

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 23

Artikel: Die Lüftung des Milchbucktunnels
Autor: Berner, Marco
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75809>

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: 22.02.2026

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

5 cm Stärke genügte, dass die Stollen bis zum zeitlichen Ende des Kalottenausbruches betriebssicher blieben. Das Auffahren dieser drei Stollen dauerte von Ende September 1978 bis Ende Oktober 1979. Die mittlere Leistung betrug rund 11 m pro Schicht.

Nach dem Ausbruch der drei Pilotstollen verblieben 35 m² Nettoquerschnitt für den Kalottenvortrieb. Zusätzliche behördliche Auflagen veranlassten

- den *Bauherrn*, um die Fertigstellung des Tunnels nicht zu verzögern, den Kalottenvortrieb vorerst von Norden her starten zu lassen und nach Ausbruch der Moränenstrecke von Süden her zu beenden;
- die *Unternehmung*, um die im Werkvertrag vorgesehenen Leistungen trotzdem einhalten zu können, die zu jener Zeit leistungsfähigste Teilschnittmaschine einzusetzen.

Diese Maschine war ein Alpine Miner AM 100 der Vöest-Alpine, Zeltweg, mit 80 t Einsatzgewicht und einer installierten elektrischen Leistung von 450 kW. In der Kalotte schrägte der Alpine Miner, je nach Fels, 1,00 bis 6,50 m lange «Abschläge» mit einer mittleren Schneidleistung von 40 m³ (fest) pro Stunde (Bild 12). In schlechteren Gebirgszonen, das waren 55% der Vortriebsstrecke, mussten Einbaubogen gestellt werden. Das Einspritzen der Stahlbogen beziehungsweise das Hinterfüllen von aufgelegten Verzugselementen mit Spritzbeton, folgte unmittelbar. Dieser ersten Felssicherung wurde in sehr kurzem Abstand das 35 bis 45 cm starke Aussengewölbe der Kalotte in Ortsbeton etappenweise nach-

gezogen. Die drei vorhandenen Pilotstollen hatten vor Vortrieb in der Kalotte günstig beeinflusst: Die erzielte Vortriebsleistung und die grösseren Freiheitsgrade des Gebirges halfen dem AM 100 beim Erstellen des Einbruchs. Die Arbeitsbereiche konnten sehr gut entstaubt werden. Ein Ventilator mit 32 m³/s Leistung saugte die anfallende Staubluft vor Ort durch die Pilotstollen ab, um sie dann durch eine Nassentstaubungsanlage nach Übertrag abzugeben. Diese Bauphase dauerte von Ende November 1979 bis Ende März 1981 bei einer mittleren Vortriebsleistung von 63 m pro Monat.

Unter dem nun auf der ganzen Länge gesicherten Kalottengewölbe wurde der Strossenabbau in Angriff genommen. Der noch zu schrägende Querschnitt betrug 81 m². Neben den Ausbruch-, Schal- und Betonierleistungen waren noch die folgenden Randbedingungen zu berücksichtigen; Sohlschluss innerhalb von 100 m, Kalottenunterfangungen um drei Etappen versetzt, nächtliches Schräm- sowie Spitzverbot und Abtransport des Ausbruchmaterials ins Freie nur am Tage. Die Optimierung dieser Faktoren führte die Unternehmung zu einem Taktvortrieb mit einer täglichen Soll-Vortriebsleistung von 4 m im Mittel. Dabei wurde die mächtige Mittelstrosse je hälftig mit einer Leistung von 8 m pro Arbeitstag geschrämt (Bild 13, Schnitt A-A und Bild 14). Der AM 100 steigerte seine Löseleistung in diesem Teilausbruch mit geringerem Profilierungsanteil auf 53 m³ (fest) pro Stunde. Die saugenden Ventilations- und Entstaubungsanlagen wurden so erweitert, dass im vollen Ausbruch-

querschnitt eine Luftgeschwindigkeit von rund 45 cm/s herrschte. Die Arbeitsorte waren wiederum optimal bewettert.

Die Seitenstrossen schrägte der AM 100 in Etappen von 8 m täglich eine, alternierend rechts und links (Bild 13, Schnitt B-B und Bild 15). Diesem Teilausbruch folgten unmittelbar das technisch anspruchsvolle Schalen sowie das Armieren und Betonieren des Widerlagers und des Paramentes. Die Schalungen und die Verankerungen dieses Widerlagers waren so bemessen, dass die Paramentschalung nach drei Stunden gesetzt und anschliessend der armierte Unterfangungsбетон eingebracht werden konnte.

