

Gesichtspunkte zur Beurteilung von Längslüftungsanlagen für Autotunnel und Garagen mit Strahlventilatoren

Autor(en): **Loch, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **91 (1973)**

Heft 33

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71959>

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.

Gesichtspunkte zur Beurteilung von Längslüftungsanlagen für Autotunnel und Garagen mit Strahlventilatoren

DK 625.712.35:628.83

Von Dr. E. Loch, dipl. Masch. Ing., Zürich

1. Einleitung

Die Längslüftung mit Strahlventilatoren wird bei kurzen, verkehrsreichen wie auch bei längeren, verkehrsarmen Tunneln angewendet. Die maximale Länge, bei der diese Belüftungsmethode zulässig ist, hängt von den Verkehrsverhältnissen, den besonderen sicherheitstechnischen Bestimmungen sowie den meteorologischen Gegebenheiten ab. Als Richtwert für Tunnel mit mittleren Verkehrsfrequenzen kann eine Länge von rund 1000 m angenommen werden. Bild 1 zeigt ein Anwendungsbeispiel.

Da der rollende Verkehr, bedingt durch die Kolbenwirkung der einzelnen Fahrzeuge, eine Impulswirkung auf die Luft im Tunnel ausübt, wird unter bestimmten Voraussetzungen eine künstliche Längslüftung überflüssig. Über die maximale Länge von Strassentunneln ohne künstliche Belüftung wird in [1] berichtet.

Weitere Einsatzgebiete für Strahlventilatoren sind Fussgänger-Unterführungen an stark befahrenen Strassen, in denen sich ohne eine ausreichende Belüftungseinrichtung schädliche Abgase ansammeln können, ferner Zugangsstollen zu Kraftwerken oder unterirdischen Anlagen sowie Baustollen. Voraussetzung für eine einwandfreie Wirkungsweise dieser Belüftung ist, dass der Stollen beidseitig Öffnungen ins Freie besitzt.

Eine andere Einsatzmöglichkeit bietet sich für Strahlventilatoren bei der Belüftung von Parkgaragen. In der in Bild 2 gezeigten Anlage haben die einzelnen Parkgeschosse direkte Zugänge zu Geschäftshäusern. Das Parkhaus wird durch eine Belüftungsanlage über Verteilkanäle und Ausblasgitter mit frischer Luft versorgt; die Abluft entweicht über die offenen Zufahrtsrampen direkt ins Freie, ohne die Nachbarliegenschaften zu beeinträchtigen. Der auf diese Weise in der Garage entstehende Überdruck, würde nun die Abgase in die Geschäftsräume drängen. Das wird aber durch vier an der Decke der Zufahrtsrampe installierte Strahlventilatoren verunmöglicht, deren Schubwirkung das Ausströmen der mit Abgasen durchsetzten Abluft beschleunigt. Dabei wird im Parkhaus ein geringer Unterdruck aufrecht erhalten.

2. Bemessung

Ausgangslage für die Bemessung bildet die kritische Verkehrsbelastung. Sie kann bei Tunneln mit Gegenverkehr

durch den maximalen, gleichzeitig in beiden Richtungen zu erwartenden Verkehrsstrom oder bei richtungsgetrennten Fahrbahnen in getrennten Tunneln durch stockenden oder stehenden Verkehr gegeben sein. Im ersten Fall wird die durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge hervorgerufene Selbstlüftung weitgehend aufgehoben. Da häufig genaue Unterlagen über die gleichzeitigen Verkehrsfrequenzen fehlen, müssen diese zum Teil geschätzt werden. Vernünftige Bemessungsbedingungen ergeben sich beispielsweise bei zweispurigen Tunneln mit Gegenverkehr, wenn auf der einen Seite etwa $\frac{2}{3}$, auf der Gegenseite etwa $\frac{1}{3}$ der maximal auftretenden Verkehrsspitze angesetzt wird und die Lüftungsrichtung entgegen dem grösseren Fahrzeugstrom erfolgt.

Die Bemessung der Lüftung erfordert die Kenntnis sämtlicher Tunneln, damit aus dem Verkehrsstrom und dem daraus ermittelbaren schädlichen CO-Anfall die benötigte Frischluftzufuhr berechnet werden kann. Der Widerstand bzw. Druckverlust dieses Luftstromes muss beim Durchströmen des Tunnels durch die Summe der Impulse sämtlicher Strahlventilatoren überwunden werden, Bild 3. Umfangreiche Berechnungsgrundlagen sind aus der Literatur [2], [3] und [4] bekannt.

