Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 50: Zur Eröffnung des Seelisberg-Strassentunnels

Artikel: Die Belüftungsanlagen
Autor: Luger, Otto
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74278

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

Die Belüftungsanlagen

Von Otto Luger, Zweibrücken

Die Belüftungsanlagen des Seelisbergtunnels wurden von der Turbo-Lufttechnik GmbH, Zweibrücken, nachstehend kurz TLT genannt, nach Ausschreibungsunterlagen bemessen, konstruiert und in Zusammenarbeit mit Schweizer Firmen hergestellt, montiert und in Betrieb genommen.

Zur Belüftungsanlage zählen u.a. die Anlagenkomponenten *Axialventilatoren mit Antriebsmotoren und Hilfseinrichtungen*, die *Ventilatorvor- und Ventilatornachstrecken*, die *Übergangsstücke*, die *Abschlussklappen*, die *Montagedekkel*, die *Stell- und Messeinrichtungen* der Ventilatoren, die *Umlenkgitter*, die *Schalldämpfer* und die *Montage- und Demontagevorrichtungen*.

Die Antriebsmotoren wurden an die Firma BBC AG, Baden/Schweiz, die Hebezeuge an die Firma Hans Fehr AG, Dietlikon und die Hydraulikaggregate an die Firma Hagenbuch, Ebikon untervergeben. Aber auch die Stahlbauteile erfolgten zu 90% in Landesfertigung. Die Ventilatorgehäuse und die Schalldämpfer wurden an die Firma Griesemer AG, Altdorf, die mechanische Bearbeitung und der Zusammenbau der Ventilatoren an die Firma Bell Maschinenfabrik AG, Kriens und die Abschlussklappen, Montagedeckeln, Umlenkgitter, Kühlluftleitungen und die Baustellenmontage an die Interessengemeinschaft Nidwalden sowie die Übergangsstücke an die Firma Dytan-Stahl- und Maschinenbau AG, Horw-Luzern vergeben.

Aufbau

Der Seelisbergtunnel liegt auf einer mittleren Höhenlage von etwa 500 m ü.M. und besteht aus zwei parallel verlaufenden Tunnelröhren, die im Richtungsverkehr befahren werden. Auf seiner Gesamtlänge von 9250 m ist er in insgesamt *fünf Belüftungsabschnitte je Tunnelröhre mit vier Belüftungsstationen* unterteilt. Der Verkehrsraum wird in beiden Tunnelröhren künstlich be- und entlüftet.

Als Belüftungssystem wurde aufgrund des hohen erforderlichen Luftbedarfs und der grossen Länge des Tunnels eine *Querlüftung* gewählt. Maximal beträgt die zu fördernde Frischluftmenge 1727 m^3/s bei einer entsprechenden Abluftmenge von 1796 m^3/s je Tunnelröhre.

Jedem Belüftungsabschnitt ist je ein Zu- und ein Abluftventilator zugeordnet, deren Aufgabe es jeweils ist, die Frischluft in die Fahrröhren einzubringen und die Abluft aus diesen abzuleiten. Hierfür stehen Zuluft- und Abluftkanäle über oder unter dem Fahrraum zur Verfügung. An die Zuluftkanäle schliessen alle 8 m einseitig in die Tunnelwand eingelassene Sekundärkanäle an, durch die die Frischluft in den Verkehrsraum gelangt.

Weil der Überdruck im Zuluftkanal sich entlang der Belüftungsabschnitte ändert, sind die Sekundärkanäle mit justierbaren Einstellschiebern an den Einlassmündungen im Zuluftkanal versehen. Die Schieber können so eingestellt werden, dass eine gleichmässige Luftzufuhr gewährleistet wird. Die Auslässe liegen etwas oberhalb der Fahrbahn und sind mit Gittern bestückt.

Für die Abluft sind in der Zwischendekke alle 16 m Öffnungen eingelassen. Diese sind mit Umlenkklappen bestückt, die dafür sorgen, dass die abgesogene Luft in die Strömungsrichtung des Abluftkanals eingeführt wird. Da auch im Abluftkanal der Unterdruck längs des Abschnittes nicht konstant ist, müssen die Querschnitte der Öffnungen zwecks gleichmässiger Absaugung einstellbar sein.

