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

Artikel: Die Lüftung des Gubristtunnels
Autor: Berner, Marco
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75805

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: 09.07.2025

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

fügung, was eine reibungslose Ver- und Entsorgung gewährleistete.

Die mittlere Vortriebsleistung in der ersten Tunnelröhre betrug 9,80 m pro Arbeitstag und konnte in der zweiten Röhre auf 11,90 m pro Arbeitstag gesteigert werden. Bei dieser Tunnelröhre fand der Durchschlag praktisch ein Jahr vor dem vertraglich festgelegten Termin statt.

Herstellen der Tübbings

Um die hohe Vortriebsgeschwindigkeit sicherzustellen, mussten im Tübbinglager jederzeit Ringe aller Typen greifbar sein (Bild 7). Diese Produktion war nur möglich mit ortsfesten Arbeitsplätzen und umlaufenden Schalungswagen (Bild 8). Bei etwa 60 Einzelelementen pro Arbeitstag von 18 Stunden blieb pro Element noch eine Bearbeitungszeit an jeder Station von rund 20 Minuten. Um die Anzahl der Schalungen nicht ins Unermessliche steigen zu lassen, musste eine den Ausschalvorgang ermöglichende Frühfestigkeit erreicht werden.

Die Dampfkanäle wurden gerade soweit aufgeheizt, dass ein Wärmeabfluss – von der Hydratation herrührend – des jungen Betons nicht mehr möglich war. Es fand somit keine eigentliche Dampferhärtung mit ihren teilweise negativen Folgen Anwendung. Das Verfahren mit einer Frischbetontemperatur von etwa 37 °C und einer Dampftemperatur im Dampfkanal von 50–55 °C kann als Wärmerückstauverfahren bezeichnet werden.

Fahrbahnbetonierung

Die unter dem Nachläufer (Bilder 1 und 6) in Ortbeton zu erstellende Fahrbahnkonstruktion musste in maximal 2 bis 3 Tagen mit Achslasten von 14 Tonnen und Wagengewichten von 42 Tonnen befahren werden können.

Für die Betonierung ergaben sich nachstehende Aufgaben:

- hohe Früh- und grosse Endfestigkeit,
- Frosttausalzbeständigkeit,
- Einbringart Pumpbeton.

Bekannterweise verhalten sich diese Anforderungen zum Teil gegenläufig. Mit Versuchen gelang es, einen für alle Beteiligten tragfähigen Kompromiss zu erreichen. Die resultierenden Werte entsprachen denn auch den Vorstellungen des Bauherrn.

Die für die Frosttausalzbeständigkeit notwendige Luft wurde mit Luftporenbildner eingeführt. Mit einem geringen Zusatz an Betonverflüssiger liess sich bei einem vernünftigen W/Z-Faktor von etwa 0,52 eine Pumpmischung erzielen, die durch eine Rohrleitung von 70 m Länge gefördert werden konnte und trotzdem steifplastisch blieb. Die Frühfestigkeit wurde mit dem Wärmerückstau und einem HPE-Gehalt von 325 kg/m³ erreicht. Voraussetzung war eine minimale Frischbetontemperatur von 20 °C und ein sofortiges Abdecken der abgezogenen Betonoberflächen mit Isoliermatten. Die erzielten Resultate waren:

- Frühfestigkeit	24 N/mm² (3 Tage)
- Druckfestigkeit 28 Tage	35–42 N/mm² (28 Tage)
- Frosttausalzbeständigkeit	gut

Vom ersten Gedanken der totalen Mechanisierung bis zur glücklichen Realisierung dauerte es mehrere Jahre. Solche Fortschritte in der Technik sind nur möglich, wenn Bauherren willens sind, mit der Bauleitung und der Unternehmung gemeinsam neue Wege zu beschreiten.

Adresse der Verfasser: W. Ritz, Ing. HTL, Prader AG, Zürich, und L. R. Schmid, dipl. Ing. ETH/SIA, Locher & Cie AG, Zürich.

