

# Erfahrungen mit dem Schildvortrieb aus der Sicht der Bauleitung

Autor(en): **Keller, Max / Wymann, Rudolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **105 (1987)**

Heft 47

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76759>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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

Um eine möglichst lange Einwirkzeit der Vakuumsfilterbrunnen 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. Gauschi, 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 versprachen, 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

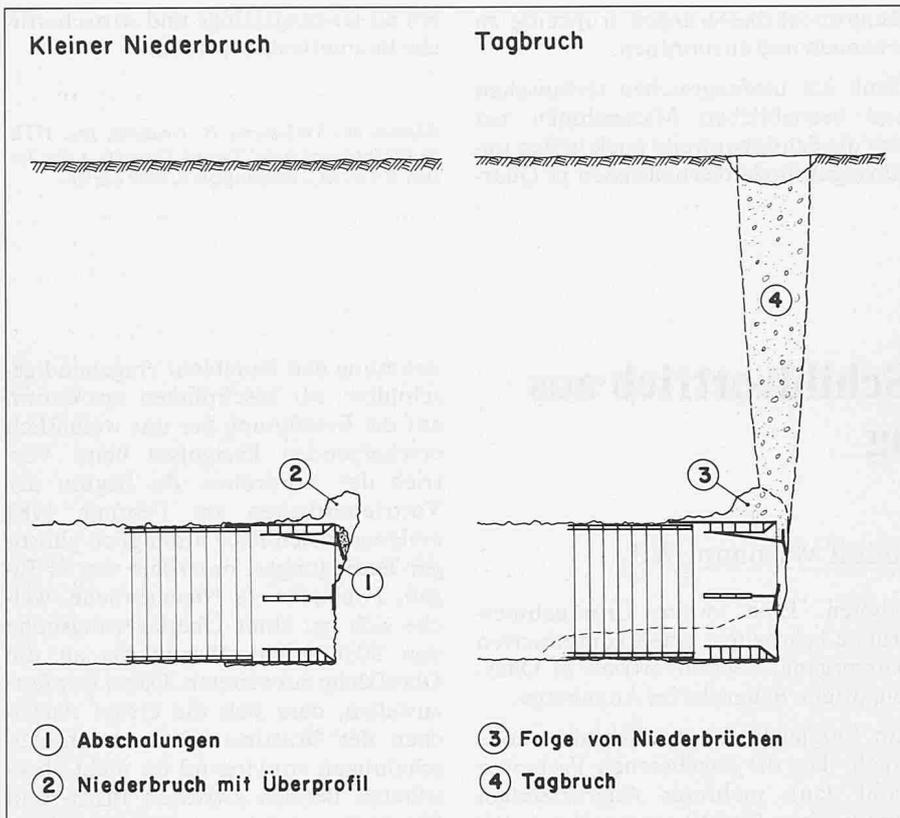


Bild 1. Ablauf der Brustinstabilität

(Bild 1). In der Regel bildete sich dabei eine instabile Zone, 0,50 bis 2,00 m vor der Schildschneide, in der Breite meistens beschränkt auf 2,00 bis 5,00 m. Bei genügender Kohäsion über der Schildschneide stellte sich dann über dem entstandenen Hohlraum ein tragendes Gewölbe ein und das Überprofil konnte hinter improvisierten, zusätzlichen Brustabstützungen mit Polyurethan-Injektionen wieder verfüllt werden. Im Laufe dieser schwierigen Vortriebsstrecke setzte sich bei allen Beteiligten allmählich die Erkenntnis durch, dass die Schildausrüstung in verschiedener Beziehung verbessert werden sollte. Da aber Änderungen am vom Berg eingeschlossenen Schild kaum möglich sind, wurden diese Massnahmen spätestens für den Vortrieb der Südröhre in Aussicht genommen. Der Vortrieb der 273 m langen Reststrecke bis zum Rütibach ist dann bei günstigen Bedingungen ohne besondere Schwierigkeiten vor sich gegangen.