Schliesslich spitzte ein Hydraulikbagger, Liebherr R 961 C, bestückt mit einem schweren hydraulischen Abbauschneider, Krupp HM 1000, die Restkubatur für das Sohlgewölbe. Die täglichen 4-m-Betonieretappen schlossen hier den vollständig in Ortsbeton hergestellten Aussengewölbe-Ring (Bild 13, Schnitt C-C/D-D und Bild 16). Eine Brückenkonstruktion über dem frischen Sohlgewölbeбетон ermöglichte die Abförderung des Haufwerkes und schützte den jungen Beton vor zu frühem Befahren. Die geplante Leistung von 4 m pro Arbeitstag konnte in dieser Bauphase eingehalten und die Arbeiten innerhalb der vertraglichen Frist von April 1981 bis Juni 1982 ausgeführt werden.

Adressen der Verfasser: L.R. Schmid, dipl. Ing. ETH/SIA, Locher & Cie AG, Zürich; H. Ruppner, dipl. Ing. ETH/SIA, Prader AG, Zürich; P. Tobler, Ing. HTL, Prader AG, Zürich.

Die Lüftung des Milchbucktunnels

Von Marco Berner, Zürich

An die Lüftung des Milchbucktunnels sind wegen der städtischen Lage besonders strenge umwelttechnische Anforderungen gestellt. Um das Ausströmen von Tunnelabluft aus den Portalen zu vermeiden, ist das Abluftsystem mit grossen Bypassklappen versehen. So kann die Abluft je nach Bedarf entweder mit konventioneller Querlüftung oder mit punktförmiger Absaugung aus dem Fahrraum betrieben werden.

Anforderungen an die Tunnellüftung

Die Lüftung ist das wichtigste Sicherheitssystem jedes Strassentunnels. Auf sie kann nur in kurzen Tunneln (bis 300 m) oder bei nur schwachem Verkehrsaufkommen verzichtet werden.

Obwohl seit der Realisierung der ersten grossen Alpendurchstiche (z.B. San Bernardino 1967) schon viele Tunnel gebaut worden sind und ein reicher Erfahrungsschatz vorliegt, stellt jeder Tunnel wieder neue Probleme an die Projektierung.

Für den Bau und die Lüftung des

Milchbucktunnels waren neue Wege zu beschreiten. Die Lüftung hat nicht nur die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten, sie muss auch strengen Forderungen der Umweltverträglichkeit genügen. Wegen der städtischen Lage ergab sich ein besonders umfangreicher *Anforderungskatalog* an Aufbau und Betrieb der Lüftung:

- Die vom Verkehr emittierten Schadstoffe sind durch Luftzufuhr soweit zu verdünnen, dass ihre Konzentrationen die zulässigen Grenzwerte erreichen.
- Die Abluft darf nicht durch die Portale aus dem Tunnel strömen, sondern ist - innerhalb eines gegebenen Geschwindigkeitsbereiches - durch die Kamme auszustossen.

- Diese Hauptbedingungen sind unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit zu realisieren.
- Für die Lärmimmissionen der Ventilatoren gelten in der Umgebung der Lüftungsbauwerke strenge Grenzwerte.
- Im Brandfalle gilt ausschliesslich die Forderung intensivster Rauchabsaugung und Kühlung mit Zuluft.

Neben diesen Anforderungen waren auch verschiedene Randbedingungen zu beachten, so etwa die unterirdische Lage der Anschlüsse und die Option eines späteren Ausbaus mit einer zweiten Röhre.

Bei der Ausarbeitung des Lüftungs- und Betriebskonzeptes spielten verschiedenartige Entscheidungsfaktoren eine Rolle, zwischen denen vielfältige Zusammenhänge bestehen (Bild 1). Aufgrund aller Anforderungen und Randbedingungen entstand das im folgenden beschriebene Lüftungssystem.

Das gewählte Lüftungssystem

Die Untertagbaustrecke ist mit dem System der Querlüftung versehen. Im Normalfall (d.h. bei mässigem und flüssigem Verkehr) erfolgt der Lüftungsbetrieb jedoch nach dem System der

Längslüftung, wobei die Kolbenwirkung des Verkehrs ausgenützt wird (Bild 2).

Die Tagbaustrecken mit den Ein- und Ausfahrtsrampen hingegen werden tunnelerwärts längsbelüftet, um das Ausströmen von Abluft aus den Portalen zu verhindern. Die Tunnelabluft wird im Bereiche der unterirdischen Anschlüsse direkt aus dem Fahrraum über eine *Bypassöffnung* abgesaugt und durch die Abluftkamine vertikal ausgestossen. Gegenüber einem horizontalen Ausströmen von Abluft aus den Portalen entstehen dabei viel geringere Immissionen in Bodennähe. Die Abluftventilatoren in den Lüftungszentralen Nord und Süd – unterstützt durch die in den Tagbaustrecken angeordneten Strahlventilatoren – saugen sowohl die Tunnelabluft (90%) als auch die einwärts gerichtete Längsströmung der Tagbaustrecken (10%) ab.

