

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 47

**Artikel:** Schildbauweise im Lockergestein  
**Autor:** Gautschi, Heinrich  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76758>

### **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:** 13.05.2025

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

entwässern. Der Abstand der Filterbrunnen ist den örtlichen Gegebenheiten anzupassen, wobei in der Regel ein Abstand von etwa einem Tunneldurchmesser zweckmässig ist. Die Filterbrunnen haben die Aufgabe, grossräumige wasserführende Zonen zu entwässern. Eine vollständige Entwässerung des Baugrundes wird auch bei geringen Abständen der Brunnen, insbesondere in stark wechselhaften und geschichteten Böden, nicht möglich sein.

Die Untersuchung der Tunnelbruststabilität ergab, dass für eine Stabilitätssicherheit von  $F = 1,0$ , bei der Annahme des inneren Reibungswinkels von  $30$  bis  $35^\circ$  eine Kohäsion von  $2$  bis  $10 \text{ kN/m}^2$  vorhanden sein muss.

Aus dem Vergleich zwischen der beobachteten Standfestigkeit der Brust und der jeweiligen Kornverteilung der aus der Brust entnommenen Proben, kann folgendes festgehalten werden: Falls das Moränenmaterial einen Tonanteil kleiner als  $6$  bis  $8\%$  aufweist, ist die Standfestigkeit der Brust ungenügend und es muss mit Instabilitäten wie Niederbrüchen oder Tagbrüchen gerechnet werden.

Als Baugrundverbesserung des schwach kohäsiven Materials wurde das Jetverfahren mit Erfolg angewendet. Alle anderen Injektionsverfahren ergaben, bei einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand, eine ungenügende Verfestigung.

Das Mass der Setzungen wird hauptsächlich durch den unverfüllt bleibenden Hohlraum bestimmt. Die nicht verhinderbaren Setzungen beim Schildvortrieb, erzeugt durch die Brustentspannungsdeformationen und durch den unverfüllt bleibenden Ringhohlraum Schild/Tübbing, können bei Überlagerungshöhen von  $15$  bis  $30 \text{ m}$  in der Grössenordnung von  $5$  bis  $10 \text{ cm}$  für jeweils eine Röhre angegeben werden. Die gemessenen Setzungen ausserhalb des Einflussbereichs der Tagbrüche variierten zwischen  $6$  und  $27 \text{ cm}$ .

Adresse der Verfasser: Dr. U. Vollenweider und K. Boppert, in Fa. Dr. Vollenweider AG, Zürich und Rapperswil.

## Schildbauweise im Lockergestein

Von Heinrich Gautschi, Zürich

### Einleitung

Für die Ausführung des Bauloses Tunnel Quarten haben sich die Firmen Locher & Cie. AG, Zürich, Walo Bertschinger AG, Sargans, Giger AG, Murg, Fritz Thut AG, Bad Ragaz, Christian Vetsch AG, Grabs, und Albert Kalberer AG, Wangs, zu einer Arbeitsgemeinschaft zusammengeschlossen. Die Federführung und technische Leitung hatte die Firma Locher inne.

Das Baulos Tunnel Quarten umfasst neben der Ausführung der beiden bergmännisch aufzufahrenden Tunnelröhren von je rund  $1050 \text{ m}$  Länge die im Tagbau zu erstellenden Tunnelabschnitte Eigis und Rütibach, zwei Trafostationen und verschiedene Bachverbauungen und Anpassungen des Flurnetzes. Die Arbeitsvergebung erfolgte im Mai 1982 mit einer Auftragssumme von  $72 \text{ Mio Fr.}$

Die beiden Tunnel liegen auf der ganzen Länge in der Rheingletschermoräne mit örtlichen Einschlüssen von Bergsturzmaterial und Lokalmoräne. Die aus Kernbohrungen gewonnenen geotechnischen und hydrologischen Aufschlüsse liessen ein hart gelagertes Lockermaterial mit örtlich wenig ergiebigen Wasservorkommen aus Kieslinsen erwarten. Auf Grund dieser Beurteilung wurde für den Ausbruch und die Gebirgssicherung der Einsatz eines offenen Schildes mit Tübbingauskleidung gewählt. Wesentliche Kriterien für die erfolgreiche Anwendung dieses Bauver-

fahrens ist eine während Stunden standfeste Ortsbrust von  $11,50 \text{ m}$  Höhe und ein Gelände in dem ohne grössere Schäden Setzungen bis  $10 \text{ cm}$  und mehr in Kauf genommen werden können.

Für die Konsolidierung von örtlichen Zonen mit Wasservorkommen oder rolligem Material waren Massnahmen wie Entwässerungslanzen und Zementinjektionen aus der Ortsbrust vorgesehen. Unter Berücksichtigung dieser Massnahmen wurde im zweischichtigen Betrieb eine mittlere Vortriebsleistung von knapp  $4 \text{ m}$  angenommen.

