

Spritzbauweise im Lockergestein: Anwendung am Beispiel des Tunnels Aathal der Zürcher S-Bahn

Autor(en): **Andraskay, Ede / Stauber, Arnold / Vollenweider, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 44

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-86038>

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.

ASIC-Artikelreihe: Unterirdische Bauwerke

Spritzbetonbauweise im Lockergestein

Anwendung am Beispiel des Tunnels Aathal der Zürcher S-Bahn

In Abweichung vom offiziellen Vorhaben für den S-Bahn-Doppelspurausbau im Aathal wurde zu einem späten Zeitpunkt eine Tunnelvariante ins Projekt aufgenommen. Innerhalb von vier Jahren wurden die notwendigen Schritte vom Variantenstudium über zwei Volksabstimmungen zur Realisierung gemeistert. Im nichtbindigen Lockergestein konnte die Spritzbetonbauweise mit Erfolg angewendet werden.

Projektübersicht

Ausgangslage

Mit dem Ziel, das Zürcher Oberland durch den öffentlichen Verkehr optimal zu erschliessen, wurde dem Zürcher

VON EDE ANDRASKAY,
ARNOLD STAUBER UND
HANS VOLLENWEIDER,
ZÜRICH

Stimmvolk am 7. Dezember 1986 ein Kredit für eine erste Teilergänzung der S-Bahn-Neubaustrecke vorgelegt. Unter anderem beinhaltete diese Vorlage die Doppelspurinsel Aathal-Wetzikon. Das Aathal ist besonders im Bereich der ehemaligen Bahnstation sehr eng. Bereits bei der Doppelspurfestlegung der SBB-Linie Zürich-Uster-Rapperswil für den kantonalen Verkehrsplan im Juli 1978 war eine Tunnelvariante im Gespräch. Mit dem Projekt der Doppelspurinsel Aathal-Wetzikon musste das Problem der engen Platzverhältnisse gelöst werden. Der Niveauübergang der Gstaldenstrasse, die als einzige Strasse die drei Gemeindeteile Sack, Aathal und Seegräben miteinander direkt verbindet, wäre mit der Dichte, in der die S-Bahnzüge heute verkehren, sehr oft und lange geschlossen gewesen. Die Tunnelvariante zeigte sich demnach als Lösung, sowohl für die Aufhebung des Niveauübergangs als auch zur Entlastung des Talbodens.

Mit der Genehmigung des Kredits für die erste Teilergänzung am 18. August 1986 überwies der Kantonsrat gleichzeitig eine Motion, die den Regierungsrat beauftragte, eine Kreditvorlage für eine Tunnelvariante auszuarbeiten. Bereits am 30. März 1987 stimmte der Kantonsrat diesem Begehren mit grossem Mehr zu. Zuvor, am 3. März 1987, hatte die Gemeindeversammlung einen Kreditanteil von Fr. 2,14 Mio. gutge-

heissen. Durch ein Behördenreferendum wurde eine Volksabstimmung notwendig, welche am 6. September 1987 endgültig grünes Licht für den Bau eines Tunnels gab.

Die Mehrkosten, die durch den Bau des Tunnels entstanden sind, mussten durch Kanton, Bund und Gemeinde getragen werden. Der Kanton trat auch als Bauherr für das Tunnel auf. Betreiber sind selbstverständlich die Bundesbahnen. Das Ganze ist ein Gemeinschaftswerk! Und nur als solches lässt sich ein Tunnelbauvorhaben in so kurzer Zeit realisieren, wie es beim Tunnel Aathal geschah: Von der ersten Kontaktnahme des Projektverfassers mit der Tunnelvariante im Mai 1986 bis zur Übergabe des fertigen Rohbaues an die Fachdienste der SBB im September 1989 blieb eine Zeit von $3\frac{1}{4}$ Jahren für Projektierungsarbeiten, Kantonsratsverhandlungen, zwei Volksabstimmungen, Genehmigungsverfahren, Ausschreibung und Bau.

