

Lüftungsentwurf für den Wagenburgtunnel in Stuttgart

Autor(en): **Kress, H.H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71 (1953)**

Heft 37

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-60619>

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.

Die im Laufe der letzten Jahre durchgeführten Kontrollnivelements haben keinerlei Bewegung gezeigt.

4. Schlussfolgerungen

Die geschilderten beiden Beispiele erlauben die Aufstellung einiger Grundsätze zur Beurteilung der Wirksamkeit von Injektionen. Die Diskussion der Resultate wird immer auf spekulativen Schlüssen aufgebaut werden müssen, da eine direkte Kontrolle mit den in der Bautechnik üblichen Verfahren selten möglich ist. Zur Beurteilung stehen unter anderem zur Verfügung:

a) *Die eingepressten Mengen:* Die Verteilung des Injektionsgutes im Raume ergibt ein Bild über die Homogenität der erreichten Verfestigung. Es ist zu bedenken, dass bei dem Nebeneinander von durchlässigen und weniger durchlässigen Materialien nur eine korallenartige Struktur der Verfestigung erreicht werden kann. Dies ist aber in den meisten Fällen durchaus hinreichend.

b) *Die Beobachtungen beim Injektionsvorgang:* Grösse und Variation des Einpressdruckes lassen wichtige Schlüsse auf die Art der Ausbreitung des Injektionsgutes zu. Langsame und stetige Druckzunahme deutet auf eine gleichmässige Durchtränkung der behandelten Zone, sprungweise Änderungen weisen auf Ausbrüche, Strukturstörungen usw. hin.

c) *Kontrollbohrungen:* Rotationsbohrungen mit Kernentnahme geben einen direkten Einblick in den behandelten Raum (Bild 7), wie das aus den Photographien der Anschliffe der Kernproben deutlich ersichtlich ist. Die Ausbeute an gut verfestigten Bohrkernen ist notwendigerweise wegen der Inhomogenität des Materials beschränkt. Zudem ist zu bedenken, dass der Abbinde- und Erhärtungsvorgang im kühlen Grundwasser ganz wesentlich längere Zeiträume erfordert.

Auch bohrtechnisch bietet die Kernentnahme Schwierigkeiten. Im grobkörnigen Material sind die Abmessungen der grössten Elemente von der Ordnung des Bohrlochdurchmessers. Werden diese vom rotierenden Bohrer erfasst, so wirken sie als Mahlsteine und zertrümmern bereits aufgefangene Kernstücke.

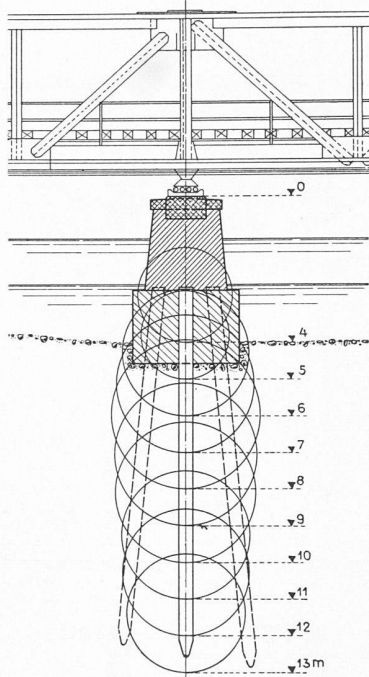


Bild 6. Mittelpfeiler Ostseite, theoretische Aktionsradien der Injektionen, 1:200

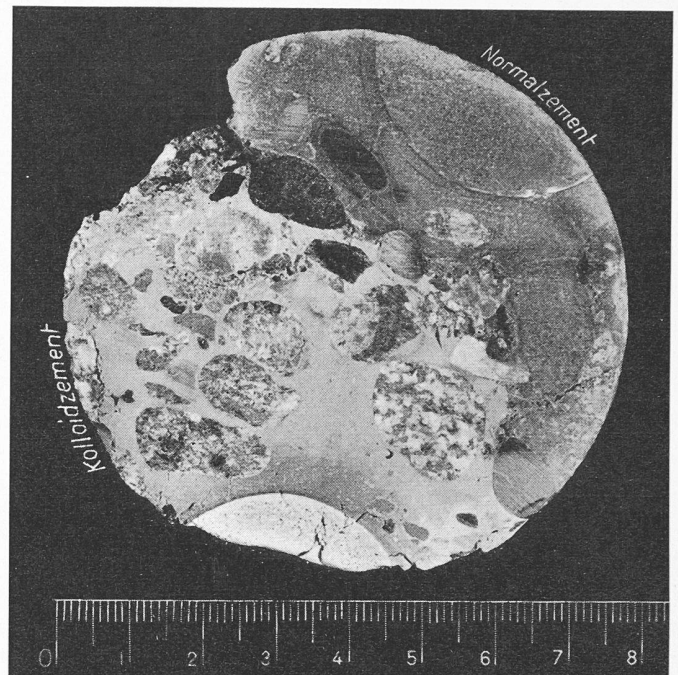


Bild 7. Anschliff eines Bohrkerns, natürliche Grösse
Obere Aarebrücke der BLS in Interlaken-Ost

Zusammenfassung

In vorstehender Arbeit werden die technischen Möglichkeiten der Injektionsverfahren skizziert, insbesondere deren Wirkung hinsichtlich Verfestigung und Dichtung untersucht. Im weiteren werden die Möglichkeiten zur Vergrößerung ihrer Aktionsradien besprochen und dann ein Verfahren angegeben, welches das Anwendungsgebiet der Zementinjektionen bedeutend vergrößert. Anhand von zwei konkreten Ausführungsbeispielen wird gezeigt, dass damit Lösungen möglich werden, die auf andere Weise nicht oder nur mit wesentlich grösserem Aufwand erreicht werden können.

