

# Künstliche Bewetterung von Bahntunnels während Bauarbeiten

Autor(en): **Rubi, Hans Peter / Galli, Werner / Vuilleumier, Jean-Claude**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 51/52

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74630>

## **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.

# Künstliche Bewetterung von Bahntunnels während Bauarbeiten

Von Hans Peter Rubi, Zürich, Werner Galli, Zürich, und Jean-Claude Vuilleumier, Lyss

Bei Gleisbau-, Unterhalts- und Sanierungsarbeiten in Eisenbahntunnels wird die Luft durch Staub und Motorenabgase stark belastet. Die SBB haben zur Verbesserung der Luftqualität bei solchen Arbeiten einen Lüftungswagen in Betrieb genommen. Durch Messungen wurde dessen Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeit in bezug auf die Frischluftzufuhr in den Tunnel untersucht. Die Resultate überzeugen vom Nutzeffekt vor allem in einspurigen Tunnels. Aber auch in Doppelspuranlagen ist ein gewisser Erfolg zu verzeichnen. Im folgenden Artikel werden das Konzept des Lüftungswagens vorgestellt und die Messresultate besprochen.

Gleisbau- oder Unterhaltsarbeiten in Eisenbahntunnels, seien diese nun ein- oder zweispurig, sind immer nur unter erschwerten Bedingungen möglich. Neben der häufigen Nacharbeit, die sich aufgrund der Forderung nach Aufrechterhaltung des fahrplanmässigen Betriebes ergibt, den engen Platzverhältnissen und den nicht ungefährlichen Arbeitsvorgängen sind die Belastungen der Luft durch Staub sowie Abgase der installierten Geräte nicht zu vernachlässigende Faktoren. Im Tunnel- und Stollenbau ist es seit jeher eine Selbstverständlichkeit, die Baustelle künstlich zu bewettern. Bei den Bauarbeiten in Eisenbahntunnels ist das Problem der Lüftung erst im Zuge der Mechanisierung und des Einsatzes von Grossgeräten aufgetaucht. In extremem Masse wird die Luft bei Gleisumbauten (Erneuerung des Schotterbettes) belastet, da nebst der grossen Staubeentwicklung beim Aushub und beim Einbringen des Schotters ein erheblicher *Abgasausstoss* der mit Dieselmotor ausgerüsteten Umbaumaschinen und Loks (bis 3000 PS installierte Leistung) zu verzeichnen ist.

Der Grad der spezifischen Luftverschmutzung steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Durchlüftung des Tunnels. Es hat sich gezeigt, dass in keinem der uns näher bekannten Tunnels mit Sicherheit eine natürliche Lüftung als gegeben angenommen werden kann. Im Gegenteil, es gibt Tunnels, die aufgrund ihrer geographischen Lage während Tagen oder gar während Wochen überhaupt keinen oder einen sehr minimalen Luftzug kennen. Die durch den Zugverkehr verursachten, momentanen Luftströmungen müssen bei längeren Tunnelanlagen ausser acht gelassen werden, da sie keinen echten Beitrag zur Frischluftzufuhr leisten.

Müssen nun eingangs erwähnte Arbeiten während einer windstillen Periode ausgeführt werden, so ergeben sich für

die Arbeiter zum Teil unangenehme Zustände. Selbstverständlich ist dies nicht die Regel; doch ist es eine Tatsache, dass bei Gleisunterhalts- und Erneuerungsarbeiten in Tunnels in bezug auf die Luftqualität schlechtere Verhältnisse vorherrschen können als z. B. bei Tunnelneubauten im Vortrieb.

Aufgrund dieser Zustände sahen sich die SBB veranlasst, Vorkehrungen zur Verbesserung der Luftqualität zu treffen.

## Problemstellung und Randbedingungen

Zur Reduktion der Luftverschmutzung stehen verschiedene Möglichkeiten offen, die aber das Problem nicht alle in geeigneter Weise lösen helfen. Beispiele:

- *Elektrifizierung der eingesetzten Maschinen*: enorme Kosten für Maschinenumbau und Stromzuführung in die Tunnels; in absehbarer Zeit gar nicht möglich. (Der Strombezug ab Fahrleitung ist nicht durchführbar, da während der Arbeiten die Fahrleitung aus Sicherheitsgründen ausgeschaltet werden muss.) Kein Einfluss auf die Staubeentwicklung!
- *Abgasentgiftung z. B. mittels Katalysatoren*: in Anschaffung und Unterhalt teuer. Abgasentgiftete Luft ist keine Frischluft. Kein Einfluss auf Staubeentwicklung!
- *Entstaubung*: aufwendige Anlage. Schwierige, wenn nicht unmögliche Erfassung der Stäube und Abgase.

