew. des Quecksilbers (13,6), Δb = Differenz des barometrischen Ueberdruckes.

3. Der Winddruck auf ein Portal. Die dadurch hervorgerufene Druckhöhe ist

$$h_w = \frac{\gamma w^2}{2g} \sin^2 \alpha \text{ (Abb. 1), wobei}$$

w = Windgeschwindigkeit.

Die gesamte statische Druckhöhe, die den natürlichen Luftzug beherrscht und veranlasst, ist:

$$h_n = \pm h_t \pm h_b \pm h_w \text{ mm W. S.}$$

h_n erteilt der Tunnelnluft eine Geschwindigkeit, der die Reibung zwischen Luft und Tunnelverkleidung entgegenwirkt. Die Geschwindigkeit des natürlichen Luftzuges wird dabei

$$v_n = \sqrt{\frac{2g h_n}{\gamma \left(1 + \frac{\lambda U L}{4F}\right)}}$$

wobei λ = Reibungsziffer = 0,026⁶⁾, U = Umfang des lichten Tunnelquerschnittes in m, F = Fläche des Tunnelquerschnittes in m², L = Länge des Tunnels in m.

Ist ein Schacht vorhanden, so lässt sich die Rechnung auf einfache Weise auf diesen Fall übertragen, wie dies schon in «SBZ», Bd. 110, No. 3 angedeutet wurde. Wenn die Tunnelschenkel ungleich lang sind, und ihre Portale nicht auf gleicher Höhe liegen, so ergibt sich in beiden Schenkeln ein ungleicher Luftzug. Die Luftbewegung wird, wie die Erfahrung im Hauensteinbasistunnel lehrt, unsicher, wenn der Schacht nicht im Kulminationspunkt des Tunnels liegt.

Der projektierende Ingenieur muss sich über die mutmassliche Grösse des natürlichen Luftzuges Rechenschaft geben, da sie die künstliche Lüftung beeinflussen kann. Aber er wird sich darauf beschränken müssen, die möglichen Maxima und Minima zu bestimmen, zwischen denen er sich möglicherweise bewegen kann. Auf bestimmte Werte des natürlichen Luftzuges für die Lüftung selbst zu rechnen und abzustellen, hat sich bei langen Tunneln, in denen Verbrennungsgase entwickelt werden, in der Praxis noch stets als ein Irrtum erwiesen (Ricken!). Die Kräfte, die ihn bestimmen, sind raschen Wechseln unterworfen. Der Temperaturunterschied, der besonders bei Schachtlüftung eine grosse Rolle spielt, wechselt mit der Jahres- und sogar Tageszeit. Er ist auch im Zeitpunkt der Projektierung kaum genau zu berechnen, da die Innentemperatur schwierig vorzubestimmen ist. Für den Bau eines langen, besonders eines tiefliegenden Gebirgstunnels muss die zu erwartende Gesteinstemperatur möglichst genau vorausbestimmt werden. Dies ist nach den Erfahrungen beim Bau der grossen Alpendurchstiche und den darauf basierenden Untersuchungen bei bekannten geologischen Verhältnissen heute mit grösserer Genauigkeit möglich als früher. Es besteht darüber eine umfangreiche Literatur⁷⁾. Die massgebende Innentemperatur während des Betriebes wird aber nicht gleich der berechneten und in Wirklichkeit vorgefundenen Gesteinstemperatur sein; denn nach dem Auffahren kühlt sich das Gestein ab (siehe Tabelle 3).

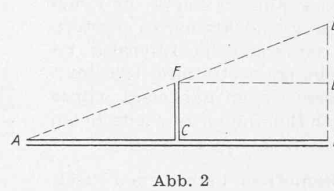
In der Mitte des Simplontunnels, wo die Gesteinstemperatur beim Bau 55° C erreichte, schwankt heute die Lufttemperatur zwischen 26 und 27° C. Die kalte Luft nimmt dort erst ziemlich tief im Innern die Gesteinstemperatur an, und Frostwirkung ist auf der Nordseite (also auf der Eintrittseite der Ventilationsluft) bei einer Luftgeschwindigkeit von 2 bis 3 m/s bis in den

⁶⁾ Vgl. E. Wiesmann, Künstliche Lüftung im Stollen- und Tunnelbau. Rascher & Co., Zürich 1919, sowie K. Sutter, Untersuchungen über den Luftwiderstand (Diss. E. T. H.). R. Oldenbourg, München und Berlin 1930. Auch: Studio sulla ventilazione artificiale della galleria del Gottardo, Ancona 1899.

⁷⁾ Vgl. C. Andrae, Der Bau langer, tiefliegender Gebirgstunnel, Berlin 1926, Julius Springer, und die dort angegebene Literatur.

zweiten Km (gelegentlich sogar darüber hinaus) fühlbar. Die Vorausbestimmung der künftigen Innentemperatur eines langen projektierten Tunnels und des durch sie erzeugten, natürlichen Luftzuges ist daher eine recht prekäre Sache.

Was den natürlichen Luftzug infolge barometrischen Ueberdruckes anbelangt, ist zu beachten, dass er sich infolge des Druckgefälles, auch bei Vorhandensein eines Schachtes, auf der ganzen Tunnellänge in der gleichen Richtung bewegt. Herrscht z. B. am Portal B (Abb. 2) ein barometrischer Ueberdruck gegenüber den Portal A von Δb = BE, so bewirkt DE im Schenkel BC einen Luftzug von B nach C. Der Ueberdruck CF am Schacht gegenüber Portal A erzeugt einen Zug in CA von der gleichen Richtung von C nach A. Ist aber gleichzeitig der Unterschied zwischen Aussen- und Innentemperatur so gross, dass er im Schacht einen positiven oder negativen Auftrieb erzeugt, so wird der dadurch erzeugte Luftstrom in den beiden Tunnelschenkeln entgegengesetzte Richtung haben. Im einen Schenkel verstärken sich also die beiden Luftzüge, im andern aber wirken sie einander entgegen. Dadurch wird die natürliche Lüftung in beiden Schenkeln sehr ungleich.