Die insgesamt zwanzig Axialventilatoren (je Abschnitt je ein Zuluft- und ein Abluftventilator) wurden in zwei Portal- und zwei Bergzentralen untergebracht. Die Benennung der einzelnen Lüftungsabschnitte und der vier Ventilationszentralen enthält Tabelle 1.

Die Axialventilatoren wurden in den Zentralen direkt über der Fahrbahn in die Lüftungskanäle eingebaut (Bild 1), ausgenommen in «Huttegg». Hier wurden die vier Zuluftventilatoren unter der Fahrbahn eingebaut.

In die Bergzentralen wird die Frischluft durch einen Vertikalschacht (Hattig) bzw. einen Horizontalstollen (Huttegg) eingebracht. Auf dem gleichen Weg gelangt die Luft bei Hattig (Schacht und Stollen sind durch eine Trennwand in zwei Hälften geteilt) in die Atmosphäre, bei Huttegg im letzten Abschnitt über einen Schacht. In die Portalzentralen wird die Frischluft durch kurze Stollen seitlich eingeführt und die Abluft entweicht bei Rütenen direkt oberhalb der Portale bei Büel seitlich in die Atmosphäre.

Um die Bedingungen des Umweltschutzes zu erfüllen, sind in den Zu- und Abluft-Bauwerken Schalldämpfer eingebaut.

Zur Verringerung der Druckverluste sind in Lüftungskanälen an Stellen mit grossen Umlenkverlusten Umlenkgitter vorgesehen.

Axialventilatoren

Die zwanzig installierten Axialventilatoren haben trotz unterschiedlicher Fördermengen und Förderhöhen die gleichen geometrischen Abmessungen. Der Laufraddurchmesser aller Ventilatoren beträgt 3160 mm, was insbesonders im Hinblick auf eine kostengünstige Ersatzteilhaltung von grosser Bedeutung ist. Ausserdem haben alle Ventilatoren und alle Antriebsmotoren über

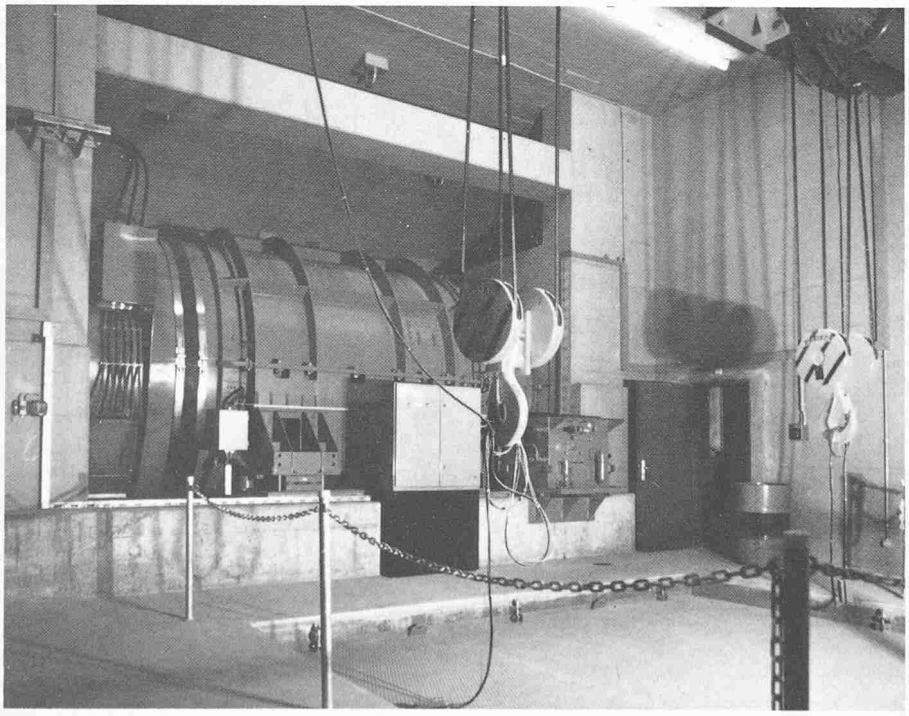

Bild 1. Über der Fahrbahn eingebauter Abluftventilator in der Bergzentrale «Huttegg»

Tabelle 1. Benennung der einzelnen Lüftungsabschnitte und der vier Ventilationszentralen

Zentrale	*Oströhre* (Seeseite)	*Anzahl der Ventilatoren*	*Weströhre* (Bergseite)	*Anzahl der Ventilatoren*
Rütenen (Nordportal)	OA	2	WA	2
Hattig (mit Schacht)	OB	2	WB	2
Huttegg (mit Stollen und Schacht)	OC, OD	4	WC, WD	4
Büel (Südportal)	OE	2	WE	2

den gesamten Fördermengenbereich möglichst hohe Wirkungsgrade.