Literaturverzeichnis:

- [1] Maag E.: Verfestigung und Dichtung des Baugrundes. «Hoch- und Tiefbau» 1938.
- [2] Kollbrunner C. F., Ing. Dr., Blatter Ch.: Bericht Nr. 4 der Privatgesellschaft für Bodenforschung und Erdbaumechanik, Zürich 1941, Verlag Leemann.
- [3] Kollbrunner C. F., Ing. Dr.: Fundation und Konsolidation, Band II, Zürich 1947, Schweizer Druck- und Verlagshaus.
- [4] Esenwein Dr. P.: Sedimentationsanalysen, persönliche Angaben an die Verfasser.
- [5] Haefeli R. Prof. Dr.: Drei Lockergesteine und ihre techn. Probleme. SBZ Bd. 112, S. 133* (10. Sept. 1938).
- [6] A. von Moos und F. de Quervain: Technische Gesteinskunde, Verlag Birkhäuser, Basel.
- [7] M. Ros, Dr. h. c.: Gutachten über die Konsolidierungsarbeiten Seebücke Luzern.

Lüftungsentwurf für den Wagenburgtunnel in Stuttgart

Von Dr.-Ing. H. H. KRESS, Verein Beratender Ingenieure (VBI), Stuttgart

DK 625.712.35:628.8 (43)

Schluss von Seite 526

3. Kritische Ueberlegungen zur Frage direkter Absaugung im unteren Teil des Verkehrsraumes

Die Stuttgarter Analysen der Dieselauspuffgase widerlegen in Verbindung mit amerikanischen Analysen der Benzinauspuffgase, wonach in beiden Fällen rund 82 Vol. % sofort nach oben entweichen, die von anderer Seite [14] propagierte und zunächst auch in Stuttgart bauseits hartnäckig verfochtene Meinung, die zweckmässigste Lüftungsart sei direkte Absaugung im unteren Teil des Verkehrsraumes. Es ist einleuchtend, dass bei diesen Verhältnissen die Absaugung oben weniger Kraftaufwand erfordert als die Absaugung unten. Für den Wagenburgtunnel wurde überprüft, ob direkte Absaugung unten eine nennenswerte Senkung des Frischluftbedarfs bewirken kann. 18 Vol. % der Abgase bleiben als Schwergase im unteren Teil des Verkehrsraumes. Verschiedene Höhenlagen der Auspuffrohre von LKW, KOM und Traktoren lassen die Auspuffgase verschieden hoch ausströmen. Für die Theorie direkter Absaugung von unten werden folgende Argumente vorgebracht [14]: Die Luftströmung um den fahrenden

Wagen reisst je nach Bauart und Wagengrösse längs des Fahrzeugs ab und bildet hinter ihm Wirbel. Heisse, leichte und mittelschwere Gase strömen aufwärts in eine zwischen den Wirbeln hinter dem Wagen vorhandene Unterdruckzone, wo sie von der an der hinteren Wagenwand abwärts strömenden Luft gestaut, in ihrer Aufwärtsbewegung gehemmt und auf die Temperatur der Tunnelluft abgekühlt werden. Leichte und dichte Rauchgase sondern sich dabei ab und strömen allmählich hoch. Wenn man oberhalb besagter Unterdruckzone in verschiedener Höhenlage absauge, könne man die schweren, über der Fahrbahn liegenden Abgase durch Saugschlitze in Höhe der Auspuffrohre unmittelbar absaugen, während aufsteigende Abgase wegen des Unterdrucks von höher liegenden Saugschlitzen her zwangsläufig zu diesen fließen und durch sie abziehen würden. Damit würden sichtverschlechternde dichte Abgase ohne vorherige Verdünnung mit Frischluft grösstenteils verschwinden. Wenn man ausserdem von oben Frischluft eindrücke, also von oben nach unten querbelüfte, würde die von oben nach unten strömende Frischluft

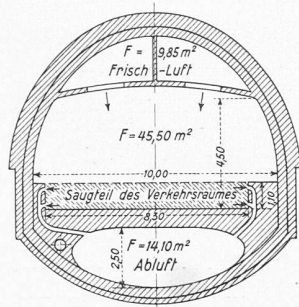


Bild 8. Tunnelquerschnitt mit Querlüftung; Frischluftzuführung oben und direkte Absaugung unten, 1:300.

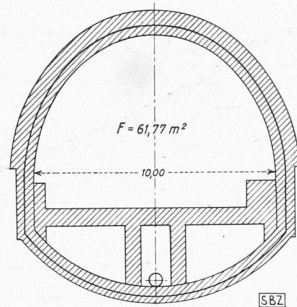


Bild 9. Tunnelquerschnitt bei Längslüftung nach dem Beispiel des Tunnels von St-Cloud, 1:300.

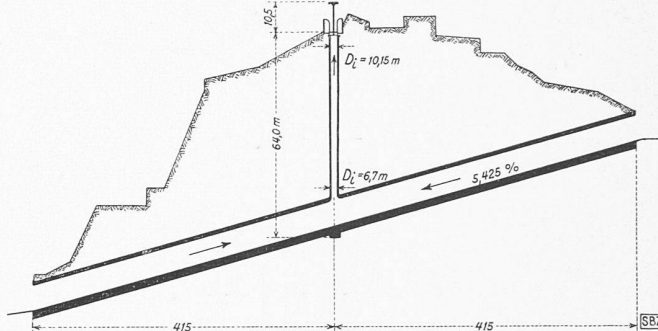


Bild 10. Prinzipieller Längsschnitt durch den Wagenburgtunnel mit Längslüftung nach dem Beispiel von St-Cloud; Längen 1:10 000, Höhen 1:2000.

diesen Vorgang beschleunigen und das im heissen Zustand schnell aufsteigende CO auf einen nicht mehr gesundheits-schädlichen Grad verdünnen.