Die Lüftungszentralen und die oberirdischen Lüftungsbauwerke sind so dimensioniert, dass ein späterer Vollausbau ohne Auswirkungen auf die Umgebungsgestaltung möglich ist. Insbesondere werden keine grösseren Abluftkamine notwendig. Die Kaminaustrittsöffnungen sind vorderhand mit Blenden versehen, um die umwelttechnisch erforderliche Ausblasgeschwindigkeit zu erreichen.

Lüftungsbetrieb bei verschiedenen Verkehrszuständen

Überwiegender Verkehr in Richtung Nord

Die Längsströmung in der Untertagbaustrecke ist nach Norden gerichtet. Um das Ausströmen von Abluft aus den Portalen zu vermeiden, werden alle drei im Norden ins Freie mündenden Tunneläste einwärts längsbelüftet. Damit die Leistung des absaugenden Abluftventilators in vernünftigen Grenzen bleibt, sind in den Rampen Achse 100 und Achse 14 je vier Strahlventilatoren montiert, die durch Zufügen hemmender Druckkräfte der Überlüftung dieser Rampen entgegenwirken.

In der Haupttröhre Achse 400 entsteht dank Kolbenwirkung und Unterdruck an der Bypassöffnung eine für kleinere Verkehrsmengen ausreichende Längslüftung. Bei grösserem Verkehr wird im Lüftungsabschnitt Süd Querlüftung und im Lüftungsabschnitt Nord Halbquerlüftung notwendig.

Überwiegender Verkehr Richtung Süd

Die Längsströmung ist nach Süden ge-

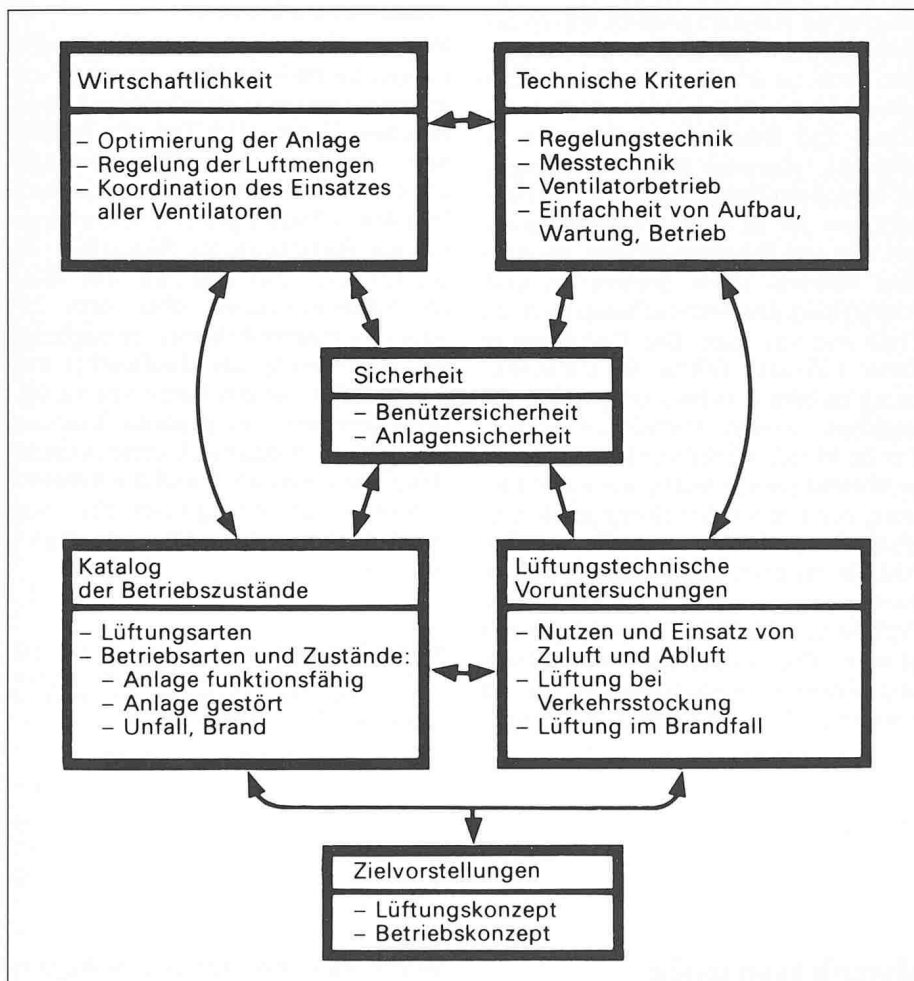
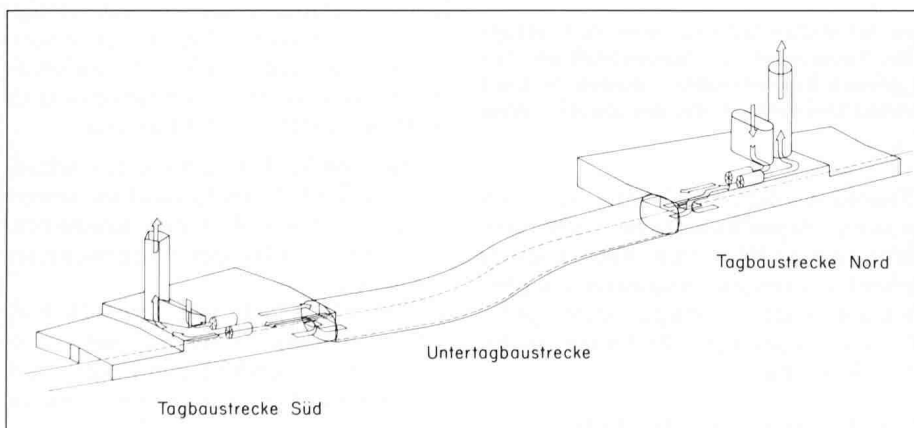