### Vortriebsausrüstung (Bild 1 und 2)

Der Schild mit einem Aussendurchmesser von  $11,50 \text{ m}$  und einem Gesamtgewicht von  $350 \text{ t}$  besteht aus  $8$  Segmenten, die zum Schildmantel verschweisst werden und der Mittelbühne, welche mit diesem fest verbunden ist, Bild 1. Die Mittelbühne dient zur Aussteifung des Schildes sowie als Arbeitsplattform und trägt die mittleren Brustplatten. Im oberen Bereich des Schildmantels sind weitere  $6$  längs bewegliche und aufklappbare Platten zur Bruststützung montiert. Der  $8,20 \text{ m}$  lange Schild besteht aus einem zweiwandigen Rohr mit der Schildschneide und dem  $2,50 \text{ m}$  langen Schildschwanzblech. Über den im Schildschwanz beweglichen Druckring wird die Vorschubkraft von insge-

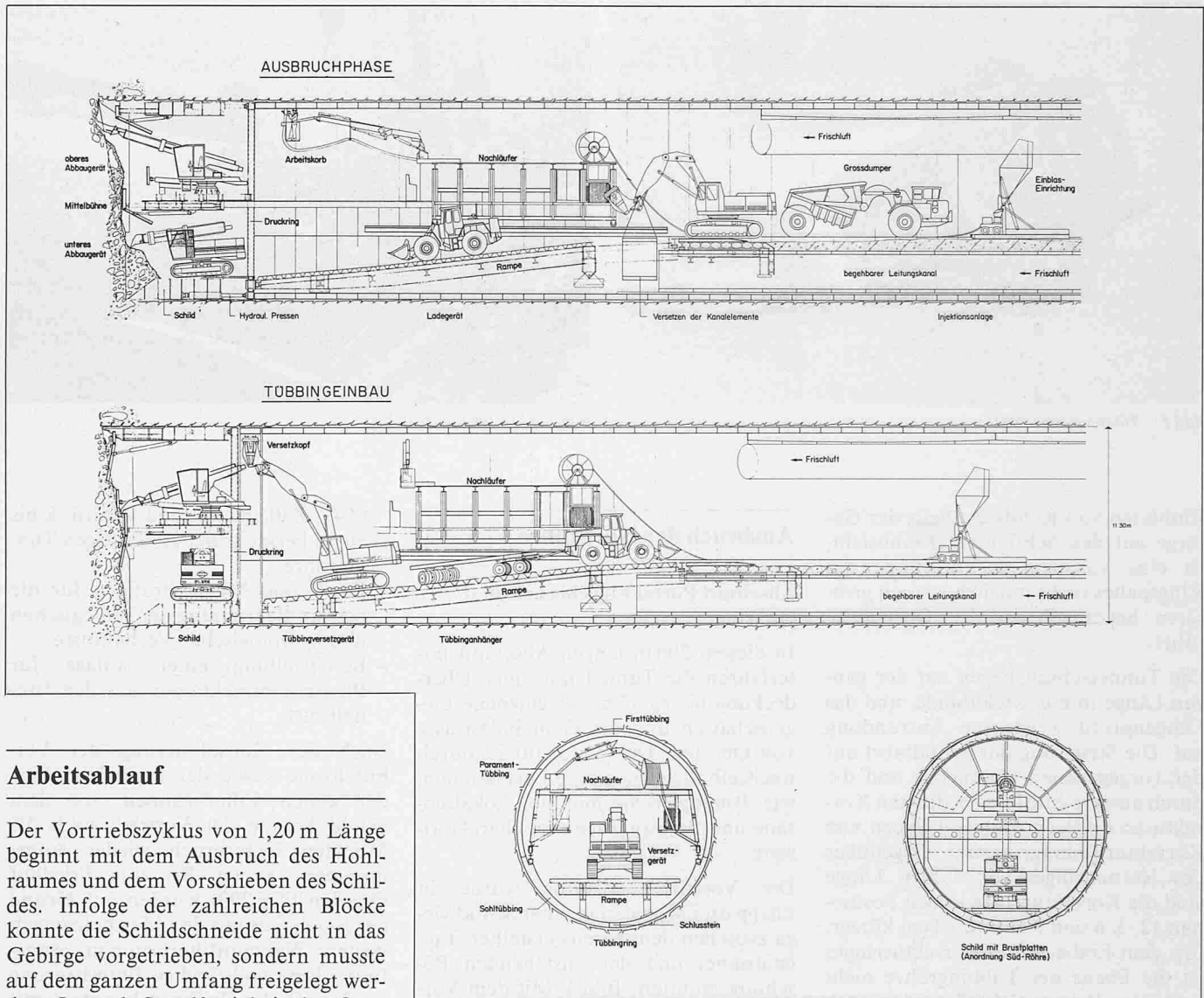
samt  $7000 \text{ t}$  mittels  $25$  hydraulischen Pressen auf die Tübbingröhre abgegeben.

Als Abbaugeräte wurden auf der Mittelbühne und im Schildboden je ein elektrisch angetriebener Hydraulikbagger mit teleskopier- und drehbarem Ausleger eingesetzt, welche das Lösen bzw. Abbauen von Material und Findlingen über die ganze rund  $100 \text{ m}^2$  grosse Brustfläche ermöglichten. Als Abbauwerkzeuge kamen Reisszähne und Abbauhämmer zum Einsatz. Der Auflad des Ausbruchmaterials auf die Grossdumper erfolgte mit einem Pneulader.

Mit dem Schild durch Hydraulikzylinder verbunden ist die Rampe, welche einerseits die Höhendifferenz zwischen Schildboden und Fahrpiste überwindet und andererseits das Versetzen der  $2 \text{ m}$  langen vorfabrizierten Kanalelemente erlaubt.

Der Nachläufer ist durch einen Laufsteg mit der Schildmittelbühne verbunden und wird auf einem Geleise, welches auf den Nocken des Sohlübbings versetzt ist, entsprechend des Schildvorschubes nachgezogen, Bild 2. Auf dem Nachläufer sind die Transformatoren, die Stromverteilanlage, die Hydraulik und das Steuerpult installiert. Im weiteren ist am Nachläufer ein hydraulisch bewegbarer Arbeitskorb für die Hinterfüllung der Tübbinge mit Kies und für die Ausführung der Vorabdichtung der Tübbingfugen im Kallottenbereich montiert.

Die bis  $8 \text{ t}$  schweren Tübbinge werden mit einem grossen Hydraulik-Raupenbagger versetzt. Bild 3 zeigt den am Baggerarm montierten Tübbingversetzkopf. Mit diesem vollhydraulischen Gerät werden die Tübbinge gefasst und im Schildschwanz montiert.