Auf die Mängel dieser Lüftung wird später eingegangen. Im Wagenburgtunnel würden bei Anwendung dieser Theorie die schweren Gase durch Saugschlitze über der Fahrbahn in Höhe der Auspuffröhre und die langsam aufsteigenden mittelschweren Abgase durch eine 1,10 m höher liegende Saugschlitze abgesaugt werden (Bild 8). Der «Saugteil des Verkehrsraums» hat einen Luftinhalt von 9,12 m³/m. In vier Reihen sind 1664 Saugschlitze von je $0,20 \cdot 0,50 = 0,10$ m² in 2 m Achsabstand angeordnet. Das ergibt 166,4 m² Saugfläche. Bei maximal 4 m/s Durchflussgeschwindigkeit fliessen 665 m³/s Luft ab, also bei 830 m Tunnellänge 0,802 m³/s pro m oder $0,802 \cdot 100 / 9,12 = 8,8$ % des Luftinhalts pro m Saugteil. Da 18 Vol. % der Auspuffgase unten bleibende Schwergase sind, würden 8,8 % $\cdot 18$ % = 1,584 Vol. % der gesamten Auspuffgase ohne vorherige Verdünnung mit Frischluft direkt abfliessen können. Wenn davon nur 10 % durch Wirbelbildung und Luftströmungen im Saugteil über diesen hochgerissen werden und so mit Frischluftzufuhr zu neutralisieren sind, ermässigt sich die direkt abfliessende Menge der Auspuffgase auf 1,426 Vol. %. Bei Anwendung der direkten Absaugung von unten im Wagenburgtunnel könnte also der CO-Anfall nach Tabelle 3 um 1,426 Vol. % reduziert werden, was aber wegen Geringfügigkeit im Vergleich zum Genauigkeitsgrad der Rechnung ohne praktische Bedeutung ist, zumal dadurch der im Vergleich zur Absaugung von oben viel grössere Kraftaufwand auch nicht annähernd aufgewogen wird. Zudem erweist sich der bei Absaugung unten im Tunnelquerschnitt von oben nach unten fließende Luftstrom im Brandfalle erfahrungsgemäss als verhängnisvoll, weil dadurch Flammen und Rauch auf der Fahrbahn und im Tunnelquerschnitt ausgebreitet, die Löscharbeit stark behindert und andere Fahrzeuge erheblich gefährdet würden, während die Lüftung von unten nach oben Flammen und Rauch nach oben abzieht und rasches Löschen ermöglicht. Somit ergibt direkte Absaugung von unten keine Frischluftersparnis, aber höhere Betriebskosten und kann im Brandfalle geradezu verhängnisvoll werden.

4. Wahl der Lüftungsmethode

Ueber die Eigenheiten der bei Autotunneln möglichen Lüftungsarten — Längs-, Quer-, Halbquerlüftung und deren Kombinationen — wird auf andere Veröffentlichungen verwiesen [4], [5], [20], [21], [22], [23]. Für die Wahl der zweckmässigsten Lüftungsmethode des Wagenburgtunnels wurden Vergleichsentwürfe für Längs-, Quer-, Halbquer- und Längslüftung untersucht, ihre technischen Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen, ihre Bau- und Betriebskosten miteinander verglichen. Bei Längslüftung dient der Verkehrsraum dem in seiner Längsrichtung von Portal zu Portal, bzw. von den Portalen zu den Schächten fließenden Luftstrom als Luftkanal. Dabei entsteht im Wagenburgtunnel im Falle einer Röhre ohne Zwischenschächte im 61,77 m² grossen Verkehrsraum im Zustand ohne Verkehr ein längsgerichteter Luftzug von 7,60 m/s, mit Verkehr 10 m/s und im Falle von zwei Röhren im Zustand ohne Verkehr 10 m/s, mit Verkehr 13,15 m/s, jeweils in der steigenden Röhre, was in jedem Falle für Fussgänger, Benützer offener Wagen und bei Brand viel zu gross ist, die Brandschäden durch rasche Ausbreitung

des Feuers und Verqualmung des Tunnels sogar steigern würde. Das allmähliche Wachsen der Luftverunreinigung zwischen Lufteintritt und -austritt verursacht bei Sicherstellung guter Sicht Verschwendung von Frischluft und Kraftaufwand in der grösseren Tunnelstrecke. Die Grösse des Verkehrsraums als Luftkanal macht Längslüftung unwirtschaftlich; von ihrer Anwendung für den Wagenburgtunnel, besonders in der Art einer Längslüftung von Portal zu Portal wurde abgeraten.

Auch die Anwendung vereinfachter Längslüftung nach dem Beispiel des Tunnels St. Cloud in Paris (Bilder 9 bis 11), die auf einem zentralen, 64 m hohen konischen Abluftschacht von 10,80 m oberem und 6,70 m unterem Durchmesser, einem zehnflügeligen horizontalen Propellerlüfter von 10,50 m Durchmesser, einer 4,10 m hohen Abluftkuppel aus Stahlbeton über Gelände mit zwei angrenzenden Maschinenhäusern beruht, konnte für den Wagenburgtunnel nicht empfohlen werden, da der Längsluftzug im Verkehrsraum bei einer Röhre ohne Verkehr 4,35 m/s, mit Verkehr 5,75 m/s und bei zwei Röhren ohne Verkehr 6,00 m/s, mit Verkehr 7,93 m/s betragen würde, was aus den oben erwähnten Gründen abzulehnen ist. Ausserdem haftet dieser Lösung Unsicherheit des Maschinenbetriebs im Reparaturfall und der Nachteil der Staubaufwirbelung im Tunnel durch den Luftzug an. Auch müsste im Brandfalle zum Nachteil der Verkehrsteilnehmer die Lüftung wie in St. Cloud sofort abgeschaltet werden. An Baukosten für die Lüftungsanlage allein der ersten Röhre des Wagenburgtunnels nach dem Beispiel St. Cloud wurden veranschlagt: für den Hoch- und Tiefbau 1,65 Mio DM, für den maschinellen und elektrischen Teil 0,20 Mio DM und für aerodynamische Versuche 0,15 Mio DM, zusammen also 2 Mio DM. Für die Lüftung der späteren zweiten Röhre wären weitere hohe Bau- und Installationskosten, besonders auch für einen zweiten zentralen Schacht aufzuwenden, wodurch diese Lösung völlig aus dem Wettbewerb mit andern Lösungen ausscheidet. Ausserdem ist der Querschnitt des Wagenburgtunnels für eine Längslüftung zu klein.