Rasch kommt man also zum Schluss, dass der Einsatz einer *Ventilation* das geeignete Mittel ist, befördert doch der damit erzeugte Luftstrom Staub und Abgase aus dem Tunnel, bzw. bringt Frischluft zur Arbeitsstelle.

An eine *Lüftungs- oder Ventilationsanlage* werden eine Reihe von *Bedingun-*

*gen* gestellt, die sich aus dem vorgesehenen Einsatz beim Bahndienst ergeben:

- Erzeugung einer Luftgeschwindigkeit (bei Windstille im Tunnel) von mind. 0,5 m/s., besser 0,75 m/s.
- Anlage muss sich in allen einspurigen, wenn möglich auch in zweispurigen Tunnels einsetzen lassen.
- Unabhängigkeit von der Stromversorgung.
- Einsatz bei beweglichen oder stationären Baustellen.
- Möglichst kompakte und geschützte Einrichtung.
- In- und Ausserbetriebnahme zu Beginn und am Ende der Arbeitsschicht darf zu keinen grossen Zeitverlusten führen.
- Lärmmissionen dürfen 70 dB (A) nicht überschreiten.

## Konzept des Lüftungswagens

Unter Berücksichtigung der vorstehend aufgeführten Randbedingungen wurde ein *Prototyp eines Lüftungswagens* gebaut. Als Grundlage für die Wahl des Lüfters wurden neben allgemeinen theoretischen Überlegungen vor allem Erfahrungswerte berücksichtigt, unter anderem auch jene vom Betrieb der während der Rekonstruktionsarbeiten im 8,6 km langen *Rickentunnel* eingesetzten stationären Ventilationsanlage.

Als Ventilator eignet sich der Mitteldruck-Axialventilator Vortex, Typ VM 125. Auf das zuerst in Erwägung gezeigte axialsymmetrische Laufrad wurde aus Gründen des relativ schlechten Wirkungsgrades verzichtet. Günstiger ist ein Normallaufwerk mit einem Nebenverhältnis von 0,57 und einer 10er Beschaufelung mit Göttingerprofilierung. Bei einem Anstellwinkel  $\alpha_1 = 22^\circ$  ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von 60%.

Nach eingehender Prüfung stand der Antrieb fest: 1 Volvo-Turbodieselmotor von 125 PS netto treibt via Sauer-Hydropumpe den im Werk am Motoraufnahmeflansch des Lüfters montierten Sauer-Hydomotor an. Die Höchstdrehzahl wurde auf  $1600 \text{ n}^{-1}$  festgelegt, um eine zu grosse Umfangsgeschwindigkeit zu vermeiden. Durch einfache Hebelbewegung kann die Drehrichtung des Hydromotors gewählt und die Drehzahl reguliert werden, und dies bei gleichbleibender Dieselmotordrehzahl. Um die Schallmission des Ventilators auf ein annehmbares Niveau zu reduzieren, wurden beidseitig des Lüfters Rohrschalldämpfer von 2000 mm Länge vorgesehen. Auf Einströmdüse und Diffusor musste wegen Verwendung des Lüfters in beiden Richtungen verzichtet werden.

Die Dimensionen der gesamten Anlage erlaubten nun – wenn auch knapp – den *Einbau in einen geschlossenen Güterwagen*. Damit war automatisch das Problem des *Witterungsschutzes* gelöst.

Obwohl die praktischen Erfahrungen etwas andere Resultate erhoffen liessen, wurde der Prototyp mit einer *Wetter- oder Trennwand* ausgerüstet, die den verbleibenden lichten Raum zwischen Wagenprofil und Tunnelaustragung abschliesst. Aufgrund der Theorie war anzunehmen, dass sich mindestens unter bestimmten Umständen und vor allem in langen Tunnels bei Lüftungsbetrieb lediglich eine *Rezirkulation* zwischen Druck- und Ansaugseite des Ventilators, aber keine *Luftströmung* im Tunnel einstellen würde. Wie es sich zeigen sollte, erwies sich die *Wetterwand* als nicht notwendig; sie wurde in der Folge demontiert.