## Arbeitsablauf

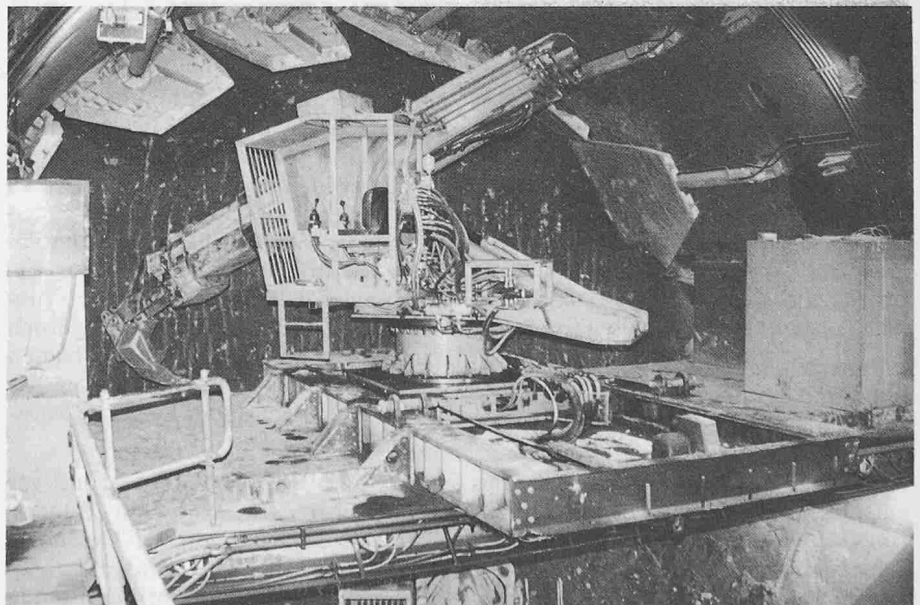
Der Vortriebszyklus von 1,20 m Länge beginnt mit dem Ausbruch des Hohlraumes und dem Vorschieben des Schildes. Infolge der zahlreichen Blöcke konnte die Schildschneide nicht in das Gebirge vorgetrieben, sondern musste auf dem ganzen Umfang freigelegt werden. Je nach Standfestigkeit der Ortsbrust erfolgt der Abbau und Schildvorschub in Etappen von 30 bis 60 cm. In wenig standfestem Material war während des Abbaues jeweils nur eine Brustplatte geöffnet. Das Öffnen und Schliessen der Brustplatten besorgte der Maschinist des oberen Lösegerätes.

Nach der Vortriebsphase wird der Druckring zum Schild eingezogen und im Schildschwanz ein weiterer Tübbingring eingebaut. Dieser besteht aus zwei Sohl-, zwei Parament- und einem Firstelement sowie einem Schlussstein. Zuerst werden die beiden Sohl-Tübbinge, dann die beiden Parament-Tübbinge und der Firsttübbling versetzt. Während das Versetzgerät den Firsttübbling in seiner Endlage hält, werden die Sohl- und Parament-Tübbinge mit Pressen in die Endlage verschoben.

Der Hohlraum zwischen dem Tübbingring und dem Gebirge, welcher systembedingt in der Sohle rund 4 cm und im Scheitel rund 16 cm beträgt, wird laufend zwischen Schild und Nachläufer verfüllt. Im Bereich der Sohl-Tübbinge geschieht dies durch Einpressen von Mörtel, im übrigen Bereich durch das

Bild 1. Vortriebsausrüstung

Bild 2. Schild und Abbaugeräte



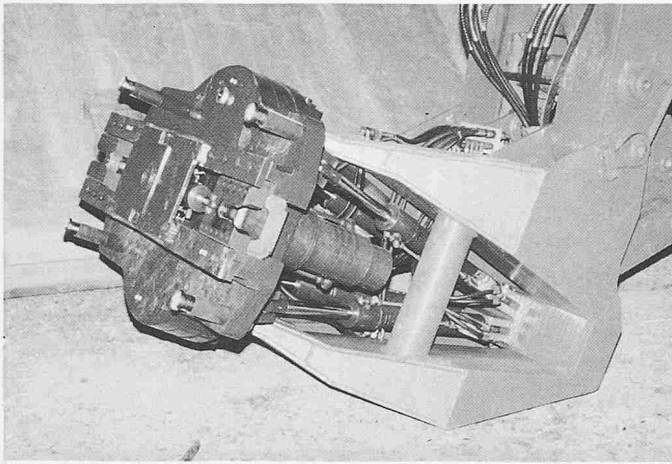


Bild 3. Tübbingversetzkopf

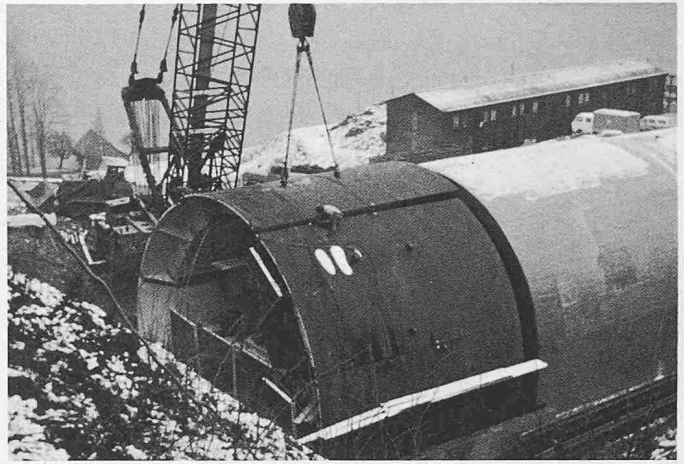


Bild 4. Schildmontage in Eegis

Einblasen von Rundkies. Falls das Gebirge auf den Schildmantel einbricht, ist eine vollständige Verfüllung des Ringspaltes nicht möglich, was zu grösseren Setzungen an der Oberfläche führt.