Der Hersteller von Strahlventilatoren offeriert in den meisten Fällen eine Ausführung mit festgesetztem Durchmesser in axialer Bauart. Volumenstrom, Schub und Leistung des Strahlventilators sind durch im Stillstand einstellbare Laufradschaufeln in einem bestimmten Bereich anpassbar. Die erforderliche Anzahl z der in einem Tunnel zu installierenden Strahlventilatoren hängt deshalb weitgehend von den gewählten Daten einer Einheit ab. Sie ergibt sich aus

$$z = k \frac{\Sigma \Delta p_T}{\rho w_T^2} \frac{(V/V_s)^2}{(F_T/f - V/V_s) + 1}$$

k	Strahlwirkungs-Koeffizient nach [5]
$\Sigma \Delta p_T$	Summe der Gesamtdruckverluste bei der Strömung V (Frischluftstrom) durch den Tunnel
F_T	lichte Tunnelquerschnittsfläche
$w_T = V/F_T$	mittlere Geschwindigkeit im Tunnel
f	Treibstrahl-Querschnittsfläche des Strahlventilators
$\rho = \gamma/g$	Dichte der Luft

Bild 1. Fieud-Tunnel der Gotthard-Passstrasse, Länge 770 m, 2000 m ü. M., Tunnelröhre mit Gegenverkehr, ausgerüstet mit sechs Luwa-Strahlventilatoren St 310-630 (Werkaufnahmen Luwa AG, Zürich)

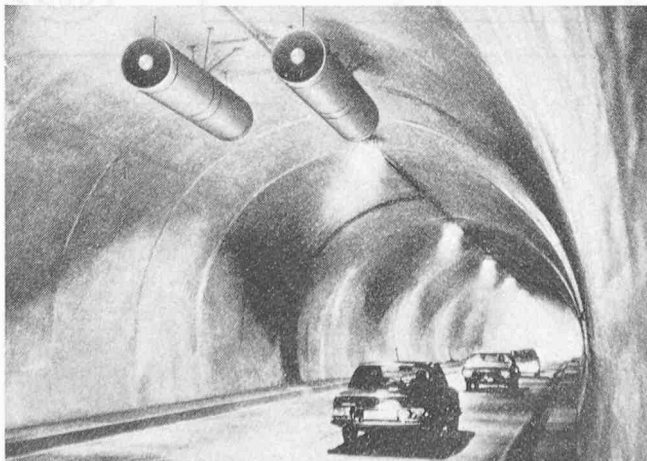
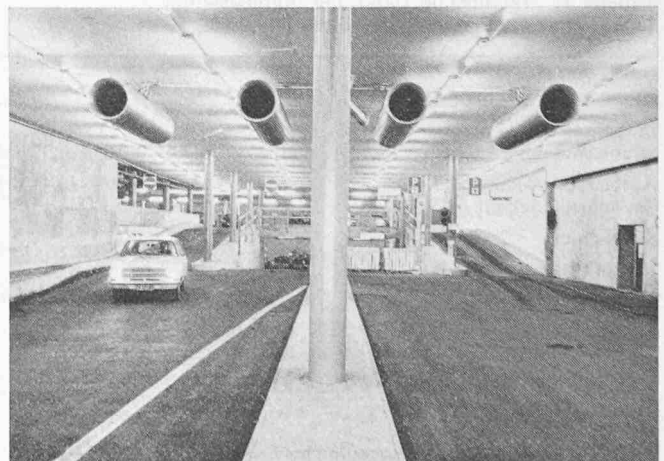


Bild 2. Treibstrahl-Vorhang in der Zufahrtsrampe des neuen Parkhauses unter dem SBB-Bahnhof Baden



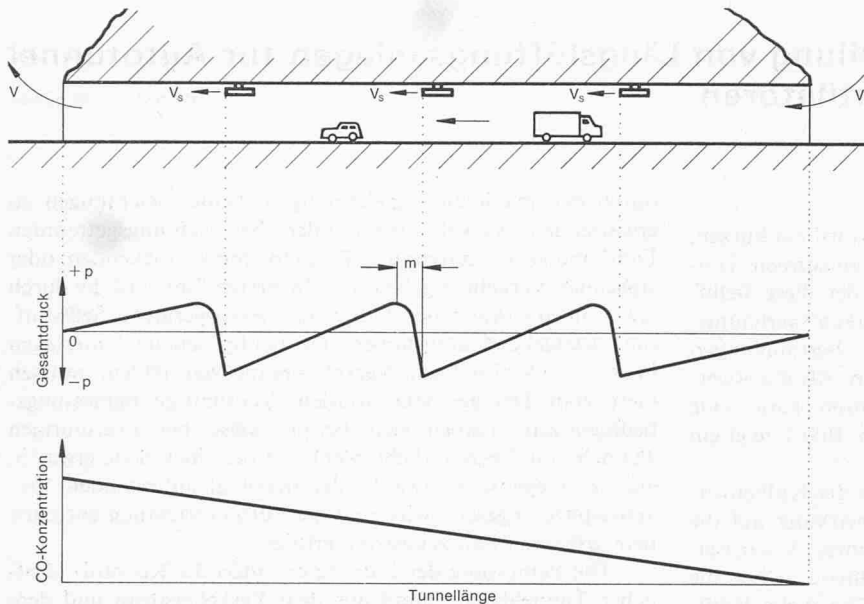


Bild 3. Längslüftung eines Strassentunnels mit Strahlventilatoren. Der Druckverlust beim Durchströmen der Luft muss durch die Impulswirkung der Ventilatoren kompensiert werden. Die CO-Konzentration nimmt in Durchflussrichtung zu und erreicht am Austritt den Höchstwert

