

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 98 (1980)  
**Heft:** 36: Der Gotthard-Strassentunnel

**Artikel:** Lärm- und Abgasimmissionen  
**Autor:** Haerter, Alex / Steinemann, Urs  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74194>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 05.02.2025

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

Tabelle 2. Reibungskoeffizienten und zugehörige Wandrauhigkeiten für alle Zuluft- und Abluftkanäle

Abschnitt		2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittel
Zuluft	$\lambda$	0,013	0,013	0,011	0,011	0,011	0,010	0,011	0,010	0,012	0,15* 0,20
	$\delta$ (mm)	0,36	0,32	0,19	0,14	0,13	0,07	0,19	0,15	0,31	
Abluft	$\lambda$	0,011	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,011	0,011	0,15
	$\delta$ (mm)	0,14	0,08	0,10	0,16	0,11	0,12	0,25	0,19	0,16	

\*) ohne Berücksichtigung von Z2, Z3, Z10

net wurden. Da die Abluftabsaugung zur Abgasverdünnung nichts beiträgt, sind hier etwas höhere Ungleichmässigkeiten zulässig.

### Druckverläufe und mittlere Wandrauhigkeiten

Längs den Frischluftverteiler- und Abluftammelkanälen wurden die statischen Druckverläufe gemessen. Aus dem Vergleich der rechnerisch ermittelten Druckverläufe mit den gemessenen lässt sich die *interessierende mittlere Wandrauhigkeit* bestimmen.

Es sind dabei die beiden Impulsgrößen  $k_z$  und  $k_a$  [4] vom Reibungsdruckverlust abzutrennen. Für die Verteilkanäle ergaben sich aus den früheren Modellversuchen [5] und der vorliegenden Kanalgeometrie mittlere Druckgewinnkoeffizienten zwischen 1,18 und 1,21. Bei den Abluftammelkanälen wurden, ausgehend vom gemessenen Kanalenddruck, für verschiedene  $\lambda$ -Annahmen und einem Gittereinströmwinkel von 20° (Bild 1) und einem Eintrittsverlustkoeffizient  $\zeta = 0,2$  [4] entsprechende Druckverläufe berechnet.

Bei der Auswertung wurden nebst den gemessenen Mengen, Dichten und Drücken auch die ausgemessenen und gemittelten Kanalquerschnitte verwendet. In Tab. 2 sind die auf dieser Basis ermittelten Reibungskoeffizienten und zugehörigen Wandrauhigkeiten für alle Zuluft- und Abluftkanäle zusammengestellt.

Für die Vorausberechnung der Druckverluste wurde von einer mittleren Wandrauhigkeit von  $\delta = 0,5$  mm ausgegangen, was gemäss [4] als Mittelwert gedacht war für den Gewölbe- und Trennwandteil aus der Metallverschalung und dem gröberen Zementglattstrich auf der Zwischendecke. Tab. 2 zeigt nun aber mittlere Wandrauhigkeiten um 0,15 mm, wenn man von relativ hohen Werten in Z2, Z3 und Z10 absieht. Im Expertenbericht [4] wird ein  $\delta$ -Bereich von 0,1–0,2 mm der eingeölten, gepflegten Metallverschalung, entfernten Brauen und einem sehr sorgfältigen Zementglattstrich zugeordnet. In der Tat wurden die Kanäle auch auf dieser Basis erstellt und entsprechend stimmen die gefundenen Rauheitswerte mit der Charakterisierung des Bauvorgangs überein. Die höheren Wandrauhigkeiten in Z2, Z3, Z10 sind

einerseits auf Anlaufprobleme zurückzuführen und andererseits auf Einbauten, die örtliche Druckverlusthöhungen bewirken.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Haerter, A. et. al.: «Belüftung und Luftverschmutzung.» Technisches Komitee für Strassentunnel AIPCR XVI Weltstrassenkongress Wien, 1979
- [2] Haerter, A. und Feusi, H.P.: «Strömungstechnische Modellversuche zum Gotthard-Strassentunnel.» Strasse und Verkehr 3, 1974
- [3] Richter, W.: »Arithmetische Methode der Netzmessungen des Volumenstroms in Leitungen mit Rechteck-Querschnitt.« Heizung Lüftung Haustechnik 23, Nr. 8, 1972
- [4] Ackereit, J., Haerter, A. und Stahel, M.: «Die Lüftung der Autotunnel.» Mitt. Inst. für Strassenbau ETH Zürich, Nr. 10, 1961
- [5] Haerter, A.: «Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Lüftungsanlagen von Strassentunneln.» Mitt. Inst. für Aerodynamik ETH Zürich, Nr. 31, 1961

Adresse der Verfasser: Dr. A. Haerter, dipl. Ing. ETH, H. Baumann, dipl. Ing. ETH, H.P. Müller, Ing. HTL und E. Graf, Lüftungstechniker, Schindler Haerter AG, Beratende Ingenieure, Stockerstrasse 12, 8002 Zürich.