Auch der Winddruck kann störend wirken. Beim Liberty Tunnel in Amerika z. B. mussten deswegen an den Portalen Windabschirmungen gebaut werden.

Dazu kommt noch der durch den Verkehr erzeugte Luftstrom, der bei dichtem Verkehr von Bedeutung sein kann. Die aerodynamischen Vorgänge sind grundsätzlich die gleichen, ob ein Eisenbahnzug oder eine dichte Folge von Motorfahrzeugen durch einen Tunnel fahren; der Unterschied ist nur quantitativer Art. Inwiefern die bei der Eisenbahn gefundenen Werte auf das Automobil übertragbar sind, darüber fehlen allerdings systematische Untersuchungen, die, wenn einmal mit dem Bau von Auto-Tunneln Ernst gemacht wird, vorerst durchgeführt werden sollten. Ich denke dabei an Modellversuche im aerodynamischen Laboratorium der E. T. H., sowie, parallel dazu, Versuche «in Natura» in einem bestehenden Strassentunnel (z. B. Ulmbergertunnel in Zürich). Aber es liegt eine praktische Erfahrung vor, die darüber ein Bild gibt. Der 1790 m lange Libertytunnel in Pittsburg besteht aus zwei parallelen Röhren, eine für jede Fahrriichtung. Der lichte Querschnitt jeder Röhre ist 43,5 m². Dieser Tunnel hatte anfänglich keine natürliche Lüftung, und es wird berichtet⁸⁾, dass zu einer Zeit, wo bei leerem Tunnel in beiden Tunneln ein gleichgerichteter, natürlicher Luftzug von 1 m/s herrschte, während des Verkehrs die Luftgeschwindigkeit in der Röhre, in der in der Richtung des natürlichen Luftzuges gefahren wurde, auf 4 bis 5 m/s anstieg, während sie in der andern ebenfalls in der Fahrriichtung, 3 bis 4 m/s betrug. Die durch den Verkehr erzeugte Geschwindigkeit war also massgebend, sie wurde durch den natürlichen Zug im einen Tunnel nur verstärkt, im andern vermindert. Es fuhren allerdings damals etwa 900 Wagen pro Stunde mit einer Geschwindigkeit von 48 bis 64 km/h durch den Tunnel; es herrschte also ein sehr intensiver Verkehr. Aber gerade ein weniger intensiver Verkehr, bei dem der Luftzug nicht umgekehrt, sondern nur verlangsamt oder stillgelegt würde, wäre am gefährlichsten. Diese Angaben sind zwar zu unbestimmt und

⁸⁾ «Die Bautechnik», 1924, S. 584.

Tabelle 3.

Gotthardtunnel			Lötschbergertunnel		
Km	Gesteinstemperatur in °C		Km	Gesteinstemperatur in °C	
	ursprünglich	Juni 1899		ursprünglich	nach Vollendung des Tunnels
Nord			Nord		
2	19,5	13	1	8,5	7
4	20,5	15,5	3	16	12,2
6	28,3	19	5	16,2	14,3
7,2	30,7	20	7	27,4	22,7
			7,5	30,1	22,5
Süd			Süd		
7	30,6	20,8	7	30,1	22,5
6	30,4	21,2	6	34	23
4	26,5	22	5	32	24,5
2	21	20,3	3	26	22,2
			1	17	13,5

zu spärlich um eine genaue und zuverlässige Rechnung darauf basieren zu können. Aber eine rohe, überschlägige Rechnung wird zeigen, dass die Beiwerte der Widerstandsgleichungen beim Automobil von ähnlicher Grössenordnung sind, wie die für die Eisenbahn gefundenen⁹⁾. Wenn genauere Versuche dies bestätigen, lässt sich rechnerisch nachweisen, dass in einen künftigen Pass-Tunnel schon eine nicht ausserordentlich grosse Anzahl gleichzeitig im Tunnel befindlicher und nahe aufeinander aufgeschlossen gegen einen Luftstrom von beispielsweise 2 m/s mit normaler Geschwindigkeit fahrender Wagen diesen Luftstrom stören und sogar vollständig abbremsen können. Dies mahnt zur Vorsicht.

Ganz unbestimmt und daher gefährlich werden die Strömungszustände, wenn in derselben Tunnelröhre Verkehr in beiden Richtungen geht.

Ein langer Autotunnel muss mit einer künstlichen Lüftung versehen sein, das haben alle Projektverfasser auch vorgesehen. Aber es erscheint zu weitgehend, dabei auch nur zeitweise auf den natürlichen Luftzug in dem Sinne zu zählen, dass von vornherein, darauf gestützt, nennenswerte Betriebsersparnisse errechnet werden. Welches die Längengrenze ist, von der an eine künstliche Lüftung notwendig ist, darüber fehlen noch bestimmte Erfahrungen. Sie hängt von der Lage des Tunnels, den klimatischen und meteorologischen Verhältnissen und auch vom Tunnelquerschnitt ab; die kurzen Tunnel der «Autocamionale» Genua-Serravalle¹⁰⁾ z. B. sind ohne solche. In den längeren und im Passtunnel jedoch, von denen der längste 909 m misst, ist unter der Fahrbahn ein Raum geschaffen worden, der als Zu- oder Abluftkanal dienen kann, falls bei zunehmendem Verkehr eine künstliche Lüftung notwendig werden sollte (Abb. 3); dabei ist der lichte Querschnitt über der Fahrbahn immerhin 62 m²!