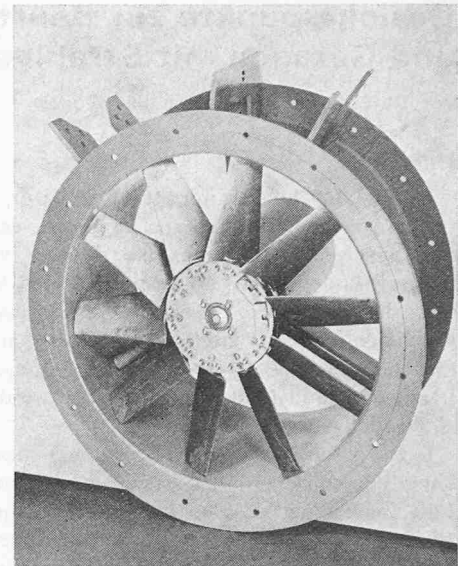


Bild 4. Aktiver Teil des Strahlventilators, bestehend aus Laufrad mit im Stillstand verstellbaren Schaufeln, elektrischem Antriebsmotor und Gehäuse

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten technischen Daten der standardisierten Luwa-Strahlventilatoren St. 310–630 zusammengefasst. Bei anderen spezifischen Luftgewichten müssen die Klemmenleistungen entsprechend umgerechnet werden. Die Verstellbarkeit der Laufradschaufeln erlaubt bei genügender Leistungsreserve des Motors auch eine nachträgliche Anpassung des Luftstroms an langfristig veränderte Verkehrsbedingungen.

3. Optimierung

Die Festlegung der Daten, insbesondere der Förderströme V_s für die Strahlventilatoren, erfolgt zweckmässig auf Grund einer Wirtschaftlichkeitsberechnung. Dabei sind die gesamten Jahreskosten der Belüftung in Abhängigkeit von z zu ermitteln und das Minimum zu suchen. Infolge der einfachen Montage der Strahlventilatoren direkt an der Tunneldecke (mit Dübel oder Schienen) entstehen nur unbedeutende bautechnische Kosten. Je grösser man V_s wählt, um so geringer wird z . Die Kapitalkosten für Ventilatoren, elektrische Installationen und Kabelzuleitungen fallen dadurch bedeutend geringer aus. Dagegen sinkt der Injektor-Wirkungsgrad des Treibstrahls wegen höherer Ausblasgeschwindigkeit.

Infolge der kleineren Stückzahl wird unter Umständen aus regeltechnischen Gründen dadurch die Zahl der Vollbetriebsstunden grösser. Beide Faktoren erhöhen den Energieverbrauch und bewirken entsprechend höhere Betriebskosten, wobei diese auch durch die Art der Regelung noch zusätzlich beeinflusst werden können. Optimierungsrechnungen erfordern die Kenntnis aller Einflussfaktoren und sind deshalb oft sehr aufwendig. Untersuchungen dieser Art lohnen sich deshalb nur bei grösseren Projekten.

4. Regelung

In den meisten Fällen sind nahe den Tunnelportalen automatische CO-Überwachungsinstrumente eingebaut, die aufgrund einstellbarer Konzentrationsgrenzwerte sämtliche Regelimpulse auslösen. Oftmals werden zusätzlich auch Sichttrübungsgeräte installiert, um dem erhöhten Rauchanteil von Dieselfahrzeugen Rechnung zu tragen.

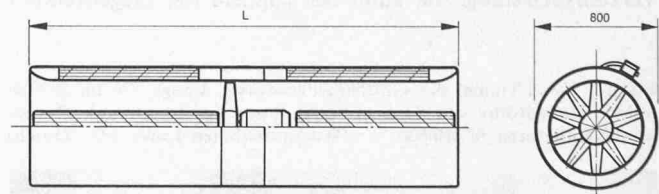


Tabelle 1. Technische Daten der normalisierten Luwa-Strahlventilatoren St 310–630

