

# Borntunnel

Autor(en): **Garbe, Lothar**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 46: **Ausbau der Bahnanlagen in Olten 1975-1981**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74607>

## **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.

# Borntunnel

Von Lothar Garbe, Zürich

## Allgemeines

Der 810 m lange Borntunnel ist eines der *Kernstücke der neuen Linie*. Er durchquert gegenüber Aarburg einen flachen Ausläufer des Born mit einer max. Überlagerung von 50 m und weist ein einseitiges Gefälle von 0,64 Promille nach Norden auf. Die geologischen Verhältnisse, die oberflächennahe Lage des Tunnels und das durch die Linienführung erzwungene schiefwinklige Anfahren der Hänge an beiden Portalen brachten bautechnische Probleme, zu deren Lösung teils *unkonventionelle Baumethoden* eingesetzt werden mussten.

## Geologie

Der Bergzug des Born ist die letzte vor dem Mittelland liegende *Aufwölbung des Faltenjura*. Er besteht im Bereich des Tunneltrassees zur Hauptsache aus *Effinger Mergel* (Bild 1). Nur am Südportal befindet sich eine 60 m breite Rippe des Sequan-Kalkes. In den Portalzonen sind *Lockergesteinsmassen* zu durchqueren, die den Tunnel 15–30 m

hoch überlagern. Dieser Gehängeschutt entstand aus Steinschlägen und Rutschungen und besteht überwiegend aus tonigem Silt mit eingelagerten Kalkblöcken aller Grössen. Der *Wasserhaushalt* der Lockergesteinsüberlagerung ist stark niederschlagsabhängig. Ein Grundwasserspiegel konnte nicht festgestellt werden, der Abfluss erfolgt in präferentiellen Wasseradern.

Die Effinger Mergel sind bis auf die oberflächennahen Bereiche trocken und wasserundurchlässig. Wegen des hohen Tonanteiles neigen sie zum *Quellen*.

## Bauprojekt

Die *Linienführung* des Borntunnels wurde aufgrund von *eingehenden Sondierbohrungen*, besonders in den Portalbereichen, bestimmt. Dabei musste versucht werden, die offenen Anschnittstrecken in die heiklen Lockergesteinsmassen *kurz* zu gestalten und möglichst bald eine *genügende Felsüberlagerung* für den Tunnel zu erreichen. Beim Südportal wurde durch eine Verschiebung der ursprünglich festgelegten Achse um

