Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 21: S-Bahn Zürich

Artikel: Hirschengrabentunnel: Überwindung baulicher Schwierigkeiten
Autor: Garbe, Lothar
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77439

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: 26.07.2025

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

tung verschiedener Bauarbeiten wurden mehrere Querabschottungen aus Spundwandprofilen gerammt. Das geförderte Grundwasser wurde via Transportleitung in die Versickerungsbrunnen im Eilgutareal oder über eine Entlastungsleitung direkt in den nächsten Vorfluter (Sihl oder Limmat) abgegeben. Im Zustand der grössten Grundwasserspiegelabsenkung, bei vollständig ausgehobenem Perrongeschoss, betrug die geförderte Grundwassermenge 15 m^3/min. Für die Überwachung wurde ein grossräumiges Überwachungsnetz mit sechs automatisch registrierenden Schreibpegeln und 25 Piezometern eingerichtet.

Der Bau des Tunnels unter der Limmat erfolgte bergmännisch nach dem Gefrierverfahren. Aus zwei Schächten, einer in der Limmat am Ufer Neumühlequai, der andere im Bahnhofquai, wurden horizontale Gefrierrohre in den Boden vorgetrieben, welche den Aufbau eines tragfähigen Gefrierkörpers ermöglichten. Im Schutze dieses Gefrierkörpers wurde dann der Tunnel bergmännisch vom Schacht Limmat her ausgebrochen und mit armiertem Spritzbeton gesichert. Anschliessend konnte die Abdichtung verlegt und das Tunnelgewölbe betoniert werden [6].

In der fünften Bauphase ab Herbst 1987 erfolgte die Wiederherstellung der Strassen und der Bau der restlichen Ausgangsbauwerke. Am Sihlquai wurde die Gelegenheit benutzt, bauliche Vorkehrungen für den später vorgesehenen Bau der Sihlexpressstrasse zu treffen. Da der Ausgang Sihlquai durch das Gebäude Zollstrasse 2 führt, mussten Ost- und Südfassade dieses Hauses unterfangen werden (Bild 17). Die Wiederherstellung der Museumstrasse umfasst auch den Rohbau der beiden Ausgänge Platzspitz und Landesmuseum. Die Stassenbauarbeiten sind in fünf Bauetappen unterteilt. Beginnend auf der Seite Hauptbahnhof wurden sukzessive die Fahrbahnen und das Tramtrassee gebaut und in Betrieb genommen. Die beiden Aufgänge sind in offenen Baugruben erstellt worden, wobei wegen des Verkehrs jeweils zwei Bauetappen notwendig waren. Unter den Tramtrassees mussten Hilfsbrükken eingebaut werden.

Adresse der Verfasser: Dr. *Alfred J. Hagmann;* dipl. Ing. ETH, SIA/ASIC, *Nutal Bischoff,* dipl. Ing. ETH, *Sandro Perucchi,* dipl. Ing. ETH, SIA, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich.

Literatur

[1] Geologisches Büro Dr. Heinrich Jäckli AG, Geologische Untersuchungen Teilprojekte Einführung Vorbahnhof und Museumstrasse, 20. April 1983

[2] *Hagmann A. J., Rüedlinger P.:* Bahnhof Museumstrasse: Projektierung und Ausführung der Grossbohrpfähle und Vollstahlstützen. Studientagung SIA-Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau vom 27. September 1985, SIA-Dokumentation Nr. 94

[3] *A. Steiger, A. J. Hagmann:* Permanentanker: Korrosionsschutz und Dauerhaftigkeit; Gefährdung, Schwachstellen, Erfahrungen, Massnahmen Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 33-34/1987

[4] *N. Bischoff, B. Trommer:* Bahnhof Museumstrasse: Bauvorgang, Wasserhaltung Studientagung FGU, SIA-Fachgruppe für Untertagebau vom 29. Mai 1986, SIA-Dokumentation D004

[5] *Perucchi S.:* Bahnhof Museumstrasse der Zürcher S-Bahn, Los 2.03 Hauptbahnhof. Vorgespannter Beton in der Schweiz 1982-1986, Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie Wildegg

[6] *R. Egli:* Limmatunterquerung, bisherige Erfahrungen mit dem Gefrierverfahren, Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 22/1986

Hirschengrabentunnel

Überwindung baulicher Schwierigkeiten

In der geologisch heiklen Lockergesteinstrecke des Hirschengrabentunnels traten beim Schildvortrieb Probleme mit Niederbrüchen auf, die zu einer zehnmonatigen Unterbrechung des Vortriebes zwangen. Die Gefährdung des festgelegten Termines für die Inbetriebnahme der S-Bahn zwang zu weitgehenden organisatorischen Umstellungen und zur Ausführung einer Reihe von Zusatzmassnahmen.

VON LOTHAR GARBE, ZÜRICH

Für die 400 m lange Lockergesteinstrekke des Hirschengrabentunnels wurde ein Schildvortrieb (Durchmesser 11,65 m) mit Einbau einer Aussenschale aus fünfteiligen Stahlbetontübbingen gewählt. Dieser Teil des Tunnels ist voll isoliert und hat eine umlaufende Innenschale aus unarmiertem Beton (Bild 1).

Der geologische Aufbau dieses Abschnittes entstand in der letzten Eiszeit, der Würmeiszeit. Die Lockergesteinablagerungen wurden in den verschiedenen Vorstoss- und Rückzugbewegungen der Gletscher überwiegend vorbelastet, gleichzeitig aber in ihrer Lage verändert und ineinanderverschoben. Die eiszeitlichen Formationen sind überdeckt durch Bachablagerungen des Wolfbaches und Auffüllungen, z.B. der Schanzengräben, mit Mächtigkeiten bis zu 8 Metern.