Ventilator-drehzahl	<i>n</i>	U/min	2900							1450						
Luftstrom des Strahlventilators	<i>V_S</i>	m ³ /s	7,4	7,8	8,3	9,0	9,6	10,0	10,4	3,7	3,9	4,1	4,5	4,8	5,0	5,2
Ausblasgeschwindigkeit (im Ringquerschnitt <i>f</i> = 0,272 m ²)	<i>c</i>	m/s	27,2	28,6	30,4	33,0	35,2	36,7	38,2	13,6	14,3	15,0	16,5	17,6	18,3	19,1
Stand-schub	$\frac{S_g}{\gamma} = V_S \cdot c$	m ⁴ /s ²	201	223	252	297	338	367	397	50	56	62	74	84	91	99
Luft-dichte																
Lau-schau-fel-an-stell-winkel	<i>α</i>	Grad	22	24	26	30	33	35	38	22	24	26	30	33	35	38
Schall-druck-pegel ¹⁾	<i>L</i> = 2930	dBA	73				75		77	55				58		60
	<i>L</i> = 3930	dBA	65				68		70	47				50		52
Klemmenleistung bei <i>γ</i> = 1,20 kg/m ³	<i>N_{Kl}</i>	kW	5,2	6,0	7,3	9,3	11,3	12,8	14,4	0,71	0,84	1,01	1,34	1,53	1,81	2,0

¹⁾ Distanz: 10 m in Achsrichtung im Freien

Die Anpassung des Frischluftstromes V' an den variablen Verkehrsstrom M' erfolgt automatisch durch einzelnes oder gruppenweises Zu- und Abschalten der Strahlventilatoren. Dabei wird die Injektorwirkung der in Betrieb befindlichen Ventilatoren durch die Abschaltung der anderen Aggregate fast nicht beeinflusst, d.h. die Reihenfolge der Abschaltung hat keinen Einfluss auf die Regelung.

Die Vollastbetriebsstundenzahl Θ , die als Quotient des effektiven Jahresenergieverbrauchs für den Betrieb der Lüftung zur Klemmenleistung aller installierten Ventilatoren definiert wird, ist das direkte Mass für die Güte der Regelung. Zwischen den wesentlichen Einflussparametern besteht bei konstant gehaltenem CO-Gehalt folgender Zusammenhang:

$$M' \sim V' \sim \sqrt{i}$$

variabler Verkehrsstrom PWE/h erforderlicher Frischluftstrom m^3/s i im Betrieb befindliche Anzahl von Ventilatoren bei Teillast

$$\text{und } \Theta = \Sigma(i \Delta t)/z$$

M entspricht der maximalen Anzahl Fahrzeuge in Personewageneinheiten pro Stunde und Δt der auf das ganze Jahr bezogenen Einschaltdauer einer Regelstufe in Stunden.

Für eine als repräsentativ angenommene Verkehrsfrequenzkurve, welche die relative Frequenz M'/M in Abhängigkeit von der Jahresstundenzahl einer Hauptverkehrsstrasse (ausserorts) darstellt, lassen sich Anhaltswerte für die Vollast-Betriebsstundenzahlen nach Tabelle 2 angeben, und zwar sowohl für Einzelabschaltung als auch für paarweises Abschalten. Dabei wurde angenommen, dass bei $M'/M \cong 0,3$, also wenn die Verkehrsfrequenz auf einen Drittel des Maximalwertes abgefallen ist, nicht mehr künstlich gelüftet wird, da die Kolbenwirkung der Fahrzeuge für die ausreichende Luftförderung im Tunnel genügt. Dies begrenzt die gesamte Laufzeit der Lüftung auf etwa 1600 Stunden pro Jahr.

Je nach den gewählten Regelstufen können einzelne Strahllüfter oder auch ganze Gruppen, bestehend aus mehreren nebeneinander angeordneten Ventilatoren, geschaltet werden. Um die Stromstösse im elektrischen Netz niedrig zu halten, sollten die Aggregate durch eine Folgesteuerung einzeln zugeschaltet werden. Neben der automatischen Betriebsweise ist bei den meisten ausgeführten Anlagen auch eine Umstellung auf individuellen Handbetrieb möglich.

Die Lüftung lässt sich an die jeweils vorherrschende Verkehrsrichtung und die wechselnden meteorologischen Bedingungen – gemeint sind damit unterschiedliche Druckverhältnisse an den Portalen und die daraus resultierenden Luftströmungen im Tunnel – durch ein Umkehren der Blastrichtung anpassen. Die Laufräder der Strahlventilatoren besitzen eine, bezogen auf die Skelettlinie des Profils, vollkommen symmetrische Beschauelfung, Bild 4. Eine Drehrichtungsänderung des Antriebmotors liefert gleiche Leistungsdaten in beiden Blastrichtungen. Auch die an das Ventilatorgehäuse angebauten langen Rohrschalldämpfer mit Kernen und Einlaufdüsen sind symmetrisch ausgeführt. Dank der strömungstechnisch richtigen Gestaltung sämtlicher im Strahlventilator

enthaltenen Elemente, die der hohen, praktisch axial gerichteten Durchflussgeschwindigkeit ausgesetzt sind, hat dieser einen sehr hohen Wirkungsgrad.