Die Unterquerung des Annaberges brachte dann aber wieder neue Probleme. Im vorliegenden annähernd kohäsionslosen Boden ereigneten sich trotz der flankierenden Massnahmen immer wieder Niederbrüche, z. T. mit Trichterbildung, welche jeweils nur mühsam saniert werden konnten. Schliesslich führte nach einer Baustrecke von rund 160 m der schwerste Einbruch mit rund 1000 m<sup>3</sup> Materialverlust zu einer zweiten Einstellung des Vortriebes und zur

Einsicht, dass die bisher angewendeten flankierenden Massnahmen und die vorhandene Schildausrüstung für einen weiteren Vortrieb nicht genügten. Es wurden verschiedene zusätzliche Massnahmen diskutiert und geprüft, entweder herkömmliche Zementinjektionen oder Jet-Pfähle von der Geländeoberfläche aus, im weiteren horizontales Jetting aus der Brust und zuletzt schliesslich das Gefrierverfahren. Vorerst wurde die Verbruchzone des letzten Trichters versuchsweise mit JetPfählen von der Oberfläche aus verfestigt und dieser Versuch brachte ein erfreulich gutes Ergebnis. Demzufolge wurde beschlossen, die schwierigen Bereiche der restlichen 220 m langen Vortriebsstrecke neben der Entwässerung mit Filterbrunnen, zusätzlich mit Jetting zu verbessern. Und nachdem die letzten 170 m mit einer Leistung von 35 m/Woche ohne jegliche Schwierigkeiten vorgetrieben werden konnten, waren alle Beteiligten überzeugt, nun endlich die richtige Methode für den Vortrieb der Südröhre gefunden zu haben. Anfangs Juni 1985, d. h. nach 28 Monaten Vortrieb erfolgte dann der Durchstich der Nordröhre im Chammbach.

Die 3 Monate, welche die Unternehmung für die Demontage der Schildausrüstung und die Bereitstellung für den Vortrieb der Südröhre benötigte, wurden ausgenützt, um den Schild und den Boden aufgrund der beim Vortrieb der

Nordröhre gemachten Erfahrungen vorgängig zu verbessern. Die kritischen Baustrecken, welche aufgrund der Aufschlüsse beim Vortrieb der benachbarten Nordröhre im voraus bekannt waren, wurden mit einem Jetpflaster verfestigt und gleichzeitig wurde der Boden je nach Wasseranfall mit Vertikalfilterbrunnen von der Geländeoberfläche aus und mit Horizontalfilterbrunnen aus der Nordröhre, soweit wie möglich entwässert.

Am Schild wurden folgende Verbesserungen bzw. Veränderungen vorgenommen:

- Vergrösserung der Brustabstützungsfläche im oberen Teil von 65% auf 95% und im unteren Teil von 35% auf 65%.
- Anbau einer 1,25 m langen Haube, d. h. Verlängerung des Schildrohres im Firstbereich von 8,50 m auf 9,75 m und Verlängerung der Reichweite der Brustplatten um rund 0,50 m. Damit wurde eine Neigung der Brustfläche von 10:1 und eine bessere Stützwirkung der mittleren Brustklappen erreicht.
- Austausch des oberen, schweren Lösebaggers durch ein leichteres, beweglicheres Gerät, welches dank präziserer Steuerung die Ausbildung einer ebenen Brustfläche besser gewährleisten konnte.

Im weiteren wurde beim Vortrieb der Nordröhre die Erfahrung gemacht, dass sich die Stabilität der Brust während der kurzen Vortriebsunterbrüche an Wochenenden erheblich verschlechtert hat. Aus diesem Grunde wurde schon bei der Nordröhre im Annaberg, und dann aber auch für die Südröhre, im Durchlaufbetrieb vorgetrieben.

Dank diesen verschiedenen zusätzlichen Massnahmen ist dann der Vortrieb der Südröhre ohne wesentliche Schwierigkeiten gelungen und der Durchstich im Annaberg erfolgte Ende Mai 1986 nach einer Bauzeit von nur 9 Monaten.

## Flankierende Massnahmen

### Injektionen

Die Verbruchzone, welche sich im Bereich der ersten beiden Tagbrüche in der Nordröhre vor dem Dorf Quarten gebildet hat, zeichnete sich bis 20 m vor dem Schild durch Risse in der Geländeoberfläche ab.