Die Tunnelachsen liegen auf der ganzen Länge in einer Klothoide, und das Längenprofil weist eine Ausrundung auf. Die Steuerung der Schildfahrt auf der vorgegebenen Geometrie und die durch äussere Einflüsse bedingten Korrekturen erfolgen mittels 4 Typen von Korrekturtübbingringen. Gegenüber des Normalringes von 1,20 m Länge sind die Korrekturringen in den Positionen 12, 3, 6 und 9 Uhr um 4 cm kürzer. Mit dem Einbau eines Korrekturrings ist die Ebene der Tübbingröhre nicht mehr parallel zur Schildlage. Dadurch wird beim Vorschieben des Schildes seine Lage in der gewünschten Richtung verändert. Voraussetzung für eine solche Änderung der Schildlage ist ein Hohlraum zwischen dem Gebirge und dem Schildmantel, welcher durch den Vorschnitt oder, wenn nötig, mit den Abbauwerkzeugen vor der Schildschneide geschaffen wird.

Die Steuerung der Schildfahrt ist wohl die anspruchsvollste Aufgabe bei einem Schildvortrieb und erfordert neben den technischen Hilfsmitteln eine grosse Erfahrung auf der Stufe Bauführung und Vortriebspolier. Die zulässige Abweichung von 15 cm zur theoretischen Lage der Tunnelachse erwies sich als realistische Vorgabe und konnte mit zwei Ausnahmen eingehalten werden.

In unterschiedlich hart gelagertem Material und bei der Kurvenfahrt hat der Schild die Tendenz, sich zu verrollen, d. h. sich um die eigene Achse zu drehen. Diese Verrollung wird durch eine entsprechende Drehung des Druckrings und der damit verbundenen Schiefstellung der 25 Vorschubpressen korrigiert.

## Ausbruch der Nordröhre

### Abschnitt Portal Eegis bis Friedhof Quarten

In diesem 290 m langen Abschnitt unterfahren die Tunnel mit einer Überdeckung bis zu 37 m verschiedene Liegenschaften und die Gemeindestrasse von Quarten. Der Abschnitt ist durch wechselhafte geologische Formationen, wie Rheingletschermoräne, Lokalmoräne und Bergsturzmaterial charakterisiert.

Die Vortriebsausrüstung wurde in knapp drei Monaten in einer Schildwiege zwischen dem bereits erstellten Tagbautunnel und der anstehenden Böschung montiert, Bild 4. Mit dem Vortrieb wurde am 21. Februar 1983 begonnen. Das anfängliche standfeste Material, das die Einfahrt des Schildes in die natürliche Böschung des Quarten-Westhanges erlaubte, verschlechterte sich mit fortschreitendem Ausbruch und führte nach 50 Vortriebsmetern zu einem ersten grossen Einbruch, der sich zu einem Tagbruch ausweitete. Eine örtliche Verfestigung des vor und über dem Schild liegenden losen Einbruchmaterials durch Injektionen mit aufschäumendem Polyurethan ermöglichte nach kurzem Unterbruch die Wiederaufnahme des Vortriebes.

Steigender Wassergehalt und hohe Porenwasserdrücke bei gleichzeitiger Abnahme des Tonanteils hatten bei Tunnelmeter 77 einen weiteren Tagbruch zur Folge. Die Nähe des überbauten Gebietes erlaubte die Fortsetzung des Ausbruchs nicht mehr. Folgende Massnahmen wurden getroffen:

- Verfestigung der Verbruchzone vor und über dem Schild mit Zementinjektionen, die von der Geländeoberfläche ausgeführt wurden
- Abteufen von Vakuumfilterbrunnen

Ø 4½ Zoll im Abstand von rd. 8 bis 10 m bergseits der zukünftigen Tunnelröhre

- Kern- und Messbohrungen für die bessere Beurteilung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse
- Bereitstellung einer Anlage für Polyurethaninjektionen aus der Tunnelbrust.

Nach der Konsolidierung der Verbruchzone sowie der Inbetriebnahme der ersten Filterbrunnen vor dem Schild konnte der Vortrieb nach 3½ Monaten Unterbruch wieder aufgenommen werden. Bis zum Friedhof Quarten (Tm 290) wurden auf Grund der Ergebnisse aus den Messbohrungen weitere Vakuumfilterbrunnen ausgeführt. Eine vollständige Entwässerung im Bereich der Ortsbrust konnte damit aber nicht erreicht werden. Die Verfestigung des bei kleinsten Wassermengen zum Fließen neigenden Gebirges erfolgte mit Polyurethaninjektionen aus der Ortsbrust. In diesem Abschnitt betrug die Vortriebsleistung rd. 2 m je Arbeitstag.

### Abschnitt Friedhof Quarten bis Rütibach

Tiefer Wassergehalt, hoher Tonanteil, und eine damit verbundene lange «Standzeit» zeichnete die kompakte Rheingletschermoräne auf den gesamten 373 m dieses Abschnittes aus. Dank diesen Voraussetzungen wurden Vortriebsleistungen von monatlich über 100 m erreicht. Nach 3½monatiger Bauzeit erfolgte die präzise Einfahrt des Schildes in den vorgängig im Tagbau erstellten Tunnelabschnitt Rütibach.