5. Einbau

In der Regel werden Strahlventilatoren paarweise, unter Umständen sogar bis zu sechs Stück nebeneinander, direkt an die Decke des Tunnels oder der Unterführung montiert. Die Anordnung mehrerer Einheiten an der gleichen Stelle ermöglicht wesentliche Einsparungen. Die Montage erfolgt mit Hilfe mitgelieferter Seilzüge und Umlenkrollen, die vorübergehend an der Decke befestigt werden. Auf diese Weise können die Strahlventilatoren auch bei Revisions- und Reinigungsarbeiten leicht demontiert werden. Für die Verankerung in der Decke dienen einbetonierte Schienen oder schwere Bolzendübel, die nach einer Bohrschablone versetzt werden.

Von schnellfahrenden Fahrzeugen, insbesondere grossen Lastwagen, werden im Tunnel starke örtliche Luftströmungen und Wirbel erzeugt. Auf Strahlventilatoren, die sich meist in unmittelbarer Nähe des Lichttraumprofils befinden, werden dadurch un stetig pulsierende Kräfte übertragen. Eine sichere Aufhängung mit elastischen Elementen ist deshalb erforderlich.

Als Anhaltswerte für den minimalen Platzbedarf der Ventilatoren gelten folgende Masse: Achsdistanz zwischen zwei Strahlventilatoren 2000 mm, Abstand zwischen Unterkante Ventilator und Betondecke 1060 mm.

Um die volle Treibstrahlwirkung der Ventilatoren ausnützen zu können, sollte einerseits der minimale Abstand vom Tunnelportal bis zum ersten Strahlventilator und andererseits die Distanz zwischen den einzelnen Ventilatorgruppen in der Grössenordnung der Mischlänge m (Bild 3), bzw. Abbremsstrecke der Treibstrahlen liegen. Sie ist im wesentlichen von der Ausblasgeschwindigkeit c der Ventilatoren und den Profildaten des Tunnels abhängig. In der Praxis werden Abstände von 50 bis 100 m angewendet.

Die Randzonen des Treibstrahls werden an den Tunnelwänden abgebremst, so dass sich ein bedeutender Verlust ergibt [5]. Deshalb muss die Anzahl der Ventilatoren oft bis zu 20% erhöht werden. Besonders ungünstig sind in dieser Hinsicht Ventilatoranordnungen in Unterführungen mit Rechteckprofilen, da bei dieser Bauart wenig Platz in unmittelbarer Nähe der Wände oder Ecken zur Verfügung steht. Ebenso in Nischen oder hinter quer zur Tunnelachse verlaufenden, vorstehenden Balkenkonstruktionen. In solchen Fällen ist es vorteilhaft, den Treibstrahl durch ein unmittelbar an den Strahlventilator angebautes Ablenk gitter, von der Wand oder dem Hindernis weg, in die Mitte des Tunnelquerschnittes zu leiten. Der durch das Umlenk gitter bedingte Druckverlust erfordert eine erhöhte Motorantriebsleistung und ergibt zusammen mit der Reduktion der Treibstrahlwirkung infolgederen Ablenkung aus der Achsrichtung des Tunnels einen Verlust von rund 5%. Obwohl sich die Bremsverluste des Treibstrahls an den Wänden nie ganz vermeiden lassen, können diese durch den Einbau von Ablenk gittern doch wesentlich herabgesetzt werden, so dass gesamthaft betrachtet ein Leistungsgewinn erzielt werden kann.

Zum Schutz vor aufgewirbelten oder von Lastwagen wegfliegenden Abfällen (Papier, Karton, Kunststoff-Folien usw.) sowie hochspritzenden Steinen oder auch von übermütigen Leuten mutwillig in die Strahlventilatoren geworfenen Gegenständen sind saugseitig Schutzkörbe aus Drahtgewebe zu empfehlen. Von den Ventilatoren angesaugte Gegenstände können den kontinuierlichen Lauf der Ventilator-Schauelfn beeinträchtigen und in extremen Fällen sogar zu deren Bruch führen. Die saugseitig zu montierenden Schutzkörbe sind so ausgebildet, dass fast kein zusätzlicher Verlust entsteht. Die Verwendung solcher Schutzkörbe beschränkt sich aber auf den nichtreversiblen Betrieb.