Die Lüftung des Gubristtunnels

Von Marco Berner, Zürich

Der Gubristtunnel ist mit einem in seiner Art erstmals angewandten Lüftungssystem versehen, das unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit entworfen wurde. Bemerkenswert ist die neuartige Brandlüftung mit grossen, dicht schliessenden Brandklappen in der Fahrraumdecke. Ferner sind unkonventionelle Ventilatoranwendungen anzutreffen, so vertikale Montage und wahlweise Umschaltung eines Ventilators auf zwei verschiedene Luftkanäle.

Anforderungen an die Tunnellüftung

Die Tunnellüftung hat die Schadstoffemissionen des Verkehrs soweit zu verdünnen, dass deren Konzentration für die Tunnelbenützer unschädlich wird. Weiter hat die Lüftung im Brandfall die Rauchgase abzusaugen und Frischluft einzublasen, um die Überlebenschancen der Tunnelbenützer zu erhöhen.

Der Lüftungsbetrieb soll aber auch keine Belästigung der Anwohner verursachen. Insbesondere sind die Lärmimmissionen der Ventilatoren zu begrenzen sowie die Abluftimmissionen so gering wie möglich zu halten.

Diese Aufgaben sind unter der Nebenbedingung der Wirtschaftlichkeit zu lösen: Die Anlagekosten sowie die jährlich wiederkehrenden Betriebs- und Unterhaltskosten sollen möglichst klein bleiben.

Aufgrund dieser Anforderungen wurde ein Zweischacht-Projekt mit Querlüftung und alternativ dazu ein Einschacht-Projekt mit Längs- und Halbquerlüftung ausgearbeitet. In beiden Projekten war ein Ausströmenlassen von Tunnelabluft aus den Portalen mittels punktförmiger Absaugung zu vermeiden. Aus Gründen des Umweltschutzes wurde das Einschacht-Projekt realisiert. Dieses ist nachfolgend kurz beschrieben.

Aufbau des Lüftungssystems

Der Gubristtunnel besitzt ein aufwendiges Lüftungssystem (Bild 1). Jede Röhre enthält zwei Lüftungsabschnitte, die mit Halbquerlüftung ausgerüstet sind. In Tunnelmitte sowie an den Austrittsportalen kann die Abluft punktförmig aus dem Verkehrsraum abgesaugt werden.

In der unterirdischen Lüftungszentrale sind pro Röhre je zwei parallel arbeitende Abluftventilatoren eingebaut, welche mit dem mittleren Kanal des dreigeteilten Schachtes verbunden sind.

In der oberirdischen Lüftungszentrale befinden sich zwei weitere Abluftventilatoren. Diese sind an je einem der beiden äusseren Schachtkanäle angeschlossen. Die gesamte Tunnelabluft wird durch den Kamin der oberirdischen Lüftungszentrale vertikal in die Höhe geblasen.

Die Zuluft wird oberhalb der Portale angesaugt und von je einem Ventilator pro Portalstation in den Zuluftkanal unterhalb der Fahrbahnplatte eingebla-

