

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 113/114 (1939)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Zur Frage der Automobiltunnel-Ventilation  
**Autor:** Jaray, P. / Andraee, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-50589>

### **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:** 30.01.2025

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

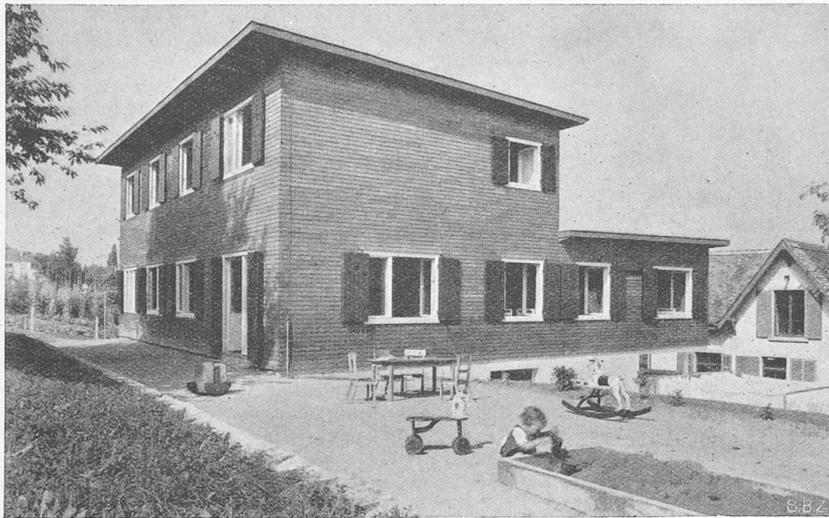


Abb. 2. Kinderkrippe Lindt & Sprüngli, Kilchberg. Arch. R. WINKLER, Zürich

die Säuglinge von den «Höckli» und Kindergarten-Kindern getrennt. Im vorliegenden Fall musste vorgesehen werden, dass ausnahmsweise, wenn besondere Umstände dies verlangen, Kinder in der Krippe auch übernachten können. Zu diesem Zweck war ein Nachtzimmer vorzusehen. Die Krippe ist für 30 Kinder berechnet; es zeigt sich aber gerade jetzt, wo wieder mehr Frauen zur Arbeit gehen, dass tagsüber gut 40 Kinder versorgt werden können. Neben den Arbeiterinnen der Firma Lindt & Sprüngli können soweit möglich auch weitere Mütter der Gemeinden Kilchberg und Rüschlikon ihre Kinder hier in Obhut geben, entsprechend den Beiträgen dieser beiden Gemeinden an die Betriebskosten.

Dank rationeller Anordnung genügen vier Personen für die Bedienung: eine Schwester, eine Kindergärtnerin, eine Köchin und eine, ausnahmsweise zwei Gehilfinnen.

Das Haus liegt in einem Baumgarten des Fabrikareals, an einem nach Osten fallenden Hang, bergseits des Pilgerweges; der Zugang zum Hauptgeschoss, das bergseitig ebenerdig liegt, erfolgt von Osten über eine Aussentreppe. Im Hauptgeschoss liegen die Räume des Tagbetriebes: Kindergarten mit Pritschenraum, Säuglingszimmer mit einem durch eine Glaswand getrennten Schlafraum für die Höckli. Neben dem Säuglingszimmer befindet sich eine kleine Milchküche; Kinderarbeits- und Badezimmer mit zwei Wannen ergänzen die Haupträume. Auf diesem Boden liegen ferner die Küche mit Essplatz für die Angestellten und deren Tagraum. Im Obergeschoss finden wir neben einem Isolierzimmer (normalerweise Nähzimmer) das Nachtzimmer. Dieses liegt, damit im Nachtdienst abgewechselt werden kann, zwischen den Zimmern der Schwester und der Kindergärtnerin. Dazu kommen noch das Zimmer für die Köchin und ein Zweierzimmer für die Gehilfinnen. Im Keller, der nur teilweise ausgebaut ist, befindet sich beim Nebeneingang ein temperierter Vorräum für Kinderwagen; diese werden somit tagsüber in kalter Jahreszeit nicht abgekühlt und ein Vorwärmen vor dem Heimgehen erübrigt sich. Die Innentreppe ermöglicht es,

dass die ausgepackten Säuglinge durch das Innere des Hauses ins Säuglingszimmer gebracht werden können. Damit aber die Mütter das Innere der Krippe nicht betreten, ist am unteren Ende der Kellertreppe ein geländerhoher Abschluss angebracht worden, wo die Kinder dem Personal übergeben werden. Im Keller liegen ferner Vorrats-, Abstell- und Trockenraum, Waschküche und Heizung.