Vor dem weiteren Vortrieb wurde das aufgelockerte Bodenmaterial durch Injektionen bis in eine Tiefe von 45 m von der Oberfläche aus saniert. Zur Ausführung gelangten verrohrte Verti-

kalbohrungen und stufenweises Injizieren eines Zement/Betonitgemisches über Manschettenrohre, mit Drücken von 0 bis 30 bar. Auf einer Fläche von  $16 \times 20$  m vor dem Schild wurden in 40 Bohrungen 300 t Zement verpresst. Mit dieser Massnahme konnten wasserführende Schichten weitgehend unterbunden und der Wassergehalt im Boden wesentlich verringert werden. Bei der Wiederaufnahme des Vortriebes war das Injektionsgut an der Brust in Form von Adern, Bändern und Schichten von 1 bis 20 cm Stärke gut sichtbar. Der Vorgang von sich selbsttätig ablösenden Erdschollen in der Brust stellte sich nicht mehr ein und der Vortrieb konnte in der gestörten Zone ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden. Diese Sanierungsmassnahmen kosteten rund 630 000 Franken.

Wie bereits erwähnt, wurden nach den beiden Niederbrüchen in Quarten, zusätzlich zu den Entwässerungsmassnahmen, Injektionen von der Brust aus vorgenommen. Diese Injektionen wurden mit gebohrten Lanzen von 2 bis 6 m Länge, als Kranzinjektionen im First mit Polyurethan ausgeführt, um den oberen Bereich der Brust durch einen verfestigten Schirm zu schützen. Dabei zeigte es sich aber, dass der Polyurethanschaum das Bodenmaterial nicht genügend zu verfestigen vermochte. Eine Durchdringung der Bodenstruktur und ein Verkitten des Korngerüstes zu zusammenhängenden grösseren Zonen wurde auch bei minimalsten Lanzenabständen von 1 m nur ungenügend erreicht.

Injektionsversuche mit Kunstharz anstelle von Polyurethan ergaben eine eindeutig verbesserte Standfestigkeit. Das Injektionsgut vermochte im Boden ein räumliches Netz zu bilden, so dass beim Abbauen der Brust das selbsttätige schollenartige Lösen des Bodens aufhörte und eine wohl beschränkte Standfestigkeit erreicht wurde. Da aber die Injektionen je  $m^3$  Bodenmaterial 20 kg Kunstharz benötigten, wurde aus Kostengründen auf die Weiterverfolgung dieser Methode verzichtet. Auf die im Angebot vorgesehenen Zementinjektionen aus dem Schild in die Brust wurde wegen der langen Abbindezeit ebenfalls verzichtet und da diese zeitraubenden Massnahmen im Wechsel mit den Vortriebsarbeiten ausserdem eine unerwünschte Bauverzögerung zur Folge gehabt hätten. Weil die Polyurethaninjektionen aber immerhin eine bescheidene Wirkung zeigten und sich keine günstigeren Massnahmen anboten, wurden sie in den schwierigen Zonen, d.h. bis Ende des Friedhofes Quarten und im vorderen Teil des Annaberges weitergeführt, bis mit der Jet-Methode eine Lösung ge-

funden wurde, die eine kaum erwartete Verbesserung des Baugrundes mit sich brachte.

Das Jet-Verfahren hat gegenüber den herkömmlichen Injektionen den Vorteil, dass es billiger ist und das Injektionsgut gezielter in den Boden eingebracht werden kann. Die sich bildenden Säulen aus Zement, Kies und Steinbollen erreichten einen Durchmesser von rund 60 cm und wirkten als stabilisierendes, tragendes Element. Sehr wirksam waren aber auch die «Claquagen», welche in durchlässigen Schichten zwischen den Pfählen entstanden und zusammen mit diesen ein verfestigendes räumliches Gitter im Bodenmaterial bildeten. Ein weiterer Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Bodenverbesserung vorgängig von der Geländeoberfläche aus, ohne Behinderung des Vortriebes ausgeführt werden kann.