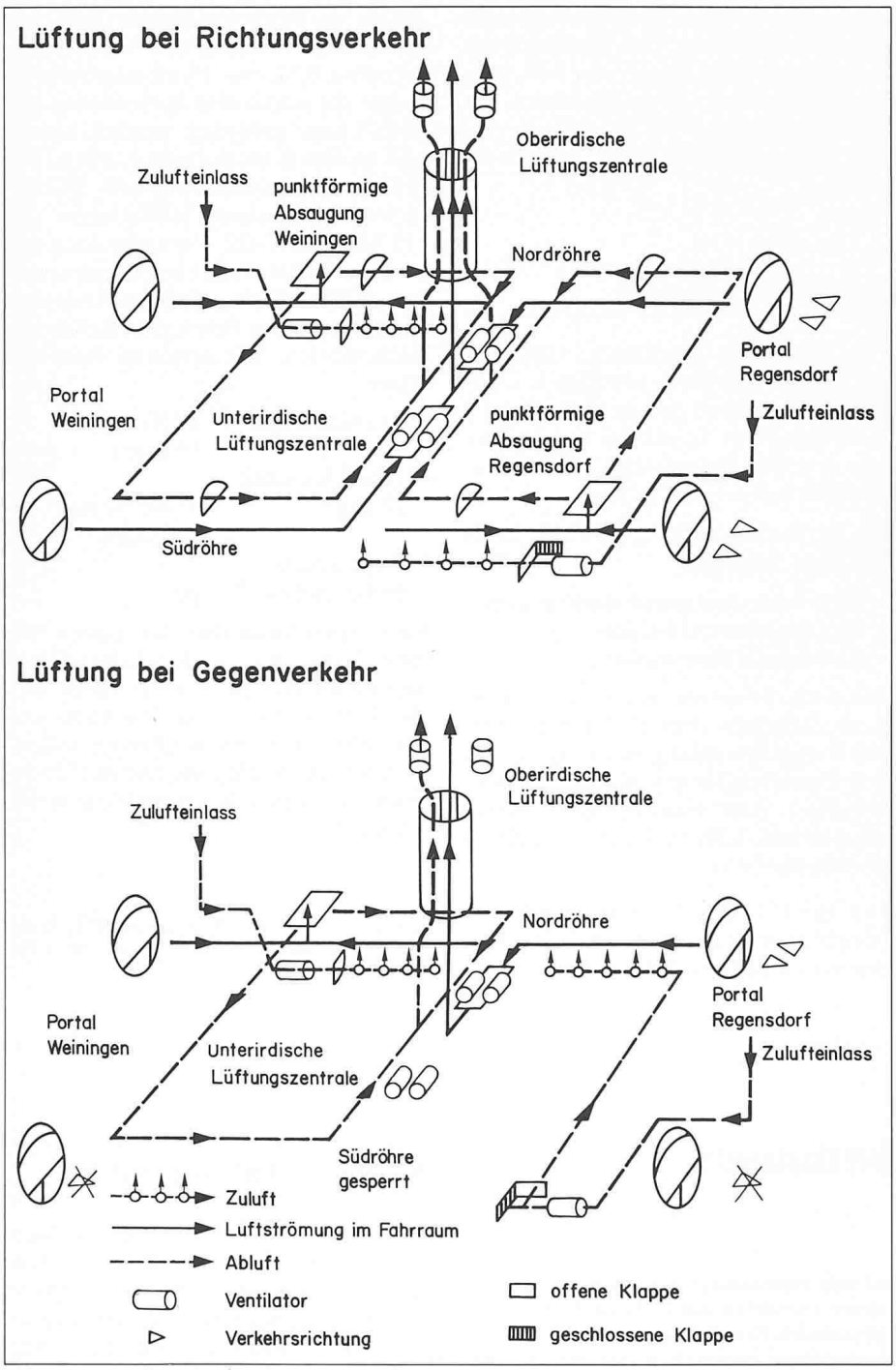


Bild 1. Isometrie mit Lüftungsschema

sen. Von dort gelangt sie durch die in Abständen von 8 m einbetonierten Abzweigekanäle in den Fahrraum.

Der Lüftungsbetrieb

Lüftung bei Richtungsverkehr

Bei normalem, richtungsgetrenntem Verkehr dient jede Röhre einer Fahrtrichtung. Die Lüftungen beider Röhren sind voneinander getrennt. Damit keine Lüftungskurzschlüsse entstehen, sind die Tore der Querverbindungen geschlossen.

Die in Fahrtrichtung gesehen *erste Hälfte* jeder Tunnelröhre ist längsbelüftet (Bild 1 oben). Die Frischluft strömt durch das Einfahrtsportal in den Tunnel. Gegen die Tunnelmitte hin reichert sie sich mit Schadstoffen an und wird als Abluft beim Schacht aus dem Verkehrsraum abgesaugt.

Die Längslüftung wird teils durch die Kolbenkräfte der Fahrzeuge und teils durch den Unterdruck der Abluftventilatoren in der unterirdischen Lüftungszentrale in Gang gehalten. Die Längsströmung ist, solange der Verkehr flüssig rollt, stets grösser als die Solluftmenge, welche zur Einhaltung der zulässigen Schadstoffkonzentrationen notwendig ist.

Die *zweite Tunnelhälfte* ist halbquerbelüftet, wobei die Abluft wegen der Kolbenwirkung der Fahrzeuge zum Ausfahrtsportal hinströmt. Dort wird sie durch eine rund 32 m² grosse Öffnung in der Tunneldecke abgesaugt. Die Absaugmenge wird so geregelt, dass zusätzlich etwas Frischluft vom Portal her zurückfliesst, um auch die zwischen Öffnung und Portal liegende kurze Strecke zu belüften.