Alle Ventilatoren sind mit hydraulischen Laufschaufelverstelleinrichtungen ausgerüstet, mit deren Hilfe während des Betriebes die Zu- bzw. Abluftfördermengen stufenlos geregelt werden können. Die Ventilatorenlaufräder sitzen fliegend gelagert auf den Motorwellenstummeln der Antriebsmotoren. Die je Axialventilator zu fördernden Luftmengen liegen zwischen 302 und 399 m^3/s bei Förderhöhen zwischen 1227 und 2763 N/m^2.

Grosser Wert wurde bei der konstruktiven Ausbildung der Ventilatoren auf eine *schnelle und einfache Wartungsmöglichkeit* gelegt. Deshalb sind die Ventilatorengehäuse über eine Flanschverbindung horizontal geteilt. Dadurch ist eine rasche Zugängigkeit zum Motor und zum Laufrad des Ventilatores gewährleistet. Durch die spezielle Konstruktion sind ausserdem keine Ausrichtarbeiten bei einem Laufradwechsel erforderlich. Von geübtem Fachpersonal kann ein solcher Wechsel kurzzeitig durchgeführt werden.

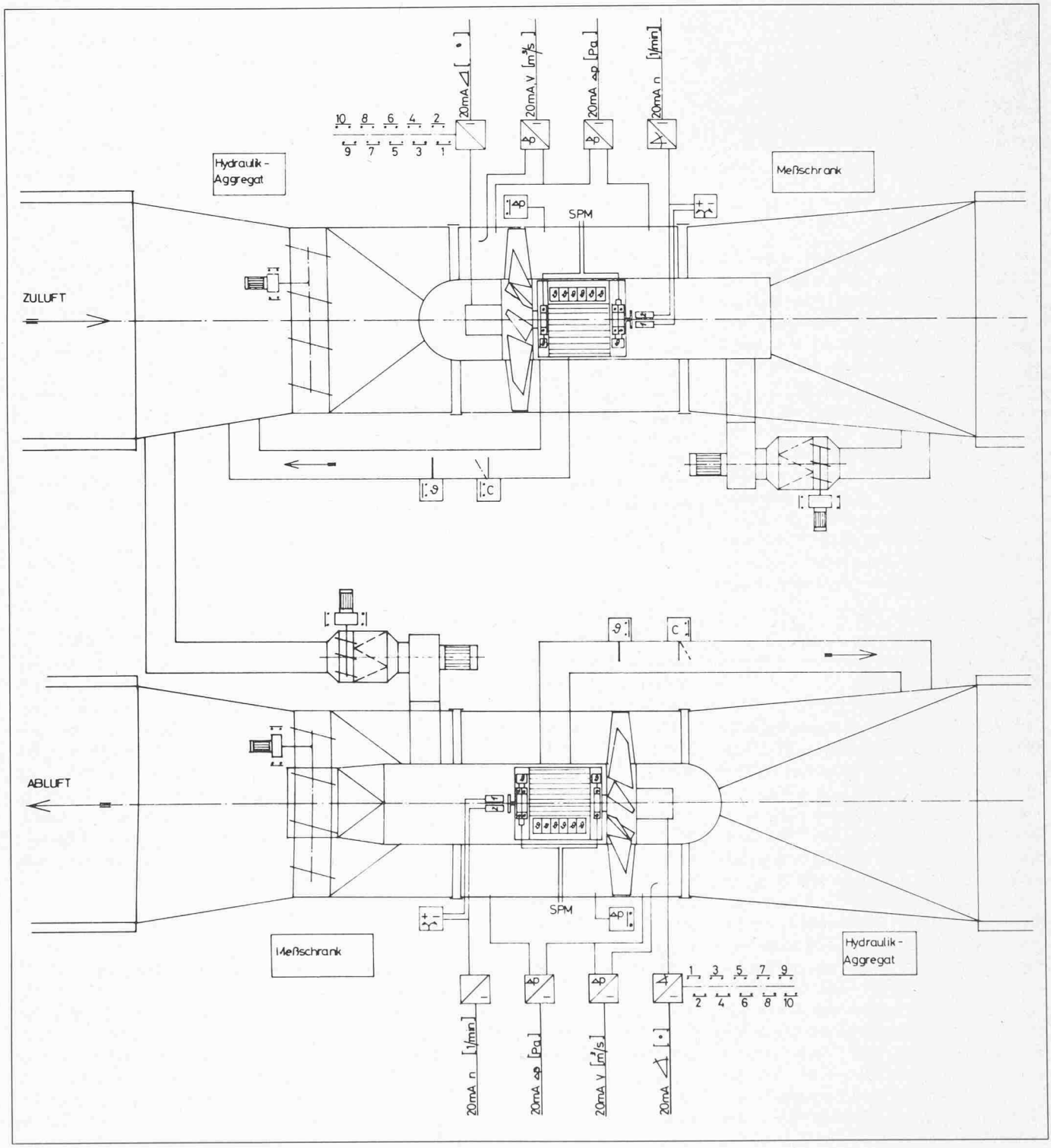

Bild 2. Prinzipschema

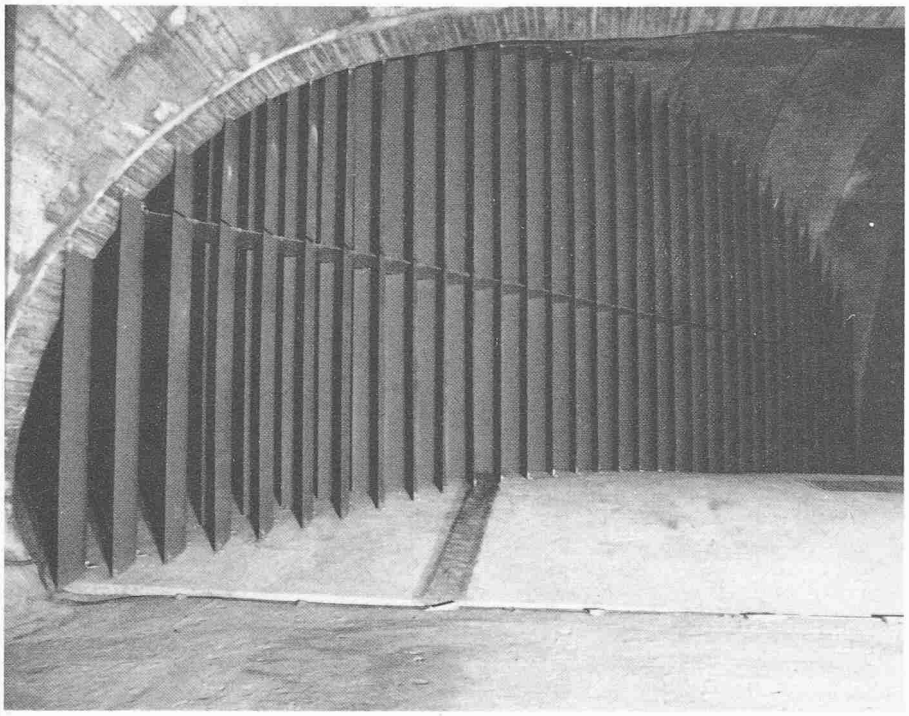

Bild 3. Umlenkgitter, eingebaut in einem Lüftungskanal

Um einen *besonders ruhigen Lauf* der zusammengebauten Laufradnaben mit den Antriebsmotoren zu ermöglichen, wurden diese im *fertig montierten Zustand* auf einem *Prüfstand dynamisch gewuchtet*. Damit wurden praktisch alle Komponenten eines unruhigen Laufes, die aus Lagerschlag, Zentrier- und Massenversatz resultieren, erfasst und kompensiert. Zur Vermeidung von Schwingungsübertragungen im Einbauzustand auf die Fundamente oder anschliessenden Lüftungskanäle wurden die Ventilatoren auf Schwingungsdämpfer aufgestellt und über Gummibandagen an die anschliessenden Bauteile angeschlossen.