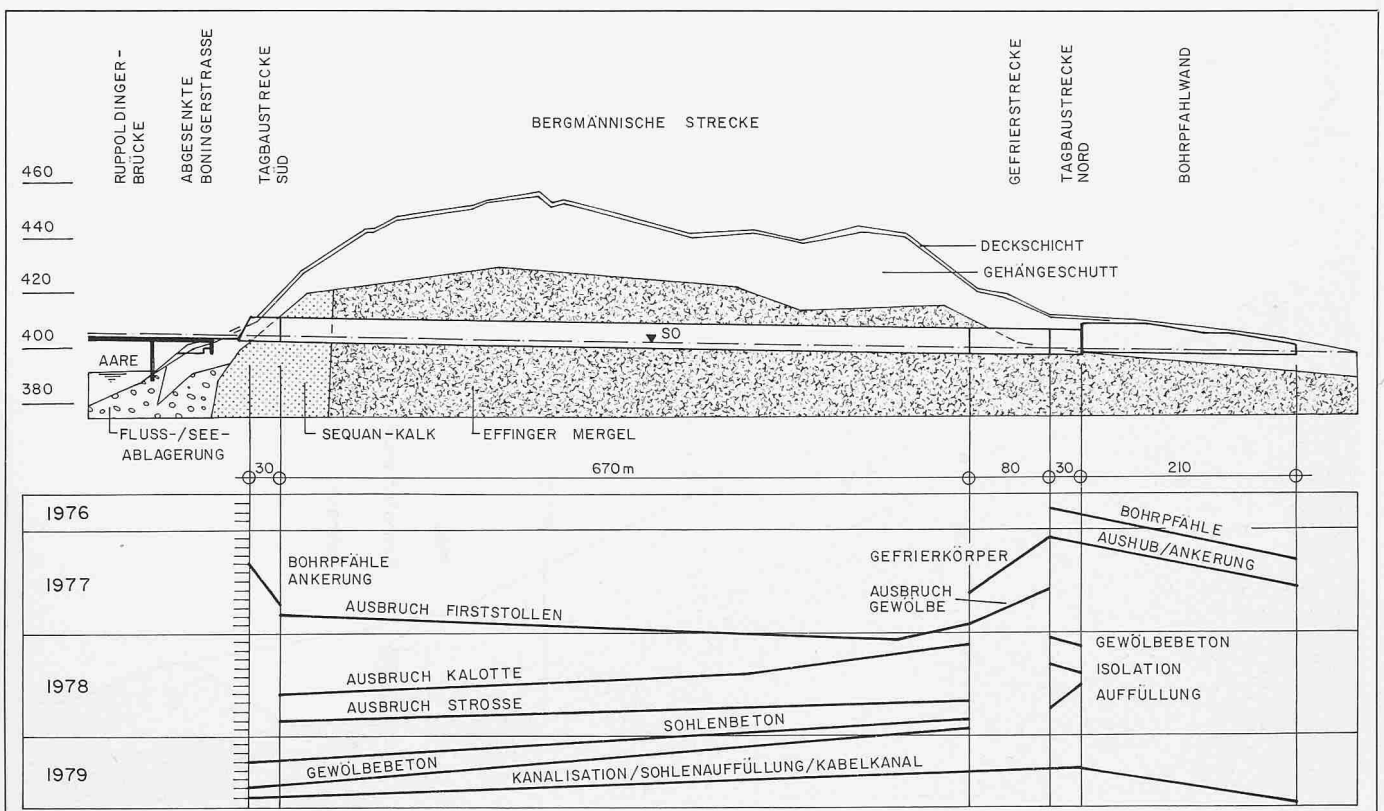
30 m eine wesentliche *Entschärfung der bautechnischen Schwierigkeiten* erreicht. Der Voreinschnitt beim Nordportal konnte wegen des spitzwinkligen Eintrittes des Trassees in den Hang kaum gekürzt werden. Er ist 250 m lang und bis 13,0 m tief.

## Tunnelstrecken

Die 750 m Tunnelstrecke, *im Untertagebau erstellt*, lässt sich in drei Bereiche einteilen:

- Die *verhältnismässig problemlosen 50 m durch den Sequan-Kalk*: Der Fels ist trotz starker Klüftung und Verkarstung standfest, so dass nur leichte Sicherung mit Spritzbeton, Netzen und lokalen Anker genügte.
- *Der Bereich durch die Effinger Mergel von rund 620 m Länge*: Das Tunnelprofil (Bild 2) weist hier durchgehend ein auf Quelldruck dimensioniertes Sohlgewölbe auf. Der Kalottenvortrieb erhielt eine Sicherung mit Spritzbeton und Systemankerung. Für die nördlichsten 200 m dieses Bereiches mit sehr geringer Felsüberlagerung war ein Abtauchen der Felsoberfläche in das Tunnelprofil nicht auszuschliessen. In der Ausschreibung wurden für diesen Fall, welcher dann glücklicherweise nicht eintraf, spezielle Einbaumassnahmen vorgesehen.
- *Die rund 80 m lange Lockergesteinsstrecke beim Nordportal*: Sie wurde mit Hilfe des Gefrierverfahrens [1]