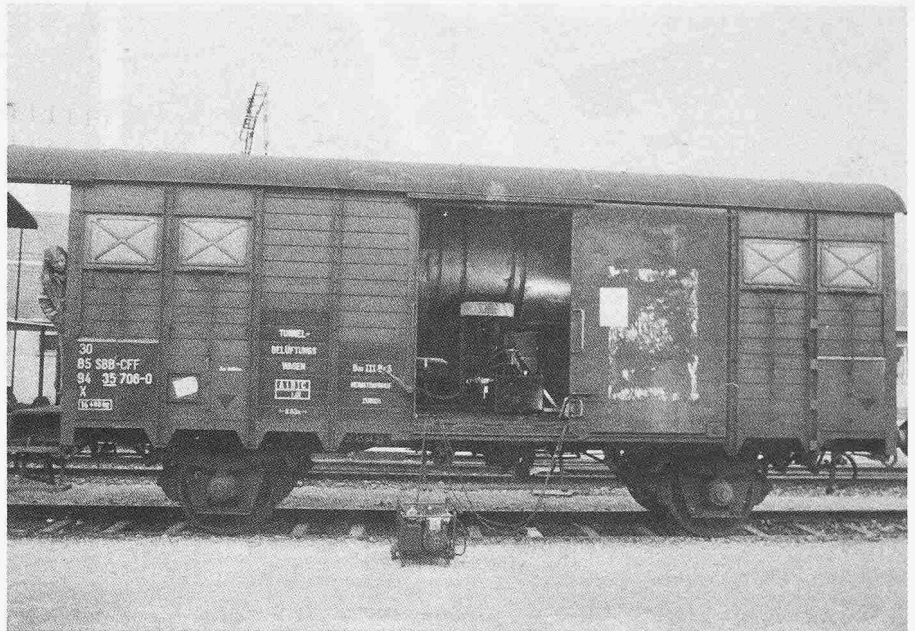
Am 17. Juli 1979 wurde der erste Probe-*lauf des Motors*, dann des Ventilators und der Steuerung mit Erfolg abgeschlossen. Der Ventilator förderte bei 1500 Umdrehungen im Normalbetrieb etwa  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  und in Gegendrehrichtung über  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Drehzahl war schnell und einfach zu variieren.

Aufgrund erster Erfahrungen mussten kleine *Abänderungen* an der Anlage getroffen werden. Der Steuerhebel für die Bedienung des Hydromotors wurde durch eine *Steuer-*spindel** ersetzt, um eine zu rasche Umschaltung der Drehrichtung zu verhindern. Zur Vermeidung von *Lagerschäden* wird bei ungenügendem *Öldruck* der Ventilator durch eine zusätzlich eingebaute *Kontrolle* automatisch abgeschaltet.

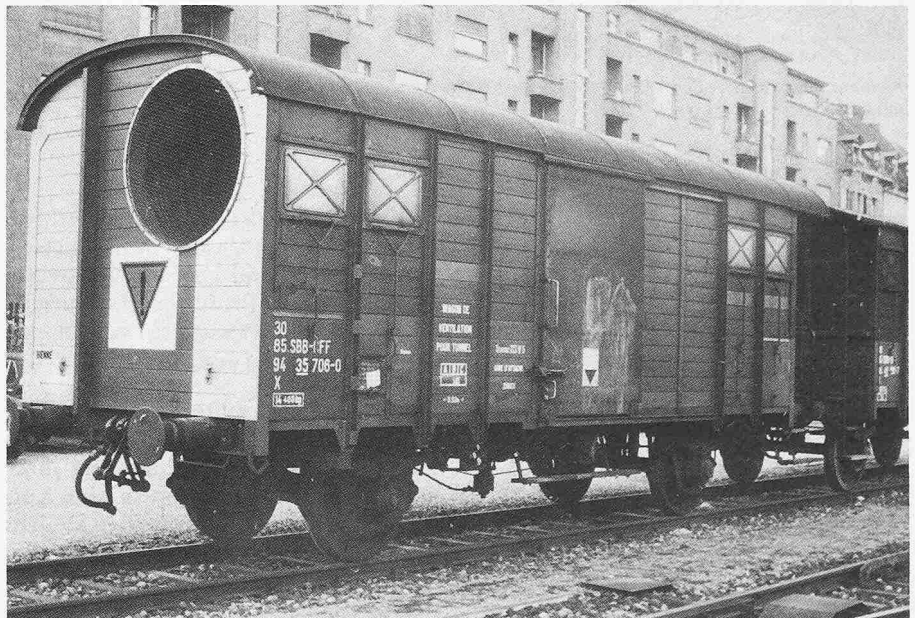
## Erste Erfahrungen

Der Prototyp wurde erstmals bei *Totalumbauarbeiten* im *Letten-tunnel* verwendet; dabei konnten wir folgendes feststellen:

1. Alle Arbeiter auf der Baustelle waren mit der erreichten Verbesserung der klimatischen Verhältnisse äusserst zufrieden. Ein kurzer Betriebsunterbruch des Lüfters veranschaulichte deutlich den Unterschied und wurde sofort durch Reklamationen quittiert.
2. Die *Trenn- oder Wetterwand* hat einen negativen Einfluss auf die *Luftgeschwindigkeit* im Tunnel – wenn auch eindeutiger als erwartet.
3. Die *Montage und Demontage* der *Trennwand* erwies sich als zu schwerfällig.
4. Die *Schalldämpfer* haben eine gute Wirkung; der *Dieselmotor* hingegen ist sehr laut.



*Lüftungswagen: Durch die Türöffnung ist der Ventilator mit den links und rechts anschliessenden Rohrschalldämpfern zu sehen*



*Stirnseitig ist die Luftansaug- bzw. Ausstossöffnung angebracht*

5. Die *Strömungsrichtung* des Ventilators soll – wenn möglich – mit der natürlichen *Luftströmung* identisch sein.

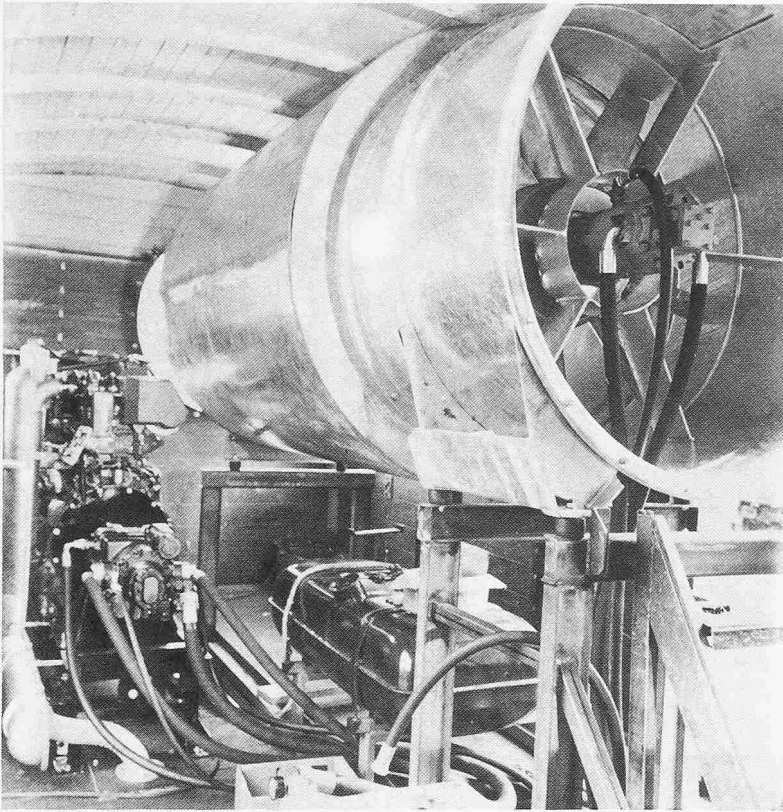
Erste *anemometrische Messungen* im 2080 m langen *Letten-tunnel* bei *Ventilationsbetrieb* mit und ohne *Wetterwand* zeigten für uns positive Resultate: die auf den ganzen *Tunnelquerschnitt* bezogene, mittlere *Luftgeschwindigkeit* war ohne *Trennwand* eindeutig grösser: der *Ventilationswagen* wirkte unter den gegebenen Umständen als *Ejector* oder *Strahlventilator*. Nun, der Tunnel war relativ kurz und die Messungen wenig repräsentativ. Es galt also, mit weiteren Messungen den im

*Letten-tunnel* beobachteten Effekt zu prüfen.