Linienführung

Kantonsstrasse, Spinnereiareal der Spinnerei Streiff AG, Aabach und Bahngleise teilten sich die enge Talsohle beim ehemaligen Bahnhof Aathal. Das neue Doppelspurtrasse ist nun soweit nach Südwesten verschoben, dass die steil ansteigende Gstaldenstrasse unterquert werden kann. Hinter dem Restaurant Schwanen und dem Baumwollager des Spinnereibetriebes verschwindet die Bahn im Tunnel (Bild 1). Der Voreinschnitt liegt in einem stillgelegten Kiesgrubenareal, das noch in den 30er Jahren genutzt wurde. Der topographisch bedingte tiefe Voreinschnitt des Tunnels hat die Spinnerei bewogen, eine Überbauung des Trassees zu prüfen. Innerhalb der Termine konnte so noch mehr als die Hälfte der Gleisstrecke im Voreinschnitt mit einer Erweiterung des Baumwollagers überdeckt werden. Das Doppelspurtrasse unterquert die steile Talflanke in einer S-förmigen Bogenfolge in einem rund 250 m langen Tunnel. Die Gleise steigen Richtung Wetzikon mit 1% an. Die grösste Überdeckung beträgt 27 m (Bild 2). Um das schräg abfallende Gelände beim Ostportal abfangen zu können, musste eine 10 m lange Tagbaustrecke erstellt werden.

Beim ehemaligen Bahnhof konnten mit der Eröffnung des neuen Trassees am 20. Mai 1990 der Niveauübergang der Gstaldenstrasse und die Stationsgleise aufgehoben und entfernt werden. Das Industriegleis vor dem Baumwollager bleibt. Es kann weiter für den Güterverkehr genutzt werden.

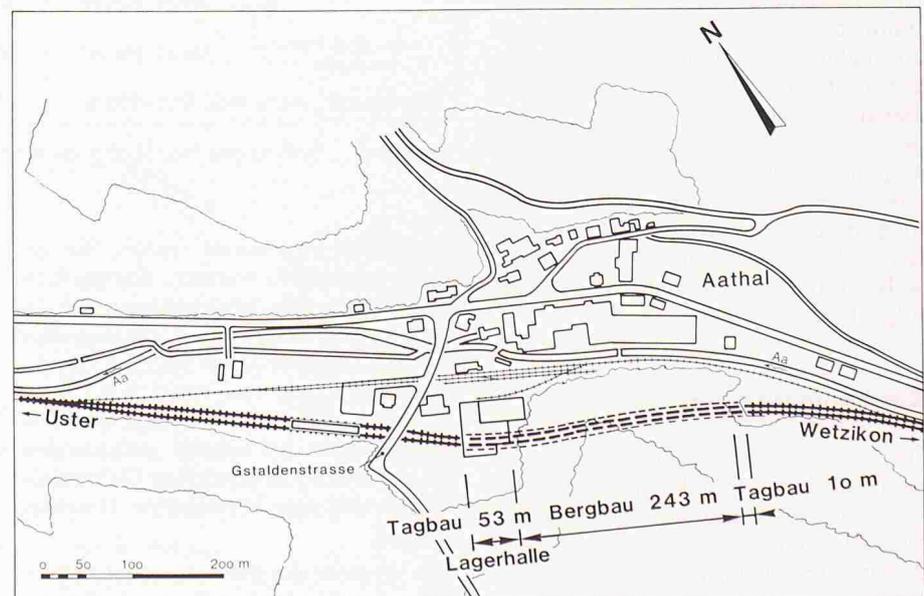


Bild 1. Projektübersicht SBB-Tunnel Aathal

Geologie und Hydrologie

Geologie

Das Aathal stellt eine postglaziale Erosionsrinne innerhalb eiszeitlicher Schotterfluren und Moränenablagerungen dar. Die meisten Schotter sind in der Würmzeit abgelagert worden. Die drei abgeteufte Bohrungen zeigten, dass der Tunnel in seiner ganzen Länge in den Aathalschotter zu liegen kommt (Bild 2). Die Aathalschotter sind generell als Kiessand zu bezeichnen. Der Siltanteil liegt um 10%. Der Sandanteil variiert sehr stark, je nach Schichten bis zu 60%.