Das Untergeschoss ist betoniert. Die beiden Obergeschosse sind in Holzkonstruktion, System der Holzbau A. G. Lungen ausgeführt, aussen verschindelt. Aus Gründen der Schallisolation sind alle Innenwände zweiseitige Isolierplattenwände, die aus Sparsamkeit nur halbhoch mit einer waschbaren Tapete tapeziert sind. Eine gute Isolation wurde durch diese Konstruktion erreicht. Die Hartfaserplatten der Sockel in den Nebenräumen sind mit einer Chlor-Kautschukfarbe gestrichen. Die Oio-Böden sind durchweg mit Linoleum belegt, das Holzwerk ist mit Oelfarbe gestrichen. Die Warmwasserheizung und Wasserversorgung werden mit Fabrikdampf durch einen Gegenstromapparat betrieben. Ein 100 l Reserveboiler und elektrische Heizelemente stehen dann zur Verfügung, wenn an Winter-Sonntagen der Fabrikdampf ausbleibt. Im Hause sind 13 normale Wandkasten und ebensoviel Wäsche- und Vorratskasten bis auf Brüstungshöhe unter den Gangfenstern eingebaut.

Bei 56800 Fr. totaler Bausumme und 925 m<sup>3</sup> umbautem Raum stellt sich der Preis nach S. I. A. auf 58,40 Fr./m<sup>3</sup>. Erstellungszeit November 1938 bis Februar 1939, etwa 3 1/2 Monate. Die Kosten für das bewegliche Mobiliar betragen 3800 Fr.

### Zur Frage der Automobil-Tunnel-Ventilation

Von Obering. P. JARAY, Luzern

Die zu diesem Problem in Band 114, Nr. 1 und 2 der «SBZ» erschienene Veröffentlichung<sup>1)</sup> veranlasst mich zu nachstehenden grundsätzlichen Bemerkungen, wobei ich jedoch auf Einzelheiten nicht eintreten möchte<sup>2)</sup>.

#### 1. Der Luftbedarf

Wenn bei der Bemessung der für die Ventilation erforderlichen Luftmenge beim Automobil-Tunnel vom CO-Gehalt ausgegangen wird, so geschieht dies unter der Annahme, dass mit der notwendigen Verdünnung des gefährlichen Kohlenmonoxydes ohne weiteres auch die andern, weniger schädlichen Gase, wie Kohlendioxyd, Methan usw. unwirksam gemacht werden. Die bisherigen Erfahrungen haben diese Annahme auch bestätigt, doch wird die Belästigung der Fahrer durch Rauchgase nur dann miterfasst, wenn der zulässige CO-Gehalt genügend weit unterhalb der toxischen Grenze liegt, also bei weniger als 0,3 ÷ 0,4 Vol 0/00. Aber es sind auch noch andere Gründe dafür massgebend, den zulässigen CO-Gehalt niedriger zu halten. Ausführliche Versuche haben gezeigt, dass ein CO-Gehalt von 0,3 ÷ 0,4 Vol 0/00, längere Zeit oder wiederholt eingeatmet, dem menschlichen Organismus

<sup>1)</sup> Auszug aus Gutachten Andreae - Rothpletz & Lienhard - Rochat. Red.

<sup>2)</sup> Die Studien des Verfassers auf dem Gebiet der Automobil-Tunnel-Ventilation reichen weit zurück; er entschloss sich aber erst im Frühjahr 1939 zu einer Veröffentlichung, da zu diesem Zeitpunkt das Problem auch hier in der Schweiz praktisch akut geworden ist. Eine zusammenfassende Arbeit wurde im März dieses Jahres an die «SBZ» gesandt, wo sie aber des oben erwähnten, in Aussicht gestellten Artikels wegen, zurückgestellt wurde.



Abb. 1. Grundrisse und Schnitt der Kinderkrippe von Lindt & Sprüngli in Kilchberg bei Zürich. — Masstab 1 : 250

gleichwohl Schaden zufügt, denn das CO speichert sich gewissermassen im Blut auf. Das Hämoglobin wird durch die Anreicherung mit CO an der Sauerstoffaufnahme gehindert; da nun die Rückbildung, der Ersatz des Kohlenoxydes durch Sauerstoff, viel längere Zeit in Anspruch nimmt, als die Bildung des Kohlenoxyd-Hämoglobins, überdauert dieser Vergiftungszustand unter Umständen sogar längere Perioden der Einatmung reiner Luft. Man muss daher besonders dann, wenn die Durchfahrt durch den Tunnel länger dauert als etwa 10 Minuten und wenn die Verkehrsverhältnisse das wiederholte Befahren des Tunnels durch die gleiche Person (z. B. Post) nötig oder auch nur wahrscheinlich macht, unter allen Umständen unterhalb der toxischen Grenze bleiben. Ein CO-Gehalt von 0,25 Vol % ist daher tatsächlich der maximal zulässige Wert, der allein mit Rücksicht auf die additive Vergiftung zugelassen werden darf. Die Einhaltung dieser Forderung wird übrigens auch von dem Autor des oben zitierten Artikels anerkannt.