## Lärm- und Abgasimmissionen

Von Alex Haerter und Urs Steinemann, Zürich

Aus den Ansaug- und Ausblasöffnungen der Lüftungsanlage dringen der Ventilatorlärm und die Abgase eines Tunnelabschnittes konzentriert aus einem Abluftschacht. Diese Immissionen wurden mit folgenden Massnahmen auf *harmlose Pegel* gebracht.

### Lärmimmissionen

In den Frischluftansaug- und Abluftausblasquerschnitten der Zentralen Göschenen, Hospental und Airolo sind *Schalldämpferkulissen* eingebaut, für

die gefordert wurde, dass sie den Lärm bei Vollastbetrieb in 100 m Distanz bei Windstille auf 45 dB(A) zu reduzieren haben.

*Frischluftseitig* sind sie direkt im Ansaugquerschnitt angeordnet, wo ohnehin eine kleine Strömungsgeschwindigkeit herrscht und damit geringe Druckverluste auftreten.

*Abluftseitig* liegen die Schalldämpfer am Ende des Ausblaskamins.

– Die Strömungsgeschwindigkeit zwischen den Schalldämpferkulissen beträgt 20 m/s, um dem Abluftstrahl den nötigen Impuls für seine Auf-

stiegsphase (Abschnitt 2) zu geben. Strömungsmodellversuche zeigten, dass sich die einzelnen Luftstrahlen nach dem Austritt aus dem Schalldämpferblock zu einem kompakten Strahl von 17 m/s mittlerer Steiggeschwindigkeit zusammenschliessen.

- Eine Anordnung der Schalldämpfer im Austrittsquerschnitt drängte sich auch deshalb auf, weil in den Abluftschächten Luftgeschwindigkeiten bis 40 m/s herrschen, so dass dieses Strömungsrauschen nach aussen abgedämpft werden muss.
- Die Luftgeschwindigkeit von 20 m/s zwischen den Schalldämpferkulissen erzeugt ebenfalls ein Strömungsrauschen, das jedoch bevorzugt in Richtung der Strahlausbreitung abgestrahlt wird, während seitlich zum Austrittsquerschnitt der Schalldruck über 10 dB(A) tiefer liegt als in Richtung der Strahlausbreitung.

- Das Geräusch aus der turbulenten Mischzone zwischen Abluftstrahl und ruhender Umgebungsluft ist bei 20 m/s Strahlgeschwindigkeit bedeutungslos.

Messungen am *Schachtkopf Hospental* brachten bei vollem Betrieb der Zuluft- und Abluftventilatoren in 100 m Abstand bei leichtem Wind Schalldruckpegel von 34 dB(A) in Windrichtung und 32 dB(A) gegen den Wind. Die Messungen wurden bei einem Grundpegel von 30 dB(A) durchgeführt.

Messungen bei der *Portalstation Airola* ergaben in 100 m Abstand vom Kamin Schalldruckpegel von 38 dB(A) und 42 dB(A). Ein dritter Messpunkt befand sich unter 45° zur Strassenachse in 45 m Abstand zum Tunnelportal. Der Schalldruckpegel betrug dort 54 dB(A), d.h. es wurde der aus dem Tunnelportal tretende Ventilatorlärm mitgemessen. Der mit der höchsten Lüftungsstufe einhergehende Verkehr von mindestens 1500 Fzg/h erzeugt am gleichen Punkt einen mittleren Lärmpegel  $L_{50}$  von 60-70 dB(A), je nach Verkehrsgeschwindigkeit. Der aus dem Portal dringende Ventilatorlärm wird damit durch den Verkehrslärm an dieser Stelle vollständig überdeckt.

Alle Messpunkte abseits der Strasse lieferten also Werte, die weit unter dem geforderten Lärmpegel liegen.

## Tunnelluftimmissionen

Zur Beurteilung der Belästigung durch Fahrzeugabgase können das *Kohlenmonoxid CO* und die *Bleipartikel als Leit-substanzen* verwendet werden. Im internationalen Rahmen sind dafür maximale Immissionskonzentrationen (MIK-Werte) festgelegt für das Jahresmittel und für kurzzeitige Spitzenbelastungen.