Das Grundwasser steht zwischen 6 m über Tunnelsohle bis 15 m über Tunnelscheitel an. Die Durchlässigkeiten schwanken zwischen $1 \cdot 10^{-7}$ m/sec bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/sec. Die Grundmoräne ist praktisch undurchlässig.

Die Absenkung des Grundwassers unter Tunnelniveau war die wichtigste Voraussetzungen für den Schildvortrieb. Bei den stark wechselnden und geschichteten Böden war allerdings eine vollständige Entwässerung, auch bei kleinen Brunnenabständen, nicht überall zu gewährleisten. Die bis zu 45 m tiefen Brunnen wurden, wo immer möglich, mit Vakuum beaufschlagt. Die Brunnen sind im Abstand von 2-5 m vom Tunnel beidseitig angeordnet. Als Längsabstand wurden rund 15 m zugrunde gelegt. Die starke Überbauung und die zahlreichen Werkleitungen und Verkehrsflächen gestatteten nicht immer die Einhaltung dieses Abstandes.

Als weitere Bauhilfsmassnahmen für den Schildvortrieb waren aus dem Schild heraus Injektionen im Scheitelbereich sowie zusätzliche Entwässerungsbohrungen vorgesehen. Diese Massnahmen waren gedacht für einen 40-60 m langen Bereich, wo über dem Tunnelscheitel verschwemmtes, nicht vorbelastetes Material erwartet wurde.

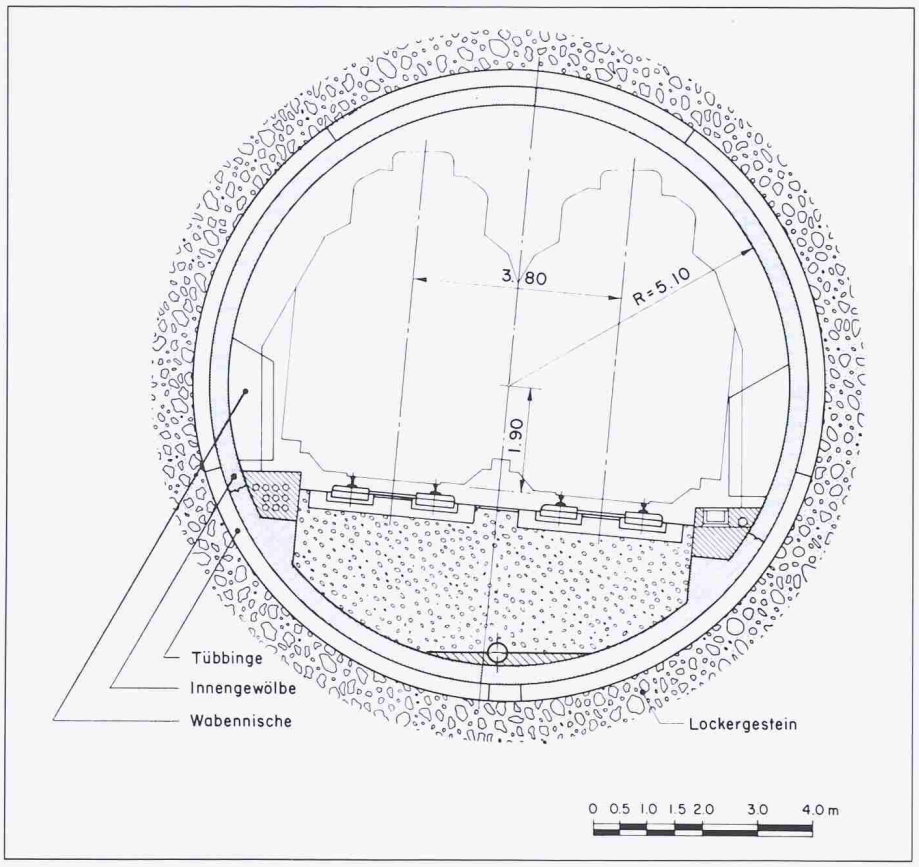


Bild 1. Normalprofil Schildstrecke

Vortriebsschwierigkeiten

Noch bevor der Vortrieb die erwartete Zone mit den nicht vorbelasteten verschwemmten Materialien erreichte, kam es nach rund 80 m Schildfahrt ohne Einfluss von Wasser zum ersten grösseren Niederbruch aus dem oberen Brustbereich. Der Einbruch von rund 40 m Material befand sich unter dem Trottoir des Hirschengrabens, einer wichtigen Verkehrsader mit Tramverkehr und zahlreichen Werkleitungen, so auch die den Tunnel 8 m über dem First kreuzende alte Eindolung des Wolfbaches. Der Einbruch konnte mit Kunstharzschaum, Verzugsblechen und Spritzbeton gesichert werden.

Nach Aufräumen des Schildes wurden im Scheitelbereich verteilt 24 Lanzen von 8 m Länge versetzt und Silikatinjektionen ausgeführt. Drei Vorschubphasen von rund 6 m Länge konnten auf diese Weise ausgeführt werden, bis sich die Verhältnisse an der Brust und im Scheitelbereich in der Nähe der noch wasserführenden, verschwemmten Moräne drastisch verschlechterten. Es kam zu einem zweiten grösseren Niederbruch. Dank der Injektionen im oberen Bereich blieb ein Durchbruch an die Oberfläche aus, und es gelang, den Hohlraum mit Spritzbeton zu sichern.

Die beim zweiten Einbruch angetroffenen Bodenverhältnisse waren wesentlich schlechter, als vorher angenommen werden konnte, und stellten sich wie folgt dar (vgl. Bild 2):

- praktisch der gesamte Brustbereich bestand aus eiszeitlich vorbelasteten siltig sandigen Schichten geringer Durchlässigkeit und Kohäsion, die sich schon bei kleinem Wasserzufluss in Schlamm verwandelten
- darüber, etwa auf Scheitelhöhe, stand grobkörnige, verschwemmte Moräne hoher Durchlässigkeit an
- das in der unregelmässigen Basis dieser Schichten vorkommende Wasser war durch die Filterbrunnen nur ungenügend gefasst und floss in konstant bleibender Menge in den Tunnel.