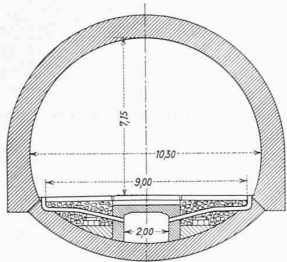


Abb. 3. Tunnelprofil 1:300 der Autocamionale Genua-Serravalle

Die künstliche Lüftung.

Bekanntlich sind bei den bisher gebauten Autotunneln im Ausland drei Arten der künstlichen Lüftung zur Ausführung gelangt¹¹⁾:

I. Längslüftung, II. Querlüftung und III. Halbquer- (oder Halblängs-)lüftung.

Die *Längslüftung* ist bei den künstlich ventilierten Eisenbahntunneln ausschliesslich angewendet worden. Dabei wird an einem Tunnelende Frischluft in die Tunnelröhre eingblasen, oder die verdorbene Tunnelluft abgesaugt. Das dabei am häufigsten angewendete System ist das vom italienischen Ingenieur M. Saccardo erfundene, das sich am Gotthardtunnel und an zahlreichen ausländischen Tunneln bewährt hat. Es hat gegenüber dem Simplonsystem mit Vorhang den Nachteil geringeren, mechanischen Wirkungsgrades, dagegen aber den Vorteil, dass beide Portale stets offen bleiben, was wichtig ist bei dichtem und namentlich bei freiem, nicht fahrplanmässigem Verkehr, wie dies bei Autotunneln der Fall ist. Beim Liberty Tunnel zog man, als Unfälle die Einführung einer künstlichen Lüftung notwendig machten, zuerst das System Saccardo in Betracht, verzichtete aber darauf mit Rücksicht auf die grosse Luftgeschwindigkeit aus der Düse, und zog die Erstellung eines Schachtes in Tunnelmitte vor. Wo jedoch ein solcher nicht oder nur mit unverhältnismässigen Kosten möglich wäre, liesse sich doch noch genauer untersuchen, ob nicht durch geeignete Anordnungen der erwähnte Nachteil des Saccardogebläses gemildert oder aufgehoben werden könnte.

Die *Längslüftung* hat den scheinbaren Vorteil niedriger Erstellungskosten, da sie keine Unterteilung des Tunnelquerschnittes erfordert und sich auf den Verkehrsraum beschränkt. Der Hauptnachteil besteht jedoch darin, dass Gegenströmungen des natürlichen Luftzuges sowie des Verkehrs die Ventilation beeinflussen und stören. Im Liberty-Tunnel, dem einzigen bisher gebauten Autotunnel mit Längslüftung, ist dieser Nachteil weniger fühlbar, weil der Verkehr in den beiden Einbahn-Tunnelröhren stets nur in der Richtung der Lüftung geht. Bei einem Tunnel, wo beide Fahrrichtungen in der gleichen Röhre liegen, wird die Längslüftung stets eine zweifelhafte Sache bleiben, ganz besonders bei zu sparsam bemessenem Tunnelquerschnitt. Die Amerikaner, die nun doch einige Erfahrung darin haben, lehnen das System entschieden ab¹²⁾. Als Gründe führen sie u. a. den starken,

für die Benützer des Tunnels nachteiligen Durchzug an, den die grosse durch den Tunnel streichende Luftmenge zur Folge hat. Wenn wir auch in unsern Alpentunneln nie «amerikanischen» Verkehr haben werden, so sind sie dafür länger, was auch wieder grosse Luftmengen bedingt und die Leute auch länger dem Luftzug aussetzt. Dann weisen sie auch auf die Gefahr hin, die besteht, falls ein Brand ausbricht. Dass dabei, besonders in einem langen Tunnel bei einigermaßen starkem Verkehr eine Panik unvermeidlich ist, weiss jeder, der je einen Brand in einem Tunnel miterlebt hat! Bei einem solchen Brande werden Flammen und namentlich Rauch bei der Längslüftung durch die ganze Länge des Tunnels von der Brandstelle bis zum Portal getragen, was grosse CO-Konzentrationen herbeiführt, den Tunnel vollständig unsichtig macht usw. Es ist auch nicht ausser Acht zu lassen, dass neben CO der Auspuff der Motorwagen auch andere, weniger gefährliche, aber doch unangenehme Gase enthält, die auf der ganzen Tunnellänge den Reisenden begleiten und zudem die Sicht beeinträchtigen, was zu Kollisionen Anlass geben kann.

Es sei noch auf eine weitere Tatsache hingewiesen¹³⁾: Beobachtungen im leeren Liberty Tunnel, wobei die Druck- und Saugventilatoren voll liefen (es wird durch den Schacht in den einen Schenkel eines jeden Tunnels Luft eingblasen und aus dem andern Schenkel abgesaugt, um auf der ganzen Länge dieselbe Richtung des Luftzuges zu haben), ergaben, dass am einen Portal einer Röhre 241 m³/s eintraten. Durch den Schacht hinauf gingen aber nur 137 m³/s, während 104 m³/s am Schacht vorbei, d. h. geradeaus strichen. Durch den Schacht hinunter gingen 132 m³/s und am andern Portal traten 236 m³/s aus. Bei Verkehr muss sich daraus im zweiten Schenkel in der Bewegungsrichtung (in Abb. 4 Schenkel rechts) eine stärkere CO-Konzentration ergeben. Wenn durch den Schacht gleichzeitig nur geblasen oder nur abgesaugt wird, besteht diese Gefahr nicht.

