

# Neue Tunnelbelüftungskonzepte

Karsten Modell\*

*Innerhalb der letzten 10 Jahre gab es im Bereich der Tunnelbelüftung insbesondere aufgrund der letzten Tunnelbrände einige bedeutende Änderungen und Neuerungen, welche zu einer wesentlichen Erhöhung der Sicherheit in Tunneln führen.*

## **Höhere Sicherheit in Tunneln durch temperaturbeständigere Abluftventilatoren (bis zu 700 °C)**

Bei längeren Tunneln wird (sofern keine reine Längslüftung vorliegt) der im Brandfall entstehende heisse Rauch über grosse Abluftventilatoren aus dem betroffenen Tunnelabschnitt gesaugt. Da moderne Tunnelbauwerke aus Gründen der Standsicherheit meistens sehr gut gegen derartig starke Hitzeentwicklungen isoliert sind, wird nur sehr wenig Hitze in die Rauchkanäle abgegeben. Dieses bedeutet für die Abluftventilatoren, dass dort entsprechend hohe Temperaturen ankommen. Bei einer isolierten Rauchgaskanallänge von zirka 1000 m und einem Brand von 100 bis 200 MW (Tanklastzug) geht man von einer Rest-Temperatur vor den Ventilatoren von immerhin noch 700 °C aus. Es galt nun, derartig hitzebeständige Grossventilatoren zu bauen und deren Hitzebeständigkeit auch nachzuweisen. Die in Pinneberg ansässige Firma Witt & Sohn AG, welche seit über 20 Jahren hitzebeständige Tunnellüfter (grosse Ab- und Zulüfter sowie Strahlrüfter) herstellt, hat als erste diesen grossen Schritt nach vorne gemacht.

Beim vom Deutschen Institut für Bau-technik (D.I.B.T.) benannten Brand-Institut C.T.I.C.M. in Metz / Frankreich wurde ein kompletter Ablüfter (Laufreddurchmesser 2000 mm, Antriebsleistung 250 kW), welcher später in die Lüftungsanlage für die vierte Röhre des Elbtunnels eingebaut werden soll, gemäss der neuen EN 12101-3 getestet. Bei diesem Brandversuch hat die Firma Witt & Sohn auf beeindruckende Weise demonstriert, was heutzutage (zu einem vernünftigen Preis) bereits technisch möglich ist:

Der Ablüfter wurde zunächst bei 500 °C über 90 Minuten getestet und dann anschliessend weitere 90 Minuten bei 700 °C (hierbei ist anzumerken, dass Stahl bei 700 °C bereits anfängt rot zu glühen).

Eine weitere Besonderheit an diesem Test ist, dass die Firma Witt & Sohn AG bei diesem, wie auch allen anderen Testen, einen kompletten Ventilator in voller Grösse getestet hat, und nicht, wie es bei einigen anderen Herstellern Praxis ist, nur einzelne Komponenten des Lüfters (z. B. eine Laufradschaufel).

Das Bestehen von derartigen Brandversuchen mit «echten und kompletten Ventilatoren in voller Grösse» sollte in Zukunft die Grundvoraussetzung für alle installierten Rauchabzugsventilatoren sein.

## **Bessere Brandbekämpfung in Tunneln durch generell verbesserte Abluftkonzepte**

Ein, insbesondere für längere Tunneln, sehr gut geeignetes Abluftkonzept besticht die Fachwelt durch seine Einfachheit: Die bei einem Brand entstehenden heissen Rauchgase werden im Bereich des Brandherdes über sehr grosse Klappen in einen über der Fahrbahn angebrachten Rauchgaskanal abgesaugt. Die Vorteile dieses Konzeptes sind beeindruckend:



*Axiallüfter D = 2000 mm / 250 kW vor dem Versuch.*

- Die Rauchgase werden nicht im befahrenen Tunnelquerschnitt abgeführt, sondern über einen separaten Kanal abgesaugt.
- Eine starke Verwirbelung mit Kaltluft und Verteilung der giftigen Rauchgase im Fahrraum in Längsrichtung wird somit vermieden.
- Frischluft strömt von beiden Seiten des Brandherdes zu.
- Personen können somit auf beiden Seiten des Brandherdes gerettet werden.
- Die Thermik des heissen Rauchgases wird genutzt (Absaugung der heissen, nach oben gestiegenen Gase direkt an der Tunneldecke).