Lüftung bei Gegenverkehr

Falls eine Tunnelröhre gesperrt ist, z.B. wegen Unterhaltsarbeiten, muss die andere Röhre den gesamten Verkehr aufnehmen. Die kombinierte Längs-Halbquer-Lüftung reicht dabei aus, solange das Verkehrsaufkommen in beiden Richtungen etwa gleich gross ist.

Wenn aber der Verkehr überwiegend in umgekehrter Richtung rollt, ändert auch die Richtung der Längsströmung im Tunnel. Dann ist die sonst nur längsbelüftete Tunnelhälfte ebenfalls mit Frischluft zu versorgen. Zu diesem Zweck wird der Zuluftventilator der stillgelegten Röhre auf die benutzte Röhre umgeschaltet (Bild 1 unten).

Lüftung im Brandfall

In der Fahrraumdecke sind in Abständen von 200 m Brandklappen eingelassen. Bei Brandalarm öffnen sie sich im betreffenden Tunnelsektor automatisch. Gleichzeitig wird der Schieber über der Absaugöffnung beim Portal geschlossen und der zugehörige Abluftventilator in der oberirdischen Lüftungszentrale in Brandbetrieb gesetzt. Die Ventilatoren in der unterirdischen Lüftungszentrale werden abgestellt, damit die Brandabsaugung strömungsbestimmend wird: Die Tunnelluft strömt nun von beiden Seiten her zum Brandsektor hin.

Zudem wird die für den Brandfall vorgesehene Halbquerlüftung beider Röhren eingeschaltet. Ausser diesen lüftungstechnischen Vorkehrungen werden noch verkehrstechnische und weitere Massnahmen ausgelöst.

Ventilatoren und mechanische Anlagen

Die Ventilatoren sind axialer Bauart, mit einem im Nabenkörper eingebautem Antriebsmotor. Die Laufschaufeln sind während des Betriebes mittels eines ölhydraulischen Servomotors verstellbar. Damit kann der Luftdurchsatz variiert werden, was einen energiesparenden Betrieb gestattet. Die Motoren haben zwei verschiedene Drehzahlstufen, deren untere zur Förderung kleinerer Luftmengen (bis etwa 50%) dient. Der Ventilator fährt dann mit besserem

Wirkungsgrad, als wenn er dieselbe Luftmenge mit kleinerem Schaufelwinkel und grösserer Drehzahl liefern müsste. Die Lösung mit zwei Drehzahlen ist energetisch vorteilhaft, da die Lüftung meistens nur mit kleiner Teillast arbeiten muss.

Das Bild 2 zeigt ein in der unterirdischen Lüftungszentrale auf der Ebene der Fahrbahn montiertes Ventilatorpaar. Zwischen den Ventilatoren und dem Fahrraum sind Kulissenschalldämpfer eingebaut. Auch die oberirdische Lüftungszentrale sowie die beiden Portalstationen sind mit Schalldämpfern versehen. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Hauptdaten der Ventilatoren.

In der oberirdischen Lüftungszentrale sind die Ventilatoren vertikalachsig montiert. Diese Anordnung wird in der Schweiz selten verwendet. Sie ist hingegen in Holland, dem Herkunftsland der Maschinen, durchaus üblich.

Bemerkenswert sind ferner die etwa 5 m² grossen Brandklappen, welche speziell für die Anforderungen dieses in der Schweiz erstmals realisierten Abluftsystems entwickelt wurden. Sie dürfen im geschlossenen Zustand nicht lecken und müssen sich im Brandfall schnell und sicher öffnen. Unter anderem wurde ihr aerodynamischer Formwiderstand in einem Modellversuch im Labor gemessen. Dies war zur Vorabschätzung der erreichbaren Absaugleistung notwendig. Die Klappenfläche musste möglichst klein und die Absaugmenge im Brandfall hingegen möglichst gross sein. Mit zwei offenen Klappen - beidseits des Brandherds situiert - können total etwa 200 m³/s abgesaugt werden.