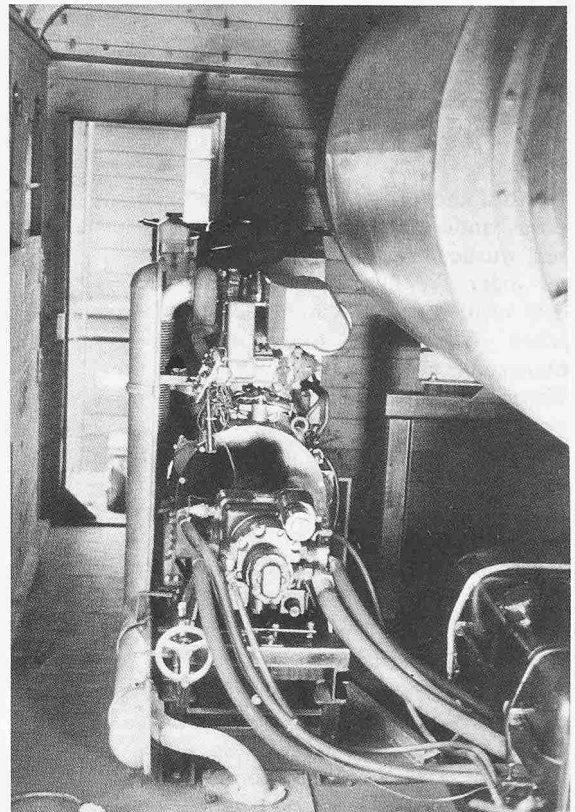
## Messprogramm

Von Anfang an war vorgesehen, mittels eingehender Messungen die *Wirkungsweise* des *Lüftungswagens* zu prüfen. Es sollten die *Möglichkeiten und Grenzen* in bezug auf die *Verwendungsmöglichkeiten* festgestellt werden und es sollten die Resultate als Grundlage für den Bau weiterer *Lüftungswagen* dienen. Nachdem sich im *Letten-tunnel* die erwähnte *Ejectorwirkung* gezeigt hatte, wurde das *Messprogramm* in erweitertem Rahmen festgelegt.

Interessehalber wurden auch *Doppel-*



Montagephase: Blick in den Ventilator. Einer der Rohrschalldämpfer ist bereits montiert. Darunter die Diesel- und Hydrauliköltanks



Blick auf die Antriebseinheit. Vorne, mit den abgehenden Schläuchen, ist die Hydraulikpumpe zu sehen; dahinter der Turbokompressor. Das Handrad dient der Drehzahlregulierung und der Umkehrung der Förderrichtung

spurtunnels ins Programm aufgenommen, um

- die Ejectorwirkung in grossen Profilen und
- den Einfluss der auf dem Betriebsgleis fahrenden Züge zu prüfen.

Allerdings wurde in diesen Tunnels bewusst nur ein beschränktes Messprogramm durchgeführt, wäre sonst doch der Aufwand zur Erfassung aller Daten viel zu umfangreich geworden.

Es boten sich eine ganze Reihe von Daten und Parametern zur Messung bzw. zur Bestimmung an. Aus Zeit- und Kostengründen entschied man sich für die wichtigsten, wie anemometrische Messungen im vollen Tunnelprofil, Druckmessungen mit dem Kontrabarometer,

Temperatur- und hygrometrische Messungen. Die Windgeschwindigkeitswerte wurden anhand von 16 Messstellen innerhalb eines Profils bei einspurigen bzw. von zehn Messstellen bei doppelspurigen Anlagen ermittelt.

Die Messungen sollten in jenen Tunnels durchgeführt werden, die von ihrer Länge, ihrer Linienführung und ihrer geographischen Lage her an eine Lüftung erhöhte Anforderungen stellen. Im einspurigen Rickentunnel hatte zudem eine abgestellte Zugskomposition einen Arbeitszug, wie er z. B. bei Totalumbauten eingesetzt wird, zu simulieren und Aufschlüsse über allfällige Auswirkungen auf den Luftstrom zu geben.

Im März 1980 erfolgten die Messungen,

und zwar in den in Tabelle 1 aufgeführten Tunnelanlagen.

Ricken- und Albistunnel verlaufen in Richtung und Neigung praktisch gerade, während Letten- und Engetunnel langgezogene Bögen beschreiben. Käferberg- und Zimmerbergtunnel bilden ein S, dessen Kurven etwa die halbe Tunnellänge beanspruchen.