Antriebsmotoren

Die Motoren sind polumschaltbare Drehstrom-Asynchronmotoren in Dahlanderschaltung, mit zwei Drehzahlen von 490/980 min^{-1}. Sie sind in den Naben der Ventilatorgehäuse eingebaut. Die Nabenkonstruktion im Ventilatorgehäuse ist bei allen Maschinen gleich ausgeführt. Die Motoren selbst haben trotz unterschiedlicher Leistungen ebenfalls gleiche Gehäuseabmessungen, so dass eine relativ einfache Austauschbarkeit der Motoren gewährleistet ist und nicht für jede Mortorleistung eine Reservemaschine bereit gehalten werden musste. Zusammen mit der Verwendung einheitlich grosser Laufräder gestattet dies eine von der Kostenseite her gesehen *optimale Ersatzteillagerhaltung*. Durch die zwei Drehzahlen der Motoren ist eine bessere wirtschaftliche Anpassung der Belüftung an den Verkehrszustand im Tunnel möglich.

Die Betriebsspannung der Motoren ist 6 kV bei 50 Hz, die Motorleistungen liegen zwischen 640 bis 1245 kW bei der grossen Drehzahl. Die gesamte installierte Antriebsleistung beträgt etwa 16900 kW. Zur Überwachung der Wicklungstemperatur sind je Motor sechs Widerstandsthermometer Pt 100 und zur Überwachung der Lagertemperatur für jedes fettgeschmierte Lager (A- und B-Seite) ein Widerstandsthermometerfühler Pt 100 vorgesehen.

Die Kühlung der Motoren erfolgt durch einen Eigenlüfter unterstützt durch einen Fremdlüfter. Die Kühlluft wird dabei durch ein zusätzliches Kühlluftsystem dem Motor zugeführt. Das Kühlluftsystem passt sich den unterschiedlichen Belastungen der Antriebsmotoren bei den zwei Drehzahlen durch zwei unterschiedliche Fördermengen an. Diese werden durch polumschaltbare Motoren der Fremdlüfter erreicht.

Die Kühlluft wird über einen Luftfilter aus den Zuluftkanälen angesaugt. Bei den Zuluftventilatoren sind die Ansaugstutzen der Kühlluftleitungen auf der Druckseite der Ventilatoren angeordnet. Die im Motor erwärmte Luft wird auf der Saugseite der Ventilatoren den Zuluftkanälen wieder zugeführt. Bei den Abluftventilatoren sind die Ansaugstutzen auf der Saugseite der Zuluftventilatoren angeordnet und die Luft wird wieder auf der Saugseite der Abluftventilatoren den Abluftkanälen zugeführt (Bild 2).

Steuerung und Regelung

Die Belüftung des Tunnels kann sowohl über Handsteuerung als auch vollautomatisch erfolgen. Die *Handsteuerung* ist hierbei nicht nur vor Ort von den Steuerpulten der Zentralen, sondern auch von dem zentralen Kommandoraum aus möglich. Mittels der Handsteuerung können sowohl die gewünschte Drehzahl als auch die benötigte Luftmenge eingestellt werden. Die Hilfseinrichtungen werden auch bei Handsteuerung automatisch überwacht.

Normalerweise übernimmt ein *zentraler Prozessrechner* die gesamte Regelung der Luftmengen. Der Rechner erhält dazu alle erforderlichen Grössen aus einem Datenerfassungssystem und berechnet daraus das jeweilige optimale Lüftungskonzept für den ganzen Tunnel. Ausserdem sind Programme gespeichert, die bei besonderen Verkehrssituationen wie z.B. Verkehrsstau, Unfall, Brandfall etc. abgerufen werden.

Als Bestandteil des kompletten Steuer- und Regelsystems wurden von der TLT verschiedene *Mess-, Stell- und Überwachungseinrichtungen* geliefert wie

- Messeinrichtungen für Fördermengen der Ventilatoren,
- Messeinrichtungen für Förderhöhen der Ventilatoren,
- Messeinrichtungen für Drehzahlen und Drehrichtungen,
- Stelleinrichtungen für die Positionierung der Laufschaufeln,
- Überwachungseinrichtungen für
  - Pumpgrenze der Ventilatoren,
  - abgelöste Strömung,
  - Wicklungstemperaturen,
  - Lagertemperaturen,
  - Temperatur der Kühlluft,
  - Strömung der Kühlluft,
  - Stellung der Abschlussklappen.