Bild 1. Entscheidungsfaktoren für die Ausarbeitung des Lüftungs- und Betriebskonzeptes

Bild 2. Schematische Darstellung mit Lüftungsprinzip



richtet. Deshalb ist auch im Bereiche der Lüftungszentrale Süd eine Bypassöffnung angeordnet, durch welche die Abluft abgesaugt wird. In der Tagbaustrecke Süd sind analog zum Norden 5 Strahlventilatoren in Achse 97 und deren drei in Achse 96 montiert.

Ausgeglichener Gegenverkehr oder stockender Verkehr

Die Kolbenwirkungen der Fahrzeuge kompensieren sich weitgehend. Die natürliche Längslüftung ist schwach und wechselhaft in der Richtung. In diesem Falle wird der Tunnel halbquerbelüftet, und die Abluft wird bei beiden Bypassöffnungen abgesaugt. Diese Lüftungsart ist auch für stockenden oder gar stillstehenden Verkehr geeignet. In diesem Falle, der trotz spezieller Verkehrsregelung nicht auszuschliessen ist, sind grosse Luftmengen nötig.

Lüftung im Brandfall

Im Brandfall werden die Bypassklappen geschlossen, es sei denn, der Brandherd sei weniger als 200 m von der Klappe entfernt. Die Abluftventilatoren werden auf hohe und die Zuluftventilatoren auf reduzierte Fördermenge eingestellt.

Komponenten der Lüftungsanlage

Ventilatoren

Die beiden Lüftungszentralen sind mit je einem Zuluft- und einem Abluftventilator bestückt. Die Ventilatoren sind axialer Bauart mit im Nabenkörper eingebautem Motor (Bild 4). Die Schaufeln des Laufrades (3,15 m Durchmesser) sind während des Betriebes ölhdraulisch verstellbar.

Die Antriebsmotoren haben eine Betriebsspannung von 3×380 V, 50 Hz, und die Drehzahlen sind 295/590 U/min (Dahlanderschaltung). Der Einsatz von zwei Drehzahlstufen verbessert das Teillastverhalten des Ventila-