Bild 1. Längenprofil, Bauablauf



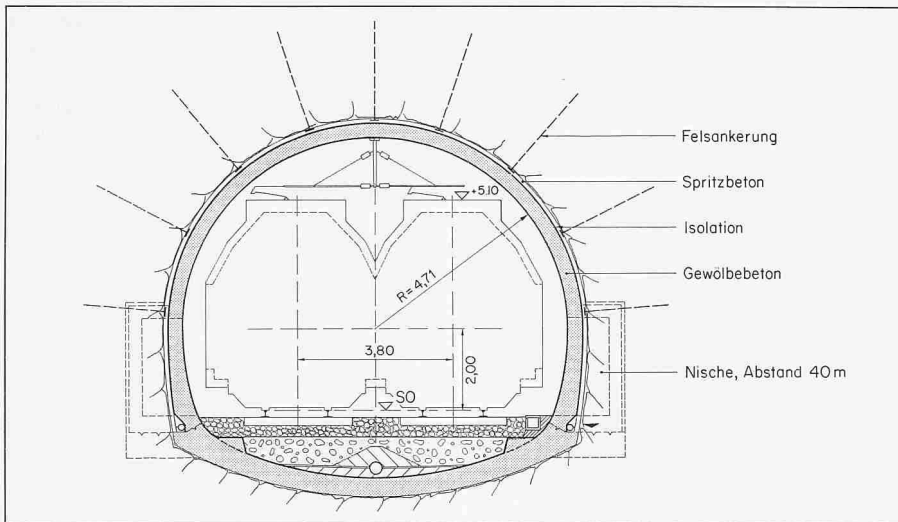


Bild 2. Tunnelprofil im Effinger Mergel

durchquert. Das Tunnelgewölbe ist in diesem Bereich auf Kriechdruck bemessen.

Der Tunnel hat eine *durchgehende Schirmisolation* mit PVC-Folien von 2 mm Stärke. Die Sickerleitungen am Fuss der Isolation enden in Schächten, die in den im Abstand von 40 m beidseitig angeordneten Schutznischen untergebracht sind. Von hier führen Stichleitungen zu den Schächten der Hauptkanalisation in Tunnelachse. Das Entwässerungssystem des Tunnels ist für moderne Unterhaltseinrichtungen ausgelegt. Es besteht aus geraden, grosskalibrigen Leitungen und gut zugänglichen Schächten.

### Freie Strecken (Voreinschnitte)

#### Nordportal

Der ca. 250 m lange *Voreinschnitt beim Nordportal* ist durchgehend mit Bohrpfehlen und Felsankern gesichert. Im *tieftesten Teil* des Voreinschnittes ist eine 30 m lange *Tunnelstrecke im Tagbau* erstellt worden. Hier sind Bohrpfehle  $\varnothing$  90 cm im Abstand von 2 m versetzt und mit provisorischen, direkt durch die Pfehle gebohrten Felsankern zurückverankert. Der Kopfbalken dieser Pfehle wurde so ausgebildet, dass dort die *grundsätzlichen Versuche für verschiedene Ankertypen* durchgeführt werden konnten. Daneben wurden hier