### Abschnitt Annaberg

Auf Grund der Erfahrungen bei der Unterfahrung des Dorfes Quarten wurden vor Inangriffnahme des 385 m langen Annabergtunnels fünf Kernbohrungen, vier Bohrungen zur Aufnahme

von Porenwasserdruckgebern und alle 40 m ein Filterbrunnen zur Feststellung der hydrologischen Verhältnisse ausgeführt. Die daraus gewonnenen Aufschlüsse liessen ein mehr oder weniger problemloses Auffahren dieses Abschnittes erwarten. Diese Annahme erwies sich bald als nicht zutreffend. Kohäsionsloses, wassergesättigtes Material verursachte laufend Niederbrüche aus der Ortsbrust und dem First.

Ein massiver Wassereinbruch führte schliesslich nach 120 m Vortrieb zu einem Niederbruch von über 1000 m<sup>3</sup> Material und zur Einstellung des Vortriebs. Zusätzliche, im Abstand von 2,50 m gebohrte Filterbrunnen erlaubten nach einem Stillstand von vier Wochen die Wiederaufnahme des Vortriebs. Nach wenigen Metern stellte sich erneut ein Tagbruch ein. Dies führte zur Erkenntnis, dass mit Entwässerungen alleine in diesem zum Teil rolligen Material keine ausreichende Bodenverbesserung erzielt werden kann.

Folgende Konsolidierungsmassnahmen standen zur Diskussion:

- Von der Geländeoberfläche ausgeführte Zementinjektionen oder Jetpfähle
- Gefrieren mit Stickstoff von der Ortsbrust und der Geländeoberfläche aus.

Zur Ausführung gelangte die Jet-Lösung. Mit 60 in einem Raster von 2,40 × 2,40 m bis in den Vortriebsbereich abgeteufte Jetpfähle konnte die ausgedehnte Verbruchzone vor und über dem Schild verfestigt und anschliessend ohne Schwierigkeiten durchfahren werden. Zwei weitere Einbrüche im nach wie vor kohäsionslosen Boden führten zur systematischen Bodenverbesserung mit Jet-Pfählen im Raster von 2,80 × 3,00 m. Dank dieser Massnahme war ein kontinuierlicher und sicherer Vortrieb bis zum Durchstich Chammbach möglich.

Die Stillstandszeit während der Entwässerungs- und Bodenverbesserungsarbeiten betrug im Abschnitt Annaberg sieben Monate. Der Rückstand auf das Werkvertragsprogramm erreichte damit neun Monate.

## Ausbruch der Südröhre

### Überprüfen der Baumethode und der flankierenden Massnahmen

Nach dem Vortrieb der Nordröhre waren die Boden- und Wasserverhältnisse sowie die sich daraus ergebenden Erschwernisse mit der Schildbauweise bestens bekannt. Andererseits zeichnete es sich auch ab, dass ohne eine entschei-

dende Verbesserung der Vortriebsleistung die N3 am Walensee zum vorgesehenen Termin im Herbst 1987 nicht eröffnet werden konnte. Mit der Zielsetzung, den Termin einzuhalten, wurden vor Abschluss der Ausbrucharbeiten für die Nordröhre die Baumethode, der Bauablauf und die für einen kontinuierlichen Vortrieb notwendigen Bodenverbesserungen überprüft bzw. studiert. Grundlage für alle Studien bildete die Erkenntnis, dass Baugrundverbesserungen systematisch und zeitgerecht ausgeführt werden müssen.

Für den Tunnel Quarten (Egis-Rütibach) stand eine andere Lösung als die Schildbauweise nicht zur Diskussion. Im geologisch schwierigen Abschnitt Quarten West waren mit der Südröhre einzelne Liegenschaften sehr nahe, bzw. direkt zu unterfahren. In diesem Abschnitt galt es, die Setzungen minimal zu halten und Massnahmen zu treffen, mit denen ein Tagbruch praktisch ausgeschlossen werden konnte.

Mit einer Überdeckung von max. 25 m unterfahren die Tunnel Annaberg unbebautes Kulturland. Das Kriterium «geringe Setzungen» war deshalb nicht massgebend, und Massnahmen zur Bodenverbesserung konnten von der Geländeoberfläche aus ohne Einschränkungen vorgenommen werden. Im Hinblick auf die Einhaltung des Termins und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Vortriebsleistungen im Abschnitt Quarten wurden für den Ausbruch der Südröhre Annaberg folgende Lösungen technisch, programmatisch und wirtschaftlich untersucht:

1. Schildbauweise, Bodenverbesserun-

| Lösung                          | Technisches Risiko | Terminliches Risiko | Wirtschaftl. Risiko | Gesamtrisiko |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| 1a Schildbauweise mit Jetting   | 2                  | 1                   | 1                   | 4            |
| 1b Schildbauweise mit Gefrieren | 1                  | 1                   | 3                   | 5            |
| 2a NOETB mit Jetting            | 2                  | 2                   | 2                   | 6            |
| 2b NOETB mit Gefrieren          | 1                  | 2                   | 3                   | 6            |
| 3 Kernbauweise                  | 2                  | 3                   | 3                   | 8            |