Die einzige Voraussetzung für dieses effektive Abluftkonzept ist die rechtzeitige Einplanung eines separaten Rauchabzugskanals über dem Fahrraum. Ein nachträgliches Nachrüsten älterer Tunneln ist möglich, sofern genügend Freiraum über der Fahrbahn vorhanden ist. In einigen neuen Tunneln, wie zum Beispiel dem Melbourne City Link (Australien) und der neuen vierten Elbtunnelröhre (Deutschland), wurde dieses Konzept bereits umgesetzt.

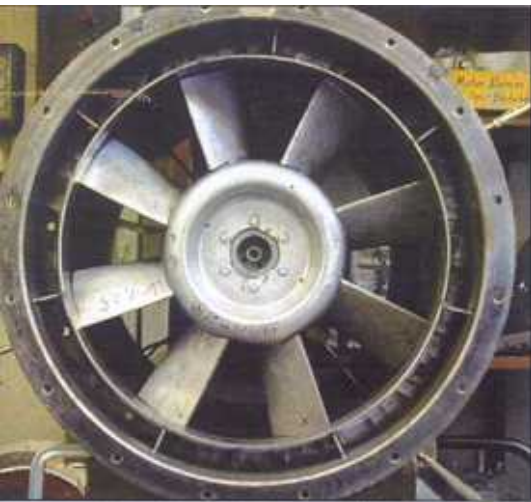
## **Verbesserte Funktionssicherheit der Lüftungssysteme durch STALL-freie Abluft- und Zuluft-Ventilatoren**

In den Lüftungssystemen von sehr vielen Tunneln kommen Axialventilatoren zum Einsatz, da sie im Vergleich zu Radialventilatoren (bei gleichem Volumenstrom) wesentlich weniger Einbauplatz benötigen und eine Reversierbarkeit von bis zu 100 % (z. B. im Brandfall) durch einfaches Ändern der Laufrichtung ermöglichen. Bei Radiallüftern



*Axiallüfter D = 2000 mm / 250 kW im Brandofen bei 700 °C. Fotos: Witt & Sohn.*

\* Leiter Tunnelventilatorenbau Witt & Sohn AG, D-Pinneberg.



Antistalleinrichtung um instabilen Kennlinienbereich zu vermeiden. Fotos: Witt & Sohn.

hingegen müssen für eine Reversierung zusätzliche (und insbesondere viel Platz verschlingende) Rohrleitungen mit einem ausgeklügelten Klappensystem installiert werden. Der Einsatz von Axialventilatoren bringt jedoch auch einen entscheidenden Nachteil mit sich:

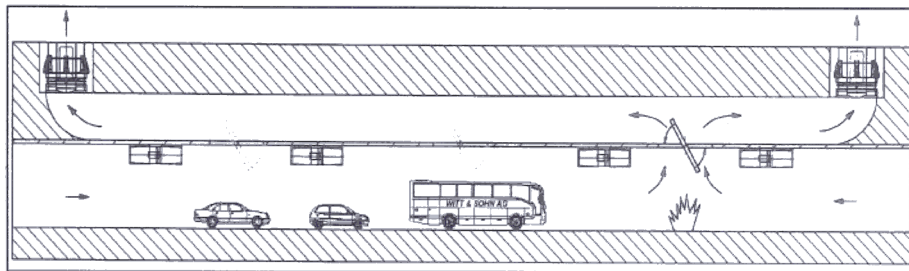
Herkömmliche Axialventilatoren (insbesondere die in vielen älteren Tunneln verwendeten Axiallüfter mit im Lauf verstellbaren Schaufeln) haben keine stetige Druck-Volumenstrom-Kennlinie. (Dieser instabile Bereich in den Förder-Kennlinien der Axiallüfter ist allgemein unter dem Begriff STALL bekannt.)