Die Höhe der Abluftkamine und die Austrittsgeschwindigkeit wurde bezüglich der Immissionsbelastung aufgrund der Ausbreitungsrechnungen festgelegt. Dank einer hohen Ausblasgeschwindigkeit konnte die Kaminhöhe relativ klein gehalten werden. Je nach Windstärke und Stabilität der atmosphärischen Schichtung steigt die Tunnelluft bei 20 m/s Austrittsgeschwindigkeit 70-200 m über die Austrittsöffnung

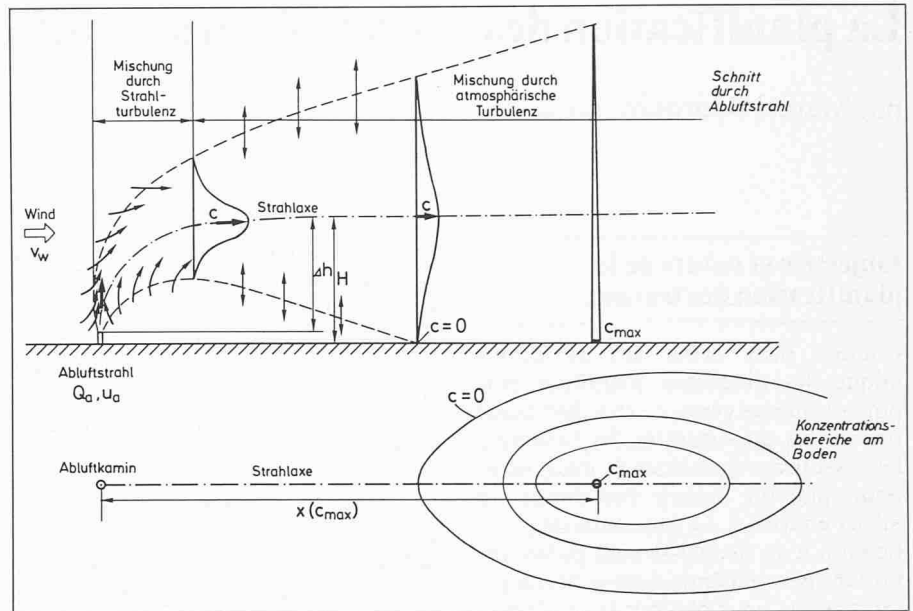


Bild 1. Ausbreitungsschema von Tunnelabluft aus Kamin

hinauf. In dieser Aufstiegsphase reisst der Luftstrahl ständig Umgebungsluft mit, was mit zunehmender Höhe eine laufende Verdünnung der Tunnelluft bewirkt. Wenn die kinetische Strahlenergie am Ende der Aufstiegsphase aufgebraucht ist, betragen die Abgaskonzentrationen noch ein Zehntel bis ein Zwanzigstel der Werte im Tunnel.

Die Abgaskomponenten in der Tunnelluft erreichen den Boden oder benachbarte Hänge erst wieder, wenn durch die atmosphärische Turbulenz eine weitere horizontale und vertikale Verteilung stattgefunden hat, was mit einem noch kräftigeren Konzentrationsabbau verbunden ist.

Der prinzipielle Ablauf dieser beiden Ausbreitungsphasen ist in Bild 1 dargestellt.

Solche Ausbreitungsprobleme werden für Industriekamine und für Kamine nuklearer Anlagen sowie für Kühltürme in zunehmendem Masse untersucht. Aus der Fülle von rechnerischen und experimentellen Ergebnissen lassen sich für verschiedenste atmosphärische Bedingungen Immissionsprognosen erstellen. Unter normalen Wetterbedingungen, d.h. mässigem Wind und keinen extremen Inversionslagen, werden die Abgaskomponenten so stark verdünnt, dass sie in Bodennähe im immer vorhandenen Grundpegel untergehen.

Falls sich bei anhaltenden Inversionen und schwacher Tunnelbelastung mit entsprechend reduzierter Austrittsgeschwindigkeit momentane Überkonzentrationen z.B. an einem Hang bemerkbar machen sollten, so kann die Lüftungsanlage jenes Schachts entweder ganz ausser Betrieb genommen werden oder sie wird intensiver betrieben, wodurch einmal die Abgaskonzentration in der Tunnelluft sinkt und zum andern der Verdünnungsprozess durch die höhere Austrittsgeschwindigkeit intensiviert wird.

Die rechnerische Behandlung der Ausbreitung führt auf Bodenkonzentrationen  $c_{max}$  (Bild 1) von im Mittel 0,3 ppm CO und 0,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Pb. Die entsprechenden MIK-Werte als 24 h Mittelwerte lauten 9 ppm CO und 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Pb. Die mittleren Maximalwerte liegen also um eine Grössenordnung tiefer als die zulässigen Werte.

Vergleiche mit Pb-Konzentrationen in der Luft neben Autobahnen zeigten, dass bei solchen Werten auch keine bedenklichen Pb-Ablagerungen auf dem Boden entstehen.

Adresse der Verfasser: Dr. A. Haerter, dipl. Ing. ETH und U. Steinemann, Ing. HTL, Schindler Haerter AG, Beratende Ingenieure, Stockerstr.12, 8002 Zürich.