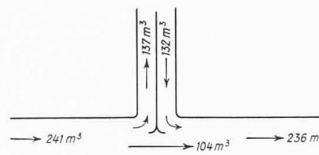


Abb. 4. Längslüftung mit Schacht

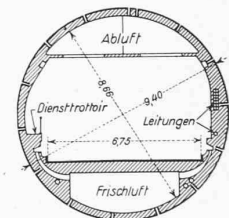


Abb. 5 (rechts). Querlüftung

Mit Rücksicht auf die Gefahren, die damit verbunden sind und die Nachteile, die ihr anhaften, sollte für lange Autotunnel die *Längslüftung nicht in Betracht* gezogen werden, wenigstens nicht, wenn beide Fahrrichtungen in derselben Tunnelröhre liegen. Wenn zwei Röhren bestehen oder der Tunnel zwei durch eine Scheidewand getrennte Verkehrsräume hat, ist die Sache schon günstiger, vorausgesetzt, dass der Tunnel nicht lang ist, ansonst die Geschwindigkeit der Luft auch dort wieder zu gross wird, wenn nicht sehr grosse Profile gewählt werden. Die Luftmenge wird in jeder Röhre entsprechend dem halben Verkehr kleiner genommen werden können. Wenn kein natürlicher Luftzug besteht, so wird der stets in gleicher Richtung gehende Verkehr den Tunnel zum grössten Teil selber lüften, sodass die künstliche Ventilation nicht viel mehr zu leisten haben wird, als den natürlichen Luftzug aufzuwiegen. Schächte entfallen dabei, wenn es gelingt, einen Apparat zu bauen, der ähnlich wie beim System Saccardo, die Luft bei offenem Portal am einen Ende einblasen oder absaugen kann, ohne den oben erwähnten Nachteil. Aber zwei parallele Tunnel erhöhen die Kosten in zu hohem Masse, solange nicht andere Gründe, wie z. B. beim Simplontunnel, das Zweitunnelssystem verlangen. Zwei Verkehrsräume, durch eine Scheidewand getrennt, im selben Tunnel, verlangen einen grossen Gesamtquerschnitt, der bei langen Tunneln auch hohe Kosten verursacht. Die Gefahren der Längslüftung sind im Doppeltunnel etwas gemildert, aber nicht aufgehoben.

Die *Querlüftung*: Bei diesem System wird bekanntlich die Frischluft in einem vom Verkehrsraum getrennten Kanal geführt, und in regelmässigen Abständen in den Verkehrsraum gleichmässig verteilt (Abb. 5). Ein weiterer Teil des Tunnelquerschnittes ist als Abluftkanal vom Verkehrsraum abgetrennt. Er ist ebenfalls durch Öffnungen in regelmässigen Abständen mit dem Verkehrsraum verbunden. Bei den bisher nach diesem System ausgeführten Tunneln liegt der Zuluftkanal unterhalb der Fahrbahn, der Abluftkanal in der Tunnelkalotte. Die Verbindungen Zuluftkanal-Verkehrsraum, die wenig oberhalb der Fahrbahn in die

⁹⁾ Siehe u. a. die in Fussnote 6 erwähnte Arbeit von Dr. K. Sutter.

¹⁰⁾ Vgl. «Annali dei Lavori Pubblici», Oktober-Heft 1935.

¹¹⁾ Vgl. «SBZ», Bd. 106, No. 14 (5. Okt. 1935).

¹²⁾ Engineering News Record 1927, S. 392.

¹³⁾ Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol. 75.

sen einmünden, sind in den amerikanischen Tunneln 15×107 cm weit und in Abständen von 3 bis 4,5 m auf beiden Seiten symmetrisch angeordnet; die Saugöffnungen in der Decke haben den selben Abstand und sind 14 × 183 cm weit, sie sind ebenfalls symmetrisch zur Tunnelaxe angeordnet. Vor der Inangriffnahme eines langen Autotunnels durch die Alpen nach diesem System, würde es sich empfehlen, durch Versuche festzustellen, ob es empfehlenswert ist, diese gegenseitige Anordnung von Zu- und Abluftkanal beizubehalten, oder ob nicht eine andere Anordnung eine raschere Entfernung der schädlichen Gase aus dem Verkehrsraum ermöglicht, ohne dass diese zuerst durch den ganzen Tunnelquerschnitt streichen müssen.



Abb. 4. Blick von der Sonnenbad-Terrasse des Kabinentraktes gegen Südwest auf das Strandbad

Das System wurde zum ersten Male beim Holland Tunnel in New York angewandt, seither auch bei andern Tunneln, u. a. beim Scheldetunnel in Antwerpen¹⁴⁾. Es hat den scheinbaren Nachteil hoher Erstellungskosten. Der Vorteil ist jedoch seine grosse Sicherheit, auch bei starkem Verkehr, namentlich bei Unglücksfällen, wie Autobrand usw.; die verunreinigte Luft wird dabei durch die nächsten Absaugöffnungen aus dem Verkehrsraum abgeführt. Die Lüftung ist weder durch den natürlichen, noch durch den vom Verkehr verursachten Luftzug beeinflusst; die CO-Konzentration wird auf die Tunnellänge und im Tunnelquerschnitt gleichmässiger; Querlüftung erlaubt ohne Nachteil die beiden Fahrrichtungen in einem Tunnel zu vereinigen.

Da Zu- und Abluftkanal verhältnismässig kleine Querschnitte haben, wird bei grosser Länge in ihnen eine hohe Geschwindigkeit auftreten, sodass es bei langen Tunneln zweckmässig sein wird, die Gesamtlänge durch Schächte in verschiedene Lüftungsabschnitte einzuteilen. Es ist Sache der wirtschaftlichen Abwägung zu entscheiden, ob und wie viele Schächte im Einzelfalle angebracht sind.