Die Messwertaufnehmer sind unmittelbar an den unterschiedlichen Messstellen angeordnet. Alle Messumformer und Messgeräte sowie die Gleichstromversorgungen 24 V sind in Messschränken eingebaut, dort verkabelt und auf Klemmleisten gelegt. Alle erforderlichen Messgrössen (0–20 mA) und elektrischen Kontakte für Überwachungs-, Steuer- und Regelaufgaben sind hier abgriffsbereit.

Zugehörige Anlagenteile

Zu den Axialventilatoren mit Motoren und deren Steuerung und Regelung wurden von TLT auch Anlagenkomponenten geliefert, die zu unterschiedlichen Zwecken bei den Belüftungsanlagen benötigt werden. So sind, um die Ventilatoren an die saug- und druckseitigen Betonkanäle anschliessen zu kön-

nen, sogenannte *Ventilatorvor- und Ventilatornachstrecken* sowie *Übergangsstücke* erforderlich. Die Vor- und Nachtstrecken sind Rohrleitungsteile aus Stahl, die mittels Gummibandagen an die Ventilatoren druckdicht, aber elastisch angeschlossen wurden. Sie sind mit Einstiegluken versehen, um Kontroll- und Wartungsarbeiten am Antriebsmotor oder am Ventilator ausführen zu können. Die sogenannten Übergangsstücke in den Zentralen «Rütenen» und «Hattig» wurden aus Stahl gefertigt, während sie in den beiden anderen Zentralen in Beton ausgeführt wurden. Es sind Rohrleitungsteile, mit denen die Vor- und Nachstrekken an die Viertelkreisprofile der Lüftungskanäle angeschlossen werden.

Jeder Ventilator ist mit einer *Abschlussklappe* ausgerüstet. Im geschlossenen Zustand, wenn der Ventilator ausser Betrieb ist, verhindert sie, bedingt durch den natürlichen Luftstrom, ein Drehen des Laufrades des Ventilators. Ausserdem ermöglicht sie, während des Betriebes der benachbarten Ventilatoren, die Durchführung von Unterhaltsarbeiten. Bei den Zuluftventilatoren sind die Abschlussklappen saugseitig, bei den Abluftventilatoren druckseitig angeordnet. Die Abschlussklappen sind als Jalousieklappen ausgebildet, die jeweils durch einen direkt angebauten Elektro-Stellantrieb mit Handbetätigung verstellt werden können.

In den *Zwischendecken* über den Fahrbahnen sind Montageöffnungen vorhanden, die zum Ein- und Ausbau der Ventilatoren dienen. Diese wurden mit speziellen *Montagedeckeln* verschlossen, die den vorgegebenen *Sicherheitsanforderungen* wie
- Dichtheit,
- Hitzebeständigkeit im Brandfall,
- Stossfestigkeit bei Explosionen und
- Schalldämmung

gegenüber den Fahrräumen entsprechen. In den *Portal- und Schachtstationen* wurden an Stellen, an denen die Luft in den Lüftungskanälen zur Verringerung der Druckverluste umgeleitet wird, Umlenkgitter eingebaut (Bild 3).

Alle Umlenkgitter wurden mit wenigen Ausnahmen mit gleichen Profilabmessungen ausgeführt.

In jeder Zentrale wurden *Montage- und Demontagevorrichtungen* vorgesehen zur Ausführung verschiedener Aufgaben. Für die Unterhaltsarbeiten an den Ventilatoren in den Zentralen «Rütenen», «Hattig» und «Büel» sind je zwei über den Ventilatoren auf Laufschienen hängende Elektrozüge mit einer Tragkraft von 3,2 t installiert. Für die Montage und Demontage und zum Ent- und Beladen auf einen Spezialhubwagen der vier unter der Fahrbahn angeordneten Zuluftventilatoren in der Zentrale «Huttegg» wurden je zwei Elektrozüge mit einer Tragkraft von 16 t installiert. Diese Elektrozüge sind an der Decke neben den Abluftventilatoren ortsfest befestigt. Als weiteres Montagehilfsmittel für die Zuluftventilatoren in der Zentrale «Huttegg» sind vier Querwagen und mehrere Seilzüge vorhanden.