Tabelle 2. Anhaltswerte für Vollast-Betriebsstundenzahlen

z	Θ [h] Einzel	Θ [h] paarweise	z	Θ [h] Einzel	Θ [h] paarweise
24	434	471	12	471	515
20	438	479	8	490	585
16	471	515	4	585	835

z Anzahl installierter Ventilatoren

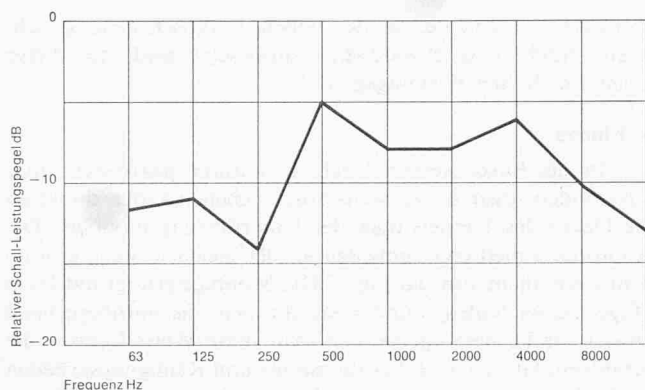


Bild 5. Relativer Verlauf des Schalleistungspegels für den Luwa-Strahlventilator St 310-630

6. Schallpegel

Der aktive Teil des Strahlventilators, bestehend aus Laufrad, Gehäuse und Elektromotor, ist verhältnismässig kurz. Zur Verringerung des Lärmpegels sind an beiden Seiten des Gehäuses rohrförmige Absorptions-Schalldämpfer mit Kernen angesetzt, die gleichzeitig auch der Luftführung dienen. Durch Abstufen der Schalldämpferlängen können verschiedene Geräuschpegel erreicht werden. Bild 5 zeigt den ungefähren Verlauf des relativen Schall-Leistungspegels für einen im Freien gemessenen Strahlventilator in einer Entfernung von 10 m in der Ventilatorachse. Liegen Tunnel in der Nähe von Siedlungen, so ist darauf zu achten, dass eine durch die Ventilatoren bedingte Geräuschbelästigung der Anlieger vermieden wird. Es hat aber keinen Sinn, den Ventilator-Geräuschpegel mit Hilfe kostspieliger Massnahmen zu senken, da auch die Fahrzeuge eine bedeutende Lärmquelle bilden, die nicht verringert werden kann. Bei der Auswahl der Ventilatoren spielt daher die Relation zum Verkehrslärm eine wichtige Rolle.

6.1 Verkehrslärm

Um genauere Angaben über den Verkehrslärm in einem Tunnel sowie an Portalen einer Autobahn zu gewinnen, wurden Messungen beim Südportal des Baregg隧NELS der N1 vorgenommen. Da der Verkehr zum Zeitpunkt der Messungen nicht sehr stark war, sind die Ergebnisse vor allem die ermittelten Werte ausserhalb des Tunnels, als untere Werte anzusehen.

Nach Messung beträgt der Lärm eines PW im Tunnel etwa 89 dBA. Dieser Wert versteht sich als momentaner Maximalwert des in etwa 5 m Abstand vom Messinstrument vorbeifahrenden Fahrzeugs.

In einem Abstand von 30 m ausserhalb der Portale ergaben sich Schallpegel, die für einen Vergleich mit dem Lärm der Ventilatoren herangezogen werden können, Tabelle 3. Ohne Verkehr ist so zu verstehen, dass sich auf den beiden richtungsgetrennten Fahrbahnen sowie in der näheren Entfernung im Tunnel kein Fahrzeug befand.

6.2 Ventilatorlärm

Der Geräuschpegel eines Strahlventilators ist je nach Aufwand für die Schalldämpfer verschieden. Er wird im Freien gemessen. In unausgekleideten Tunneln mit Betonwänden erhöht sich dieser Wert um etwa 10 dB. Bei gleichzeitigem Betrieb von mehreren Ventilatoren ergibt sich nach dem bekannten Additionsgesetz eine Steigerung des Geräuschpegels.

Andere Messungen im Tunnel der N6, mit welchem die Thuner Allmend unterfahren wird, ergaben Werte über der mit der Tunnellänge proportionalen Abnahme des Schall-

pegels durch Dämpfung der betonierten Wände. Es wurde dabei ein mittlerer Dämpfungskoeffizient von $\alpha = 0,02-0,03$ ermittelt. Die Ventilatoren werden aus akustischen Gründen möglichst in der Mitte des Tunnels angeordnet. Ausserhalb des Tunnels, d.h. in etwa 30 m Entfernung vom Portal, ist mit einer Abnahme des Lärmpegels entsprechend dem Abstandsgesetz zu rechnen.

Bild 6 zeigt anhand eines konkreten Beispiels den Verlauf der Schalldruckpegel im Tunnel und ausserhalb des Portals. Das Beispiel beruht auf acht gleichzeitig im Betrieb stehenden Ventilatoren für drei verschiedene Schallstufen I, II und III. Ausserdem sind die Geräuschpegel des Verkehrs nach Tabelle 3 eingetragen.