Ein weiterer Vortrieb mit Verfestigungs- und Entwässerungsmassnahmen vom Schild aus musste im Hinblick auf das grosse Risiko ausgeschlossen werden. Der Vortrieb wurde vorläufig ein-

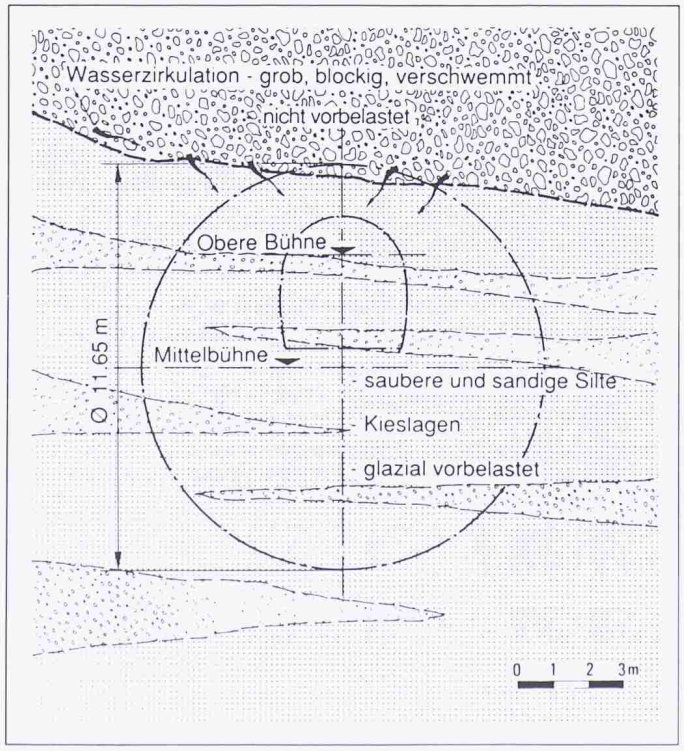


Bild 2. Bodenverhältnisse beim Schildhalt

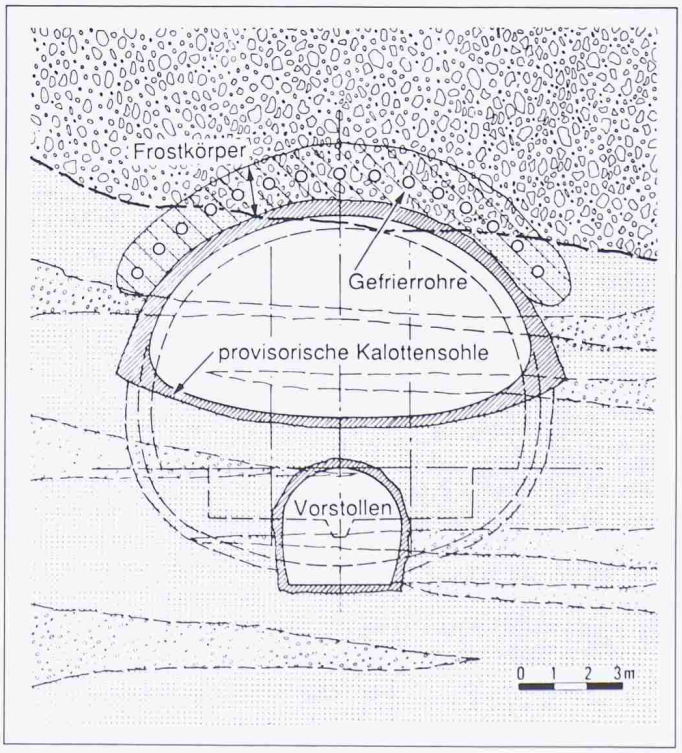
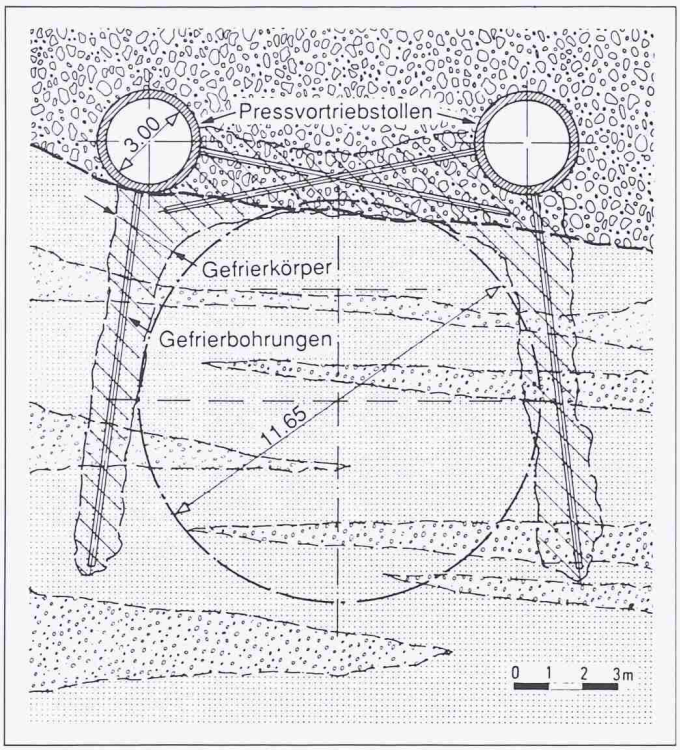