Die Querlüftung wurde nach Untersuchung verschiedener Varianten der Maschinenanlage zur Ausführung für den Wagenburgtunnel empfohlen (Bilder 1, 2, 12, 13, 14). Die Lage der nach wirtschaftlichen und lüftungstechnischen Gesichtspunkten erforderlichen beiden Schächte ist durch Grundeigenschaftsverhältnisse festgelegt; ihre bauliche Gestaltung genügt auch dem späteren Betrieb von zwei Tunnelröhren. Durch Unterteilung des Tunnels in vier Lüftungsabschnitte (Bild 12) wird die Lüftung wirtschaftlicher als bei Längslüftung. Die Frischluft gelang aus dem unter der Fahrbahn liegenden, 15 m² grossen Frischluftkanal durch seitlich über den Schramm-

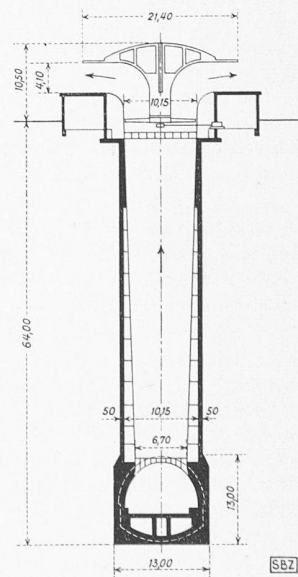


Bild 11. Zentraler Lüftungsschacht für Längslüftung nach dem Beispiel von St-Cloud, 1:10 000.

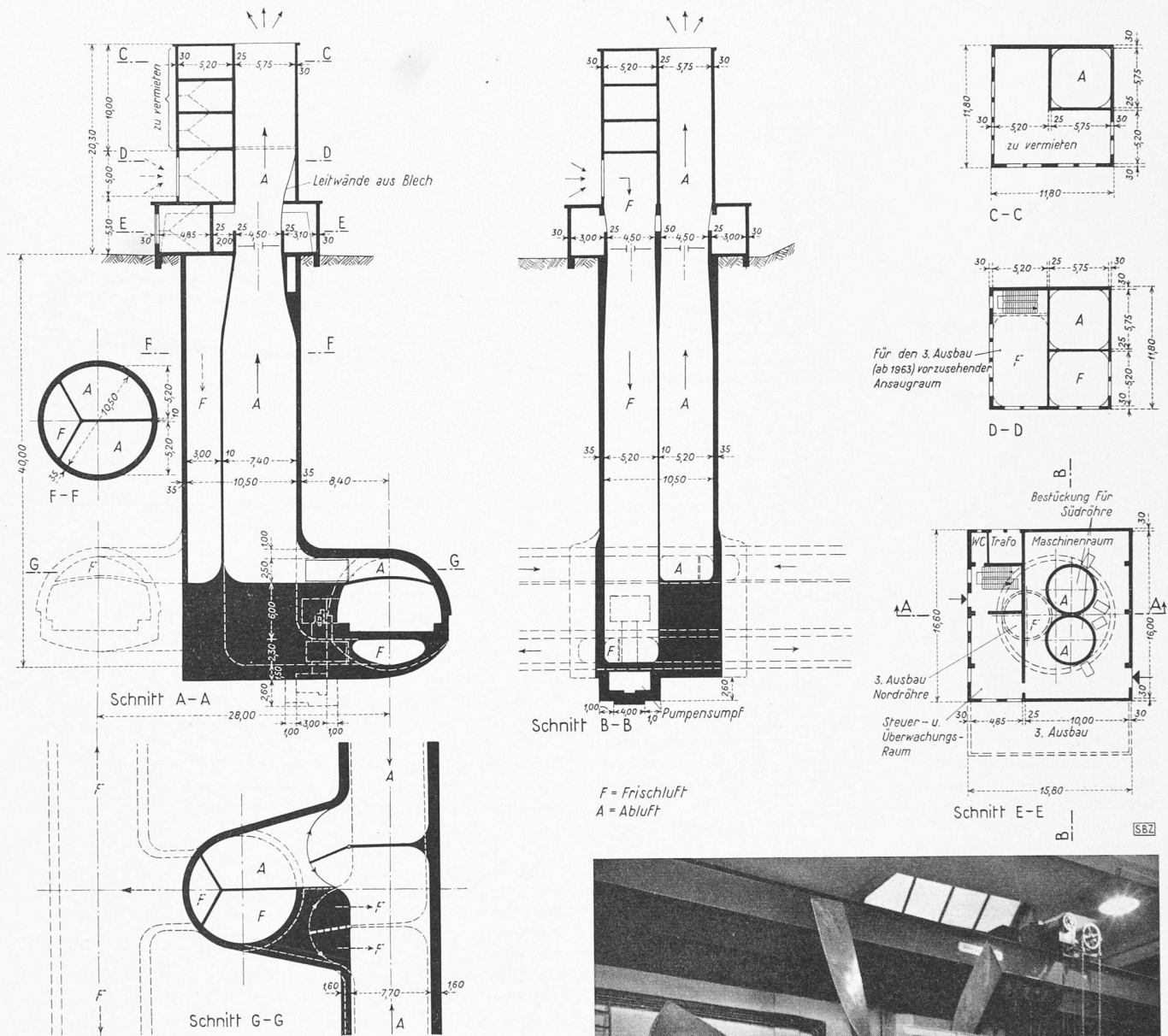


Bild 13. Lüftungsschächte für Querlüftung, 1: 600 (Schnitt G-G gilt sinngemäss auch für Bild 18)