Bild 4. Axialventilator

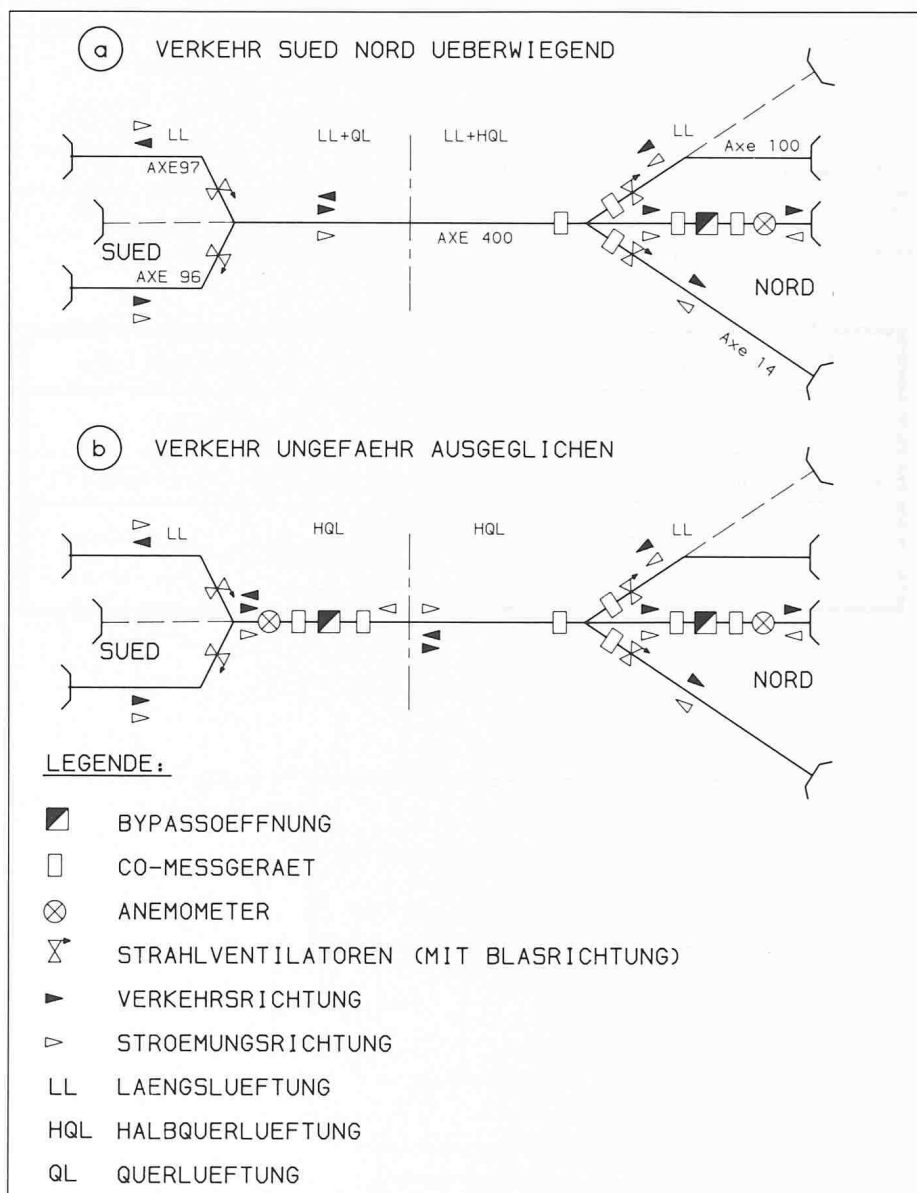
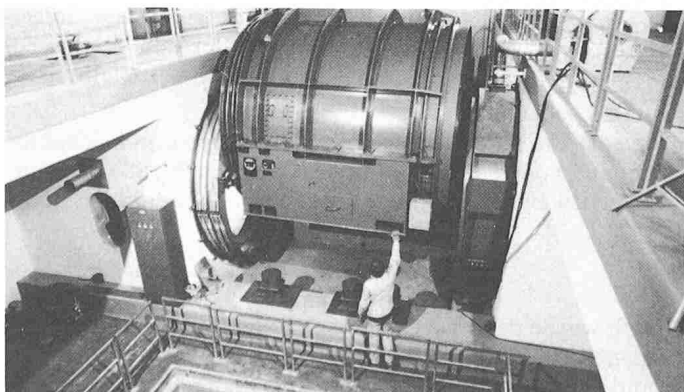


Bild 3. Schema des Lüftungsbetriebes

tors, weil damit Schaufelstellungen mit schlechtem aerodynamischem Wirkungsgrad umgangen werden können. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Leistungsdaten der Ventilatoren:

Bypassklappen

Besondere Anforderungen stellten sich bei der Projektierung der Bypassklap-

pen. Diese müssen während des Ventilationsbetriebes schnell (innert 15 s) betätigt werden können, z.B. wenn ein Brand ausbricht. Die Öffnung muss möglichst gross und formgünstig sein, um den Druckverlust und damit den Energieverbrauch in Grenzen zu halten. Zur Abklärung verschiedener diesbezüglicher Fragen wurden aerodynamische Modellversuche durchgeführt. Die in der Tunneldecke eingelassenen