Bild 3. Profil im Bereich des Gegenvortriebes



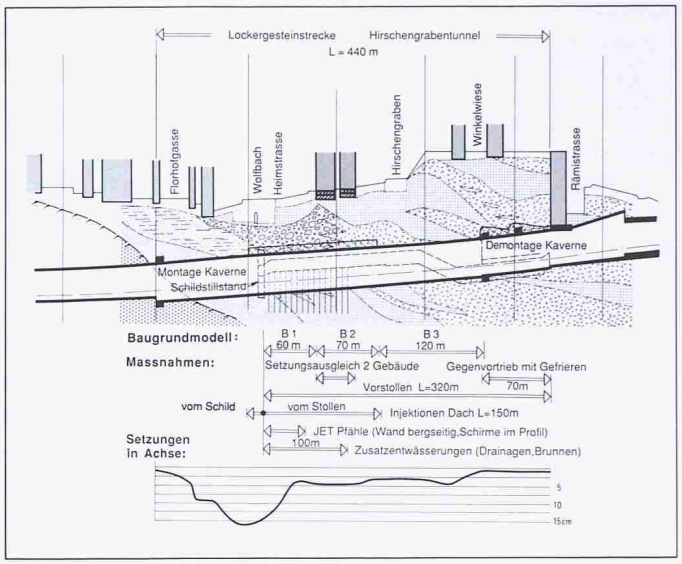


Bild 5. Übersicht der Massnahmen in der Lockergesteinstrekke, Setzungen entlang der Tunnelachse

Bild 4. Untersuchte Variante zur Fortsetzung des Schildvortriebes

gestellt. Es hatte sich gezeigt, dass wegen der beengten Verhältnisse im Schild die Massnahmen nicht mit ausreichender Wirksamkeit und Reichweite für das grosse, offene Vortriebssystem ausgeführt werden konnten.

Zur Sicherstellung des weiteren Vortriebes sowie zur Einhaltung des Fertigstellungtermines der S-Bahn mussten kurzfristig Massnahmen studiert, beschlossen und eingeleitet werden, die mit wesentlichen organisatorischen und technischen Umstellungen im Hirschengrabentunnel und in den Nachbarlosen verbunden waren.

Massnahmen

Gegenvortrieb Rämistrasse

Eine erste Entscheidung im Interesse der Sicherstellung des Endtermines bestand darin, 70 m Tunnel im Gegenvortrieb mit Hilfe des Gefrierverfahrens von der Rämistrasse aus herzustellen (Bild 3). Der Endbereich bei der Rämistrasse, wo der Schild nach dem Vortrieb ausgebaut werden muss, lag im Programm besonders kritisch. Hier musste nach Fertigstellung des Rohbaus für die Dämpfung von Erschütterungen des Bahnbetriebes ein schweres Masse-Federsystem eingebaut werden, bestehend aus einem Stahlbetontrog für den Schotter, das auf auswechselbaren Federelementen aufgelegt wird.

Günstig für diesen Entscheid des Gegenvortriebes war, dass eine Gefrieranlage nach dem gerade abgeschlossenen Vortrieb unter der Rämistrasse zur Verfügung stand und dass die Unterfangung der Häuser Rämistrasse, wo der Gegenvortrieb angesetzt werden musste, fertiggestellt war.

Festlegung der Massnahmen für den Schildvortrieb

Die technischen Möglichkeiten für den weiteren Vortrieb wurden in erster Linie in bezug auf die Sicherheit beurteilt. Die Sicherheitsfrage hatte mehrere Aspekte. Neben der Sicherheit beim Vortrieb war vor allem auch die Sicherheit der zu unterfahrenden Gebäude und Strassen zu berücksichtigen.

Es wurden ganz verschiedene Massnahmen mit und ohne Weiterverwendung des Schildes diskutiert. Für einen Entscheid bearbeitet wurden zwei Grundideen, die beide die Weiterverwendung des Schildes und der inzwischen fertig produzierten Tübbinge beinhalteten:

- durchgehender «Vorstollen» zur Bodenbehandlung und zur Entwässerung vorgängig der Schildfahrt
- «Vereisungsgewölbe» mit nach unten offener U-Form, hergestellt aus zwei Stollen, die von einem Schacht ausserhalb des Tunnelprofiles vorgetrieben werden (Bild 4).

Vom Einsatz der Vereisung über eine Länge von 150 m wurde dann abgesehen. Zwar hätte diese Methode für die Strassen und Gebäude eine hohe Sicherheit gebracht, auch wegen der zu erwartenden kleinen Setzungen, doch waren die Mehrkosten enorm. Die Einrichtung einer zusätzlichen Baustelle warf zudem rechtliche und terminliche Probleme auf.

Die gewählte Lösung mit Massnahmen zur Bodenverfestigung und für die Entwässerung aus einem durchgehenden Stollen wurde als ausreichend sicher erachtet. Die Injektionen mit Lanzen hatten gezeigt, dass sich ein «Dach» mit ausreichender Festigkeit injizieren lässt. Ein Stollen bot die wichtige Möglichkeit der gründlichen Vorerkundung und der Überprüfung des Erfolges der Massnahmen.

Eine Übersicht über die ausgeführten Massnahmen mit ihrer Ausdehnung sowie der Setzungsverlauf in Tunnelachse sind im Bild 5 dargestellt. Art und Umfang der Massnahmen wurden entsprechend dem Grundkonzept im Detail aufgrund der geologischen Aufschlüsse des Vorstollens sowie der Kontrollergebnisse über die Wirksamkeit der Massnahmen festgelegt.

Vorstollen

Der Vorstollen von 3,5 m Breite und 3,5 m Höhe wurde auf 140 m Länge vom Schild aus und auf 180 m von der Seite Rämistrasse her vorgetrieben. Auf der Schildseite war der Vortrieb wegen des laufenden Nachbruches von verschlammtem Feinmaterial und wegen des Wassers äusserst mühsam und konnte nur durch Einsatz von Stahlverzugsblechen über die gesamte Ausbruchlaibung und zum Teil an der Ortsbrust bewältigt werden. Der Stollen wurde auf der Schildseite in der für die Massnahmen vorteilhaften Lage rund 1.20 m unter dem Scheitel des Schildes angeordnet.