Die Messungen konnten bei normalen Luftdruckverhältnissen durchgeführt werden, d. h. höherer Druck beim tiefer gelegenen Portal. Bei den Temperaturunterschieden zwischen den Portalen waren unterschiedliche Verhältnisse zu registrieren. Der Ventilator wurde nun so eingesetzt, dass sein Luftstrom einmal parallel und einmal entgegen der natürlichen Luftströmung gerichtet war. In Tabellen 2 und 3 sind die Messresultate aus den Einspurtunnels und in Tabelle 4 aus den Doppelspurtunnels aufgeführt.

#### Kommentar zu den Messresultaten

In Einspurtunnels liegt die Zunahme der Luftgeschwindigkeit bei Unterstützung der natürlichen Strömung durch den Ventilator zwischen rund 20 Prozent (Rickentunnel mit Personenzug) und 182 Prozent (Rickentunnel; Resultat allerdings etwas unsicher, weil Zunahme von  $v_0$  zwischen den Messungen). Die Zunahme ist um so grösser, je kleiner  $v_0$ .

Tabelle 1. Grunddaten

	1-Spur-Tunnels				2-Spur-Tunnels	
	Ricken	Albis	Letten	Zimmerberg	Käferberg	Enge
Länge [m]	8606	3398	2080	1980	2114	900
Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	25,8	24,3	23,1	24,3	51,8	49,9
Auskleidung		Mauerwerk			Beton	Beton
Minimale Radien [m]	∞	∞	260/240	300	830	800
Höhendifferenz der Portale [m]	138	36	3,5	23	10	0,3
Druckunterschied [mm Hg]	11,7	3,4	-	2,3	1,4	0,2
Temperaturdifferenz [°C]*	-1	+0,5	-	+0,4	-1,1	-1,3
Mittlere Feuchte [%]**	92	90	-	70	85	90

\* neg. Vorzeichen: Temperaturabnahme mit steigender Höhe

\*\* im Bereich der Messstelle

Die Auswirkungen der Wetterwand wurden im Rickentunnel eingehend untersucht. Es hat sich eindeutig gezeigt, dass bei montierter Wetterwand sich etwas kleinere Luftgeschwindigkeiten einstellen. Die Ejectorwirkung, wie im Lettentunnel bereits beobachtet, stellt sich also auch in einem langen Tunnel ein. Bei Einsatz des Ventilators entgegen der natürlichen Luftströmung konnte in zwei Fällen eine Umkehrung derselben erreicht werden; im Rickentunnel gelang dies bei allerdings grossem  $v_0$  und nur 60 Prozent Ventilatorleistung nicht.

Anlässlich des zweiten praktischen Einsatzes des Lüftungswagens im 988 m langen *Stutzegg Tunnel* war ähnliches zu beobachten. Es liegen uns darüber nur allgemeine Resultate vor; es kann aber folgendes festgehalten werden:

«Die natürliche Lüftung wurde bis kurz vor Messbeginn vom Föhn bestimmt ( $v_0$ : über 2 m/s, Süd-Nord). Durch den Zusammenbruch des Föhns entstand eine ausserordentlich un stabile Lüftungslage: Temperaturabfall von 17° auf 10 °C; Anstieg Luftfeuchtigkeit von 60 auf 80 Prozent rel.; Umkehrung Luftströmung auf Nord-Süd mit  $v_0 = 3,3$  bis 2 m/s. Diese Lüftungsrichtung wurde durch den Ventilator unterstützt. Kurzzeitige Umkehrungen der Luftströmungsrichtung konnten aber nicht verhindert werden.»

In Doppelspurtunnels lässt sich die natürliche Luftströmung erheblich verstärken, sofern kein Zugsverkehr stattfindet. Bei Zugsdurchfahrt in entgegengesetzter Richtung ist der Ventilator machtlos. Die Windrichtung wird umgepolt und es verstreichen nach Ausfahrt des Zuges aus dem Tunnel noch einige Minuten (gemessen: 5–13 Min.), bis der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt ist. In einem Fall gelang es, den natürlichen Luftzug mit dem Ventilator umzukehren.