6.3 Forderungen an den Ventilator-Geräuschpegel

6.3.1 Wenn der Geräuschpegel aller acht Ventilatoren gleich oder kleiner sein soll als der Lärm eines PW im Tunnel, dann muss

$$L_{PW} = 89 \text{ dBA} \geq L_s \text{ Vent. Tunnel}$$

sein. Aus der nachfolgenden Zusammenstellung lässt sich der dafür erforderliche Pegel eines Ventilators im Freien (10 m Abstand) ermitteln:

$$\begin{aligned} L_{PW} &= L_1 \text{ Vent. Freien} \\ &+ 10 \text{ dBA Ventilator im Tunnel} \\ &+ 9 \text{ dBA acht Ventilatoren in Betrieb wobei} \\ L_1 \text{ Vent. Freien} &= 70 \text{ dBA} \end{aligned}$$

6.3.2 Der Geräuschpegel der acht in Betrieb befindlichen Ventilatoren, gemessen ausserhalb des Tunnels in 30 m Entfernung vom Portal, entspricht etwa dem minimalen Lärmpegel des rollenden Verkehrs an dieser Stelle.

Als Vergleichswert L_{Verkehr} wird der minimale Wert der oben genannten Messungen herangezogen. Dieser Wert ist eher zu tief, wenn man bedenkt, dass alle acht Ventilatoren nur bei max. Verkehrsfrequenz, d.h. über etwa 2000 PWE/h in Betrieb sind. Auch vorübergehende Frequenzminima werden bei diesem Betriebszustand kaum unter 500 PWE/h fallen.

$$L_{\text{Verkehr}} \cong 67 \text{ dBA}$$

Daraus kann nach oben gestellter Forderung der Lärmpegel eines einzelnen Strahlventilators im Freien in 10 m Entfernung wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} L_{\text{Verkehr}} &= L_1 \text{ Vent. Freien} \\ &+ 10 \text{ dBA Ventilator im Tunnel} \\ &+ 9 \text{ dBA acht Ventilatoren in Betrieb} \\ &- 7 \text{ dBA Dämpfung bis Portal (260 m)} \\ &- 11 \text{ dBA Abnahme bis Vergleichspunkt (30 m} \\ &\quad \text{ausserhalb des Portals)} \end{aligned}$$

$$L_{1 \text{ Vent. Freien}} = 66 \text{ dBA}$$

6.4 Geräuschpegel bei verschiedenen in Betrieb stehenden Ventilatoren

Für die verschiedenen Regelstufen ändert sich der Geräuschpegel entsprechend der Anzahl der in Betrieb befindlichen Ventilatoren. An sämtlichen Stellen kann der Wert durch

Tabelle 3. Lärmentwicklung ausserhalb der Portale in dBA

	max.	mittel	min.
ohne Verkehr	67	63	56
mit beidseitigem Verkehr (etwa 400 PWE/h)	86	74	68

Tabelle 4. Zahlenwerte für ΔL

Anzahl Ventilatoren im Betrieb	8	6	4	2	1
ΔL	0	1	3	6	9

Subtraktion von ΔL nach Tabelle 4 vom Geräuschpegel bei höchster Regelstufe ermittelt werden.

6.5 Festlegung der Schallstufe

Aufgrund der unter Punkt 6.3 unter Berücksichtigung der Messungen angestellten Überlegungen ist der Ventilator mit der Schallstufe II, Bild 6, für den Einsatz in diesem Fall gerechtfertigt.

*

Strahlventilatoren mit gleichen Leistungsdaten für tiefere Geräuschpegel, wie beispielsweise 55 dBA, lassen sich schwer verwirklichen. Sie erfordern sehr lange Schalldämpfer und ergeben zusätzlich konstruktive Probleme. Ausserdem ergibt die Austrittsgeschwindigkeit des Strahlventilators ein Strömungsrauschen, welches mit Schalldämpfern nicht beeinflusst werden kann. Dadurch werden der Herabsetzung des Schallpegels Grenzen gesetzt. Für sehr scharfe Geräuschbedingungen hilft in der Regel nur eine Verminderung der Ausblasmenge durch sehr flaches Anstellen der Laufradschaufeln oder eine Drehzahlreduktion auf 1500 U/min. Der Schub pro Einheit wird dabei nach der Gleichung $S \sim V_s^2$ verkleinert, so dass eine grössere Zahl von Ventilatoren installiert werden muss.

Literaturverzeichnis

- [1] Gruner, G. u. Bürkel, P.: Maximale Länge von Autotunneln ohne künstliche Belüftung, «Schweiz. Bauzeitung» 81 (1963) H. 29, S. 511–514.
- [2] Die Lüftung der Autotunnel, Bericht der Expertenkommission für Tunnellüftung. Institut für Strassenbau. ETHZ-Mitteilungen Nr. 10.