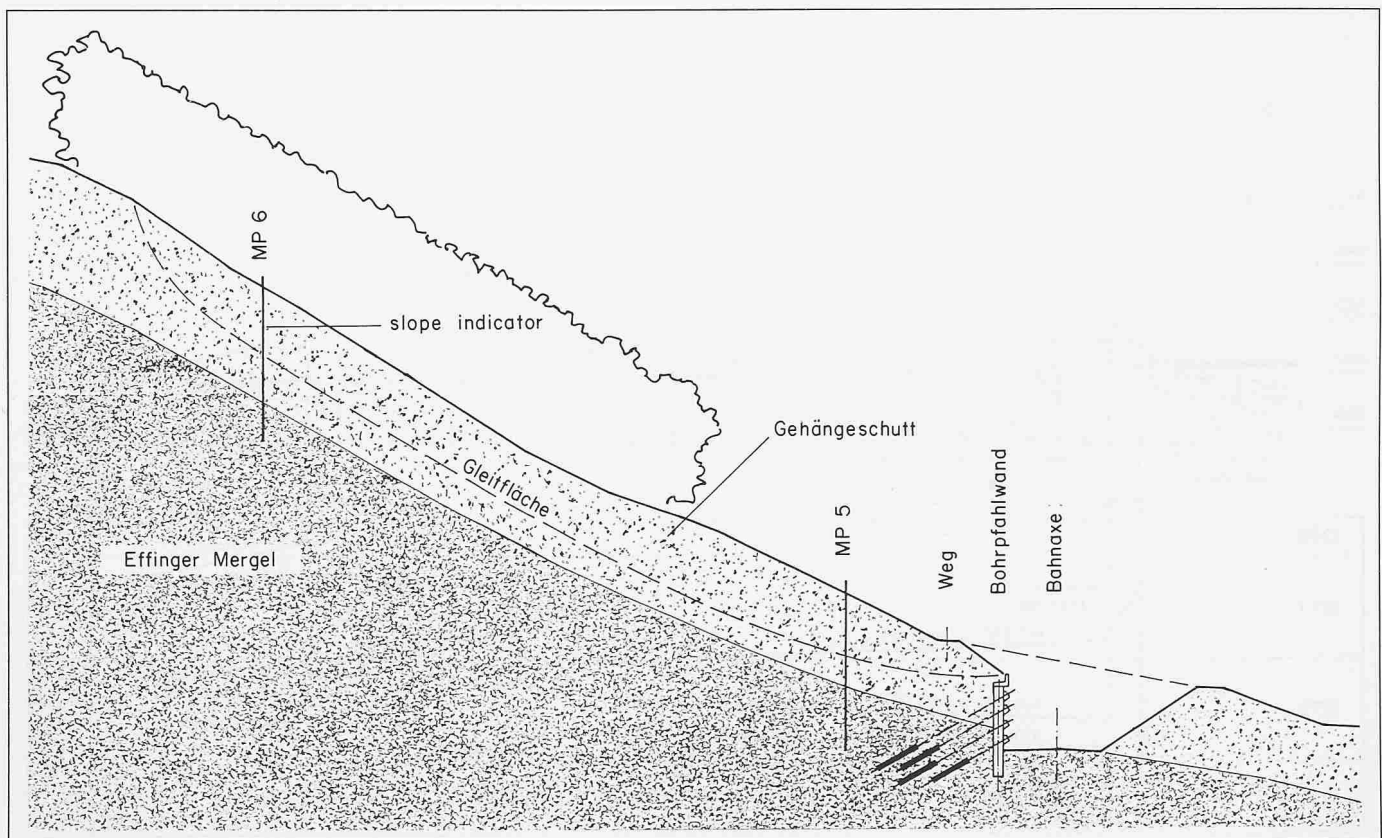
(zwecks Evaluation von Messdosen für die später einzubauenden definitiven Felsanker) verschiedene Fabrikate von Ankermessdosen eingebaut.

Rund 210 m des Voreinschnittes sind mit einer *Bohrpfehlwand* aus Pfehlen  $\varnothing$  120 cm im Abstand von 2,50 m mit Sickerbetonausfachung gesichert (Bild 3). Die Pfehle haben Kopfbalken und Longarinen, welche die Kräfte der definitiven Felsanker aufnehmen. Alle Felsanker im Voreinschnitt Nord sind als Einstabanker (Dividag  $\varnothing$  36 mm) ausgebildet. Bei 2facher Sicherheit auf Bruch ergaben sich Gebrauchslasten von rund 550 kN. Die Anker sind 15–25 m lang mit Verankerungslängen von rund 6 m, die gestaffelt und unterschiedlich tief in den Fels reichen. Grundsatzversuche für diese Ankerkräfte wurden noch vor der Ausschreibung durchgeführt.

Die ursprünglich vorgesehene Wandverkleidung mit vorgestellten Platten entfiel aus Ersparnisgründen. Am oberen Ende des Voreinschnittes wurden auf der Aarseite ein Wall und eine bepflanzte Trogwand aus Fertigteilen (System Evergreen) erstellt als Lärmschutzmassnahme gegenüber Aarburg.