Im Bereich des Gegenvortriebes wurde der Stollen auf Sohlhöhe angelegt. Dadurch wurde ein gleichzeitiger Vortrieb des Stollens und der Kalotte des Gegen-

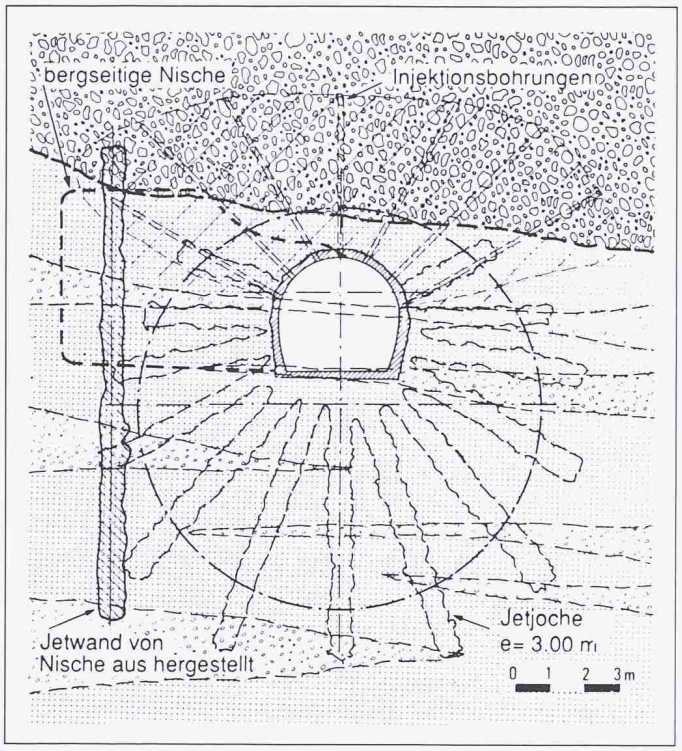


Bild 6. Bodenverfestigungsmassnahmen vom Vorstollen aus

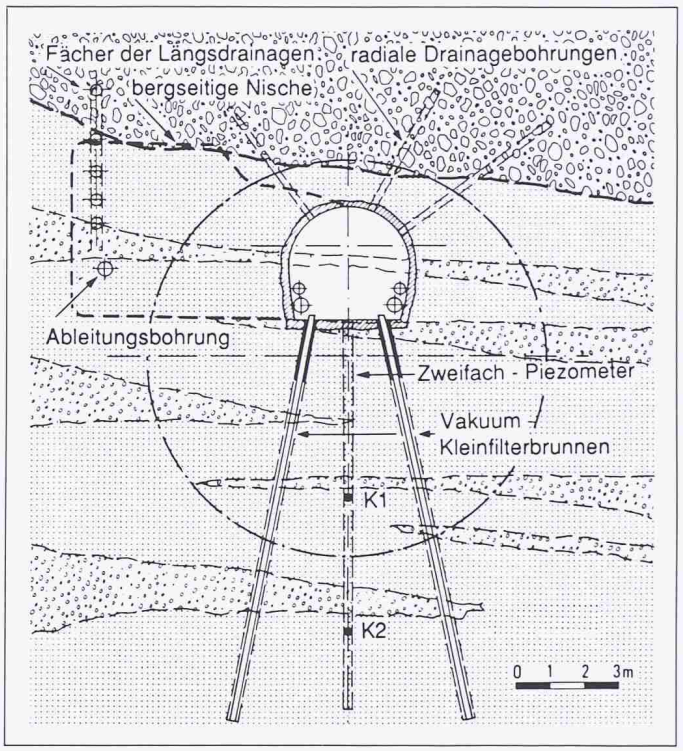


Bild 7. Entwässerungsmassnahmen vom Vorstollen aus

vortriebes im Schutze des Gefrierkörpers ermöglicht (Bild 3).

Durch die zusätzliche Bodenerkundung mit dem Vorstollen konnte die Strecke zur Quantifizierung der Massnahmen in Teilbereiche mit unterschiedlichen «Baugrundmodellen» unterteilt werden (Bild 5).

Baugrundmodell B 1 (L rund 60 m): Dieser schwierigste Abschnitt nach dem Schild hatte die beim Stillstand angetroffenen Eigenschaften und verlangte den grössten Aufwand an Bodenverfestigungsmitteln und Entwässerungsmassnahmen.

Baugrundmodell B 2 (L rund 70 m): Der Bodenaufbau war ähnlich jenem des Modells B 1. Wegen des wesentlich geringeren Wasserzuflusses konnte der Umfang der Massnahmen im Tunnel stark verringert werden. Hingegen wurden spezielle Sicherungsmassnahmen für eine Gruppe alter Gebäude beschlossen.

Baugrundmodell B 3 (L rund 120 m): Die Wechsellagen aus Moräne und eiszeitlichen Seeablagerungen wiesen eine gewisse Standzeit auf, wie der Gegenvortrieb in diesem Abschnitt bestätigte. Wegen der Durchlässigkeit war auch die Grundwasserabsenkung befriedigend. Für diesen Abschnitt wurde übereinstimmend auf Massnahmen aus dem Stollen heraus verzichtet.

Da noch Zweifel am Erreichen des Absenkzieles für die Grundwasserabsenkung in den Bereichen B 1 und B 2 bestanden, wurden im Stollen noch eine Reihe Piezometer versetzt. Dabei stellte sich dann heraus, dass noch Wasser mit einem Druckniveau z.T. über der Stollensohle vorhanden war. Die Speisung dieses Wassers konnte geologisch nicht geklärt werden.