der seitlichen Aufstellung sind die Motoren als Geräuschquelle aus dem Luftstrom herausgenommen und vor Niederschlägen geschützt. Durch unmittelbaren Einbau der Lüfter in die Kanalführung entfallen störende Abwinkelungen der Luftkanäle in den Lüftergebäuden. Die Leistung der mit Leitapparat, Getriebe und Zwischenwelle versehenen Lüfter ist 201 m³/s gegen etwa 12 mm WS Gesamtdruck bei etwa 170 U/min und etwa 35 kW Kraftbedarf im Westschacht und 168 m³/s gegen etwa 10 mm WS Gesamtdruck bei etwa 170 U/min und 26 kW Kraftbedarf im Ostschacht. Durch Winkeländerung der Flügel auf die höheren Leistungen des zweiten Ausbaues erreichen die Lüfter später im West-Schacht etwa 226 m³/s gegen 20 mm WS Gesamtdruck bei etwa 170 U/min und etwa 65 kW Kraftbedarf und im Ost-Schacht 223 m³/s gegen 17 mm WS Gesamtdruck bei 170 U/min und etwa 52 kW Kraftbedarf. Jeder Lüfter hat ein Flügelrad mit einzeln angebrachten Schaufeln, die in einem bestimmten Winkel verstellbar sind und einen mit einem Mantel in die Betonkonstruktion eingebauten Leitapparat, der in seiner Nabe das Winkelunterstützungsgetriebe aufnimmt. Diese Getriebe tragen am austretenden Wellenstumpf unmittelbar fliegend das Flügelrad von 4,50 m Ø und untersetzen die Drehzahl des vierpoligen Antriebsmotors auf etwa 170 U/min; sie werden so ausgebildet, dass ihre Uebertragungsleistung für die später zu wählende höhere Winklereinstellung ausreicht. Die vom Getriebe des Lüfters zum Motor führende Zwischenwelle liegt horizontal. Die Drehzahlreglung der Drehstrom-

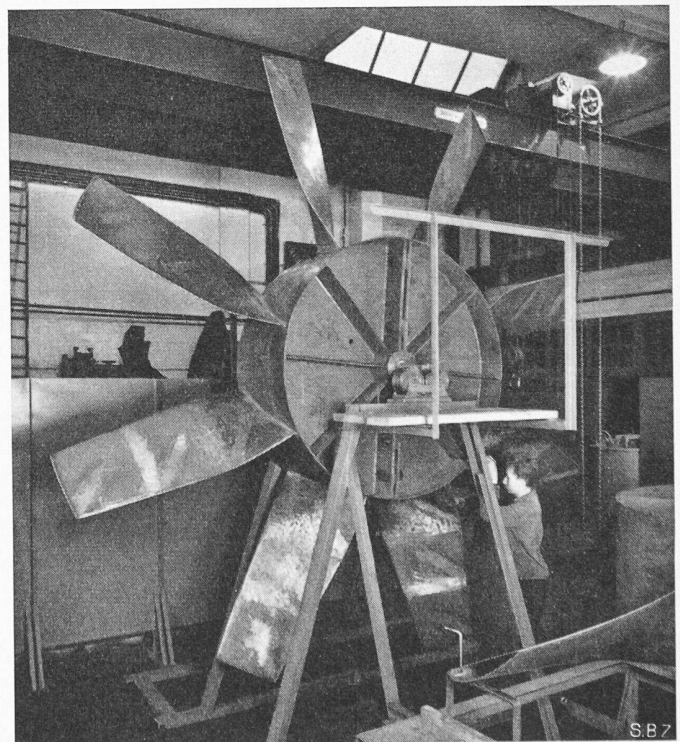


Bild 14. Niederdruck-Schraubenlüfter von Siemens-Betz

Motoren mit Schleifringläufern gestattet weitgehende Mengenregelung bei wechselnder Verkehrsbelastung. Bei quadratisch fallendem Moment des Lüfterantriebs dürfte dies trotz der elektrischen Verluste im Regelwiderstand die betriebsgünstigste Lösung sein, da Reihenschlussmotoren oder andere Regelverfahren wesentlich aufwendiger sind. Wahlweise in Frage kommende polumschaltbare Kurzschlussläufer-Motoren