Die vermutete geringe Stabilität der Lockergesteinsschicht (schon vor dem Anschneiden des Hanges) verbunden mit der Frage, ob der Hang zum Kriechen neige, waren die ausschlaggebenden Gründe bei der Wahl der Hangsicherung. Grosse, im Fels «verdübelt» Bohrpfehle bewahren die vorhandene

Bild 3. Schnitt durch den Hang am Nordportal



Hangstabilität beim Anschnitt und bieten gleichzeitig die Möglichkeit, gegebenenfalls auch grosse Ankerkräfte einleiten zu können. Im Portalbereich (Bild 3) hat das Lockergesteinspaket eine mittlere Neigung von  $28^\circ$ , welche in etwa dem im Labor ermittelten Reibungswinkel entspricht. Somit genügt ein kleiner Porenwasserdruck, um die Stabilität des Hanges in Frage zu stellen. Mit den Anker lässt sich die Gesamtstabilität der Lockergesteinschicht praktisch nicht verbessern. Die Gleitflächen weichen über die Wand aus. Daher braucht das System Pfähle/Wand gerade so stark zu sein, dass es den beim evtl. «Überschieben» auftretenden Scherkräften standhält. Obwohl die Ankerkräfte, welche sich nicht eindeutig bestimmen lassen, aufgrund ungünstiger Annahmen recht hoch angesetzt sind, verbleibt doch ein Restrisiko. Dieses wird durch *periodische Beobachtungen und Messungen* auch nach Bauende abgedeckt.

**Südportal**

Der Voreinschnitt beim Südportal (Bild 5) ist ähnlich wie jener des Nordportales gesichert. Die Bohrfahlwand hat am Voreinschnittsende eine Fortsetzung entlang der Boningerstrasse. Im Zusammenhang mit der Absenkung der Strasse wurde auch hier eine Hangsicherung erforderlich. Die Boningerstrasse kreuzt das Bahntrasse im Winkel von  $45^\circ$ , ca. 60 m vor dem Südportal. Für die Sicherung der Wand entlang der Strasse mussten permanente Lockergesteinsanker verwendet werden.



Bild 5. Südportal mit Bohrfahlwand

**Bauausführung**

Die Ausführung des Borntunnels einschliesslich der Arbeiten an der Absenkung der Boningerstrasse sind in rund drei Jahren abgewickelt worden (Bild 1). Aus Platzgründen ist vorwiegend vom Nordportal her gearbeitet worden, wo auch alle Installationen untergebracht waren.

Die Hangsicherungsarbeiten (Pfähle, Aushub, Anker) beim Nordportal wurden so organisiert, dass möglichst bald ab einer Startgrube mit dem *Tunnelbau im Gefrierabschnitt* begonnen werden konnte. Der Zeitraum des Auffahrens der Gefrierstrecke wurde genutzt, um mit Hilfe einer Tunnelbohrmaschine einen *Ventilationsstollen* von Süden her gegen den Gefrierabschnitt vorzutreiben (Bild 4). Dieser Stollen ermöglichte