Da in einem Tunnellüftungssystem während des Betriebes (und auch im Brandfall) aber immer mit variablen und nicht unerheblichen Gegendrücken gerechnet werden muss, müssen die installierten Axialventilatoren über kürzere und auch längere Zeiträume in diesem instabilen Bereich betrieben werden können.

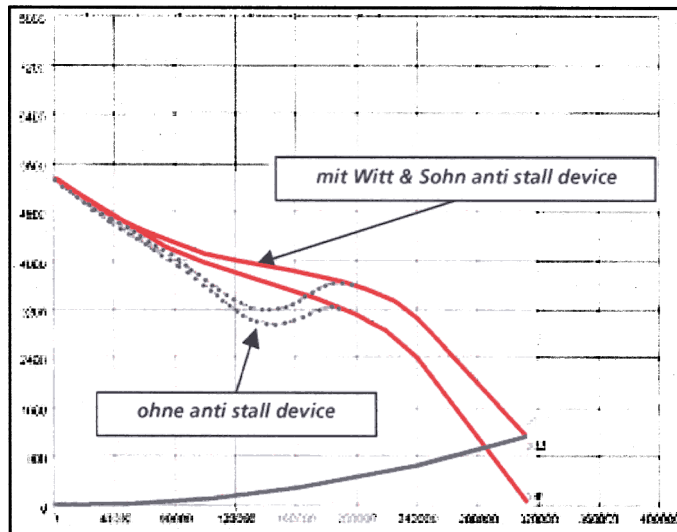
Einige Ventilatorhersteller haben deshalb Axiallüfter entwickelt, die völlig STALL-freie Kennlinien aufweisen. Dieses wird zum einen durch entsprechende Schaufelprofile wie auch entsprechende aerodynamische Einbauten vor beziehungsweise hinter das durchströmte Axiallaufrad erreicht.

### Reduzierung der Investitionskosten bei gleichzeitiger Erhöhung des Sicherheitsstandards durch Verzicht auf im Lauf verstellbare Schaufeln

Vor einigen Jahrzehnten, als die elektrische Drehzahlregelung noch in den Kinderschuhen steckte, wurde der Volumenstrom von in Tunneln installierten Axiallüftern entweder über Klappen (reine Energievernichtung) oder aber über im Lauf verstellbare Schau-



Verbessertes Abluftkonzept insbesondere für längere Tunnel.



Kennlinie eines Axiallüfters mit und ohne Antistall-Einrichtung.

feln geregelt. Diese Axiallüfter mit im Lauf verstellbaren Schaufeln brachten jedoch extrem vielen Nachteilen mit sich:

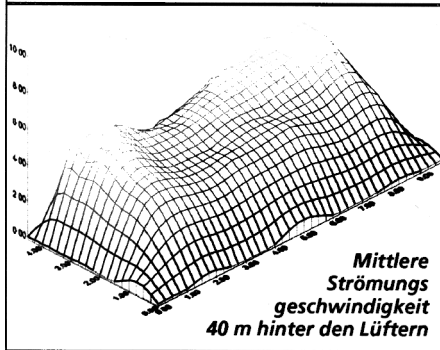
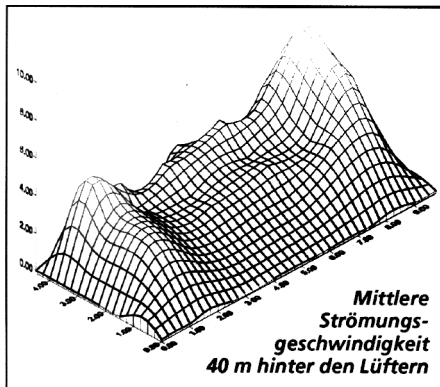
- Sehr hohe Investitionskosten, da technisch/konstruktiv sehr aufwändig.
- Niedrige Betriebssicherheit, da das Versagen vieler kleiner Komponenten bereits zum Totalausfall des gesamten Lüfters führen kann.
- Sehr hohe Wartungskosten aufgrund der vielen mechanischen Verschleiss-teile (Lagerung der Schaufeln usw.).
- Sehr hohe «Stall»-Gefahr, da bei falscher Verstellung des Schaufelwinkels der Lüfter in den Stall (= Strömungsabriss) gebracht werden kann.
- Parallelbetrieb sehr aufwändig, da ein Pumpen zwischen zwei Lüftern nur mittels komplexer Systemüberwachung vermieden werden kann.
- Hitzebeständigkeit sehr problematisch, da brennbares Hydrauliköl zum Einsatz kommt. Die gesamte Hydraulik-Anlage (auch am Laufrad) muss thermisch geschützt werden.
- Ein Regeln des Schaufelwinkels (vorwärts, rückwärts usw.) ist im Brandfall meistens nicht mehr möglich.
- Bei quadratischen Anlagenkennlinien (welches die Masse der Tunnel-Anlagen-Kennlinien darstellt) nur in einem einzigen Betriebspunkt optimaler Wirkungsgrad, in allen anderen Betriebspunkten schlechtere Wirkungsgrade als feste Laufradschaufeln mit Frequenzumformer.

Nun aber, da in den letzten Jahren die elektrische Drehzahlregelung mittels Frequenzumformer technisch ausgereift ist, bieten im Lauf verstellbare Axiallüfter somit keinerlei Vorteile mehr. Und aus sicherheitstechnischer Sicht sind sie sogar weit unterhalb von drehzahlgeregelten Ventilatoren mit Frequenzumformer anzusiedeln.

Die Betreiber von Tunnelanlagen können sich somit endlich der ganzen Nachteile, welche die alte mechanische Schaufelverstellung mit sich gebracht hat, entledigen. Sogar höchste Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit können durch den Einbau von entsprechenden Netz-Filtern und -Drosseln erfüllt werden.

### Leistungsfähigere Längslüftung durch verbesserte Strahllüfter («Banana-Jet»)

Kleinere/kürzere Tunnel werden meistens mittels einer Längslüftung durch Strahlventilatoren belüftet. Um die Kosten solcher Tunnel zu minimieren, wird meistens ein nur relativ kleiner Freiraum über dem eigentlichen Licht-raumprofil vorgesehen. Dieser Freiraum oberhalb des Lichtraumprofils dient dann der Aufnahme aller möglichen Installationen wie Kabelbrücken, Leuchten usw. sowie auch den Strahllüftern. Je näher diese Strahllüfter aber an der Decke beziehungsweise den Wänden

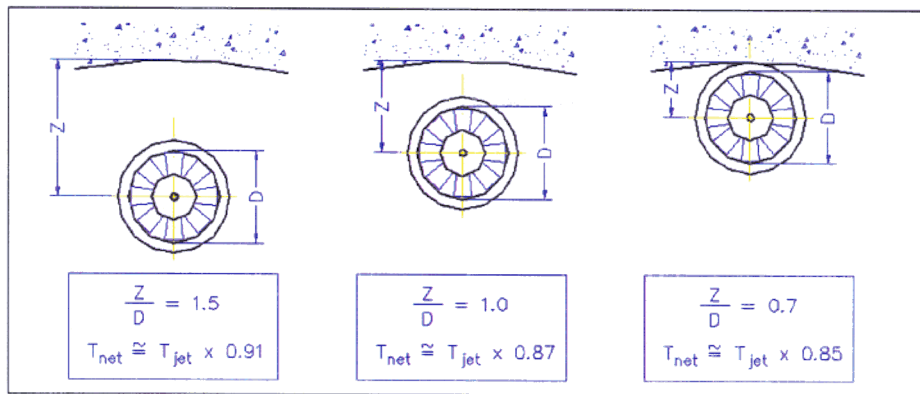


Oben: Luftströmung im Tunnel mit herkömmlichen Strahllüftern. Unten: Luftströmung im Tunnel mit Banana-Jet.