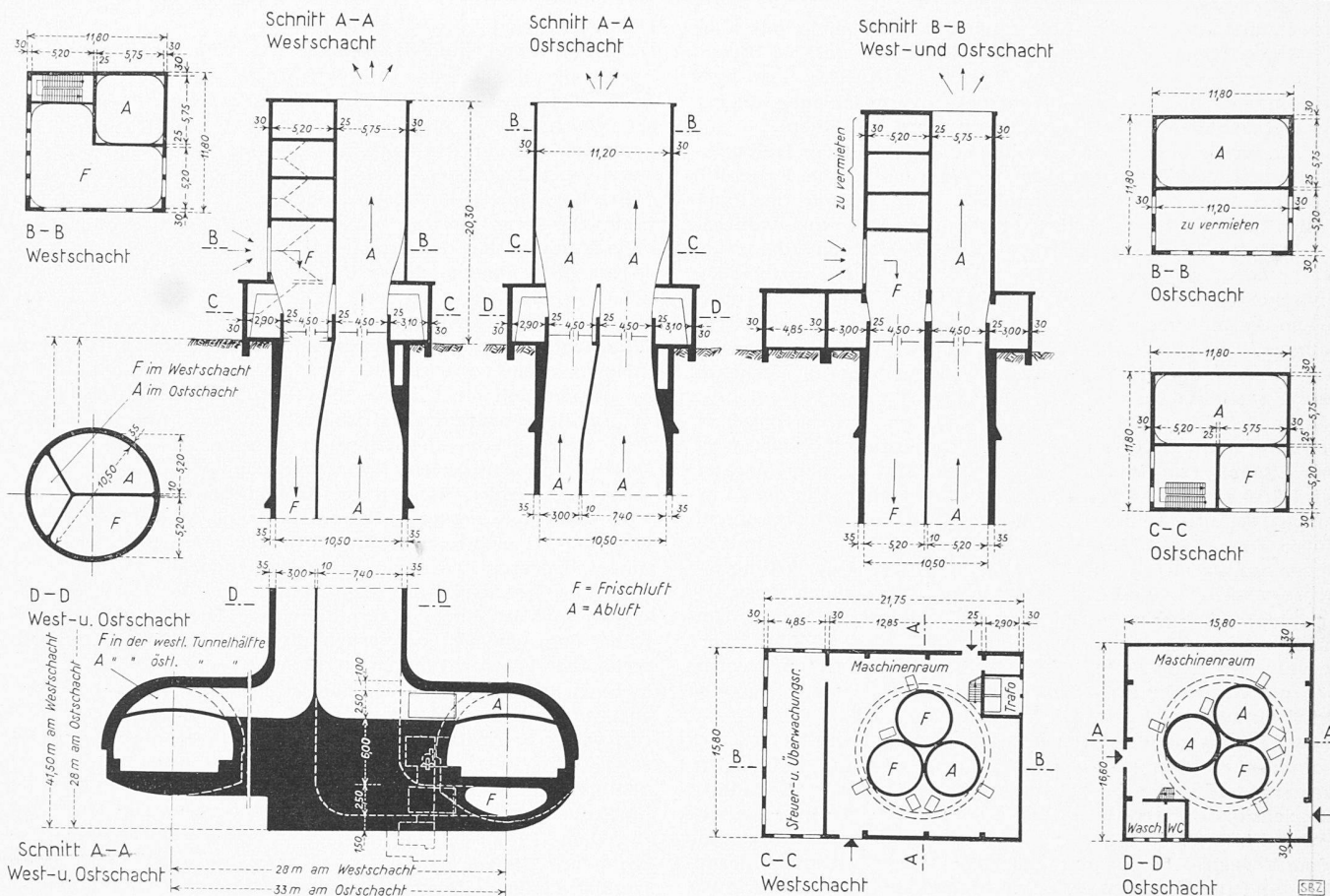


Bild 18. Lüftungsschacht für Querlüftung der Südröhre und kombinierte Längs- und Querlüftung der Nordröhre, 1:600 (für den Horizontalschnitt auf Tunnelhöhe siehe Bild 13, Schnitt G-G)

168 m³/s, 170 U/min, 26 kW, zusammen 1 328 000 m³/h. Abluft ebenso. Insgesamt 4 Aggregate in zwei Schächten.

2. Bauabschnitt 1958—1962 (1. Röhre): Durch Winkelverstellung der Lüfterflügel der vorhandenen Aggregate wird die Förderleistung um 30 % auf 1 746 000 m³/h gesteigert; der erhöhte Kraftbedarf der Lüfter wird durch Zuschalten je eines weiteren, gleichen Motors gedeckt. West-Schacht 226 m³/s, 170 U/min, 65 kW; Ost-Schacht 223 m³/s, 170 U/min, 52 kW. Abluft ebenso: Insgesamt 4 Aggregate in 2 Schächten.

3. Bauabschnitt 1963—1967 (2 Röhren): 2 424 000 m³/h Luftförderung werden durch Drehzahlerhöhung um 60 % der vorhandenen Lüfter bei konstantem Einstellwinkel der Flügel in der steigenden Röhre erreicht. Antriebsmotoren und Getriebezahnräder werden ausgewechselt. Für fallende Röhre erhält West-Schacht ein Zuluftaggregat 128 m³/s und Ost-Schacht ein Abluftaggregat 127 m³/s. Es sind also 4 alte und 2 neue = 6 Lüfteraggregate in 2 Schächten vorhanden. Diese Ausbaustufe muss im einzelnen den seinerzeitigen Verkehrsbedingungen näher angepasst werden.

4. Bauabschnitt 1968—1979 (2 Röhren). Bei sinkendem Luftbedarf durch angenommene Verschiebung der LKW-PKW-Anteile kann der Kraftaufwand durch Verkleinerung der Einstellwinkel der Lüfterflügel entsprechend reduziert werden.

In der zentralen Steuer- und Überwachungsanlage werden die zahlreichen motorischen Antriebe der gesamten Lüftungsanlage gesteuert und überwacht. Durch Signallampen, die zu einem Leuchtbild vereinigt sind, und verschiedene ferngesteuerte Messinstrumente für CO-Gehalt und Sicht im Tunnel erhält das Bedienungspersonal jederzeit genaue Kenntnis über alle Veränderungen oder Störungen, die sich im Betriebe abspielen. Das Leuchtbild gibt in anschaulicher Weise den Zusammenhang wieder zwischen der elektrischen Energieversorgung, dem Betrieb der Motoren, der Luftzusammensetzung, Temperatur, Verkehrssignale, Sichtverhältnisse, Tunnelfüllung usw. Bild 19 zeigt einen Teil des Kommandoraumes zum Scheldetunnel in Antwerpen.

Das Steuerpult enthält die Apparate für alle betriebsmässig auszuführenden Schalthandlungen durch zwei Perso-

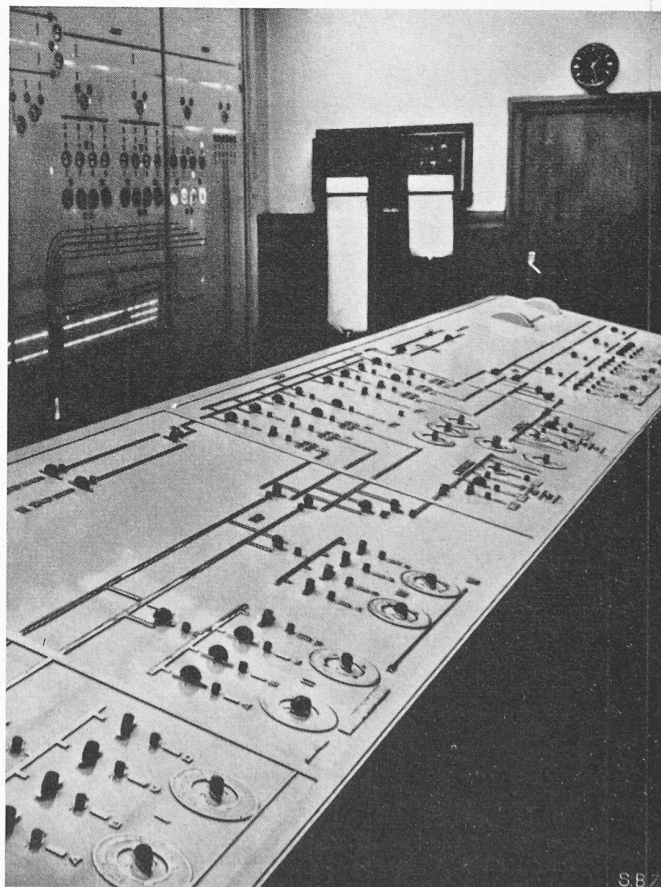


Bild 19. Steuerpult, Teil des Leuchtbildes und CO-Schreiber im Kommandoraum des Scheldetunnels in Antwerpen

nen, von denen stets eine anwesend sein muss. Alle wichtigen Betriebsgrößen werden durch selbsttätige Registrierinstrumente aufgezeichnet. Eine vom Kraftnetz unabhängige Fern-

sprechanlage sichert bei Störungen die Verbindung mit allen wichtigen Stellen des Tunnels. Um Lüftungsausfall bei Stromunterbrechung auszuschliessen, wurde der Anschluss an zwei von einander unabhängige Stromquellen vorgeschlagen, die von der Schaltzentrale aus eingeschaltet werden können.