Bei den Sondierungen stellte sich vor allem die Frage, wie gut die Gefügesteifigkeit und damit die Standfestigkeit beim Ausbruch des Schotters sei. Vergeblich wurde in den Bohrkisten nach verkitteten Kernen gesucht. Dagegen konnten in der Kiesgrube beim Portal Uster verkittete Schichten bis zu einigen Dezimetern Mächtigkeit festgestellt werden. Baggerschlitze im Bereich der Bohrungen zeigten ebenfalls verkittete Schichten. Offenbar war die Gefügesteifigkeit unter der Wirkung der Bohrungen verloren gegangen. Die Dilatometermessungen zeigten Verformungsmoduli von 80–150 N/mm². Das sind Werte, die bei dieser Art Schotter erwartet werden können. Durch Absenkversuche wurde eine Bodendurchlässigkeit von 10⁻³ bis 10⁻⁴ m/s ermittelt.

Aufgrund dieser Untersuchungen konnten folgende Folgerungen gezogen werden:

- Die Gefügesteifigkeit geht durch die mechanische Beanspruchung mehr oder weniger verloren.
- Rollige Partien sind nicht auszu-schliessen.
- Die Standfestigkeit der Ortsbrust sollte mehrheitlich genügen. Ebenso dürfte das anstehende Bodenmaterial beim Ausbruch auf eine Länge von 1 m für kurze Zeit standfest sein.

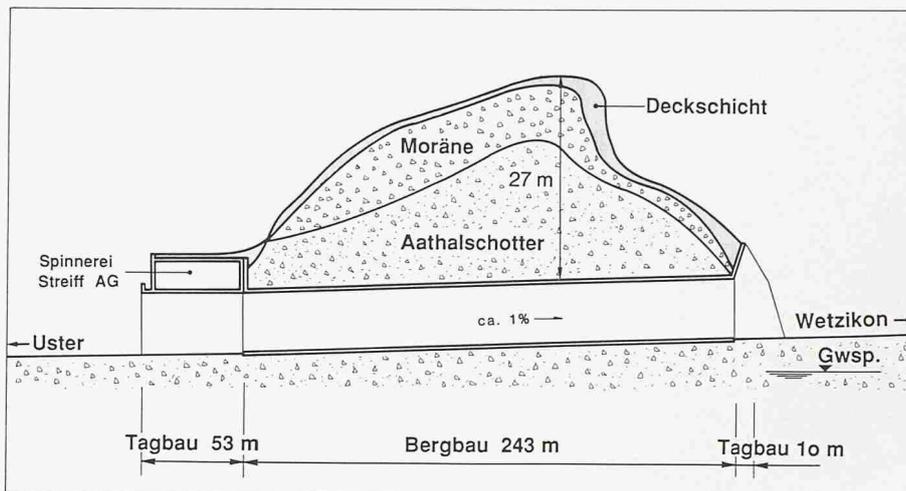


Bild 2. Geologisches Längensprofil

– Mit Überprofil und Nachbrüchen im Firstbereich ist zu rechnen.

Hydrologie

Die Aathalschotter sind generell grossräumige Grundwasserträger. Der Tunnel liegt praktisch oberhalb des Schwankungsbereiches des Grundwassers. Im Bereich des Portals Wetzikon tangiert das Trasse die Schutzzone einer Grundwasserfassung. Hier mussten spezielle Massnahmen – auf die im Rahmen dieses Artikels nicht eingegangen werden kann – für den Bau und Betrieb des Tunnels getroffen werden.

Normalprofile

Der Form des Tunnelgewölbes liegt das Lichtraumprofil II der SBB zugrunde (Bild 3). Die geometrisch und statisch optimale Form hat einen Aussendurchmesser von 11,50 m in der Breite und 10,20 m in der Höhe. Wegen der Unterhaltsarbeiten haben die beiden Gleise im Quergefälle in einer Ebene zu liegen und sind in einen Schotteroberbau mit Monoblockschwelen eingebettet. Gemäss den vorgängigen Untersuchungen musste nicht mit Grundwasserandrang ge-

rechnet werden. Diese Prognose bestätigte sich während des Baus. Eine Sohlabdichtung wurde somit nicht notwendig. Eine Entwässerungsringle in der Tunnelmitte führt das Spritzwasser und allfällig eindringendes Sickerwasser ab.