Bei der Planung des Holland Tunnels wurden die Druckverluste in den Zu- und Abluftkanälen durch Versuche, erst an Modellen, dann an einer Versuchstrecke in natürlicher Grösse (in einem fertigen Tunnelstück) bestimmt. Auf Grund dieser Versuche wurden Gleichungen für die zum Drücken und Saugen notwen-

digen Druckhöhen aufgestellt¹⁵⁾, die auf das metrische System umgerechnet lauten:

$$h_d = \gamma \left(\frac{v_1^2}{2g} \left[\frac{aLz^3}{3R} - \frac{1}{2} (1-k) z^2 \right] + \frac{bLz}{2gR^3} \right) + h_o$$

$$h_s = \gamma \left(\frac{v_2^2}{2g} \left[\frac{aLz^3}{(3+c)R} + \frac{3z^2}{(2+c)} \right] + \frac{bLz}{2gR^3(1+c)} \right) + h_o$$

Es bedeutet dabei

h_d den Druckverlust im Zuluftkanal in mm W. S.

h_s den Druckverlust im Abluftkanal in mm W. S.

h_o den Druckverlust in den Einblas- bzw. Absaugöffnungen in mm W. S.

γ das spez. Gewicht der Luft in kg/m³

v_1 die Luftgeschwindigkeit beim Eintritt aus dem Zuluftkanal in m/s

v_2 die Endgeschwindigkeit am Austritt in den Abluftkanal in m/s

L die Länge des Kanales in m

R den Profilradius des Kanales in m

$z = \frac{L-x}{L}$, wobei x = Abstand in m des betrachteten Kanalpunktes vom Anfangspunkt

k einen Beiwert zur Berücksichtigung der Wirbelbildung = 0,615

a einen Reibungsbeiwert = 0,0035

b einen Reibungsbeiwert = 0,0001236

$c = 0,20$ für Luftmengen bis 0,3 m³/s, m

= 0,25 für grössere Luftmengen.

Um die der Luft zu erteilende Druckhöhe zu ermitteln, ist $x = 0$ zu setzen.

Die Querlüftung hat sich praktisch bewährt. Verbesserungen können allenfalls im weiter oben angedeuteten Sinne durch Versuche gefunden werden, aber im Prinzip ist sie für lange Autotunnel die gegebene Lösung. Nur um einen Begriff der Grössenordnung der dabei notwendigen Ventilationseinrichtungen zu geben, sei hier der Energiebedarf eines Tunnels mit Querlüftung überschlägig und ganz schematisch berechnet.

Annahmen: Der Tunnel habe eine Länge von 5000 m. Je 1500 m von jedem Portal münde ein schräger Schacht in den Tunnel (Abb. 6). An jedem Portal, sowie an jedem Schacht sei eine Maschinenanlage vorgesehen, im Ganzen also vier Anlagen (I bis IV). Die Anlagen I und IV belüften die 1500 m langen Strecken vom Portal bis zum nächsten Schacht, die Anlagen II und III je die Hälfte der Zwischenstrecke von 2000 m, also je

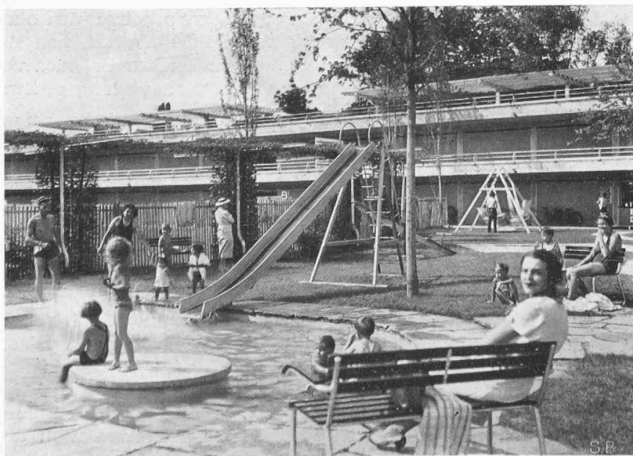


Abb. 5. Die Kinderecke im Strandbad Bellerive-Plage, Lausanne

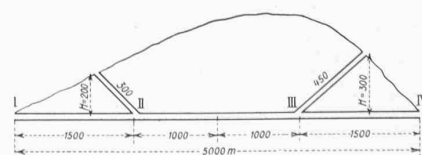


Abb. 6. Lüftung langer Alpentunnel

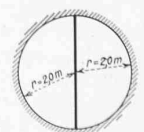


Abb. 7

¹⁴⁾ La Technique des Travaux, 1932 No 7. Ferner: Charles Murdock, Ventilating the Lincoln Vehicular Tunnel. Amer. Soc. of Heating and Ventilating Engineers, New York N. Y. January 1938. — Engineering News Record 1927, S. 932, 934 bis 939.

¹⁵⁾ Siehe Fussnote 2.