Bild 5. Bypassklappe Nord

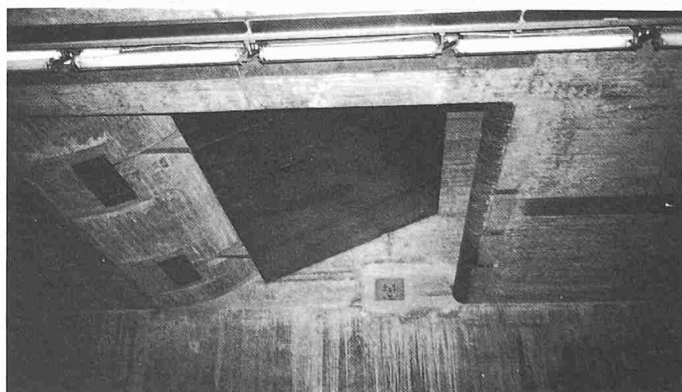
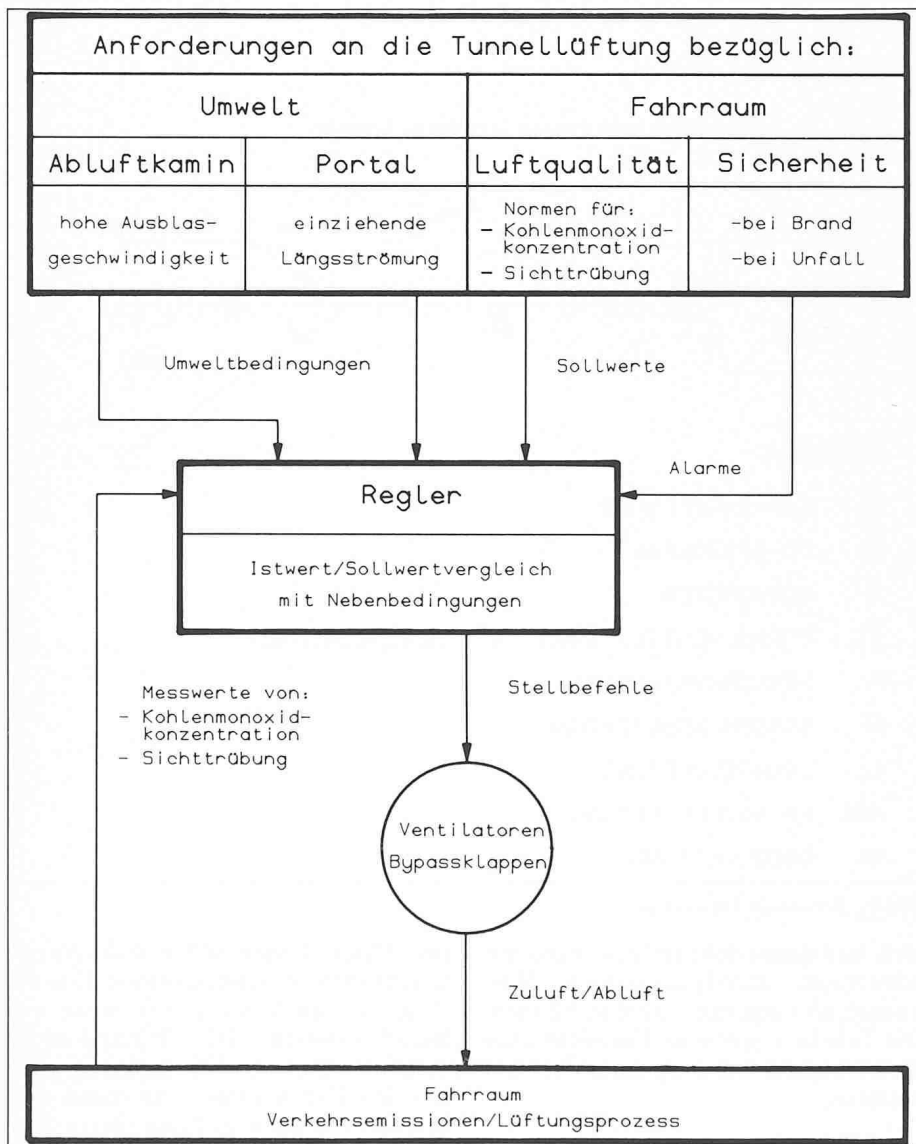


Tabelle 1. Leistungsdaten der Ventilatoren

Leistungsdaten	Zentrale Süd		Zentrale Nord	
	Zuluft	Abluft QL/PFA*	Zuluft	Abluft QL/PFA*
Luftmenge (m³/s)	150	150/150	150	150/330
Motorleistung (kW)	146	146	146	480

* QL Querlüftung (Bypassklappe zu), PFA punktförmige Absaugung (Bypassklappe offen)

Bild 6. Kriterien für die Lüftungsregelung



Öffnungen messen 5,5×8,6 m im Norden bzw. 3,3×6,0 m im Süden. Die Klappen bestehen aus einer verwindungssteifen Hohlraumkonstruktion. Sie sind an Scharnieren angeschlagen und werden mittels Seilzug und Hydraulizylinder betätigt (Bild 5).