Beim ersten Versuch mit dem Jet-Verfahren, bei der Sanierung der Verbruchzone des letzten grossen Tagbruches im Annaberg, wurden auf einer Fläche von  $14 \times 17$  m 62 Jet-Pfähle eingesetzt und diese haben bei einer Tiefe von allerdings nur 30 m rund 370 000 Fr. gekostet.

### Entwässerungen

In dem vielschichtigen, heterogenen Bodenmaterial von Quarten wurden keine grossräumigen Grundwasserzonen vorausgesagt und auch nicht angetroffen. Die erstmals nach den ersten beiden Niederbrüchen gemessenen Wasserdrücke stammten aus feinen, sandigen Adern. Diese relativ geringen Wassermengen, welche kaum fliessen, vermochten den entspannten Boden an der Tunnelbrust aber doch zu sättigen und instabil zu gestalten. Ein Versuch mit einer 70 m langen, mit Vakuum ausgerüsteten Filterbrunnenreihe zeigte, dass trotz minimalen Brunnenabständen von 2,50 m immer noch Wasser durchsickerte. Das führte zur Erkenntnis, dass eine vollständige Bodenentwässerung mit Filterbrunnen nicht möglich ist, dass aber der Einsatz von Filterbrunnen doch eine Verbesserung der Standfestigkeit der Brust mit sich bringt, aber noch zusätzliche Massnahmen (Injektionen) notwendig sind. Mit den Filterbrunnen können jedenfalls, neben dem Wasserentzug an der Brust, bei genügend langer Einwirkungszeit die Wasserdrücke abgebaut und vorhandene Taschen entleert werden. Die Filterbrunnen wurden in der Regel in Abständen von 8 bis 10 m, 8 m von der Tunnelachse entfernt, bergseitig angeordnet und reichten bis 4 m unter die Tunnelsohle. Es wurden Schlag-Spülbohrungen mit einem minimalen

Durchmesser von 193 mm, bis auf eine grösste Tiefe von 55 m ausgeführt. Ungefähr 40% von jeweils 50 beim laufenden Vortrieb im Einsatz befindlichen Pumpen förderten keine oder nicht messbare Wassermengen; das Maximum eines Brunnens lag zwischen 15 und 20 l/min, die mittlere, geförderte Wassermenge bei 1 bis 4 l/min. Der Unterdruck am Brunnenkopf betrug in der Regel 0,1 bis 0,3 bar, wofür 6 Vakuumpumpen mit einer Leistung von je  $250 m^3/h$  erforderlich waren. An der Tunnelbrust wurde in der Regel kein oder nur noch ein geringer Wasseranfall von rd. 0,5 l/min gemessen. Je nach Örtlichkeit und Wetterlage stellten wir kurzfristig, d. h. während Stunden bis zu einem Tag, maximale Mengen von 15 bis 20 l/min fest. Zweimal wurden Adern mit Ergüssen von 40 bis 60 l/min für die Dauer von etwa einem halben Tag angefahren.

### Setzungen

Dass beim Schildvortrieb im Lockermaterial Setzungen unumgänglich sind, ist heute nicht mehr bestritten. Die Meinungen gehen lediglich noch um die Grössenordnung auseinander und beim Tunnel Quarten war diese über Erwarten hoch, nämlich bis 28 cm. Die aufgetretenen Setzungen sind hauptsächlich auf drei Ursachen zurückzuführen:

- Beim Vorschub des Schildes verliert der zuletzt eingebaute Tübbingring die Bettung durch den Schildschwanz und es verbleibt theoretisch ein ringförmiger Hohlraum in der Stärke des Schildschwanzes (8 cm). Durch das Absetzen des Ringes auf die Sohle des Ausbruchprofils und durch die Verformung des anfänglich seitlich nicht gestützten Gelenkringes vergrössert sich der Hohlraum über dem Scheitel bis auf 20 cm. Obwohl dieser Hohlraum sofort durch Injektionen verfüllt wurde, oben mit Rollgerste und unten mit Zementmörtel, waren im kohäsionsarmen Material Nachbrüche nicht zu vermeiden. Im übrigen war diese Verpressung kaum kontrollierbar und vermutlich teilweise ungenügend. Dadurch ereigneten sich im Bodenmaterial über der Tunnelröhre Auflockerungen, welche sich allmählich bis an die Geländeoberfläche fortsetzten
- Entspannungsdeformationen an der Tunnelbrust führten zu Auflockerungen, welche sich ebenfalls nach oben auswirkten
- Der Wasserentzug durch die Filterbrunnen hatte eine ähnliche Auswirkung, wie sie bei eigentlichen Grundwasserabsenkungen auftreten.