Doch lässt die einheitliche Bemessung der dem Auspuffrohr entströmenden CO-Gasmenge zu wünschen übrig, zumal sie auch von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängt: Absolut von der Leistung und von der Bauart des Motors und relativ von seiner Einstellung (Düsenwahl), von der Verdichtung, der Belastung, der Drehzahl usw. Insbesondere spielt die Drehzahl eine sehr bedeutende Rolle, wie dies in Abb. 1 prinzipiell veranschaulicht ist. Die Kurve zeigt, dass die CO-Menge, abhängig von der gewählten Fahrgeschwindigkeit, bezw. der Gangwahl, 2 ÷ 10 Vol % der Auspuffgasmenge betragen kann. Ganz abwegig erscheint es daher, wenn die CO-Gasmenge im Tunnel lediglich von der Wagenzahl pro m Tunnel-Länge abhängig angegeben wird. Ein Wert von 150 oder 250 cm<sup>3</sup> pro Wagen und m Fahrbahn kann ebenso zu niedrig als auch viel zu hoch sein. Es ist gewiss schwierig, die vielen Faktoren, die die CO-Gasmenge beeinflussen, gleichzeitig zu erfassen, aber es muss doch wenigstens dem Umstand Rechnung getragen werden, dass der auf die Wageneinheit entfallende CO-Gas-Anteil — ganz abgesehen von der vorerwähnten Abhängigkeit der CO-Entwicklung von der Motordrehzahl — umso kleiner sein wird, je grösser die Fahrgeschwindigkeit des Wagens ist. Dieser Umstand wird am einfachsten dadurch berücksichtigt, dass man die CO-Menge auf die Zeiteinheit bezieht. Man kann (unter Berücksichtigung eines angemessenen Prozentsatzes von Dieselmotorwagen) heute mit einer durchschnittlichen CO-Gasmenge von rund 500 cm<sup>3</sup> pro Wagen und sec rechnen<sup>3)</sup>. Das ergibt bei einer Fahrgeschwindigkeit von beispielsweise 18 km/h = 5 m/s eine CO-Menge von 100 cm<sup>3</sup>, oder bei einer Geschwindigkeit von 36 km/h von nur 50 cm<sup>3</sup> pro Wagen und m Tunnel-Länge. Die ausserordentlichen Diskrepanzen bei den verschiedenen Berechnungen der erforderlichen Frischluftmenge sind in der Hauptsache auf die Vernachlässigung der Abhängigkeit des CO-Gasgehaltes von der Fahrgeschwindigkeit zurückzuführen. Die in der eingangs erwähnten Veröffentlichung angegebene CO-Menge von 200 cm<sup>3</sup> pro Wagen und m ist sicherlich zu hoch, da man mit einer Fahrgeschwindigkeit von nur etwa 8 km/h im Tunnel kaum rechnen darf, und ebensowenig annehmen kann, dass sich in einem modernen Gebirgstunnel eine Versammlung alter, schlecht einregulierter Wagen vorfinden wird.

Wenn man die Rauchplage, die bei manchen Dieselmotorwagen-Typen und bei einigen mit Holzgas betriebenen Wagen besteht, auf ein Minimum reduzieren will, kann man allenfalls die Konzentrationsziffer noch kleiner als 0,25 Vol % wählen. Es ist aber nicht angängig, solcher Fahrzeuge wegen, die wenig oder gar kein CO erzeugen, die CO-Ziffer höher anzusetzen.

Allgemein ist die für die Lüftung erforderliche Frischluftmenge

$$Q_s = \frac{q i L}{E} = \frac{q i L n}{1000 V} \text{ m}^3/\text{s}$$

Darin ist  $q$  die Summe der für die Gasverdünnung, Rauchverdrängung usw., sowie für die Motoren und Fahrer und die für

<sup>3)</sup> Die an andern Orten noch vielfach angegebene Zahl von 1000 cm<sup>3</sup> hat heute keine Geltung mehr.

die Ueberwindung der barometrischen und thermischen Einflüsse erforderliche Frischluftmenge in m<sup>3</sup>/s und Wagen;  $i$  die Anzahl der Wagenreihen (Spuren) nebeneinander;  $L$  die Tunnel-Länge in m;  $E$  die mittlere Entfernung der Wagen voneinander (Wagenspitze bis Wagenspitze) in m;  $n$  die Anzahl der Wagen pro Stunde auf einer Spur;  $V$  die Fahrgeschwindigkeit in km/h.

Der Wert  $q$  kann unter Zugrundelegung der oben angenommenen Zahlen für die CO-Menge und ihre notwendige Verdünnung, sowie unter Berücksichtigung aller andern die Frischluftmenge beeinflussenden Faktoren, mit  $q = 2,1 \div 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  und Wagen angesetzt werden. Damit lässt sich nun die maximal erforderliche Luftmenge pro Spur und m Tunnel-Länge unter der Annahme errechnen, dass der Mindestabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wagen im wesentlichen vom Bremsweg bestimmt wird. Praktische Versuche haben gezeigt, dass erst bei höheren Fahrgeschwindigkeiten der Bremsweg etwa proportional dem Geschwindigkeitsquadrat verläuft, während innerhalb der Grenzen, die für Automobil-Tunnel derzeit in Frage kommen, nämlich für  $V = 10 \div 30 \text{ km/h}$   $E_{\min}$  nahezu linear mit  $V$  anwächst und in roher Annäherung  $E_{\min} \text{ ungefähr} = V$  angesetzt werden kann<sup>4)</sup>. Daraus ergibt sich für diese Geschwindigkeitsgrenzen die überhaupt mögliche maximale Wagen-Zahl pro Stunde mit rund 1000 und als Faustformel:

$$\frac{Q_s \text{ max}}{i L} = \frac{2,5}{V}$$

$V$	10	15	20	25	30	km/h
$\frac{Q_s \text{ max}}{i L}$	0,250	0,167	0,125	0,100	0,083	m <sup>3</sup> /s.m