Tabelle 1. Studierte Lösungen mit Risikogewichtung

gen mit Vakuumfilterbrunnen kombiniert mit

- a) Jetpfählen
- b) Gefrieren des Bodens

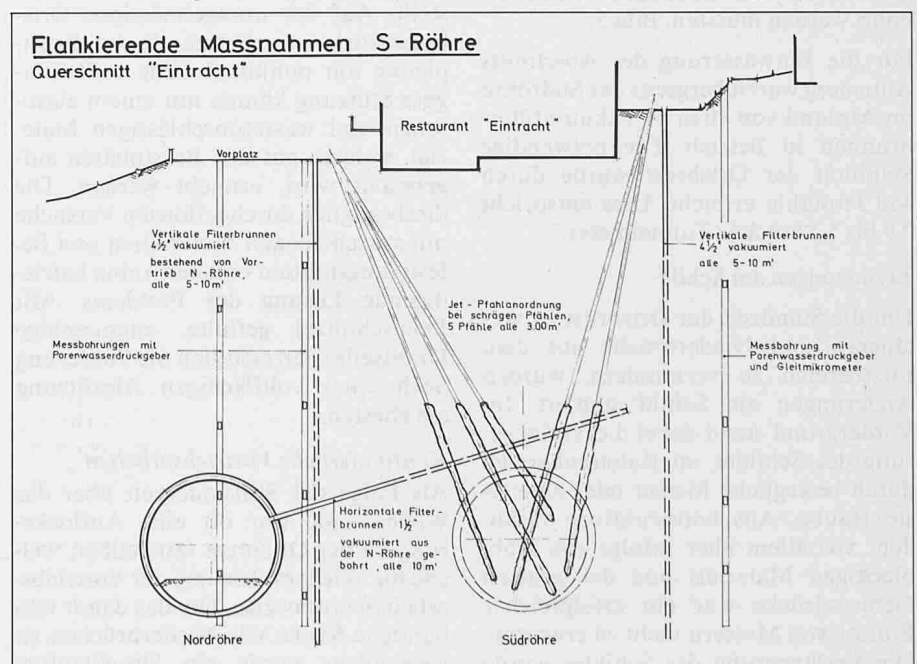
2. NÖTB mit den gleichen Bodenverbesserungen und Ausbruchbeginn gleichzeitig mit dem Schildstart für den Tunnelabschnitt Quarten.

3. Kernbauweise mit Vakuumfilterbrunnen. Ausbruch während des Schildvortriebs des Tunnels Quarten und je einer Angriffstelle in Rütibach und Chammbach.

Die Risikoanalyse der studierten Lösungen ist in Tabelle 1 aufgezeigt, wobei das geringste Einzelrisiko mit 1, das Grösste mit 3 gewichtet ist.

Auf Grund der Risikoanalyse wurde die Schildbauweise und das sich im letzten Abschnitt der Nordröhre bewährte Bodenverbesserungskonzept mittels Entwässerung und Jetting beibehalten.

Bild 5. Entwässerung und Bodenverbesserungsmassnahmen der Südröhre im Abschnitt Quarten west



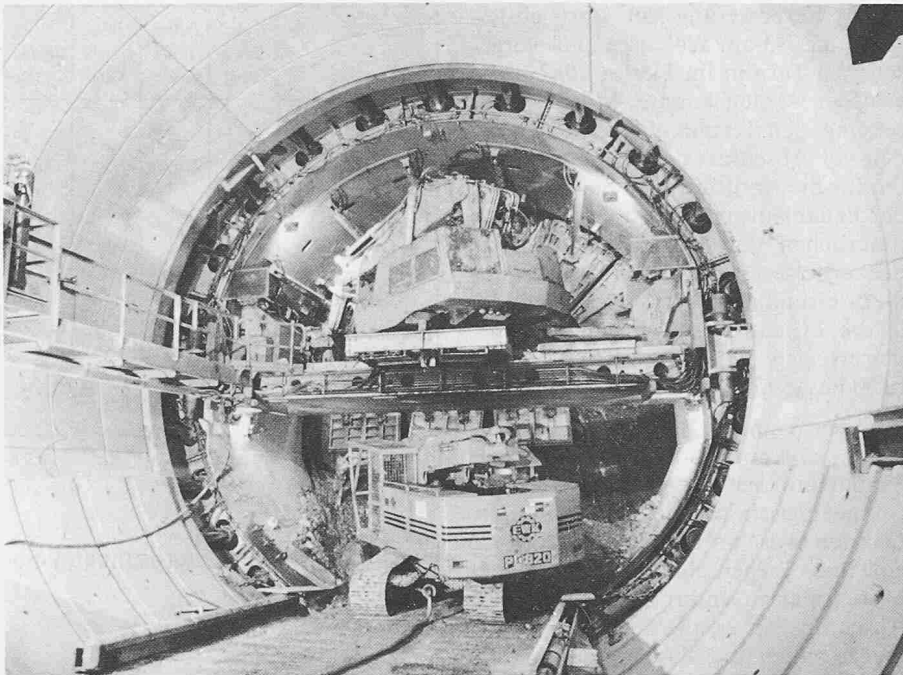


Bild 6. Oberes Abbaugerät im Abschnitt der standfesten Rheingletschermoräne der Südröhre

## Technische und betriebliche Massnahmen

### Entwässerungen und Jetting

Im 350 m langen Abschnitt Quarten West mit wechselhafter Geologie und gespanntem Hangwasser wurden für die Bodenentwässerung der Südröhre, zusätzlich 19 vertikale Vakuumfilterbrunnen installiert. Ergänzt wurde dieses Entwässerungskonzept durch 52 Horizontalfilterbrunnen, welche aus der Nordröhre im Abstand von 4,80 m leicht steigend über den Scheitel der zukünftigen Südröhre gebohrt wurden. Zur Bodenverfestigung in den kritischen Zonen wurden in Abständen von 2,80 x 3,00 m 296 Jetpfähle erstellt, die im Bereich von Gebäuden schräg gebohrt werden mussten, Bild 5.

Für die Entwässerung des Abschnitts Annaberg waren bergseits der Südröhre im Abstand von 10 m 24 Vakuumfilterbrunnen in Betrieb. Die notwendige Stabilität der Ortsbrust wurde durch 450 Jetpfähle erreicht. Dies entspricht 0,9 bis 1,3 Stück je Tunnelmeter.