Für die Unterhaltsequippen sind in der Tunnelmitte beidseitig vier mal vier Meter grosse Materialnischen bergmännisch erstellt worden. Die heute zur Standardausrüstung gehörenden Wabennischen sind als vorfabrizierte Betonelemente versetzt worden.

Problemstellung bei der Projektierung

Bauherr und Projektverfasser beschäftigten vor allem zwei Problemkreise:

- **Die Kosten:** Die Kreditvorlage für den Kantonsrat, die Gemeinde und schliesslich für die Volksabstimmung sollte einen hohen Genauigkeitsgrad aufweisen, damit kein Nachtragskredit notwendig würde. Es musste aber auch darauf geachtet werden, dass man die Vorlage nicht durch zu hohe Kosten gefährdete.

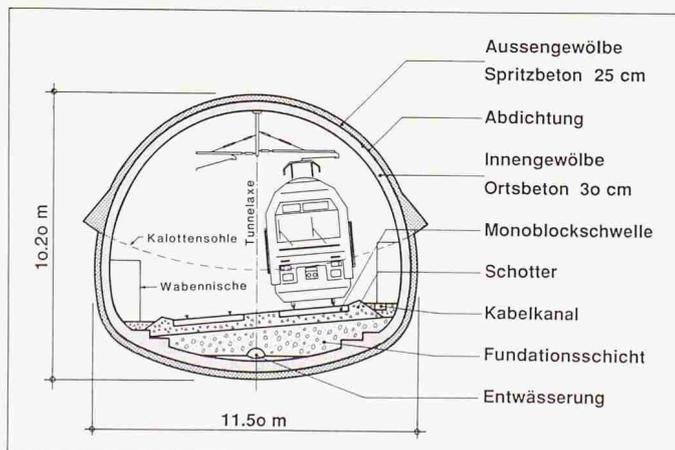


Bild 3. Tunnelnormalprofil

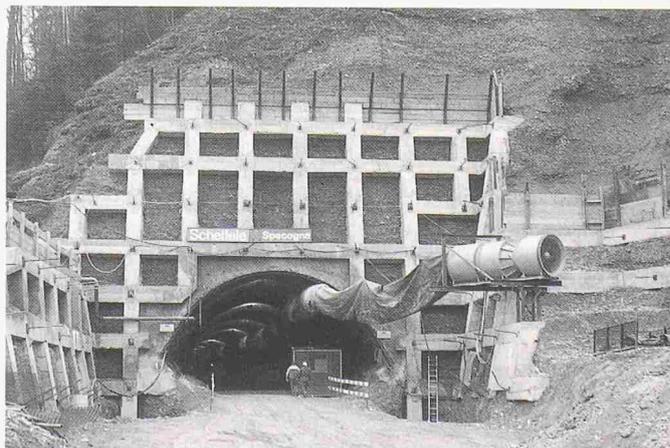


Bild 4. Portal Uster, Kalottenvortrieb

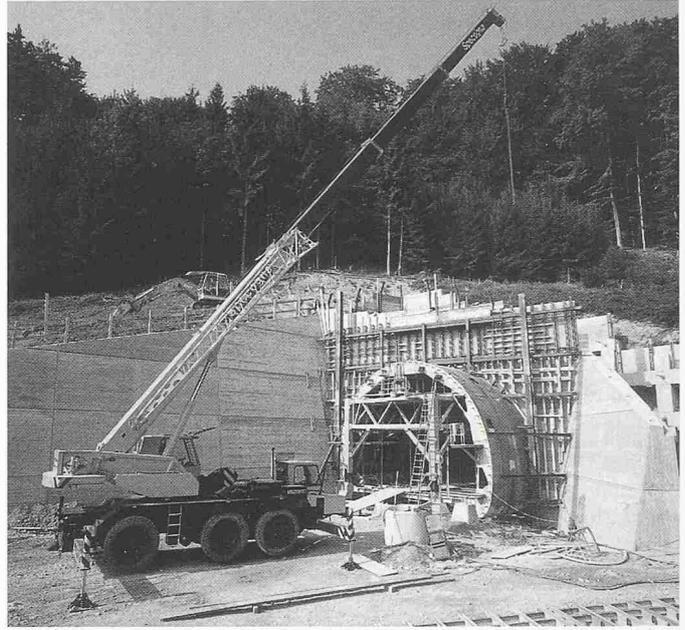
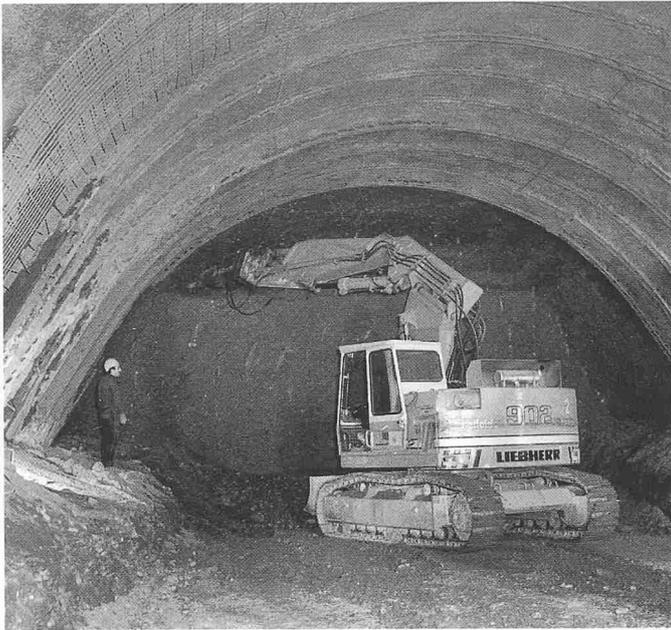


Bild 7. Portal Wetzikon, Schalung Portalscheibe