Lüftungsöffnungen

Für die Gestaltung der Abluftöffnungen, welche alle 16 m in die Tunneldecke eingelassen sind, wurden ebenfalls Modellversuche durchgeführt. Dabei ergab sich eine neuartige, befriedigende Lösung für die Konstruktion der Reglerschieber. Auch für die Zuluftsekundärkanäle wurde eine sehr einfache Lösung gefunden. Die in der westlichen

Seitenwand im Abstand von 8 m ausgesparten Kanäle sind mit Platten aus Glasfaserbeton abgedeckt, und die zugehörigen Reglerschieber sind einlassseitig direkt am Tunnelgewölbe im Zuluftkanal angebracht. Alle Reglerschieber wurden für gleichmässige Abluftabsaugung und Frischluftzufuhr längs des Tunnels eingestellt. Die Schieberstellungen wurden mit Hilfe von Computerprogrammen anhand von gemessenen Schiebercharakteristiken errechnet.

Schalldämpfer

Besondere Aufmerksamkeit wurde den Schalldämpfern gewidmet, die zwischen den Ventilatoren und den oberir-

dischen Lüftungsbauwerken montiert sind. Sie wurden buchstäblich massgeschneidert mit Hilfe von Lärmmessungen, die nach der Montage der Ventilatoren bereits im Mai 1984 stattfanden. An die Bemessung der Schalldämpfer wurde die Anforderung gestellt, dass der Ventilatorlärm im Umgebungsgeschall untergehen soll.

Regelung und Steuerung der Lüftung

Zur Einhaltung bestimmter Anforderungen an die Lüftung ist eine zweckmässige Regelung und Steuerung notwendig – was dem Modewort «Software» entspricht –, während andere Anforderungen sich eher in der «Hardware» auswirken, d.h. auf die Disposition und Bemessung der Anlagen.

Das Bild 6 zeigt vereinfacht den Aufbau der Lüftungssteuerung. Die umwelttechnischen, äusseren Anforderungen und die im Tunnel gültigen Sicherheitsforderungen liefern in Form von Bedingungen, Sollwertvorgaben und Alarmen Kriterien zur Führung des Lüftungsprozesses. Die *Hauptaufgabe der Regelkreise* besteht darin, zwei gegensätzliche Forderungen auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen: Die Abgasimmissionen im Tunnel und der Energieverbrauch der Ventilatoren sollen beide möglichst klein bleiben. Zur Lösung dieser Aufgabe sind die Grenzwerte der im Tunnel zulässigen Abgasimmissionen als Sollwerte vorzugeben, die mit einer gewissen Toleranz einzuhalten sind.

Die Funktion der Regelkreise kann wie folgt beschrieben werden: Die im betreffenden Lüftungs- und Regelbereich gemessenen Werte von CO und Sichttrübung werden zwei getrennten Immissionsregelkreisen als Istwerte zugeführt. Diese ermitteln die Abweichungen von den Sollwerten und bestimmen je die notwendige Luftmengenänderung. In einer weiteren Operation wird dasjenige Resultat ausgewählt und als Sollwert weitergeleitet, welches die grössere Luftmenge liefert.

Zwei weitere, untergeordnete Regelkreise – Mengenregler und Winkelregler – bewirken die Flügelverstellung im Ventilator.

Die Regelkreise werden durch Schaltlogiken unterstützt, welche alle notwendig werdenden Schalthandlungen ausführen:

- Öffnen und Schliessen der Abschlussklappen,
- Öffnen und Schliessen der Bypassklappen,
- Ein- und Ausschalten des Ventilator-

antriebes sowie Umschalten von Drehzahlstufe 1 auf Drehzahlstufe 2 und umgekehrt.

Die gesamte Tunnellüftung wird von drei Hauptregelkreisen geführt, je einem für die Längslüftungen Süd und Nord zwischen den Portalen und den Bypassöffnungen, sowie einem für die Zuluft in der Untertagbaustrecke. Die Regelkreise der Längslüftungen Süd und Nord werden von entkoppelten Steuerungen für die Strahlventilatoren assistiert. Diese Steuerungen sorgen ihrerseits dafür, dass jeder Tunnelast den ihm zustehenden Teil der Gesamtluftmenge erhält.

Ein zentraler Prozessrechner koordiniert die drei Hauptregelkreise untereinander und entscheidet, welche Lüf-

tungsart zu wählen ist. Je nach Verkehrsmenge und überwiegender Verkehrsrichtung werden im Tunnel unterschiedliche Strömungszustände zweckmässig. Deswegen sind einerseits verschiedene Einsatzphilosophien für die Ventilatoren notwendig und andererseits auch zweckentsprechende Anpassungen der Kopplungszustände zwischen Immissionsmessstellen in Tunnel und Regelkreisen sowie zwischen Regelkreisen und Ventilatoren.