Für die Annahme von 300 Wagen pro Stunde, die der oben zitierten Arbeit zugrunde liegt, ist

$\frac{Q_s \text{ 300}}{i L}$	0,075	0,050	0,038	0,030	0,025	m <sup>3</sup> /s.m

Wie man sieht, darf diese Abhängigkeit der erforderlichen Luftmenge von der im Tunnel vorgeschriebenen Mindest-Fahrgeschwindigkeit nicht unberücksichtigt bleiben, wenn die Anlage ökonomisch arbeiten soll. Die in der erwähnten Veröffentlichung errechnete Ziffer von 0,073 ermöglicht das Befahren des Tunnels mit viel zu kleinen Geschwindigkeiten, die für normale Bergtunnel ohne grosse Steigung gewiss nicht erforderlich sind.

In dem Zusammenhang sei noch auf den letzten Satz des Kapitels «Lüftungsbedarf» in der zitierten Arbeit hingewiesen, worin empfohlen wird, bei einem Tunnel mit Längsneigung für die talwärtsfahrenden Wagen etwa  $\frac{1}{2}$  oder  $\frac{1}{3}$  der für die aufwärtsfahrenden angenommene CO-Menge einzusetzen. Aus der in Abb. 1 der vorliegenden Arbeit dargestellten Kurve ist zu ersehen, dass dieser Abzug nur dann zulässig ist, wenn die Brennstoffzufuhr bei der Talfahrt auf mehr als  $\frac{1}{3}$  bzw.  $\frac{2}{3}$  der Wagen abgestellt wird (wofür heute noch bei den wenigsten Wagen eine einfach bedienbare Einrichtung vorhanden ist).

## 2. Das Lüftungs-Prinzip

Eine Lüftung in Richtung der Tunnelaxe wird heute bei grösseren Tunnel-Längen (über 1 ÷ 2 km) nicht mehr ernstlich in Betracht gezogen. Man hat übereinstimmend erkannt, dass bei grösseren Tunnel-Längen eine Längslüftung nicht in Frage kommt, sondern nur noch eine Querlüftung und zwar mit einzelnen voneinander unabhängigen Kraftanlagen, deren Zahl von der Tunnel-Länge, seiner Bauart, den geologischen Verhältnissen und andern Umständen abhängt. Uneinigkeit herrscht jedoch in der Frage der Ventilations-Richtung. Der Autor der angegebenen Arbeit vertritt die Ansicht, dass die bisher allgemein verwendete Aufwärts-Lüftung der Abwärts-Lüftung unbedingt vorzuziehen sei und begründet diese Auffassung in der Hauptsache mit dem Bemerkung, dass die Lüftung «die natürliche Bewegung der Abgase ausnützen und unterstützen und nicht durch Entgegenwirken sie behindern» soll. Er fügt hinzu: «Die Lüftung von unten nach oben ist daher physikalisch die grundsätzlich richtige.» Da der erste Satz schon kein Beweis ist, sondern nur als eine Ansicht gewertet werden darf, ist das «daher» im zweiten Satz unberechtigt. In «Rietschel, Heiz- und Lüftungs-Technik», Auflage 1938, Seite 115, findet sich der folgende Satz: «Man kann also die Regel aufstellen, dass man die Luft entgegen ihrer natürlichen Bewegungstendenz durch den Raum drücken muss, wenn man eine gleichmässige Durchspülung des ganzen Raumes erzielen will.» Man kann natürlich sagen, dass hier Behauptung gegen Behauptung steht, dass die bisher gebauten Tunnel mit Aufwärtslüftung befriedigt haben, die Versuche mit Abwärts-Ventilation ungünstigere Ergebnisse gezeigt hatten und die Erfahrungen von Rietschel sich lediglich auf geschlossene Räume

<sup>4)</sup>  $E_{\min} = \text{Bremsweg} + \text{Reaktionsstrecke} + \text{Sicherheitsabstand} + \text{Wagenlänge}$ .

beziehen. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, dass es gar keine Erfahrung gibt mit Tunnelbauten, die eine Abwärtslüftung besitzen, weil nie ein solcher Tunnel gebaut worden ist (die hierauf bezüglichen «Versuche» waren ganz unzulänglich und sind keineswegs ernst zu nehmen), dass ferner die Wirkung der Aufwärts-Lüftung in Wirklichkeit gar nicht befriedigend ist, dass Klagen geführt werden über schlechte Luft, über Rauch, ja sogar, dass sich im Lauf der Zeit beim Bedienungspersonal Vergiftungserscheinungen zeigen und dass schliesslich ein Tunnel grösserer Länge auch ein geschlossener Raum ist, in dem nur durch die bewegten Wagen eine zusätzliche Luftströmung geschaffen wird.