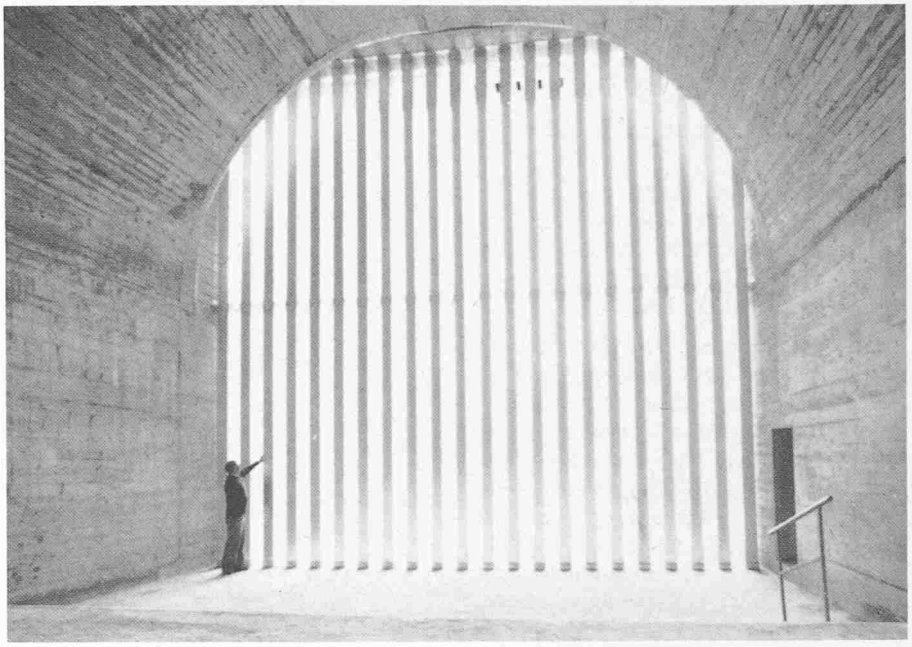

Bild 4. Schalldämpfer im eingebauten Zustand

Zur *Lärmminderung* bzw. Erfüllung der Bedingungen des Umweltschutzes wurden in den Zu- und Abluftbauwerken, soweit erforderlich, Schalldämpfer eingebaut (Bild 4). Die einzelnen Schalldämpfereinrichtungen in den jeweiligen Bauwerken bestehen aus *mehreren Absorptions-Schalldämpferkulissen*, die in bestimmten Abständen nebeneinander mittels Haltekonstruktionen in den Betonkanälen befestigt sind. Alle Kulissenelemente bestehen aus abriebs- und wetterfestem Material.

Montage

Für die Montage der sechzehn oberhalb des Fahrraumes aufgestellten Zu- und Abluftventilatoren wurde ein Spezialhubwagen verwendet. Bei der Einbringung der komplett zusammengebauten Ventilatoreinheiten durch die in der Tunneldecke vorgesehenen Montageöffnungen ergaben sich keine speziellen Probleme.

Die vier unter der Fahrbahn aufgestellten Zuluftventilatoren in der Lüftungszentrale «Huttegg» konnten ebenfalls problemlos mittels je zwei ortsfest angeordneten Elektrohebezügen mit einer Gesamttragkraft von 32 t und weiteren Hilfsmitteln wie Querwagen und Seilwinden eingebracht und montiert werden.

Die zur Belüftungsanlage zugehörigen Anlagenteile wie Vor- und Nachstrekken, Übergangsstücke, Abschlussklappen, Umlenkgitter, Schalldämpfer und anderes Zubehör konnten vom Lieferfahrzeug direkt zur Einbaustelle befördert werden. Die Zubringung der Schalldämpferelemente für das Abluftbauwerk «Huttegg» gestaltete sich, bedingt durch die Lage des Bauwerkes, schwieriger. Die Elemente mussten hier wegen des unwegsamen Geländes mit einem Hubschrauber zur Einbaustelle gebracht werden.

Adresse des Verfassers: *O. Luger*, Ing., Turbo-Lufttechnik GmbH, Postfach, D-6660 Zweibrücken