## Leistungsfähigkeit und Verwendungsmöglichkeiten

Das durchgeführte Messprogramm sollte Unterlagen für eine Bestätigung der Lüftungstheorien liefern. Nach Prüfung der Resultate und dem Versuch, alle Werte auf einen Nenner zu bringen, mussten wir jedoch feststellen, dass weit mehr Fragen aufgeworfen als beantwortet wurden und dass sich keine einfache Faustformel für die Bemessung der Ventilationsanlage aufstellen lässt. Zusätzliche und umfangreiche Messungen wären nötig gewesen, um hier zu einem Ziel zu kommen. Aus Kostengründen wurde aber darauf ver-

Tabelle 2. Ventilatorleistung in Richtung der natürlichen Luftströmung, Einspurtunnels

Luftgeschwindigkeit [m/s]	Ventilator Leistung	Ricken		Albis	Letten 3)	Zimmerberg
		1)	2)			
Natürliche Luftströmung $v_0$	0	0,41	1,60	1,0	-	0,85
Ventilation mit Wetterwand	100%	1,16	-	-	1,20	-
Ventilation ohne Wetterwand	100%	1,21	1,90	-	1,30	1,87–1,98
Ventilation ohne Wetterwand	60%	-	-	1,53	-	-
Zunahme in %	-	182	19	53	-	118

1) mit «Hindernis» abgestellter Personenwagen L = 100 m, etwa 200 m ab Ventilator

2) Messung beim 1. Einsatz des Lüftungswagens

3) ohne «Hindernis»

Tabelle 3. Ventilatorleistung der natürlichen Luftströmung entgegengesetzt, Einspurtunnels

Luftgeschwindigkeit [m/s]	Ventilator Leistung	Ricken	Zimmerberg	Albis
Natürliche Luftströmung $v_0$ 1)	0	-1,60	-0,85	-1,00
Ventilation ohne Wetterwand	60%	-1,30	+0,97	-
Ventilation ohne Wetterwand	100%	-	-	+0,72
Umkehrung der natürlichen Luftströmung?		nein	ja	ja

1) negatives Vorzeichen:  $v_0$  entgegen Ventilatorstrom

Tabelle 4. Doppelspurtunnels; Ventilator in beiden Richtungen, ohne Wetterwand

Luftgeschwindigkeit [m/s]	Ventilator Leistung	Engetunnel Zugsdurchfahrt		Käferbergtunnel Zugsdurchfahrt	
		nein	ja	nein	ja
Natürliche Luftströmung $v_0$	0	1,05	1,05	0,43	0,43
Ventilation mit natürlicher Strömung	100%	1,95	±4,5-5	1,99	-
Ventilation entgegen nat. Strömung	60%	-0,85	±4,5-5	-	-
Umkehrung der natürlichen Strömung?		ja	nein	nein	nein

Tabelle 5. Gegenüberstellung des tatsächlichen zum theoretischen Volumenstrom, berechnet aufgrund der Daten aus den Tabellen 1 bis 4

Volumenstrom [m³/s]	Ricken	Albis	Zimmerberg	Käferberg	Enge
tatsächlicher	31–49	37,1	48,02	103,04	97,36
theoretischer	22	25	23	24	23,93

zichtet. Es ist dies zu bedauern, weil wir uns durch die bessere Kenntnis der Vorgänge gleichsam den Rücken gestärkt hätten, doch glauben wir, dass die durchgeführten Messungen Beweis genug für die Leistungsfähigkeit des Lüftungswagens sind und wir Zeit und Geld besser für eine technische Verbesserung der mobilen Bewetterungsanlage verwenden.

Was nun die Bemessung des Lüfters angeht, so haben wir gesehen, dass er die erforderliche Leistung sogar mit gewissen Reserven erbringt, sofern als Minimumanforderung die genannten 0,5 m/s Luftgeschwindigkeit (SUVA) angesehen werden. Der Lüfter ist somit nicht unterdimensioniert, dürfte aber noch etwas mehr Reserve haben.

Der Lüftungswagen deckt (ohne Wetterwand) bei Einspurtunnels etwa einen Drittel, bei Doppelspurtunnels gar nur einen Sechstel des lichten Tunnelquerschnittes ab. Hervorragend ist deshalb die Tatsache der sehr grossen Zweitluftmenge (Ejectorwirkung) besonders bei

Doppelspurtunnels (vgl. Tabelle 5). Die Theorie und auch die Praxis liessen uns niemals eine solch eindeutige Wirkung erhoffen, zumal der Ventilator nicht als Strahlventilator konzipiert ist.