Und damit kommen wir zu einem wichtigen Umstand, dem meiner Ansicht nach bisher noch zu wenig Beachtung geschenkt worden ist. Wenn man die Strömung verfolgt, die sich um einen fahrenden Wagen einstellt, so kann man je nach der Bauart und der Grösse des Wagens, oft schon weit vor seinem Ende ein Abreissen der Luftströmung und dann dahinter in der Gegend der Auspuffmündung zwei grosse Wirbel feststellen, die sich von unten über aussen nach oben drehen (vgl. Abb. 2 und 3). Diese Wirbel reissen nun, gleichgültig auf welcher Seite des Wagens das Auspuffrohrende sich befindet, die ausströmenden Gase ein Stück weit nach oben, sodass sie — ohne künstliche Lüftung — den unmittelbar dahinter fahrenden Wagen gerade in der Höhe der Fenster treffen. Ausser diesen Wirbeln am Wagenheck-Unterteil bedingt die (heute noch vorherrschende) konventionelle Karosserie-Bauart in der den Wagen umfliessenden relativen Luftströmung von der Wagenoberfläche nach aussen gerichtete Geschwindigkeitskomponenten, die sich in erster Linie nach oben, im Tunnel aber auch nicht unbedeutend nach der Seite und zwar mehr in Richtung auf die Tunnelaxe auswirken. Ohne Belüftungseinrichtung hätte dies eine starke Ausbreitung der Motor- und Auspuffgase zur Folge, sodass beispielsweise ein mit rauchendem Auspuff fahrender Wagen einen grossen Teil des Tunnels rasch vollqualmen könnte, wenn keine geeignete Ventilation dies verhindert. Die um die Wagen sich einstellende Luftströmung spielt eine *wesentlich grössere Rolle* als der thermische Auftrieb der Auspuffgase, zumal die Temperatur der Auspuffgase in ganz kurzer Entfernung von der Mündung des Auspuffrohres bereits so niedrig ist, dass ein nennenswerter thermischer Auftrieb gar nicht mehr vorhanden sein *kann*. Damit rückt die Frage der Lüftung auf ein ganz anderes Geleise. Sie lautet: Auf welche Weise kann die durch die Wagen verunreinigte und verwirbelte Luft am raschesten wieder gereinigt und beruhigt werden? Die Aufwärts-Lüftung treibt die verwirbelten Gase vor sich her, dringt nach und nach, sie verdünnend, in sie ein, um sie schliesslich oben abzuführen. Der so erzielte Verdünnungs-Gradient steht aber *verkehrt*, denn gerade dort, wo die Luft am stärksten verdünnt sein sollte, nämlich in einer Höhe von 1 + 2 m über Boden, ist sie noch fast unverdünnt und erreicht erst kurz vor dem Austritt im oberen Teil des Tunnels die stärkste Verdünnung, was vollständig zwecklos ist. Anders bei der Abwärts-Lüftung. Hier tritt eine Verdrängung der verunreinigten Luft ein; die abwärts drückende Frischluftsäule über den verunreinigten Gaswirbeln verdünnt diese mit richtigem Gradienten. Die Ausbreitung wird schon im Keim unterdrückt, sodass jeder Wagen praktisch bereits gasfreie Frischluft schon in geringer Höhe über dem Boden vorfindet.

Dass dies für die Lüftung des Wagen-Innenraumes *unbedingt* erforderlich ist, zeigt Abb. 4. Bei einem fahrenden Wagen herrscht nur an der Kühlerfront und vor der Windschutzscheibe Ueberdruck, wenn man von kleinen Druckstellen auf der Unterseite und von kleinern Anbauten wie Scheinwerfer, Kotflügel u. dgl. absieht. Alle anderen Teile der Wagenoberfläche stehen unter Unterdruck. Frischluft lässt sich aber nur dann in das Wageninnere hineinbringen, wenn sie einen Ueberdruck gegenüber dem Wageninnern besitzt. Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Bei der einen verbindet man den Wageninnenraum mit äusseren *Unterdruckstellen* (Entlüftungseinrichtung, z. B. ausstellbare,

nach hinten sich öffnende Fenster) und lässt dann die Frischluft durch den nun auch im Wageninnern vorhandenen Unterdruck von irgendwoher ansaugen. Diese Art der Wagenlüftung — die man übrigens meistens findet — hat den grossen Nachteil, dass das Wageninnere auch aus dem Motorraum, sowie aus anderen Gebieten relativ höheren Drucks Luft ansaugen kann, die keineswegs sauber sein muss. Dass diese Art der Ventilation nicht als ideal anzusprechen ist, dürfte klar sein. Bei der zweiten Möglichkeit wird umgekehrt das Wageninnere mit einer äusseren Frischluft-*Ueberdruckstelle* verbunden (Belüftungseinrichtung; z. B. ausstellbare, nach vorn sich öffnende Fenster) und dafür gesorgt, dass ein Teil dieses Ueberdrucks im Wageninnern erhalten bleibt, sodass keine Motorraum- oder andere belästigenden Gase in den Wagen-Innenraum eindringen können. Diese Methode der Wagen-Lüftung ist die weitaus bessere.