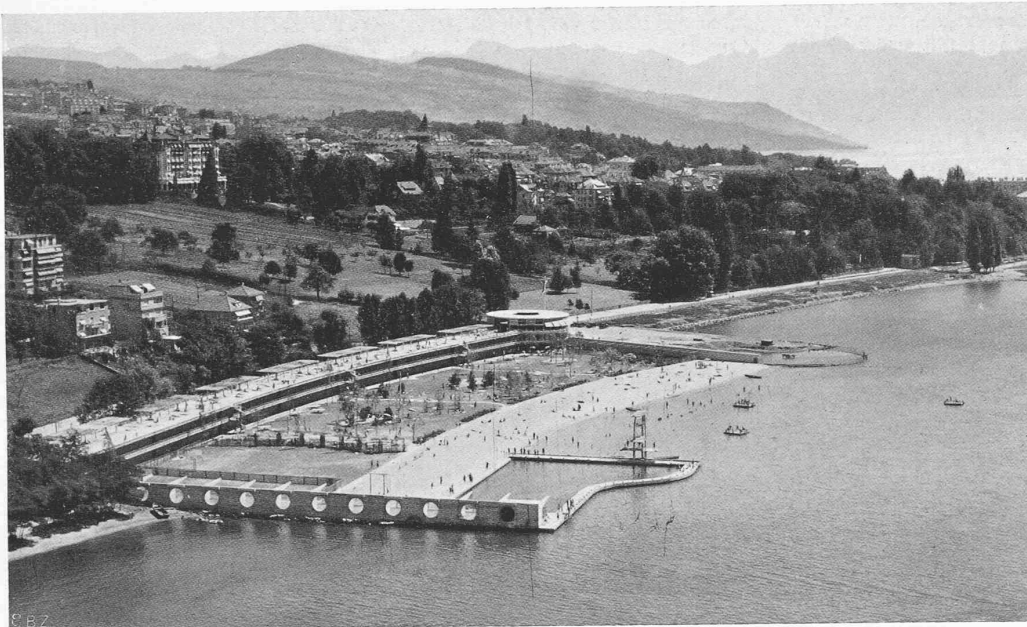


Abb. 3. Fliegerbild aus Westen auf das Strandbad «Bellerive Plage» in Lausanne-Ouchy (Text und Plan Seite 231)

eine Strecke von 1000 m. Die Ab- und Zuluftkanäle sind mit einem Querschnitt von je 6,0 m² (einfachheitshalber zu 2 × 3 m), der Querschnitt der Schächte nach Abb. 7 angenommen. Die Länge des einen Schachtes sei 300 m, der Höhenunterschied zwischen Tunnel und Schachtmund 200 m, die entsprechenden Masse des andern Schachtes seien 450 und 300 m.

Für 500 Wagen/h, bzw. 40 l Frischluft pro Sekunde und m Fahrbahn ergeben sich folgende Werte:

Für Anlage I: $h_d = 20$ mm W. S., $h_s = 28$ mm, zusammen = 48 mm W. S.

Bei einem allgemeinen Wirkungsgrad der Anlage von 50% ergibt sich daraus für 60 m³/s ein Leistungsbedarf

$$N = \frac{48 \times 60}{75 \times 0,5} = 77 \text{ PS} \dots 77 \text{ PS}$$

Für Anlage II: $h_d = 9$ mm W. S. und $h_s = 13$ mm W. S.

Druckverlust in jedem Schachttrum (Profil-Hälfte):

$$z = \frac{\gamma v^2}{2g} \left(1 + \frac{\lambda u L}{4F} \right) = 10,84 \text{ mm W. S., für beide}$$

Trumme $2 \times 10,84 = 21,7$ mm W. S.

Auftrieb: $h_t = 19,1$ mm W. S., zusammen = 62,8 mm W. S.

$$N = \frac{62,8 \times 40}{75 \times 0,5} = 67 \text{ PS} \dots 67 \text{ PS}$$

Für Anlage III: $h_d = 9$ mm, $h_s = 13$ mm, $2z = 30$ mm,

und $h_t = 29$ mm W. S., zusammen = 81 mm W. S.

$$N = \frac{81 \times 40}{75 \times 0,5} = 86 \text{ PS} \dots 86 \text{ PS}$$

Für Anlage IV wie für Anlage I. 77 PS

Gesamter Leistungsbedarf somit 307 PS

Wie man sieht, bedingt der Verlust in den Schächten einen erheblichen Teil der benötigten Druckhöhen und damit des Leistungsbedarfes. Durch Erweiterung der Schachtquerschnitte kann dieser Verlust bedeutend vermindert werden, wobei die Baukosten entsprechend zunehmen. Es ist wiederum Sache der wirtschaftlichen Abwägung zu entscheiden, ob höhere Baukosten oder höhere Installations- und Betriebskosten die wirtschaftlichere Lösung geben.

In obiger Berechnung ist angenommen, dass gelegentlich ein Auftrieb in den Schächten entsprechend einer Temperaturdifferenz von $\pm 25^\circ\text{C}$ dem einen der beiden Luftströme im Schacht entgegenwirken könne. Dass gleichzeitig der andere entsprechend entlastet wird, ist nicht berücksichtigt, da die Ventilatoren und Motoren getrennt sind, und jede Gruppe für sich

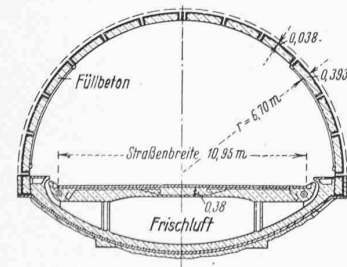


Abb. 8. Halbquerlüftung im Rampen-Profil des Mersey-Tunnels. — 1 : 300

so bemessen sein muss, dass sie imstande ist, den entgegenwirkenden, positiven oder negativen Auftrieb zu überwinden.