### Ergänzungen am Schild

Um die Standzeit der Ortsbrust zu verlängern und Niederbrüche aus dem Firstbereich zu vermindern, wurden Änderungen am Schild studiert. Im Vordergrund stand dabei die Verlängerung des Schildes im Kalottenbereich durch bewegliche Messer oder eine feste Haube. Aus konstruktiven Gründen, vor allem aber infolge des grobblockigen Materials und der grossen Gebirgsdrücke war ein erfolgreicher Einsatz von Messern nicht zu erwarten. Die Verlängerung des Schildes wurde

mittels einer Haube von 1,50 m Länge verwirklicht, welche den Abbau der Ortsbrust oberhalb der Mittelbühne mit einer Neigung von rd. 5:1 erlaubte. Die Stabilität des Schildes war durch die Haube nicht beeinträchtigt. Die Schildsteuerung war hingegen merklich erschwert und erforderte zusätzliche Vermessungsarbeit zur raschen Feststellung von Abweichungen des Schildes von der Sollage, Bild 6.

Weitere Ergänzungen am Schild betrafen die Verlängerung der Mittelbühne um 80 cm sowie den Einbau von zusätzlichen Brustplatten zwischen den Mittel- und den Randplatten. Die vollständige und rasche Stützung von 70% der Ausbruchfläche war damit sichergestellt. Auf der unregelmässigen Ortsbrust wirkte die Stützkraft der Brustplatten nur punktuell. Eine vollflächigere Stützung könnte mit einem elastischen und wasserdurchlässigen Material, welches auf den Brustplatten aufgebracht wird, erreicht werden. Die diesbezüglich durchgeführten Versuche mit verschiedenen Materialien und Befestigungsmitteln ergaben keine befriedigende Lösung des Problems. Mit Pneuschnitzel gefüllte, engmaschige Drahtseilkissen erfüllten die Forderung nach einer vollflächigen Abstützung am ehesten.

### Kontinuierliche Vortriebsarbeiten

Als Folge der Stillstandszeit über das Wochenende war oft eine Auflockerung an der Ortsbrust feststellbar, welche die Wiederaufnahme der Vortriebsarbeiten erschwerte. Um das damit verbundene Risiko von Niederbrüchen zu vermeiden, wurde ein Druchlaufbet-

rieb organisiert, bei dem auch an Samstagen, Sonn- und Feiertagen die Arbeiten nicht eingestellt werden mussten. Darüber hinaus erhöhte sich mit dieser Massnahme die wöchentliche Arbeitszeit und die damit verbundene Vortriebsleistung um rd. 40%. Der Durchlaufbetrieb «Modell Quarten» bestand aus 3 Vortriebssequenzen, welche in Ablösung in einem kontinuierlichen Zweischichtbetrieb eingesetzt waren.

## Bauablauf

Nach dem Durchstich der Nordröhre in Chammbach musste die gesamte Vortriebsausrüstung demontiert und wiederum in Eigis für den Vortrieb der Südröhre bereitgestellt werden. Diese Umstellung, einschliesslich der beschriebenen Ergänzungen am Schild, dauerte 3 Monate.

Der Vortrieb der Südröhre konnte anfangs September 1985 aufgenommen und Ende Mai 1986 abgeschlossen werden. Unter Berücksichtigung der Arbeitsunterbrüche am Jahresende und für das Verschieben der Vortriebsausrüstung durch die Tagbauröhre Rütibach wurde die Tunnelstrecke von 1050 m Länge in 7 Monaten aufgefahren. Betrug der Rückstand auf das Werkvertragsprogramm am Ende der Nordröhre noch 9 Monate, so verringerte sich dieser bis zum Durchstich der Südröhre auf 2 Monate. Die im Vergleich zur Nordröhre extrem kurze Ausbruchzeit zeigt, dass sich die technischen und betrieblichen Massnahmen bewährt haben.

## Zusammenfassung

Voraussetzung für einen erfolgreichen Schildvortrieb ist eine während Stunden standfeste Ortsbrust. Zur Beurteilung dieses Kriteriums sind neben der Kenntnis von Herkunft und Aufbau des Baugrundes auch Angaben über Bodenmechanik und Hydrologie erforderlich. Vor allem auf Grund dieser für die Stabilität massgebenden bodenmechanischen und hydrologischen Kennwerte lassen sich Art und Umfang von Bodenverbesserungsmassnahmen festlegen.

Das für die Südröhre konsequent angewandte Zusammenwirken von Entwässerung und Jetting hat zu einer wesentlichen Verbesserung des Baugrundes geführt. Die Möglichkeit, diese Massnahmen von der Geländeoberfläche her auszuführen, war ein entscheidender Vorteil. Die Ausführung entsprechender Massnahmen von der Orts-

brust aus hätte eine wesentliche Bauzeitverlängerung und Mehrkosten zur Folge gehabt.

Um eine möglichst lange Einwirkzeit der Vakuumfilterbrunnen zu erreichen, ist es wichtig, die notwendigen

Baugrundverbesserungen frühzeitig zu erkennen und anzuordnen.

Dank der umfangreichen technischen und betrieblichen Massnahmen hat sich die Schildbauweise auch in den ungünstigen Bodenverhältnissen in Quar-

ten als leistungsfähige und wirtschaftliche Baumethode erwiesen.

Adresse des Verfassers: H. Gautschi, Ing. HTL, Baustellenleiter Arge Tunnel Quarten, i. Fa. Locher & Cie. AG, Pelikanplatz 5, 8022 Zürich.