Bodenverfestigungsmassnahmen

Zur Anwendung kamen Injektionen zur Bodenverfestigung im Scheitelbereich sowie das Jet grouting zur gezielten Stützung empfindlicher, feinkörniger Bereiche (Bild 6).

Die Injektionsbohrungen sind in Ebenen von 1,50 m Längsabstand angeordnet worden. Am Schildumfang betrug ihr radialer Abstand ebenfalls 1,50 m. Die im Mittel 6 m langen Kunststoffrohre mit Manschettenabständen von 0,50 m enden 3–4 m über dem Schildumfang im Boden. Auf 50 m der insgesamt 130 m mit Injektionen im Firstbereich behandelten Strecke sind nach den Zementinjektionen noch Injektionen mit Silikat ausgeführt worden.

Noch vor den Injektionen waren wegen der schwierigen Entsorgung des Rückflusses auf 30 m Tunnellänge, d.h. im besonders heiklen Abschnitt Joche aus Jetsäulen im 3 m Abstand ausgeführt worden. Die strahlenförmig angeordneten Säulen sollten einerseits eine Vergitterung in den kohäsionslosen Boden bringen und andererseits als Auflager für den Vorstollen wirken und so das Absacken des Stollens mit den erdenklichen Folgen vermeiden. Nach Fertigstellung der Injektionen und der Jetpfahljoche wurden seitlich aus dem Vorstollen heraus Kontrollnischen ausgebrochen. Auf der Talseite war das Ergebnis zweier kleiner Kontrollstollen zufriedenstellend.

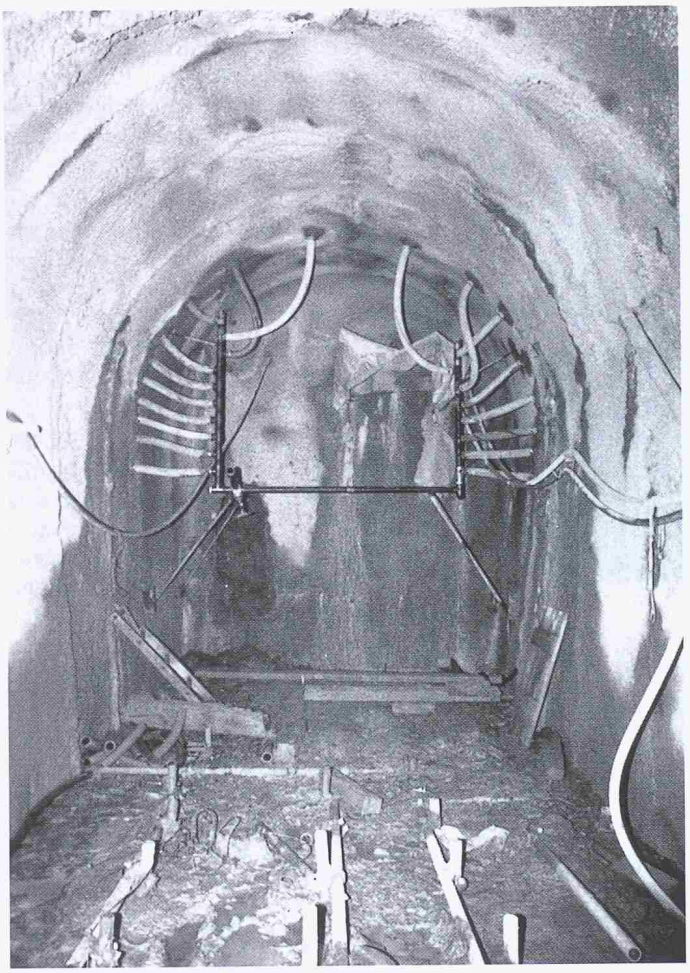
Der Ausbruch einer Kontrollnische auf der Bergseite, von wo das Wasser vor allem zufloss, brachte jedoch ein schlechtes Resultat. Zwar waren die verschwemmten kiesigen Schichten im Scheitelbereich gut injiziert und bildeten das erwünschte Dach, doch darunter floss der feine Boden schlammförmig ein und es bildeten sich weit reichende Hohlräume zwischen Schlammböschung und injiziertem Dach. Die Silikatinjektionen hatten das feine Material nicht verfestigt. Die Entwässerung mit Radialdrainagen war unwirksam und brachte keine Verbesserung der Standfestigkeit. Diese Verhältnisse führten dazu, eine weitere Anwendung des Jet groutings zu konzipieren.

Ausserhalb des Tunnelprofiles wurden mit engliegenden radialen Bohrungen aus zwei Nischen Abschirmwände von insgesamt 45 m Länge aus Jetpfählen aufgebaut. Sie sollten die Ausbildung grösserer seitlicher Hohlräume beim späteren Schildvortrieb verhindern. Beim Jetten zeigte es sich, dass zuvor entstandene Hohlräume bzw. verschlammte Zonen beim Jetten mit der eingespritzten Zementmischung verfüllt werden konnten.

Entwässerungsmassnahmen

Auf einer Länge von rund 100 m wurden vom Vorstollen aus Entwässerungsmassnahmen ausgeführt, bestehend aus Drainagebohrungen im oberen Bereich des Profiles und Vakuum-Kleinfilterbrunnen unterhalb des Vorstollens (Bild 7).