Aber gleichgültig, ob Be- oder Entlüftung verwendet wird, in einer Höhe von etwa 1 bis 2 m über dem Boden *muss* eine einwandfreie Atemluft vorhanden sein, wenn die ganze Frischluft-Einrichtung einen Sinn haben soll. Aus allen diesen Ueberlegungen ergibt sich die *Notwendigkeit*, die Frischluft im Tunnel von oben her einzuleiten. Zu dem gleichen Ergebnis gelangt man, wenn man die Frage der Rauchbelästigung näher betrachtet. Bei der Aufwärts-Lüftung treibt die unten eintretende Frischluft die Rauchgase vor sich her und es bedarf einer sehr grossen Menge von eingeblassener Frischluft, wenn man die Gase auf dem kurzen Weg von 0,3 + 0,5 m über dem Boden (Auspuffmündung) bis 1 + 2 m über dem Boden (Kopfhöhe der Fahrer) so verdünnen will, dass die Sicht nicht mehr gestört und die Geruchsorgane nicht belästigt werden. Bei der Abwärts-Lüftung dagegen steht der Rauchgas-Ausbreitung die schon vorhandene, von oben herabsickernde Frischluft entgegen, die allein schon ausreichen würde, um die *gesamten* Auspuffgase (nicht nur das CO-Gas) je nach Grösse und Bauart des Motors 50 + 100 fach zu verdünnen. Es ist natürlich nötig, dafür zu sorgen, dass der verdünnte Rauch unter Mithilfe der von oben her nachschiebenden Frischluft möglichst rasch abgesaugt wird.

Man wird zu diesem Zweck die Abzugöffnungen nicht nur in unmittelbarer Nähe des Bodens, sondern verteilt bis in Höhen von etwa 1 + 2 m anbringen.

Damit habe ich zu der in der eingangs zitierten Veröffentlichung zutage getretenen Aversion gegen die Abwärts-Lüftung Stellung genommen und möchte nur noch einige Bemerkungen für den Fall eines Brandes hinzufügen. In der erwähnten Arbeit findet sich der folgende Satz: «aber selbst wenn für normale Betriebsverhältnisse die Versuche (mit Abwärts-Lüftung) günstige Ergebnisse zeitigen sollten, hegt die Kommission mit Rücksicht auf den Fall des Brandes ernste Bedenken gegen jedes System, bei dem die Frischluft von oben her eingeführt wird.»

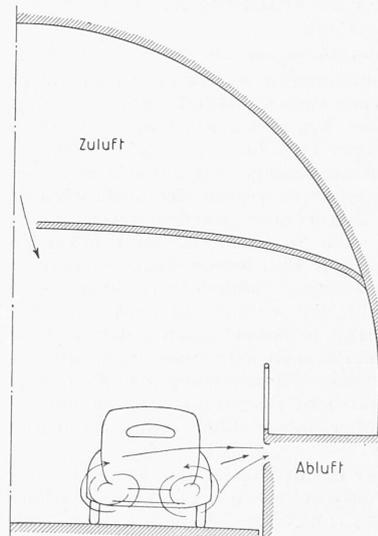


Abb. 3. Schema der Heckwirbel am fahrenden Wagen, Strömungsverlauf im Tunnel mit Abwärts-Lüftung

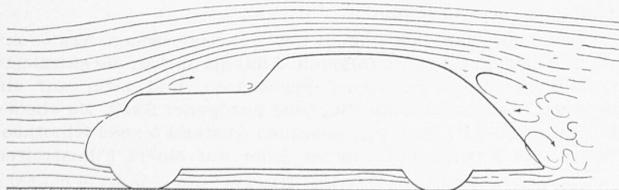


Abb. 2. Schematischer Stromlinienverlauf im Mittel-Längsschnitt eines fahrenden Automobils üblicher Form

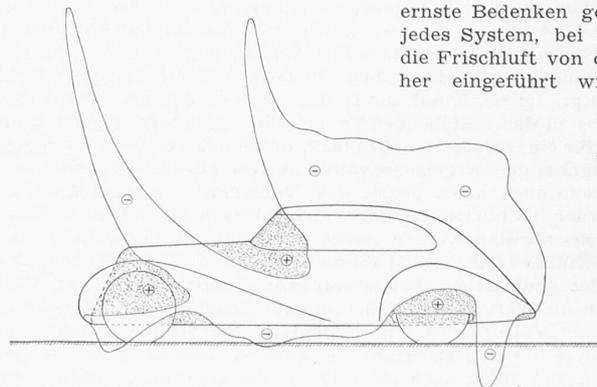


Abb. 4. Schematische Druckverteilung im Mittellängsschnitt eines fahrenden Autos üblicher Form. + Ueberdruck, - Unterdruck