In Einspurtunnels lässt sich eine genügende Luftgeschwindigkeit erreichen, sofern mit der natürlichen Luftströmung gearbeitet wird. In kürzeren Tunnels kann in Abhängigkeit der barometrischen Druckverhältnisse auch eine Umkehrung des Luftzuges erreicht werden. Die Wirkung des Lüfters ohne Wetterwand ist besser. Bei extremen Wetterverhältnissen, z. B. Föhn einbruch, kann die Leistung des Ventilators zeitweilig ungenügend sein.

In Doppelspurtunnels lässt sich der natürliche Luftzug mit Unterstützung des Ventilators erhöhen. Er wird aber durch die in Gegenrichtung verkehrenden Züge auf Null reduziert oder umgekehrt. Immerhin besteht aber die Chance, durch Einsatz des Lüfters den natürlichen Luftzug so zu unterstützen, dass die Resultierende aller Luftbewegun-

gen die bei Bauarbeiten entstehenden Staub- und Abgasschwaden nicht wie bis anhin durch die ständig wechselnde Windrichtung nur hin und her schiebt, sondern sukzessive zum Portal drückt.

Zusammenfassend kann man festhalten:

- Der Lüftungswagen lässt sich in allen einspurigen Tunnels der Schweiz mit gutem Erfolg verwenden. Bei extremen Witterungsverhältnissen und Spezialfällen, wie z. B. im Simplontunnel (zwei durch Querschläge verbundene Einspur-Röhren), sind keine Wunder zu erwarten.
- In Doppelspurtunnels sollte der Wagen bei kurzfristigen Arbeiten in jedem Fall eingesetzt werden. Für lang andauernde Arbeiten ist die Tauglichkeit des Lüfters durch Messungen nachzuweisen.
- Die grossen Vorteile beim Einsatz des Lüftungswagens sind: saubere Luft im Luv; verdünnte Abgase und Staub im Lee der Baustelle; bessere Sichtverhältnisse, welche die Übersicht über den Bauablauf, Visuren, Manöver etc. erheblich erleichtern

und – nicht zu vergessen – auch die Sicherheit erhöhen. Nach Möglichkeit sollte die Hauptwindrichtung identisch sein mit der Richtung der maximalen Leistungsabgabe des Ventilators.

- Die Ventilation ist kein Allerweltsmittel. Staubbekämpfungsmassnahmen sind auch bei Verwendung des Lüfters unbedingt vorzusehen. Ebenso gilt es, den Einsatz von Verbrennungsmotoren auf das unumgängliche Minimum zu beschränken. In diesem Zusammenhang wäre der elektrische Betrieb des Lüfters von Vorteil. Die (teure) Zuführung der elektrischen Energie lässt sich aber nur für lange Einsatzzeiten, wie z. B. bei Tunnelsanierungen, vertreten.

### Schlussbemerkungen

Jahr für Jahr sind in den Bahntunnels kleinere oder grössere Arbeiten, vielfach verbunden mit starker Staub- und Abgasentwicklung, auszuführen. Der beschriebene Lüftungswagen wird bei richtigem Einsatz eine wesentliche Ver-

besserung der Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit bringen. Er stellt auch eine wirtschaftlich tragbare Lösung dar. Dies allein scheint uns aber nicht genug. Die Bekämpfung von Staub und Abgasen an der Quelle ist durch die früher schon angeordneten Massnahmen weiterhin vorzusehen. Zusätzliche Massnahmen, wie z. B. Abgasentgiftung, sollten geprüft werden.

Die bisherigen Einsätze des Lüftungswagens (bei z. B. Gleis-Totalumbauten, Kramp- und Richtarbeiten, Schienenschleifen, Gunitarbeiten) verliefen alle sehr positiv. Es wurden nicht nur bessere Arbeitsbedingungen für den Bahndienst geschaffen, sondern auch bessere Sichtverhältnisse, die sich durch höhere Arbeitsleistungen, bessere Ausführungsqualität und nicht zuletzt durch Erhöhung der Sicherheit äusserten. Die Beschaffung weiterer Lüftungswagen wird von den SBB ins Auge gefasst.

Adressen der Autoren: *H.P. Rubi*, Sektionschef SBB, Bauabteilung Kreis III, Sektion Bd 5, Museumsstr. 1, 8001 Zürich; *W. Galli*, Ingenieurbüro W. Galli, Sandacker 6, 8052 Zürich; *J. Cl. Vuilleumier*, Vuilleumier AG, Bielstr. 15, 3250 Lyss.