Es wurde auch die Anwendungsmöglichkeit der Halbquerlüftung für den Wagenburgtunnel untersucht, wobei Frischluft von dem unter Fahrbahn liegenden 15,0 m² grossen Luftkanal in den 61,77 m² grossen Verkehrsraum geführt wird, während die Abluft durch Ablüfter in den Schächten abgesaugt wird und ohne besonderen Kanal im Tunnelfirst abzieht. Die Zwischendecke im Verkehrsraum entfällt. Dabei muss unter jedem Schacht wie beim Mersey-Tunnel im First des Verkehrsraumes auf eine gewisse Länge eine Diffusordecke angeordnet werden, um die Sog- und Luftzugwirkung im Verkehrsraum abzumildern und den Luftstrom zwangsläufig in den oberen Teil des Verkehrsraumes abzufrachten. Drei Zwischenschächte und ein Hilfsschacht am Westportal sind notwendig. Der Längsluftzug im Verkehrsraum im Zustand ohne Verkehr wird 2,18 m/s, mit Verkehr ein Vielfaches mehr. Für die 7 Lüftungsabschnitte sind 14 Frisch- und 14 Ablüfter zu installieren. Die auf 2,04 Mio DM veranschlagten Baukosten sind, bezogen auf eine Röhre, um 23,5 % höher als bei Querlüftung mit grossen Lüftern, die Betriebskosten sind etwa gleich gross. Die Luftgeschwindigkeit von 2,18 m/s im Verkehrsraum ist im Hinblick auf Brandgefahr und Fussgänger zu gross. In Anbetracht der grossen technischen Überlegenheit der Querlüftung wurde von der Anwendung der Halbquerlüftung abgeraten. Das selbe trifft zu auf eine bauseitige Variante der Halbquerlüftung mit zwei 30 m von den Portalen einwärts in vorhandene Luftschutzkammern zu legenden Schächten, die bei zwar nur 41,7 % Baukostenaufwand der Querlüftung jedoch im Mittel 201 % ihrer Betriebskosten erfordert und ausserdem grosse technische Mängel hätte. Der Luftzug im Verkehrsraum wäre im Zustand ohne Verkehr 5,55 m/s, mit Verkehr 7,34 m/s, mithin im Brandfalle und für Fussgänger, sowie offen Fahrende viel zu gross. Die Baukosten und die jährlichen Betriebskosten sind für die verschiedenen Varianten in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5. Bau- und jährliche Betriebskosten der verschiedenen Varianten in DM

Variante		1. Ausbau 1955—57 eine Röhre	2. Ausbau 1958—62 eine Röhre	3. Ausbau ab 1963 2 Röhren
Baukosten	<i>Querlüftung</i>			
	a grosse Lüfter	1 627 000 ¹⁾ (= 1,00)	1 657 000 ¹⁾ (= 1,00)	1 880 000 ¹⁾ (= 1,00)
	b kleine Lüfter	1 700 000 ¹⁾ (= 1,05)	1 951 000 ¹⁾ (= 1,18)	—
	c Portalbelüftung ^{1) 2)}	—	1 977 000 ¹⁾ (= 1,20)	—
	<i>Halbquerlüftung</i>			
	d kleine Lüfter ¹⁾	—	2 040 000 ¹⁾ (= 1,24)	—
	e aus bestehenden Kammern ^{1) 3)}	—	685 000 ¹⁾ (0,417)	—
	f <i>Längslüftung</i> ¹⁾	—	2 000 000 (= 1,21)	—
	g <i>Komb. Längs- und Halbquerlüftung</i>	1 610 500 ¹⁾ (= 0,98)	1 655 500 ¹⁾ (= 1,00)	1 952 800 ¹⁾ (= 1,04)
Jährl. Betriebskosten	<i>Querlüftung</i>			
	a grosse Lüfter	108 500 (= 1,00)	159 420 (= 1,00)	363 280
	b kleine Lüfter	117 400 (= 1,08)	173 300 (= 1,09)	—
	d <i>Halbquerlüftung</i>	145 000 (= 1,33)	166 590 (= 1,05)	—
	e aus bestehenden Kammern ³⁾	282 000 (= 2,60)	282 000 (= 1,77)	—
		(Mittel = 2,01)		

¹⁾ Mit technischen Mängeln behaftet.

²⁾ Portalbelüftung der Aussenstrecken.

³⁾ Belüftungsanlage in bestehende Luftschutzkammern eingebaut, die sich 30 m von den Portalen einwärts befinden.

⁴⁾ Zu diesen Beträgen kommen noch 1 400 000 DM für den Frischluftkanal, der aus Gründen der Mittelbewilligung unter dem Titel «Tunnelbau» verrechnet wurde.