Aufgrund unserer Beobachtungen hat sich der Setzungsvorgang in 3 Phasen abgespielt:

**Phase I:**

Setzungen durch den Wasserentzug mit den Filterbrunnen vorgängig der Vortriebsarbeiten 10–20 mm

**Phase II:**

Setzungen während des Vortriebs, beginnend 50 m vor bis 100 m hinter dem Schild 50–120 mm

**Phase III:**

Setzungen bis 9 Monate nach dem Vorbeifahren des Schildes 10–140 mm  
70–280 mm

Bei der rund 200 m langen Unterquerung des überbauten Gebietes von Quarten sind erwartungsgemäss eine ganze Anzahl von Gebäulichkeiten durch Rissbildungen in Mitleidenschaft gezogen worden. Mit Ausnahme eines älteren Einfamilienhauses, das abgebrochen und neu erstellt werden musste, konnten die übrigen Schäden zufriedenstellend saniert werden. Bei den restlichen Baustrecken handelte es sich hauptsächlich um Kulturland, welches durch die Setzungen nicht beeinträchtigt wurde.

## Schlussfolgerungen

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass der Einsatz des offenen Schildes beim Vortrieb im Lockermaterial, wohl verschiedene Vorteile aufweist, wie grosse Vortriebsleistung, weitgehend mechanisierte Arbeitsabläufe, grosse Arbeitssicherheit und günstige Baukosten bei grösseren Tunnelängen, dass ihm aber durch die Baugrundeigenschaften Grenzen gesetzt sind und ein Erfolg bei ungünstigen Bedingungen nur mit zusätzlichen Massnahmen zur Baugrundverbesserung gewährleistet ist. Ungünstige Bedingungen lagen in erster Linie dann vor, wenn der Tonanteil im Bodenmaterial weniger als 7% betrug.

Die mechanische Abstützung der Brust sollte im oberen Teil vollständig geschlossen und unten mindestens zu 65% vorhanden sein. Im weiteren sollte sie derart gestaltet sein, dass sie, auch bei konvexer Ausbildung der Brust durch Abschalungen, ihre Stützwirkung nicht weiter verliert.

Mit Filterbrunnen, auch wenn sie vakuumiert wurden, konnte das Moränen- und Bergsturzmaterial nicht vollständig entwässert werden. Bei zu geringem Tonanteil musste der Boden mit

herkömmlichen Injektionen oder mit dem Jet-Verfahren zusätzlich verfestigt werden.

Mit dem Jet-Verfahren von der Oberfläche aus konnte eine erfreulich wirksame Bodenverbesserung erreicht werden. Bei den vorliegenden Gegebenheiten im Tunnel Quarten war dieses wirtschaftlicher als herkömmliche Zement-Injektionen.

Beim Einsatz eines Schildes für den Vortrieb im Lockermaterial sind Setzungen der Geländeoberfläche unumgänglich. Ihre Grössenordnung hat verschiedene Ursachen und hängt nicht zuletzt auch von der Überdeckungshöhe ab. Beim Tunnel Quarten erreichten sie das ungewöhnlich hohe Mass von 280 mm.

Adresse der Verfasser: *M. Keller*, dipl. Bauing. ETH, und *R. Wymann*, Bauing. HTL, Grünenfelder + Keller AG, 8400 Winterthur und 9500 Wil.