Dass ein auftretender Brand durch stärkere lokale Absaugung an der Ausbreitung behindert und damit lokalisiert werden muss, ist selbstverständlich. Das ist aber bei der Abwärts-Lüftung, wie die vorstehenden Ausführungen gezeigt haben, mindestens ebenso gut möglich wie bei der Aufwärts-Lüftung. Es wird zudem hier vielleicht interessieren, zu erfahren, wieviele Brände in einem seit 1933 im Betrieb stehenden Tunnel eingetreten sind, der bei rund 1,8 km Länge ähnliche Raumverhältnisse aufweist, wie die ernsthaften Projekte für mittelgrosse Auto-Strassen-Tunnel im Gebirge. Es ist dies der Schelde-Tunnel, durch den in sechs aufeinanderfolgenden Jahren 2,32 Millionen Personenwagen und 880 000 Lastwagen, zusammen also rd. 3,2 Millionen Fahrzeuge gerollt sind. Während dieser Zeit sind drei Brände entstanden (die vom Aufsichtspersonal mit den vorhandenen Feuerlöschern mühelos bewältigt wurden), also bei etwa 0,0001‰ aller Wagen. Wäre es nun schon an sich widersinnig, für diese lächerlich kleine Wahrscheinlichkeit eines Brandes Einrichtungen zu treffen, die nur für diesen einen Ausnahmefall vermeintliche Vorteile bieten, so ist es, wie die Verhältnisse wirklich liegen, ganz verkehrt, für die restlichen 99,9999‰ Nachteile in Kauf zu nehmen, die in der unzweckmässigen Lüftung und der ungenügenden Rauchbefreiung liegen.

Es wäre sehr zu begrüßen, wenn diese Zeilen dazu beitragen könnten, weitere Fortschritte im Automobil-Tunnelbau zu erzielen, was in der Tat nur durch Verwertung der neuzeitlichen Erkenntnisse aller hierbei in Frage kommenden Fachgebiete möglich ist.

\*

Hierzu bemerkt der Autor des kritisierten Aufsatzes in Nr. 1 und 2 laufenden Bandes was folgt:

*Bemerkungen zu den Ausführungen von Obering. P. Jaray.*

Zum ersten Teil der Ausführungen des Herrn Oberingenieur Jaray möchte ich nur bemerken, dass CO-Gehalt und notwendige Luftmengen zweifellos von der Art und Geschwindigkeit des zu erwartenden Verkehrs abhängen (vgl. Bd. 111, S. 225, Tabelle 1). Für die Berechnung der Lüftungsanlage des Tunnels muss jedoch auf einen festen Wert abgestellt werden, der doch schliesslich auf die Längeneinheit umgerechnet werden muss, da die Grösse der Lüftungsanlage auch Funktion der zu belüftenden Tunnelänge ist. Im vorliegenden Fall waren Gegebenheiten in Betracht zu ziehen, die veranlassten, reichlich zu rechnen. Wenn man übrigens für den Verkehr, wie er für unsere Alpentunnel normalerweise zu erwarten ist, die Betriebskosten der Lüftung zahlenmässig berechnet, bemerkt man bald, dass innerhalb der gegebenen Grenzen eine genauere Bestimmung der CO-, bzw. Luftmenge nicht die wirtschaftliche Bedeutung hat, die man erwarten könnte. Man kann daher unbedenklich etwas vorsichtig, d. h. etwas reichlich rechnen.

Herr Oberingenieur Jaray bricht sodann eine Lanze für das Querlüftungssystem mit Luftzug von oben nach unten, das Herr Bartholomäi in der «SBZ» Bd. 112, Nr. 8 vorschlug und in mehreren Ländern zum Patent anmeldete. Er tut dies mit der Begründung, die Lüftung von unten nach oben befriedige angeblich in Wirklichkeit gar nicht und habe zu Klagen über schlechte Luft geführt, usw. Persönliche Erhebungen an Ort und Stelle in Antwerpen und Liverpool, sowie Anfragen in New York (bei Dr. O. H. Ammann, dem die dortigen Tunnel unterstehen) haben jene Behauptungen, die seinerzeit auch mir zugetragen wurden, — vermutlich von der selben Quelle wie Herrn Jaray — nicht bestätigt. Im Gegenteil, die Lüftung von unten nach oben funktioniert in den bestehenden Tunneln durchaus befriedigend, während für eine solche von oben nach unten nur Versuche vorliegen, die ungünstigere Ergebnisse zeigten. Wenn die Anordnung dieser Versuche auch nicht genau dem Vorschlag Bartholomäi-Jaray entsprach, so dürfen sie doch nicht einfach als «nicht ernst zu nehmen» abgetan werden (siehe Nr. 22, 24 und 25 des Literaturverzeichnis auf Seite 24 dieses Bandes). Jedenfalls geht weder aus der praktischen Betriebserfahrung, noch aus diesen Versuchen die Notwendigkeit hervor, die Frischluft im Tunnel von oben her einzuführen. Im Gegenteil! Bisherige Versuche und besonders die Betriebserfahrung sprechen durchaus für die Belüftung von unten nach oben. Dass eine Anordnung, wie sie die Herren Bartholomäi und Jaray vorschlugen, günstigere Ergebnisse zeitigen würde, ist dagegen eine Behauptung, die nur auf