Die Halbblüngen- oder Halbquerlüftung, die im Mersey-Tunnel (4,71 km) in Liverpool gewählt wurde, ist dadurch gekennzeichnet, dass, wie bei der Querlüftung, der eine Luftstrom in einen besonderen, vom Verkehrsraum abgetrennten Kanal verlegt ist, während der andere, wie bei der Längslüftung, durch den Verkehrsraum selbst zieht. Im Mersey-Tunnel ist es der Frischluftstrom, der durch unter der Fahrbahn angebrachte Kanäle zieht, die wie bei der Querlüftung mit dem Verkehrsraum verbunden sind, während die Abluft durch den Verkehrsraum abzieht (Abb. 8). In Liverpool wird die Abluft an verschiedenen Stellen aus dem Ver-

kehrsraum abgesaugt. Auf jedem Ufer sind drei Belüftungsstationen. In jeder wird sowohl Frischluft eingeblasen wie verdorbene Luft aus dem Verkehrsraum abgesaugt. Es ist nur eine Tunnelröhre vorhanden, in der der Verkehr in beiden Richtungen geht; dabei hat der Verkehrsraum einen lichten Querschnitt von 70 m²! Die scheinbare Ersparnis gegenüber dem Querlüftungssystem infolge Wegfall des einen Luftkanales wird vermindert durch den grösseren Querschnitt des Verkehrsraumes; dieser aber ist durch die Luftmenge, bzw. die maximal zulässige Windgeschwindigkeit im Tunnel bedingt.

Diesem Lüftungssystem haften verschiedene Nachteile an. Grosse Luftgeschwindigkeit und Durchzug im Tunnel, die Gefahr bei Brandausbruch ist nicht beseitigt, wenn die Abluft durch den Verkehrsraum streicht, schlechte Sicht infolge Rauch. Es ist etwas Halbes.

Folgerungen.

1. Die Lüftung von Passtunneln für den Motorwagenverkehr ist so zu planen, dass motorisierte Militärkolonnen den Tunnel mit voller Sicherheit durchfahren können.

2. Die Konzentration von CO in der Tunnelluft soll 0,5‰ nicht übersteigen. Nur ausnahmsweise darf vorübergehend die Konzentration 1‰ erreichen.

3. Die pro Wagen entwickelte CO-Menge kann vorläufig zu durchschnittlich 150 cm³ pro m Fahrbahnlänge angenommen werden. Für Steigungen über 3‰ ist sie aber vorerst noch genauer festzustellen. Ueberhaupt empfiehlt es sich, vor der Verwirklichung bedeutender Autotunnel, die wegen ihrer Länge besonders ökonomisch zu dimensionieren sind, die Gasentwicklung verschiedener Motoren- und Wagentypen bei verschiedener Be-



Abb. 6. Douche-Brunnen im Strandbad Bellerive-Plage

lastung, Neigung der Fahrbahn und Geschwindigkeit durch zahlreiche Versuche noch zu überprüfen.

4. Längslüftung ist für Tunnel mit beiden Fahrrichtungen in derselben Röhre auszuschliessen. Sie ist allenfalls für kurze Tunnel zulässig, wenn für beide Fahrrichtungen getrennte Verkehrsräume bestehen. Jedenfalls sollten vor der Wahl dieses Systems eingehende Versuche angestellt werden, um den Einfluss aller Faktoren, besonders des Verkehrs, auf den Luftzug genauer festzustellen.

5. Für lange Durchstiche ist die Querlüftung grundsätzlich das sicherste System.

Nachschrift des Herausgebers. Obwohl sich die Hausse auf dem schweiz. Autotunnelmarkt wieder gelegt und ruhigerer Ueberlegung Platz gemacht hat, hielten wir eine grundsätzliche Klarstellung des Problems von massgebender Seite aus für angebracht. Sie bestätigt die von uns von Anfang an geäusserten Bedenken gegenüber z. T. geradezu dilettantischen Projekten, die dessenungeachtet durch demagogische Reklame die Öffentlichkeit zu beschäftigen wissen. Bei diesem Anlass sei noch eine, uns erst kürzlich wieder zu Ohren gekommene Behauptung zurückgewiesen: die «SBZ» sei «gegen die Panixerstrasse»! Nein, wir gaben nur einer Walenseestrasse bei weitem den Vorzug vor einem 6 km langen Panixer-Tunnel. Nachdem dann auch die Generalstabs-Abteilung am Susten wie am Panixer sich gegen lange Autotunnel ausgesprochen, ist ja die Gefahr, der wir vorbeugen mussten, behoben, und wir warten mit Spannung auf das in Arbeit befindliche Projekt einer Panixer-Strasse ohne langen Tunnel, wie auf die Ausführung dieses Uebergangs.

Dass ein 15 km langer Gotthard-Auto-Tunnel nach Vorschlag Ed. und G. Gruner mit Querlüftung nach Typ Abb. 5 technisch denkbar ist, bestreitet niemand; damit ist aber noch nichts ausgesagt über die Wirtschaftlichkeit eines solchen, von den Verfassern (in Bd. 106, S. 171) auf 80 Mill. Fr. Baukosten geschätzten Unternehmens, von seiner entscheidenden volkswirtschaftlichen Wünschbarkeit zu schweigen. Auch in dieser Hinsicht liefern die Ausführungen Andreaes wertvolle Aufschlüsse. C. J.

Das Strandbad Bellerive-Plage in Lausanne

Architekt MARC PICCARD, Lausanne

Die Stadt Lausanne hat am 10. Juli 1937 ein neues Strandbad eröffnet, westwärts von Ouchy, das eine alte, äusserst primitive Badeanstalt ersetzt. Das neue Strandbad ist als Teilstück einer Gesamtanlage zu betrachten. Diese Gesamtanlage wird sich von Ouchy bis Vidy erstrecken und sieht Quais, Hafen, Strand-

bad, Sportplätze und Parks vor.¹⁾

Das Strandbad, als Element dieser mehrere Kilometer langen Anlage, soll mit ihr derart verwachsen sein, dass es gewissermassen einem Park gleicht, in dem das Baden gepflegt wird. Die nahezu 20 000 m² grosse Fläche (mit Rasen, Sandstrand, Sport- und Spielplätzen) ist gänzlich aus dem See gewonnen worden und sofort mit grossen Bäumen bepflanzt worden. Die Grenzen — typisch für die Anlage — west- und besonders ostwärts sind eher topographischer als baulicher Natur. Kein Bau, der die Anlage nach diesen Richtungen schliesst, was der um 2 m überragenden Esplanade eine wunderbare Aussicht sichert. Die durch den zweistöckigen Bau gebildete Nordgrenze dagegen hat die Aufgabe, den starken Seewind abzuhalten. Dieser Bau, der parallel dem Ufer verläuft, ist besonders sorgfältig in die Landschaft eingebettet worden. Obwohl er mehr als 250 m Fassadenlänge