Lüftungssteuerung und -regelung

Die Steuerung der Ventilatoren ist speziellen Reglersystemen anvertraut (Bild 3). Diese bestehen aus einer dreistufigen Reglerkaskade mit Hauptregelkreisen für die Immissionen (Kohlenmonoxid und Sichttrübung) und untergeordnetem Mengenregelkreis sowie Winkelregelkreis.

Für die Steuerung der Abluftventilatoren sind nicht nur die Abgasimmissionen, sondern auch der Strömungszustand im Tunnel massgebend, gilt es doch, das Ausströmen der Abluft aus den Portalen zu vermeiden. Deswegen sind die Mengenregelkreise der Abluftventilatoren jeder Röhre bei Bedarf untereinander verbunden, sonst aber an die Immissionsregelkreise der zugehörigen Lüftungsabschnitte angekoppelt. Die Koppelungszustände sind verän-

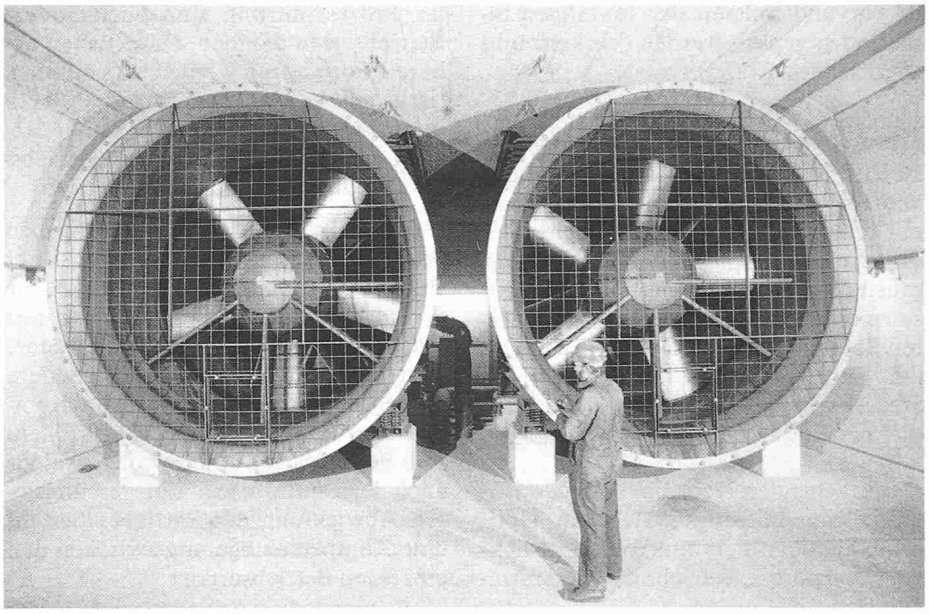
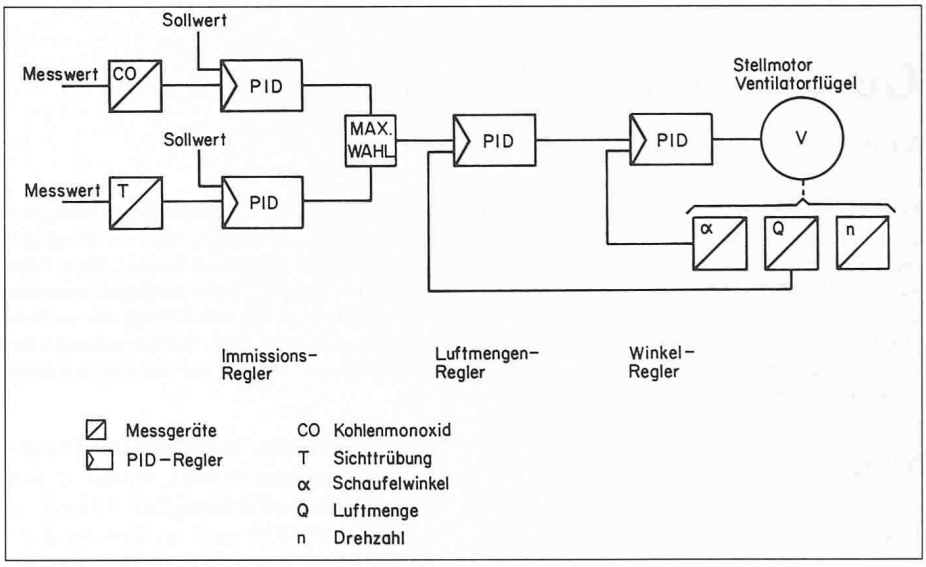