Grosse Wirksamkeit zeigten die ausserhalb der Jetwände ausgeführten Längs-



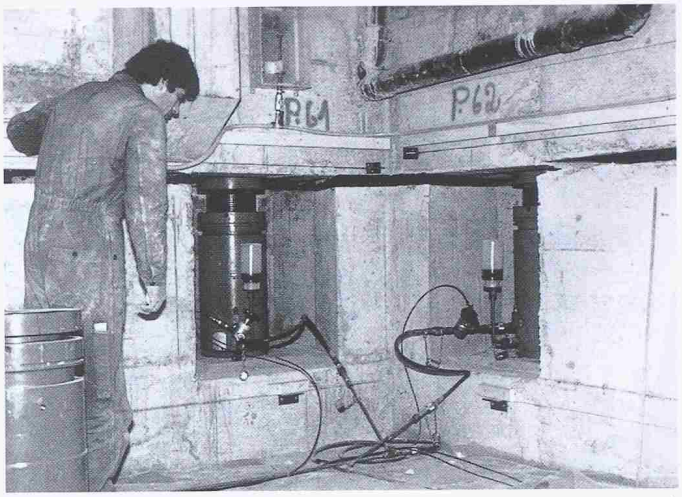


Bild 9. Setzungsausgleich mit hydraulischen Pressen in zwei alten Gebäuden

Bild 8. Zusammengeschlossene Ableitungen der Längsdrainagen am Nischenende

drainagen. Die in engem Abstand aus den Nischen heraus gebohrten Drainagen konnten das Schichtwasser fast vollständig fassen, nachdem die Jetwand für einen wirksamen Rückstau gesorgt hatte. Die Wassermenge schwankte zwischen 30–90 l/min. Durch verrohrte Zielbohrungen zwischen den Nischen und hinter den Schild wurde für eine saubere, durch den Schildvortrieb nicht beeinflussbare Ableitung gesorgt (Bild 8).

Die Kleinfilterbrunnen wurden im Abstand von 4–6 m entlang der Stollenwände schräg nach aussen gebohrt angeordnet. Sie liegen zueinander versetzt. Im System konnte ein Vakuum zwischen 0,5 und 0,7 bar erreicht werden. Die Brunnenpumpen wurden erst jeweils kurz vor dem Schild ausgebaut. Die 10–15 Brunnen, die jeweils gleichzeitig im Betrieb standen schöpften Wassermengen um 30 l/min.

Massnahmen an Gebäuden

Aufgrund der weiterhin erwarteten hohen Setzungen bis 15 cm und der relativ schmalen Setzungsmulde, mussten für zwei alte Gebäude, die zum Teil über dem Tunnel liegen, Sicherheitsmassnahmen ergriffen werden. Sie bestanden aus

- Massnahmen zum Setzungsausgleich im Bereich der erwarteten Setzungsmulde
- Fassadensicherung (Zusammenbinden)
- Schutzgerüste gegen herabfallende Teile.

In die dem Tunnel zugekehrten Längswände, in den Querwänden und bei einigen Stützen sind nach Ersatz des Mauerwerks im Keller durch Beton mit durchgehender Längsfuge hydraulische Pressen eingebaut worden (Bild 9). Aufgrund eines umfangreichen Überwachungs und Messprogrammes konnte der Hub jeder Presse einzeln der Entwicklung der Setzungen angepasst werden. Nach Abklingen der Setzungen wurde der Spalt ausgemörtelt und die Pressen ausgebaut.

Erfahrungen nach Wiederaufnahme des Vortriebes

Nach 10monatigem Stillstand konnte der Vortrieb wieder aufgenommen werden. Der zur Hälfte im Schlamm stehende Schild wurde gereinigt und alle Anlageteile durchkontrolliert. Aufgrund der vielen Injektionen in Schildnähe konnte nicht ganz ausgeschlossen werden, dass er einzementiert worden war. Ein kleiner Probevorstoss zeigte aber, dass dieses Problem nicht bestand.

Der Vortrieb wurde ohne Unterbrechung an Wochenenden im sogenannten Durchlaufbetrieb ausgeführt. Dieser besteht darin, dass drei Vortriebsequipen, die sich entsprechend ablösen, in einem kontinuierlichen Zweischichtbetrieb eingesetzt werden. Vor allem sollten mit dieser Massnahme die für die Ortsbruststabilität und die Setzungen schädlichen Wochenendunterbrüche vermieden werden. Daneben ergab sich ein Gewinn für das Bauprogramm. Nach Entfernen der Brustsicherung und mit zunehmendem Vertrauen in den eingetretenen Erfolg wurden Vortriebsleistungen bis zu 7 m erreicht, das Mittel betrug fast 5 m.

Wie gross der Anteil der einzelnen Massnahmen am Wiedergewinn der Stabilität war, lässt sich nicht sagen. In der schwierigsten Strecke mit dem kohäsionslosen Boden und dem zweifachen Wasserproblem hätte eine Massnahme allein sicher nicht ausgereicht. Hier mussten Verfestigungsmittel, Entwässerungsmassnahmen und kontinuierlicher Vortrieb zusammenwirken. Der Abschluss des Vortriebes wurde dann aber allen Beteiligten verdorben.

Bei Ankunft an der Demontagekaverne, die im Zuge des Gegenvortriebes erstellt worden war, sozusagen auf den letzten Vortriebsmeter, ereignete sich