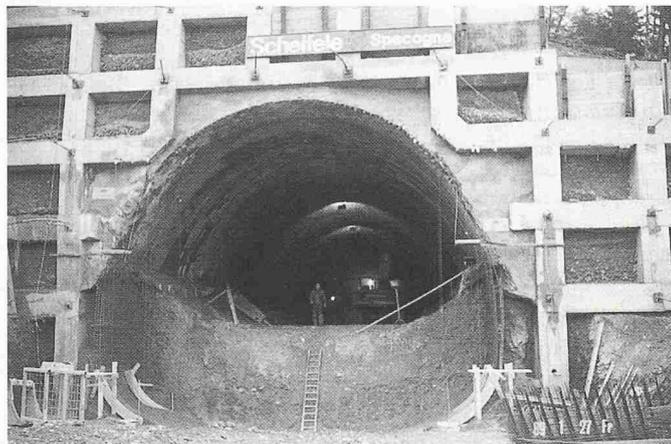


Bild 5. Kalottenausbruch

Bild 6. Portal Wetzikon, Beginn Strossenabbau/Sohlensaubub

□ *Die Bauweise und der Bauvorgang:* Welche Bauweise und welcher Bauvorgang sollte gewählt werden, damit das Bauvorhaben bis zur Eröffnung der Zürcher S-Bahn fertiggestellt sein wird?

Beide Punkte waren weitgehend von der Gefügefestigkeit oder dem Verkitungsgrad des Schotters abhängig: Ist die Gefügefestigkeit gering, müssen sowohl finanziell als auch zeitlich aufwendige Bauhilfemassnahmen angewendet werden. Die Voruntersuchungen konnten einmal mehr die für einen Lockergesteintunnel so wichtige Frage nach dem Verkitungsgrad und dessen Verteilung über den gesamten Ausbruch nicht beantworten. Parameterstudien zeigten je nach Annahmen grosse Unterschiede in Kosten und Bauzeit. Hier halfen nur noch: Erfahrungen in ähnlichen Gesteinen, Intuition und ein gewisser Mut des Projektverfassers.