Bild 4. Tunnelvortrieb. Oben: Ventilationsstollen, unten: Kalotte

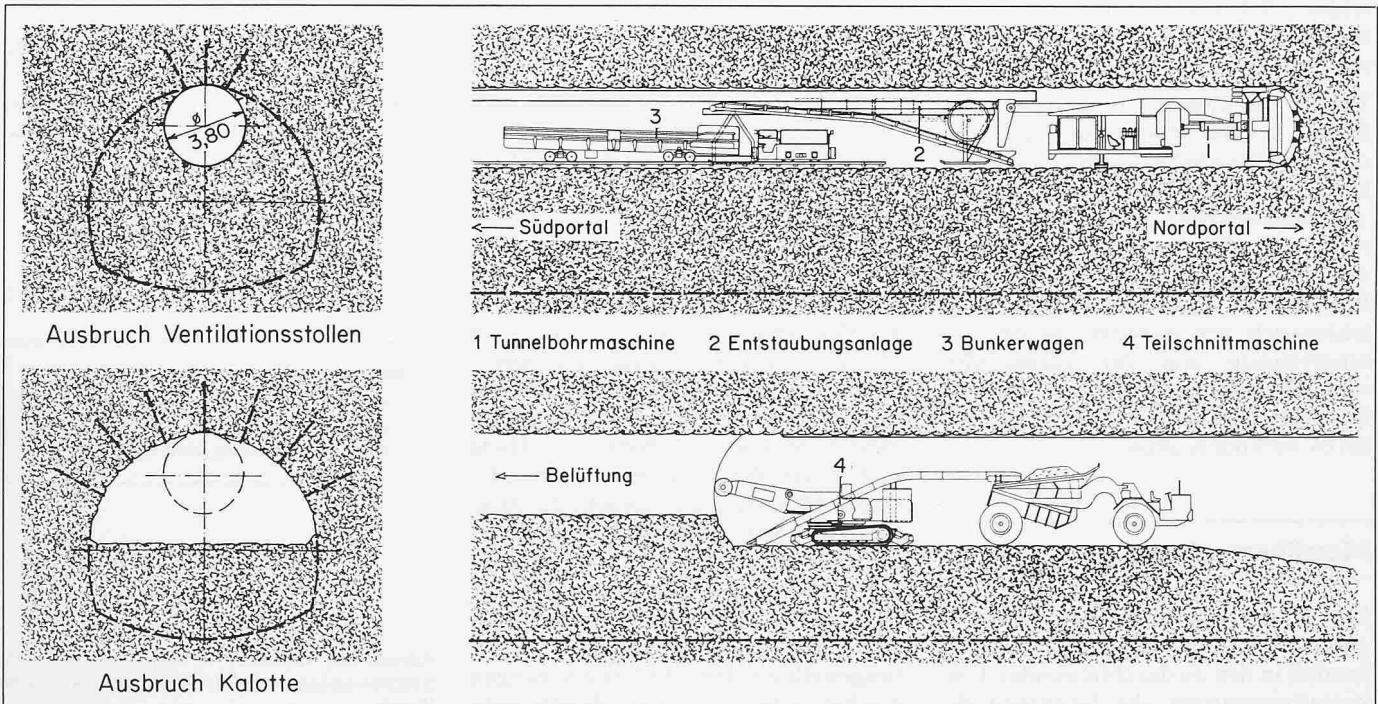




Bild 6. Bewegungsmessungen mit Präzisionsentfernungsmessgerät an Wand und Hang beim Nordportal

eine einwandfreie Entstaubung beim nachfolgenden Kalottenausbruch mit der Teilschnittmaschine. Durch Sondierbohrungen vom Ventilationsstollen aus konnte festgestellt werden, dass die Felsüberdeckung im nördlichen Teil des Tunnels zum Teil bis 1,5 m absank. Der *hervorragende geologische Aufschluss* mit Hilfe dieses Stollens erlaubte die durchgehende Festlegung der Vortriebsart und der Sicherungsmassnahmen. Der Kern-Abbau geschah durch Rippeln, z. T. nach Lockerungsschüssen, mit nachfolgendem *Profilieren der Ulmen* durch die Teilschnittmaschine. *Sohlausbau* und *Sohlgewölbe* wurden gleichzeitig mit der Isolation und dem Gewölbebeton ausgeführt.

Trotz Umstellungen beim Bau, wie z. B. Einsatz des Gefrierfahrens und Verstärkungsmassnahmen im Zusammenhang mit dem Hangkriechen, lag die *Abrechnungssumme unter dem Kostenvoranschlag*. Die Gesamtkosten inklusive Teuerung für den ca. 1100 m langen Bauabschnitt des Borntunnels, einschliesslich der Arbeiten an der Boningerstrasse und der Lärmschutzwand, beliefen sich auf 17,6 Mio Fr. Der Anteil der Arbeiten im Freien liegt bei ca. 40% der Kosten.