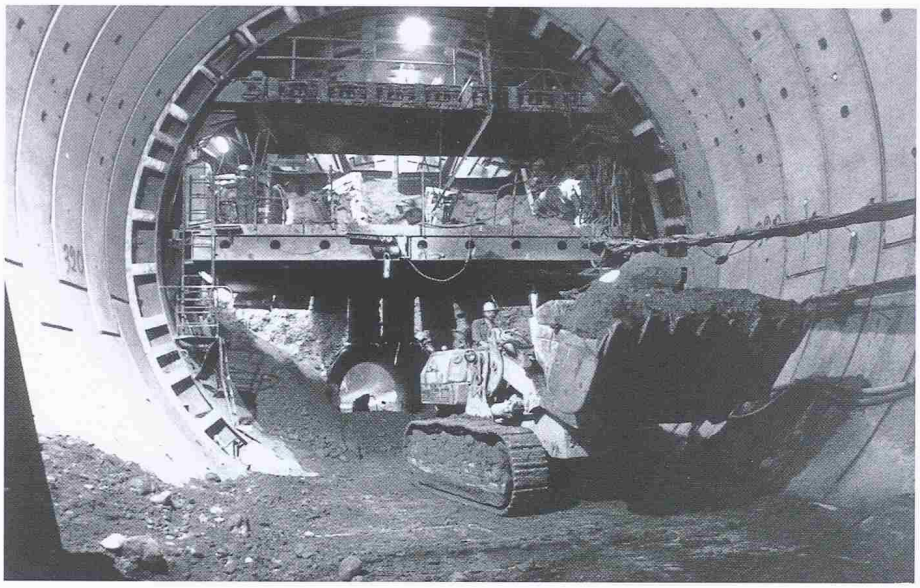


Bild 10. Schildvortrieb in Endphase (Vorstollen unten)

ein Tagbruch, der glücklicherweise keine gravierenden Folgen für Menschen und Gut hatte. Durch den zwischen Kaverne und Schildschneide verbleibenden rund einen Meter breiten Schlitz rieselte trockener Boden in den Schild und in die Ausbaukaverne.

Offensichtlich waren in der 26 m hohen Überlagerung keine standfesteren Bereiche, denn nach Auffüllen des Schildes und des Tunnels bis zum First mit rund 800 m3 Material entstand nach kurzer Zeit ein Loch gleichen Volumens mit rund 10 m Durchmesser an der Oberfläche. Die Sicherungsmassnahmen an der Oberfläche und das Verfüllen des Loches wurden noch am selben Tag abgeschlossen. Nach Ausführung von Kunstharzinjektionen im nachgestürzten Material im unteren Teil des Einbruchtrichters von der Materialböschung aus und Verlängerung des Spritzbetongewölbes der Kaverne bis über die Schildschneide, konnte dann der Vortrieb nach kurzer Zeit beendet werden.

Auszug aus dem Vortrag, gehalten am ETH-Symposium vom 7./8. April 1988

Schlussfolgerungen

Nach der mühseligen Stabilisierung des Bodens vom Vorstollen aus, waren wohl verschiedene Stärken des Schildes wieder erkennbar, z.B. grosse Vortriebsleistung, mechanisierte Arbeitsabläufe und grosse Arbeitssicherheit, doch zeigten sich gesamthaft die engen Grenzen, die einem Schildvortrieb dieser Art durch die Bodeneigenschaften gesetzt sind. Wenn neben geringer Kohäsion des Bodens noch Restwassermengen auftreten, sind die Möglichkeiten, die Stabilität der Ortsbrust zu gewährleisten, bei den offenen Schilden bald erschöpft.

Es entstehen kostspielige Stillstände, die engen Platzverhältnisse (Bild 10) verhindern den optimalen Einsatz von Bohrgeräten und die Bodeneigenschaften verschlechtern sich bei jedem Schildhalt.

Wesentliche Verbesserungen zur Begrenzung der relativ grossen Setzungen in nachbrüchigen Böden sind bei dieser Vortriebsart kaum möglich. Am günstigsten scheint sich noch ein Durchlaufbetrieb auszuwirken, wobei mögliche Stillstände für Massnahmen dann aber sehr teuer ausfallen.

Die für die Weiterführung des Schildvortriebes beim Hirschengrabentunnel beschlossenen Massnahmen haben sich gesamthaft bewährt. Gegenüber dem zeitraubenden und teuren Gefrieren war die Erfolgssicherheit aber geringer. Um das erwartete Resultat sicherzustellen, war in allen Phasen und bei jeder Massnahme ein grosses Engagement der Beteiligten erforderlich.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Jet groutings müssen im Zusammenhang mit den Massnahmen als besonders gut herausgestellt werden, obwohl die Entsorgung in Tunnelverhältnissen recht schwierig war.

Mit den zahlreichen Massnahmen beim Hirschengrabentunnel wie Gegenvortrieb, Durchlaufbetrieb und Ausführung der Stabilisierungsmassnahmen und Ausnutzung aller Beschleunigungsmöglichkeiten nach dem Durchschlag war es möglich, den Rohbau zum ursprünglich festgelegten Termin fertigzustellen.

Adresse des Verfassers: *Lothar Garbe*, Bauingenieur SIA, Vizedirektor, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Postfach, 8034 Zürich.

Bahnhof Stadelhofen: Werdegang eines Projektes

VON PETER ZUBER, BERN

Fertig projektierte Bauwerke muten meist so einleuchtend und logisch an, wie wenn sie in einem Guss entstanden wären. Nur die direkt Beteiligten wissen von den Irr- und Umwegen, die letztlich zur ausführungsreifen Lösung geführt haben. Auch der Weg zum Bahnhof Stadelhofen, eine der Schlüsselstellen der Zürcher S-Bahn, verlief nicht ganz gradlinig: Er enthielt einige Zusatzschleifen, die, was nicht unbedingt üblich ist, in aller Öffentlichkeit absolviert wurden. Nur eineinhalb Jahre nach der erfolgreichen Volksabstimmung über die S-Bahn sammelten Schüler der Kantonsschule Stadelhofen über 6000 Unterschriften für eine radikale Projektänderung, ein erboster Stadtzürcher Heimatschutz stellte sich schützend vor Gärten und Mauern, und sogar auf gouvernementaler Ebene schieden sich vorübergehend die Meinungen, so dass man um die termingerechte Inbetriebnahme der ganzen S-Bahn bangen musste. Wenn zum guten Ende der glückliche Wurf einer Architektengemeinschaft die Geister wieder annähernd versöhnt und allgemeine Zustimmungen gefunden hat, so mag es doch nicht schaden, sich den bewegten Werdegang des Projektes in Erinnerung zu rufen und daraus Lehren zu ziehen.