## Tunnellüftung

Von Hans Baumann, Zürich

Die beiden rund 1300 m langen Röhren des Tunnels Quarten werden nach dem System der Längslüftung gelüftet. Bei normalem, flüssigem Verkehr genügt die durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge erzeugte Längsströmung, um die Auspuffgase unter die festgelegten Grenzwerte zu verdünnen und eine ausreichende Sichtweite aufrechtzuerhalten. Für die Fälle von ausserordentlichen Verkehrszuständen wie stockender Verkehr oder Gegenverkehr, wenn eine Röhre wegen eines Unfalls oder wegen Unterhaltsarbeiten gesperrt ist, müssen für eine genügende Lüftung jedoch Strahlventilatoren vorhanden sein. Diese werden auch bei einem Tunnelbrand benützt, um den Rauch in die gewünschte Richtung zu treiben, damit möglichst wenig Tunnelbenützer in Mitleidenschaft gezogen werden.

In beiden Tunnelröhren sind drei Ventilatorpaare aufgehängt, die zusammen je Röhre einen Schub von 4550 N aufbringen und damit die erforderliche Lüftungswirkung erzielen. Der elektrische Leistungsbedarf aller zwölf Strahlventilatoren beläuft sich insgesamt auf 390 kW.

Adresse des Verfassers: *Hans Baumann*, dipl. Masch.-Ing. ETH, Schindler Haerter AG, Stockerstrasse 12, 8002 Zürich.

## Neue Bücher

### Kostensenkung im Tunnelbau

Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn, 68 Seiten, 62 Abbildungen, 14 Tabellen, Broschur, DM 80.-; Hrsg.: Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. – STUVA –, Köln; Alba-Fachverlag GmbH. + Co. KG., Düsseldorf, 1987. Band 31 der Reihe «Forschung + Praxis, U-Verkehr und unterirdische Bauten».

Der Bau von U- und Stadtbahnen ist ein unverzichtbares Mittel zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Städten und Ballungsräumen. Die in dicht bebauten Stadtgebieten erforderliche unterirdische Streckenführung hat sich in den letzten Jahren in Bau und Ausrüstung kontinuierlich verteuert. Es ist daher notwendig, die Einflussfaktoren auf die Kosten zu analysieren und Möglichkeiten der Kostensenkung aufzuzeigen.

Kostenmindernde Massnahmen im U- und Stadtbahntunnelbau können in allen Bereichen der Planung und des Baues ansetzen. Grundsätzlich ist festzustellen, dass sehr unterschiedliche Kostenrahmen betroffen sind, je nachdem, in welchem Stadium von Planung oder Bau Massnahmen oder Festlegungen ansetzen oder wirksam werden. In der Phase der Grundsatzplanung über Netzgrössen, Gradientenlagen usw. werden Entscheidungen über Investitionen getroffen, die insgesamt einen Kostenrahmen von mehreren 100 Mio DM betreffen können. Eine Überprüfung der Planvorstellungen in regelmässigen Abständen unter jeweils aktuellen Randbedingungen ist erforderlich. Tiefenlage, Trassierungsdaten und Bauwerksabmessungen richten sich nach örtlichen Verhältnissen. Grenzwerte sind in Richtlinien o. ä. festgelegt. Das unterirdische Bauvolumen sollte so gering wie möglich gehalten werden. Grenzen liegen dort, wo der Systemzusammenhang nicht erhalten würde oder eine Beeinträchtigung von Betriebsqualität und/oder -kosten sowie der Attraktivität nicht auszuschliessen ist. Einsparungsmöglichkeiten in diesem Bereich können einen Kostenrahmen von mehreren 10 Mio DM betreffen. Zur Verkürzung der Planungszeiträume erscheinen eine Verbesserung der Rechtsposition des ÖPNV, Vereinfachungen des Planungs- und Bewilligungsvorganges sowie die Regelung bestimmter Sachverhalte in Gesetzen o. ä. (z. B. Umweltschutz) notwendig, um in volkswirtschaftlicher Sicht Kostensenkungen zu erreichen. Bei der Ausrüstung und Ausstattung sind insbesondere die Auswirkungen auf die Betriebskosten sowie hinsichtlich der Attraktivität zu beachten. Der Wirkungsspielraum in diesem Bereich ist begrenzt.

Die Untersuchung liefert eine Fülle von Beispielen und Ansätzen, wie im Einzelfall im U- und Stadtbahnbau kostenbewusst geplant und gebaut werden kann. Die Anwendbarkeit der verschiedenen Hinweise muss jedoch in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen für das jeweilige konkrete Projekt geprüft werden.