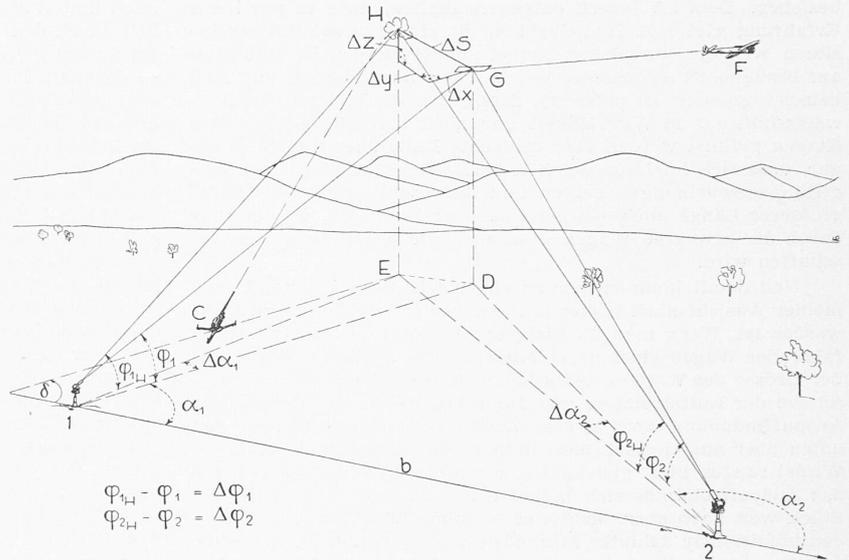


Abb. 1. Schiessübung mit Kinotheodoliten

einer Ueberlegung beruht, die ihre Berechtigung haben mag, die sich aber vorläufig auf keinen Nachweis stützt. Dafür müssten die wirklichen aerodynamischen Vorgänge beim Durchfahren eines Tunnels durch Fahrzeuge verschiedenster Bauart und unter verschiedensten meteorologischen Verhältnissen (ein Wasserscheidetunnel ist kein geschlossener Raum) experimentell noch genauer untersucht werden. Es wäre übrigens interessant, in Zahlen zu erfahren, welche Ersparnisse die Befürworter dieses Systems damit zu erzielen glauben, besonders wenn die Lüftungsanlage so ausgebildet würde, wie sie in Band 112, Nr. 8, angedeutet ist.

Was den Brandfall anbelangt, so müssen wir mit wirklichen Sicherheiten rechnen und nicht nur mit wahrscheinlichen. Die Gegebenheiten für unsere Passtunnel sind übrigens so, dass Brandfälle nicht ausgeschlossen und daher in Betracht zu ziehen sind.

C. Andreae

## Der Stereomat, ein Rechengrät für die Fliegerabwehr

Eine «ideale» Schiessübung der Flab-Artillerie<sup>1)</sup> würde etwa folgendermassen vor sich gehen: Von zwei Beobachtungsgeräten im Basisabstand 2 ÷ 4 km würde das Flugzeug beständig anvisiert, die seine augenblickliche Lage fixierenden Einstellungen der beiden Geräte einer Zentrale telegraphisch übermittelt und dort fortlaufend registriert. Gleichzeitig verfolgt das Kommandogerät das Ziel; auch seine Befehle — Seite, Elevation, Tempiering — werden der Zentrale telegraphiert. Die Mannschaft stellt mittels Folgezeigern die Tempiermaschine und die Geschütze nach diesen Befehlen ein; sie bezeichnen den Punkt, um den herum die Geschosse im Ernstfall platzen würden. Im Ernstfall, denn bei einer solchen Uebung würde nicht geschossen; sie würde weder scharfe Munition erfordern, noch einen menschenleeren Schiessplatz. — In der Zentrale würde der vom Kommandogerät mitgeteilte Ort der Sprengwolke mit dem von den beiden Theodoliten gelieferten Ort des Flugzeugs in dem Moment des Platzens der Granate verglichen und der automatisch ermittelte Schussfehler, genauer: die Komponenten des das Flugzeug mit der Sprengwolke verbindenden Fehlervektors, gleichfalls registriert. Ueber das Arbeiten der Truppe gäbe der Registrierstreifen einen schleunigen und einwandfreien Bericht.

Die zu einer solchen idealen Flugabwehr-Uebung nötigen Express-Auswertgeräte gibt es zur Stunde noch nicht, wird es aber vielleicht bald geben. Ein Schritt in der vorgezeichneten Richtung ist bereits gemacht.

Schon heute möglich und in der schweizerischen Armee erfolgreich durchgeführt ist folgende Annäherung an die skizzierte Schiessübung: Es wird scharf geschossen, und zwar auf ein Schlepptziel, das ist ein vom Flugzeug gezogener Sack. Zu ebener Erde sind (Abb. 1)<sup>2)</sup> im ausgemessenen Abstand *b* zwei Kinotheodoliten 1 und 2 aufgestellt, deren jeder auf einem Filmstreifen

<sup>1)</sup> Vgl. auch «Probleme des artilleristischen Luftschutzes» in Band 108, Seite 106\* (5. Sept. 1936).

<sup>2)</sup> Zu den Abb. 1 bis 3 hat uns die Contraves A. G. die Unterlagen zur Verfügung gestellt; Abb. 4 ist eine Umzeichnung und Ergänzung des im «Schweizer Archiv» 1939, Nr. 3 von F. Fischer veröffentlichten Schaltschemas.