IV. Schlusswort

Die Untersuchungen ergaben, dass für den Wagenburgtunnel Querlüftung die technisch beste und auf weite Sicht auch wirtschaftlichste Lösung ist. Selbst bei der technisch schlechten Lösung der Verwendung vorhandener Luftschutzkammern für eine Halbquerlüftung werden bei angemessener Verzinsung die eingesparten Baukosten schon innerhalb eines Jahrzehnts durch die Verteuerung der Betriebskosten aufgezehrt. Die beim geringen Luftbedarf der fallenden Röhre mögliche Kombination der Quer- und Längslüftung bietet für die speziellen Baukosten dieser Röhre und ihrer Lüftung beachtliche Verbilligungen. Die natürliche Lüftung genügt nicht, weil sie nicht immer wirkt, der Tunnel nicht in vorherrschender Windrichtung liegt, mit thermischen Differenzen an den Portalen nicht immer gerechnet werden kann und weil sie, wenn sie gelegentlich wirkt, schwankend, umkehrbar und zu schwach ist, um die erforderlichen Frischluftmengen zu fördern; ausserdem wird sie vom Gegenverkehr aufgezehrt. Gegen die bei Querlüftung erforderliche Zwischendecke im Tunnel wurde bauseits eingewendet, dass sie die architektonische Wirkung des Tunnelgewölbes zerstöre. Diesem Einwand wird mit dem Hinweis auf die zahlreichen Ausführungen querbelüfteter Autotunnel begegnet, wo durch die Zwischendecke eine Verbesserung der Gesamtwirkung des Tunnels und der Beleuchtungseffekte im Verkehrsraum bewirkt wurde. Dem bauseitigen Einwand, dass Querlüftung vornehmlich bei Unterwassertunneln, nicht aber bei Bergtunneln angebracht sei, werden die Tunnel in Lyon und unter der 179. und der 178. Strasse in New York entgegen gehalten. Auch ein aus den Professoren Dr.-Ing. Dr. rer. pol. h. c. Pirath und Abt. Präs. i. R. Hartmann, Stuttgart, sowie Abt. Präs. i. R. Buddenberg, Berlin, gebildetes Gutachterkollegium kam bis jetzt in der Lüftungsfrage Wagenburgtunnel zu keinen wesentl. abweichenden Schlussfolgerungen.

Dem Gutachterkollegium, den Siemens-Schuckertwerken, Erlangen, sowie Direktor van Haren vom Scheldetunnel Antwerpen (IMALSO) und den Verwaltungen des Maastunnels Rotterdam, des Mersey-Tunnels Liverpool, des Tunnels St. Cloud, Paris, und des Tunnels La Croix Rousse, Lyon, sowie den Mitarbeitern des Verfassers sei an dieser Stelle herzlicher Dank für Mitarbeit, zahlreiche Anregungen und reichlich zur Verfügung gestelltes Material gesagt.

Literaturverzeichnis

- [1] H. H. Kress: Richtlinien für die Entwurfsbearbeitung von Autotunneln. Diss. Technische Hochschule Stuttgart 1936, Omnitypie-Gesellschaft, L. Zechnall.
- [2] «Engineering News Record» vom 10. März 1927, S. 392.
- [3] «Engineering News Record» vom 21. August 1924 und 7. Mai 1925.
- [4] H. H. Kress: Autotunnel als Hilfsmittel grossstädt. Verkehrsentwicklung. «Der Bauingenieur» 1937, Nr. 17 und 18.
- [5] H. H. Kress: Ueber die Lüftung langer Autotunnel. «Der Strassenbau» 1937, Nr. 13, 15, 19 und 20.
- [6] «Schweiz. Bauzeitung» Bd. 119, S. 195* (23. April 1942), Tabellen 1 und 2 (E. Schmitter: Lüftung Maastunnel Rotterdam).
- [7] Pirath/Wetzel: Die Verkehrsplanung und die städtebauliche Neugestaltung von Stuttgart. Denkschrift 1941.
- [8] New Ventilating System Designed for Penn-Lincoln Parkway Tunnel (Squirrel Hill Tunnel). «Engineering News Record» vom 16. 11. 1944, S. 82.
- [9] Hartmann F.: Tunnelbau. Handbuch für Eisenbetonbau, 4. Auflage 1937, Berlin, Ernst & Sohn.
- [10] Kravath: Lüfter, Lüfterantriebe und ihre Steuerung bei der Belüftung von Fahrzeugtunneln. «Heating and Ventilating», November 1941, S. 38.
- [11] H. H. Kress: Autotunnel unter dem Hudson in New York (Lincoln Tunnel). «Bauing.» 1937, Nr. 47 und 48, S. 761.
- [12] H. H. Kress: Zur Bemessung der eisernen Auskleidung kreisförmiger Unterwassertunnels. «Bautechnik» 1940, Nr. 42, S. 477.
- [13] Ole Singstad: Bau von Unterwassertunneln in den Vereinigten Staaten von Amerika. «Zeitschrift VDI» vom 11. 3. 1933, S. 265 bis 270.
- [14] A. Bartholomäi: Zur Frage der Lüftung langer Autotunnel (Tilts-Projekt). SBZ Bd. 112, S. 84* (20. Aug. 1938).
- [15] Getto: Einfluss des Verkehrs auf die Längsströmung der Luft in einem Kraftfahrzeug-Tunnel. «Zeitschrift VDI» Bd. 93, Nr. 6 vom 21. 2. 1951, S. 141.
- [16] Visser: Mechanische Installaties c. a. van de Maastunnel te Rotterdam. Sonderdruck aus «De Ingenieur» 1940, Nr. 29.
- [17] Proetel: Die neuen Unterwassertunneln unter dem Mersey-Fluss bei Liverpool und unter der Maas bei Rotterdam. «Zeitschrift VDI» Bd. 84, Nr. 48 vom 30. 11. 1940, S. 932.
- [18] Hauwaert: Les tunnels sous l'Escaut à Anvers. Sonderdruck aus «La Technique des Travaux», Juni, Juli, Sept., Dez. 1932, Jan. 1933, Febr., März 1934.
- [19] Le Tunnel de St-Cloud: «Annales des Ponts et Chaussées» 1941, VII—VIII, S. 58.
- [20] E. und G. Gruner: Grosse Autotunnel. «Schweiz. Bauztg.» Bd. 106, S. 158* und 167* (1935).
- [21] C. Andrae: Zur Frage der Lüftung langer Autotunnel. «Schw. Bauztg.» Bd. 111, S. 225* und 249 (1938).
- [22] C. Andrae: Zum Problem der Autostrassentunnel. «Schweiz. Bauztg.» Bd. 114, S. 1* und 20 (1939).
- [23] P. Jaray und C. Andrae: Zur Frage der Autotunnelbelüftung. «Schweiz. Bauztg.» Bd. 114, S. 175* und 235 (1939).