## Erfahrungen mit dem Schildvortrieb aus der Sicht der Bauleitung

Von Max Keller, Winterthur, und Rudolf Wymann, Wil

### Vorbemerkungen

Der Tunnelbau im Lockermaterial gehört bezüglich Projektierung und Bauausführung zu den Untertagbauten mit hohem Schwierigkeitsgrad, und die Baumethoden befinden sich heute noch, im Zusammenhang mit der fortschreitenden Mechanisierung, in ständiger Entwicklung. Aus diesem Grunde dürfte eine Zusammenfassung der Erfahrungen, welche beim Vortrieb des Tunnels Quarten unter äusserst schwierigen Bedingungen gemacht wurden, für die Bearbeitung zukünftiger Bauvorhaben ähnlicher Art, nützlich sein.

### Submission

Das Bereitstellen der Submissionsunterlagen beanspruchte eine Zeitspanne von einem halben Jahr. Für den Schildvortrieb wurde ein EDV-gerechter Angebotstext erarbeitet, den übrigen Kapiteln lagen die SIA- bzw. VSS-Normpositionen zugrunde. Das Offertformular war in 16 Objekte gegliedert. Diese feine Aufteilung hat sich für die Arbeitsvorbereitung, die Terminplanung und die Kostenüberwachung als äusserst zweckmässig erwiesen.

Der Ausschreibung vom Juni 1981 wurde der Schildvortrieb zugrunde gelegt; gleichzeitig war den Offertstellern Gelegenheit geboten, andere Baumethoden als Varianten anzubieten. Sechs Arbeitsgemeinschaften haben Ende Oktober 1981 ihre Angebote eingereicht, welche zwischen 69,0 und 77,8 Mio Fr. variierten. Zusätzlich wurde von einer Gruppe je eine Variante für den Vortrieb in der «Spritzbetonbauweise NÖTB» mit sechs Angriffsstellen und für die «Belgische Bauweise» mit Meservortrieb mit vier Angriffsstellen an-

geboten. Eine zweite Unternehmergruppe bearbeitete einen kombinierten Bauvorgang: «Schildvortrieb in Quarten, offene Baugrube im Annaberg».

Ein Vergleich mit der Schildmethode ergab, dass die angebotenen Varianten wohl dank mehrerer Angriffsstellen eine kürzere Bauzeit versprochen, gleiche oder eher grössere Kosten verursachten, aber ein grösseres Risiko eingeschlossen und die Anwohner mit vermehrten Immissionen belastet hätten. Aus diesen Gründen wurde der Schildmethode der Vorzug gegeben.

Die Entscheidungskriterien für die Vergabe der Arbeiten wurden in folgender Reihenfolge gewichtet:

- Schildkonzept
- Erfahrungen mit dem Schildvortrieb
- Angebotssumme
- Bauprogramm.

### Schildvortriebstechnik und Bauablauf

Die vom Unternehmer beim Beginn der Vortriebsarbeiten der Nordröhre bereitgestellte Schildgerätegruppe erfüllte im allgemeinen die Erwartungen von Bauherrschaft und Bauleitung, mit Ausnahme der Brustabstützung. Diese bestand aus 6 hydraulisch betriebenen Firstplatten und 4 Mittelplatten, welche zusammen nur etwa einen Drittel der rund 10 m<sup>2</sup> grossen Brustfläche abdeckten. Unbefriedigend erschien uns vor allem die ungedeckte, etwa 2 m hohe Fläche im Kern der Brust, zwischen den First- und Mittelklappen. Der Unternehmer stellte in Aussicht, diese Brustfläche notfalls improvisiert mit Holz und Strohballen abzudecken und machte geltend, dass sich diese Massnahme andernorts bewährt habe. In ihrem Bericht «Bauausführung» hat die Unter-

nehmung den Bauablauf eingehend geschildert; wir beschränken uns darum auf die Erwähnung der uns wesentlich erscheinenden Ereignisse beim Vortrieb der Nordröhre. Zu Beginn der Vortriebsarbeiten im Februar 1983 ereigneten sich nach anfänglich günstigen Bedingungen, innerhalb von 14 Tagen, zwei schwere Niederbrüche, welche sich bei einer Überlagerungshöhe von 30 m trichterförmig bis an die Oberfläche ausweiteten. Dabei war festzustellen, dass sich die ersten Anzeichen der Brustinstabilität durch Abschaltungen vorwiegend im nicht abgestützten Bereich zwischen Brust- und Firstplatten zeigten und diese sich so schnell in Richtung First bis zu einem Niederbruch ausweiteten, dass ein Verbau mit Holz und Stroh nicht mehr zeitgerecht ausgeführt werden konnte (Bild 1).

Die Bedingungen waren in diesem Abschnitt insofern ungünstiger geworden, als in der Brust zunehmend siltige Schichten auftraten und der Boden bei zunehmendem Hangwasser und abnehmendem Tongehalt eine zu geringe Kohäsion und damit eine zu kurze Standzeit aufwies.

Diese beiden schweren Niederbrüche führten zur Einstellung des Vortriebes und zur Erkenntnis, dass bei den vorliegenden Bedingungen ein weiterer Vortrieb mit der vorhandenen offenen Schildausrüstung nur zu verantworten war, wenn vorgängig mit zusätzlichen Massnahmen eine Bodenverbesserung vorgenommen wurde. Es wurde daher beschlossen, vor der Wiederaufnahme des Vortriebes durch den Einsatz von Filterbrunnen dem Boden möglichst viel Wasser zu entziehen und gleichzeitig alternierend mit dem Vortrieb, mit Injektionen aus dem Schild, den Boden im Kalottenbereich zu verfestigen (siehe Abschnitt «Flankierende Massnahmen»).

Als nach 3 1/2 Monaten Stillstand der Vortrieb wieder aufgenommen wurde, gelang es dann, die rund 200 m lange Strecke unter dem Dorf Quarten, welche nach wie vor ungünstige Bodenverhältnisse aufwies, ohne schwere Niederbrüche zu bewältigen. Kleinere Niederbrüche traten jedoch immer wieder auf