## Messüberwachung

Mit einem umfangreichen Messprogramm wurde während der Bauzeit, speziell in den zu durchfahrenden Lockergesteinspartien, die Sicherheit der

entstehenden Bauteile überwacht und das Verhalten des Hanges beobachtet. Zuerst baute man in die Hangpartien oberhalb der Wand in Bohrungen Messrohre (*slope indicator*) zur Erfassung etwaiger Verschiebungen innerhalb der Lockergesteinsüberlagerung ein. Die vermutete *Kriechtendenz des Hanges* beim Nordportal bestätigte sich aufgrund dieser Messungen schon nach dem ersten, besonders niederschlagsreichen Winter, als ausser dem Bohrplanum für die Pfähle und jenem der Gefrierbohrungen kaum Aushubarbeiten ausgeführt worden waren. Von den Bewegungen betroffen waren insbesondere die Hangpartien oberhalb des späteren Gefrierabschnittes und des hohen Wandbereiches. Die mittlere Horizontalbewegung über die Bauzeit lag bei 3 cm im Jahr, wobei diese jeweils im Frühling auftrat. Die *Drainagewirkung der Bohrfahlwand verzögerte* dann später die Bewegungen.

Gleichzeitig mit diesen Messungen wurden *geodätische Messungen* in beiden Portalbereichen durchgeführt. Von Messpfeilern auf der gegenüberliegenden Aareseite aus wurden mit einem elektronischen Präzisionsentfernungsmesser (Mekometer) Punkte im Hang und in der Wand vermessen (Bild 6). Dieses Messverfahren erlaubt die Messung einer grossen Anzahl von Punkten innerhalb eines Einsatzes sowie eine rasche Auswertung. Mit dieser Messung konnten deutliche Bewegungen der Köpfe der noch eingegrabenen Pfähle festgestellt werden. Die Verankerungen machten einen Teil dieser Bewegungen

wieder rückgängig. Neben den Bewegungen wurden die *Kräfte in den Verankerungen* gemessen. Eingeteilt in verschiedene Messabschnitte, wurden 10% der Ankerköpfe mit Druckmessdosen ausgerüstet.

Im Tunnel wurden insbesondere in der Gefrierstrecke und im Bereich geringer Felsüberlagerung Messungen ausgeführt. Sie bestanden aus *Nivellements an der Oberfläche und in der Firstlinie* des Tunnelausbruches, *Erddruckmessungen* auf das Gewölbe und *Konvergenzmessungen*.

Dank der Messungen konnten verschiedene *Entscheidungen* noch in abgestufter Form *während der Bauzeit* getroffen werden, wie z. B. Verstärkungen der Ankerkräfte im Portalbereich, Drainagebohrungen usw. *Wandbewegungen* wurden am Bauende beim Nordportal *nicht mehr festgestellt*. Die Ankerkräfte stiegen nur in Portalnähe über die ursprünglich aufgebrachte Vorspannkraft bis auf 650 kN an und haben sich dort in den letzten zwei Jahren stabilisiert. Auch die *Hangbewegungen sind abgeklungen*. Trotzdem ist nicht auszuschliessen, dass in besonders niederschlagsreichen Frühjahren weitere Hangbewegungen auftreten. Es wird darum unerlässlich, einen Teil der Messungen auch nach Inbetriebnahme der Linie weiterzuführen. Neben den rein visuellen Beobachtungen sollen halbjährlich bis jährlich folgende Messungen durchgeführt werden:

- Ankerkraftmessungen
- geodätische Messungen von Wandpunkten und einer reduzierten Anzahl von befestigten Punkten im Hang oberhalb der Wand mit dem elektronischen Entfernungsmessgerät

Ein Teil der Bauwerkmessungen wird «eingefroren», d. h. das Messsystem (z. B. Konvergenzmessungen, Piezometer etc.) bleibt bestehen und kann bei Bedarf wieder aktiviert werden.

### Literaturhinweis

- [1] Könz, P., Garbe L., Aerni K.: «Anwendung des Gefrierfahrens im Tunnelbau». Schweiz. Bauzeitung, Heft 8, 1978

Adresse des Verfassers: L. Garbe, Bauing. SIA, Elektrowatt-Ingenieurunternehmung AG, 8000 Zürich.