montiert werden, um so weniger Schub zum Bewegen der Luftsäule im Tunnel kann dann umgesetzt werden. Der Grund für diesen Verlust ist die Reibung des austretenden Luftstrahles aus dem Strahllüfter an der Decke / Wand. Wird der Abstand zur Decke hingegen vergrößert, so kann wesentlich mehr Schub im Tunnel erzeugt werden. Somit ergeben sich zwei völlig widersprüchliche Bedingungen für den Tunnel-Planer: Auf der einen Seite bedeutet ein kleines Tunnel-Profil eine erhebliche Kosteneinsparung beim Bau, auf der anderen Seite jedoch werden die Schubverluste der Strahllüfter immer grösser, und es werden mehr Strahllüfter benötigt. Einige Hersteller von Strahllüftern haben Anbauten für die Ausblasseite der Strahllüfter entwickelt (sogenannte Leitbleche), welche den aus den



Beispiel eines nachträglich zum «Banana-Jet» umgerüsteten Strahllüfters.



Beispiel für die Schubreduktion eines Strahllüfters in Abhängigkeit vom Wandabstand.



Test eines Turbo-Strahllüfters in einem Tunnel durch eine örtliche Feuerwehr.

Strahllüftern austretenden Luftstrahl von der Decke weg zur Tunnelmitte hin lenken. Mit diesen Anbauten kann die Reibung des Luftstrahles an der Tunneldecke erheblich reduziert werden. Einher mit diesem positiven Effekt geht jedoch immer auch eine Erhöhung des Schalldruckpegels.

Die Firma Witt & Sohn hat es sogar geschafft, diesen Nachteil zu eliminieren und nennt den aus dieser Entwicklung hervorgegangenen Strahlventilator «Banana Jet».

In aufwändigen Versuchen wurde der «Banana Jet»-Strahllüfter in «echten Strassentunneln» (unter anderen im Krohnstiegtunnel in Hamburg) getestet. Dabei wurden die folgenden wichtigen Erkenntnisse gewonnen: Bei Verwendung von «Banana Jet»-Strahlventilatoren kann im Vergleich zu herkömmlichen Strahlventilatoren bis zu 30 % mehr Schub (bei gleicher Leistungsaufnahme) im Tunnel erzeugt werden.

Dieses heisst, dass bei Verwendung von «Banana-Jet»-Strahllüftern entweder 30 % weniger Strahllüfter im Tunnel installiert werden müssen, oder aber 30 % mehr Schub im Tunnel vorhanden sind. Dieses ist zum einen bei der Planung von neuen Tunneln interes-

sant als auch für die Nachrüstung von existierenden Tunneln, in denen nicht mehr oder aber keine grösseren Strahllüfter mehr installiert werden können.

### Neue Speziallüfter für Feuerwehren

Wie es sich bei den letzten Tunnelbränden gezeigt hat, hat die zur Brandstelle gerufene Feuerwehr bei einem schlecht funktionierenden oder unterdimensionierten Brandlüftungssystem meistens Probleme, überhaupt an den Brandherd heranzukommen. Aus diesem Grunde haben sich einige Spezialfahrzeughersteller an die Aufgabe gemacht, mobile Hochleistungs-Strahlventilatoren für die Feuerwehren zu bauen.

Diese grossen Strahlventilatoren werden dann im Falle eines Brandes vor oder im Tunnel positioniert, um eine Seite des Brandherdes für die tatsächliche Brandbekämpfung rauchfrei zu halten.

Weitere Informationen:  
Meidinger AG  
Binningerstrasse 84, 4123 Allschwil  
Tel. 061 487 44 11, Fax 061 487 44 00  
www.meidinger.ch, info@meidinger.ch