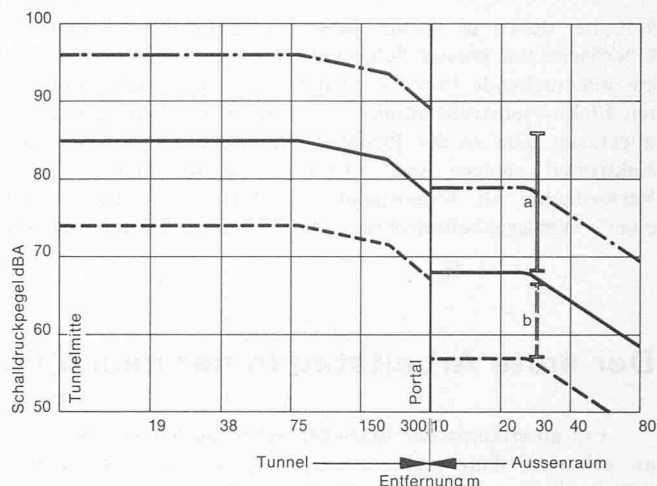


Bild 6. Schalldruckpegel innerhalb und ausserhalb eines Tunnels, belüftet mit acht Strahlventilatoren, im Vergleich dazu der Verkehrslärm 30 m ausserhalb des Portals a bei beidseitigem Verkehr etwa 400 PWE/h, b ohne Verkehr (nach Tabelle 3). Der Schalldruckpegel eines Ventilators im Freien in 10 m Abstand vom Portal beträgt 77 dBA bei Schallstufe I (strichpunktierter Kurve), 66 dBA bei Stufe II (ausgezogene Kurve), 55 dBA bei Stufe III (gestrichelte Kurve)

- [3] Meidinger, U.: Längslüftung von Autotunneln mit Strahlgebläsen. «Schweiz. Bauzeitung» 82 (1964) H. 28, S. 498–501.
- [4] Rohne, E.: Über die Längslüftung von Autotunneln mit Strahlventilatoren. «Schweiz. Bauzeitung» 82 (1964), H. 48, S. 840–844.
- [5] Kempf, J.: Einfluss der Wandeekte auf die Treibstrahlwirkung eines Strahlgebläses. «Schweiz. Bauzeitung» 83 (1965) H. 4, S. 47–52.

Adresse des Verfassers: Dr. E. Loch, Luwa AG, Anemonenstr. 40, 8046 Zürich.

Mikro-Mondkrater unter dem Rasterelektronenmikroskop

DK 621.385.833:778.317:523.8

Nur 0,03 mm beträgt der Durchmesser eines Einschlagkraters, den ein Mikrometeorit auf dem Mond hinterlassen hat. Die «Mondstaub-Probe» mit diesem Mikrokrater, die von den Apollo-16-Astronauten vom Caley-Hochplateau zur Erde gebracht und von der NASA dem Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg zur Verfügung gestellt worden war, wurde vor kurzem im Applikationslabor der Karlsruher Siemens-Werke mit dem Rasterelektronenmikroskop Autoscan untersucht.

Die Probe, die nur etwa 2×1 mm misst, ist streng genommen gar kein Mondmaterial, sondern selbst ein «Wanderer zwischen den Welten», ein Meteorit aus Nichteisen, der vor schätzungsweise 3000 Jahren auf dem Mond aufschlug. Normalerweise verdampfen solche Meteoriten beim Aufschlag und hinterlassen nur sehr selten kompakte Bruchstücke. In dieses äusserst seltene Stückchen meteoritischen Eisens ist nun wiederum ein Mikrometeorit eingeschlagen, der als Spur nur einen Krater von 0,03 mm Durchmesser hinterlassen hat.

Von dem Mikrometeoriten konnten die Wissenschaftler in Heidelberg nur sagen, dass er eine Geschwindigkeit von mehr als 10 km/s hatte, das sind immerhin fast 40000 km/h. Was die Forscher des Max-Planck-Institutes besonders beeindruckte, ist das Auftreten paralleler Strukturen in der unmittelbaren Kraterumgebung, die durch den Einschlag hervorgerufen wurden und vom mineralogischen Gesichtspunkt aus eine Besonderheit von meteoritischem Eisen ist. Beachtenswert auf der Rasteraufnahme ist ausserdem der

noch kleinere Einschlagkrater auf der rechten Seite, der nur einen Durchmesser von 0,002 mm hat.

Das für diese Aufnahme eingesetzte Rasterelektronenmikroskop Autoscan eignet sich besonders für Untersuchun-

Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme des Einschlagkraters eines Mikrometeoriten im lunaren Meteoreisen (Probe Nr. 60502.17 der Apollo-16-Mission). Gesamtvergrösserung 1250:1.