Bild 2. Ventilatoren in der unterirdischen Lüftungszentrale

Bild 3. Reglerkaskade



Luftführung	*Luftmenge* [m³/s]	*Anzahl Laufschaufeln*	*Motorleistung* [kW]	*Drehzahlen* [U/min]
Zuluft Weiningen	240	5	310	365/735
Zuluft Regensdorf	320	6	750	370/745
Abluft Südröhre	2×225	2×5	2×220	295/590
Abluft Nordröhre (unterirdische Zentrale)	2×175	2×5	2×220	290/590
Abluft Portal Regensdorf	310	10	1320	495/990
Abluft Portal Weiningen (oberirdische Zentrale)	280	10	1320	495/990

Tabelle 1. Hauptdaten der Ventilatoren

Tabelle 2. Prioritäten, Befehlsorte, Betriebsarten

Priorität	*Betriebsart*	*Befehl von*		*Wirkort des Befehls*	
		lokal	*fern*	*pro Aggregat*	*pro Tunnelröhre*
1	Revision	X		X	
2	Brand	X			X
3	Lokal Hand	X		X	
4	Fern Hand		X	X	
5	Lokale Automatik	X	X		X
6	Uhr	X	X		X
7	Zentrale Automatik		X		X

derbar und müssen der jeweiligen Situation angepasst werden (Verkehr und Immissionszustand).

Diese Aufgabe übernimmt ein zentraler Prozessrechner. Im Lüftungsteil des Rechnerprogrammes werden alle relevanten Messdaten analysiert. Daraus entsteht ein Prozessabbild, welches mit Hilfe eines gespeicherten Verhaltensmusters (Entscheidungstabelle) zur Formulierung eines zyklisch erneuerten Befehlssatzes führt. Dieser wird von der Fernwirkanlage den dezentralen Steuerorganen übermittelt, wo letztlich die genannten Kopplungen zustande kommen.
Dank zentraler Koordination gewährleistet der Lüftungsbetrieb ein Optimum an Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Neben der Betriebsart mit zentraler Prozessführung sind auch andere Betriebsarten möglich. Diese haben höhere Priorität und werden teils automatisch bei bestimmten Vorfällen aktiviert. Beispielsweise geht bei einer Störung im Fernwirksystem die Betriebsart mit lokaler Automatik in Betrieb.

Die Tabelle 2 enthält einige Angaben über die Betriebsarten bezüglich ihrer Priorität, ihrem Befehlsort und die Wirkorte. Gewisse Befehle können nur lokal in den Lüftungszentralen generiert oder eingegeben werden, andere hingegen nur von fern, d.h. im Kommandoraum via Fernwirkanlage. Mehrere Betriebsarten sind sowohl lokal als auch fern anwählbar. Zur reibungslosen Abwicklung des Betriebes besteht eine Kompetenzregelung zwischen den einzelnen Betriebsorten.

Die Vielfalt der Betriebsarten ist zur Abdeckung aller Situationen und besonders der Störfälle nötig. Die qualitativ beste Betriebsart hat den niedrigsten Rang. Die umfangreichen Mess- und Steuereinrichtungen, die Fernwirk- und Rechneranlage entlasten den Betreiber von allen direkten Schalthandlungen und Steuereingriffen. Dennoch bleibt der Betriebsführung ein grosses Arbeitspensum für Überwachung, Betrieb und Unterhalt überbunden.

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

Geologie des Milchbucktunnels

Von Walter Ryf, Zürich

Der Milchbucktunnel durchsticht als flacher Scheiteltunnel die Wasserscheide zwischen dem Limmattal und dem Glattal und liegt unter vollständig überbautem Gebiet der Stadt Zürich. Der Höhenzug vom Zürichberg über den Milchbuck zum Käferberg besitzt einen Felskern aus flach liegender oberer Süsswassermolasse. Über diesem Felskern liegen kompakt gelagerte, vorbelastete Moränenablagerungen. Damit ergibt sich für den Tunnel die natürliche Gliederung in eine Moränenstrecke und eine Molassestrecke. Die Moränenstrecke beherbergte gespanntes Grundwasser, das für die Erstellung des Tunnels auf Sohlniveau abgesenkt werden musste.