Jede Änderung der Lüftungsart hat Transienten zur Folge, und so besteht die Gefahr kontraproduktiver Rückkoppelungen. Deswegen darf der Wechsel der Lüftungsart nur bei Eintreffen gewisser vorbestimmter Bedingungen erfolgen. Der Rechner muss sich also

ein Prozessabbild erarbeiten und dieses mit einer vorgegebenen Entscheidungstabelle konfrontieren, um einwandfreie Befehle abgeben zu können.

Die Lüftung kann – mit höherer Priorität – auch manuell betrieben werden, und zwar sowohl lokal (in der Lüftungszentrale) als auch fern (im Kommandoraum). *Höchste Priorität hat die Betriebsart Brand.* Bei Brandalarm wird je nach Brandort eines von sieben vorgegebenen Programmen automatisch aktiviert.

Adresse des Verfassers: M. Berner, dipl. Masch.-Ing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich.

Begrünbare Stützmauer

Anwendungsbeispiel an der N20 in Weiningen

Am 21. Juni 1985 wird der Autobahnabschnitt Wallisellen–Weiningen der Zürcher Westumfahrung eröffnet. Bauherrschaft und Planer waren bestrebt, die neue Verkehrsverbindung mit der Umgebung in Einklang zu bringen. Beim Gubristtunnel-Portal in Weiningen kam eine begrünbare Stützmauer des «dabau»-Wandsystems zur Ausführung, die im folgenden kurz beschrieben ist.

Randbedingungen

Beim Westportal des Gubristtunnels liegt die N20 in einem etwa 13 m tiefen Einschnitt.

Als Lärmschutz wurde die Böschung auf der Seite der Tunneleinfahrtspur mit einem zusätzlichen Erdwall um 4 m erhöht. Die Platzverhältnisse erforderten ein Abstützen der Böschung auf einer Länge von 130 m mit einer Stützmauer von 3 bis 9 m Höhe, die für folgende Bodenkennzahlen dimensioniert wurde:

- Reibungswinkel $\phi 34^\circ$
- Kohäsion $c 0 \text{ kN/m}^2$
- Feuchtraumgewicht $\gamma 21 \text{ kN/m}^3$

Aus Gründen der ästhetischen Landschaftsgestaltung wurde eine begrünbare Stützmauer verlangt.

Systemwahl

Nach Prüfung verschiedener Ortsbeton- und Raumgitter-Varianten wählte die Bauherrschaft für die gegebenen Randbedingungen das «dabau»-System der AG Hunziker & Cie. aus technischen, ästhetischen und Kostengründen. Das begrünbare System umfasst aufeinander abgestimmte Elemente wie

- gerade Längselemente mit oder ohne Seitenflanschen,
- Trogelemente,
- Aussen- und Innenkurvensatz,
- Aussen- und Innenwinkelsatz,

Bild 1. Querschnitt der aus «dabau»-Elementen aufgebauten Stützmauer

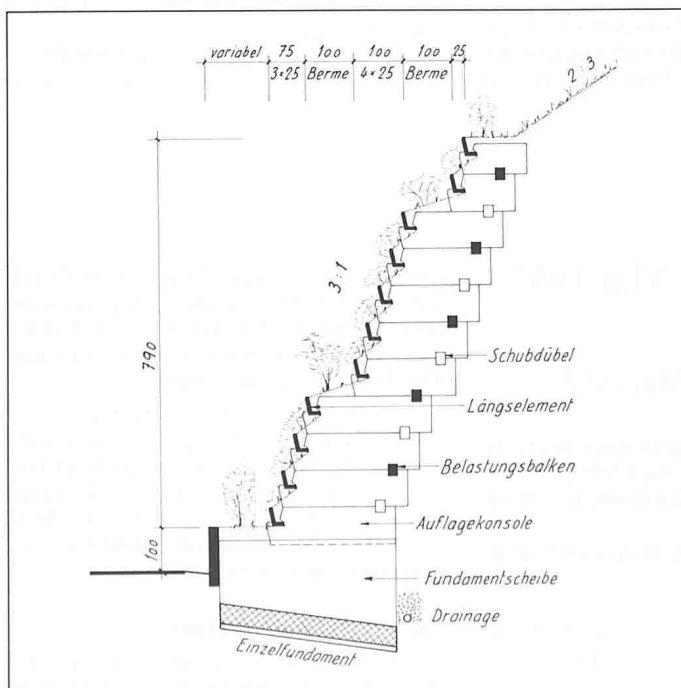


Bild 2. Bepflanzung während des Wandaufbaus