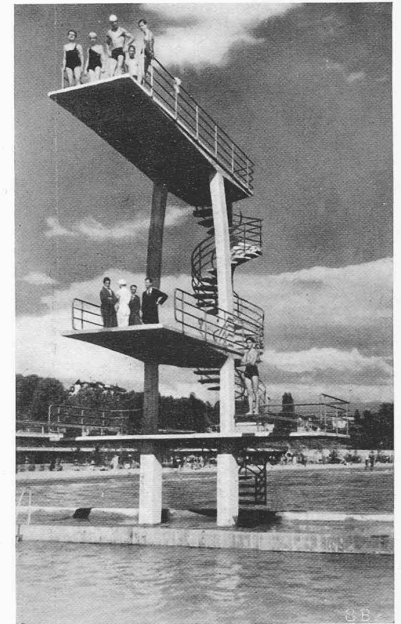


Abb. 9. Olympischer Sprungturm

¹⁾ Vergl. «Bemerkungen zum Wettbewerb um einen Generalbebauungsplan für Lausanne» von H. Bernoulli und P. Trüdinger in Bd. 100, S. 209*, 220* und 262 (Oktober 1932).

Strandbad Bellerive-Plage in Lausanne-Ouchy. — Arch. Marc Piccard

Abb. 7. Längs- und Querschnitt des Olympischen Schwimmbeckens (A-B und C-D vergl. Abb. 1). — 1 : 400

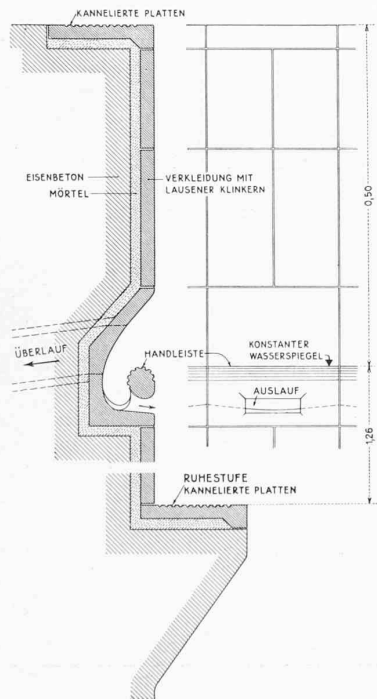
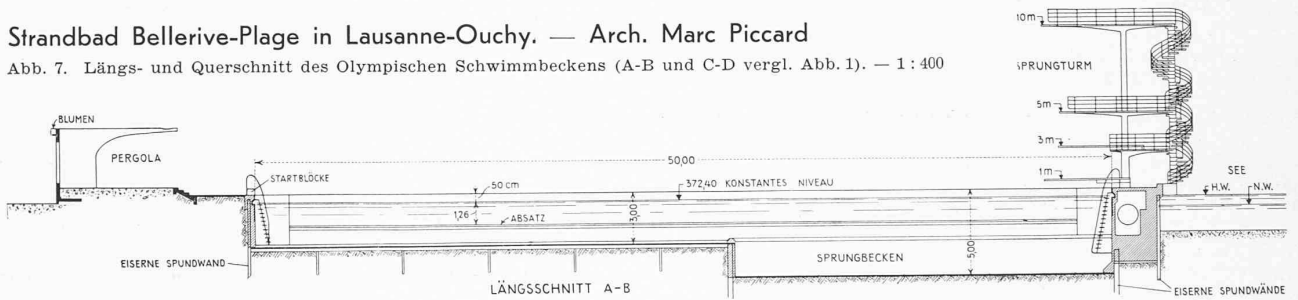


Abb. 8 (links). Schnitt und Ansicht der Wandverkleidung Masstab 1 : 10

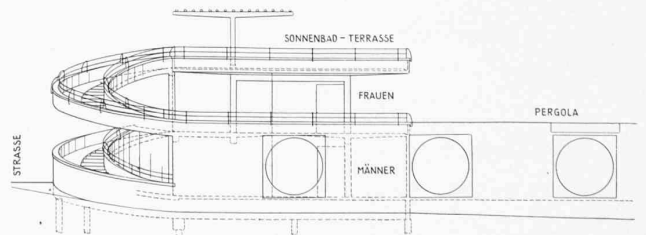
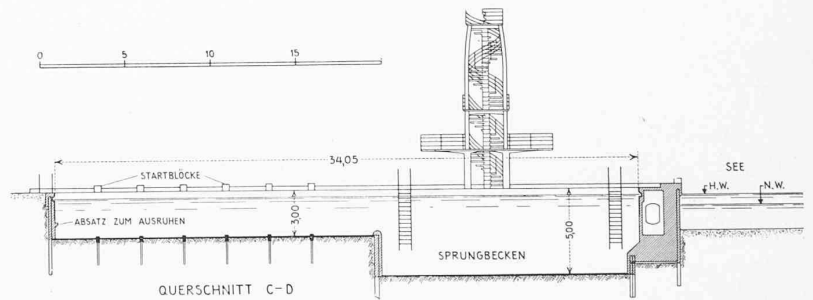


Abb. 2. Ansicht der Westwand der Abschluss-Pergola und der Spiraltreppenrampe am Kopf des Kabinentraktes. — 1 : 300