Moränenstrecke

Diese umfasst den 250 m langen Voreinschnitt Süd und den anschliessenden 330 m langen, im Vollausbruch nach dem Gefrierverfahren erstellten Tunnelabschnitt. Die Überdeckung erreicht 25 m. Die Molasseunterlage liegt durchwegs nahe der Bauwerkssohle, im Voreinschnitt und den ersten 100 m bis 2 m darüber, dann etwas darunter.

Bei der vom Tunnel durchfahrenen Moräne handelt es sich um eine typische Grundmoräne von kompakter bis sehr kompakter Lagerung. Lediglich die oberflächennahen Teile der Moräne sind durch Verwitterungsvorgänge etwas aufgelockert und zeigen im Gegensatz zur mausgrauen kompakten Moräne bräunliche Farbtöne. Materialmässig unterscheiden sich die beiden Typen kaum. Die Siltfraktion dominiert, die Tonfraktion ist sehr bescheiden. Kieskomponenten, Steine und Blöcke bis zur Grösse von Findlingen sind in schwach tonigem Silt eingepackt. Darin finden sich linsen- bis schichtförmige Einlagerungen, die sehr tonarm sind und aus Feinsand, Sand oder gar aus sandreichem Kies bestehen. Die Durchlässigkeit ist hier erhöht, wobei in den Sanden ein Durchlässigkeitsbeiwert k von 1 bis $9 \cdot 10^{-6}$ m/s, in den sandreichen Kiesen von 1 bis $3 \cdot 10^{-4}$ m/s ermittelt wurde.

Die Standfestigkeit der Moräne erwies sich für den gewählten Bauvorgang fast durchwegs als ausreichend. Einzelne kleinere Abbrüche traten lediglich bei nicht vollständig entwässerten Sandlinsen auf.

Molassestrecke

Die Molassestrecke umfasst den mechanisch im Teilausbruch erstellten 960 m langen Hauptteil des Tunnels sowie den 280 m langen Voreinschnitt Nord. Die Molasseüberlagerung über dem Tunnel erreicht maximal 22 m, die Gesamtüberdeckung 35 m.

Wie dies in der Zürcher Molasse üblich ist, sind Sandstein, Siltstein und Mergel die überwiegend auftretenden Gesteinstypen. Diese treten in reiner Form wie auch in allen Übergängen auf. Daneben treten als Seltenheit eine Süsswasserkalkbank (im Voreinschnitt Nord) und eine Bentonitlage auf. Die über 800 m ununterbrochen durchziehende, 5–20 cm mächtige Bentonitschicht ist stratigraphisch derjenigen gleichzustellen, die im Küsnachter Tobel zutage tritt. Damit steht fest, dass der Tunnel die obersten Teile der sog. «Meilener-Schichten» durchfährt, die altersmässig dem Torton zugeordnet werden.

Die Molasseschichten sind mit etwa 1,5–2,5° gegen S bis SSE geneigt. Daraus resultiert im mit 2,7% gegen SW fallenden Tunnel neben einem leichten Längs- auch ein geringes Quergefälle der Schichten, und der Tunnel steigt von SW nach NE in fortlaufend höhere Schichten auf. Die Schichten sind jedoch nicht vollständig eben. Vor allem mit Hilfe des Bentonit-Horizontes kann im nördlichen Tunnelteil eine leichte, muldenförmige Verformung erkannt werden.

Zwischen Kilometer 486,100 und 486,150 quert der Tunnel eine tektonische Störungszone, die NNW-SSE streicht und gegen WSW geneigt ist. Bewegungssinn und Verstellungsbetrag an dieser Störung sind nicht mit Sicherheit bekannt. Am wahrscheinlichsten scheint ein Anheben des Südwestflügels um etwa 8 m.

Die Standfestigkeit der Molasse erwies sich für den gewählten Ausbruchsvorgang des Tunnels praktisch durchwegs als genügend. In den vorgängig gefrästen Pilotstollen, die über Monate weitgehend unverkleidet sich selbst überlassen blieben, stellten sich in Mergelzonen zahlreiche kleinere und mittlere Ausbrüche im First und in den Para-