Folgendes Konzept wurde der Ausschreibung zugrunde gelegt:

- Anwendung der Spritzbetonbauweise; Vollausbuch mit gestaffelter Ortsbrust und raschem Ringschluss.
- Als Bauhilfemassnahmen sind Injek-

tionen (Zement, Kunstharz, PU-Schaum) zur Stabilisierung der Ortsbrust und des Firstbereiches anzuwenden. Auf das viel aufwendigere Jetting wird aufgrund des Verkitungsgrades bewusst verzichtet.

- Falls die geringe Gefügefestigkeit Bauhilfemassnahmen erfordert, ist ein beidseitiger Vortrieb aus terminlichen Überlegungen zwingend, dies trotz der Kürze des Tunnels.
- Für den Fall, dass der Tunnel bis zur Eröffnung der S-Bahn doch nicht fertiggestellt werden kann, müssen bauliche und betriebliche Überlegungen für Provisorien angestellt werden.

Die eingegangenen Offerten der Baunternehmungen enthielten keine grundlegenden anderen Vorschläge. Der Unternehmer, der den Zuschlag erhielt, schlug anstelle der gestaffelten Ortsbrust einen Kalottenvortrieb vor, falls nötig mit einem Kalottensohlengewölbe.

Ausführung / Bauvorgang

Im Sommer 1988 begannen die Arbeiten in den beiden Voreinschnitten an den

Tunnelportalen. Nach Beendigung des Aushubs und der Baugrubensicherung mit verankerten Betonriegeln bis auf die Höhe der Kalottensohle (Bild 4) wurde der eigentliche Tunnelvortrieb in Angriff genommen.

Kalottenvortrieb

Der Start der Vortriebsarbeiten erfolgte auf Seite Uster am 19. September 1988 und auf Seite Wetzikon knapp sechs Wochen später, am 7. November 1988. Vor dem Tunnelanstich sind beidseitig Zementinjektionen (je 8 Bohrungen mit Bohrlängen von 5 m) ausgeführt worden. Die gute Gefügefestigkeit erlaubte anfänglich 1 m, später stellenweise sogar 3 m Ausbruchlänge. Für den Ausbruch der verkiteten Aathalschotter wurde ein Hydraulikbagger mit Abbauhammer verwendet (Bild 5). Für die Einhaltung der Vortriebsrichtung sorgten fünf Lasergeräte, welche zurückversetzt am bereits erstellten Kalottengewölbe befestigt waren. Nach der Schutterung des Ausbruchmaterials mit einem Pneu-lader begannen die Sicherungsarbeiten. Für das Aussengewölbe wurden Spritzbeton (Trockenspritzverfahren) und zwei La-

gen Netzarmierung verwendet. Der Einbau von Gitterträgern im Abstand von 1 m erleichterte die Befestigung der Netze und die Profilierung. Unmittelbar dem Ausbruch folgend, wurde der Spritzbeton auf rund $\frac{2}{3}$ der vollen Stärke ($d = 25$ cm) eingebracht und nach jedem zweiten Abschlag die innere Netzarmierung auf 6 m verlegt und die letzte Spritzbetonschicht aufgetragen. Aufgrund der angetroffenen Baugrundverhältnisse konnte auf den Einbau eines provisorischen Kalottensohlgewölbes verzichtet werden; die Abstützung des Aussengewölbes erfolgte mit einer Fussverbreiterung im Widerlagerbereich. Der Bewehrungsgehalt im Kalottengewölbe beträgt 65 kg/m^3 Beton (ohne Berücksichtigung der Gitterträger).

Am 25. Januar 1989, nur vier Monate nach Vortriebsbeginn, konnte der Kalottendurchschlag gefeiert werden. Von Seite Uster wurden 201 m und von Seite Wetzikon 42 m Kalottenausbruch ausgeführt. Über die ganze Vortriebsdauer gerechnet, wurden Leistungen von 2,3 m/AT bzw. 1,2 m/AT erzielt. Dabei wurde auf Seite Uster hauptsächlich und auf Seite Wetzikon zeitweise im Zweischichtbetrieb gearbeitet. Dank der standfesten Gebirgsverhältnisse waren keine zusätzlichen Bauhilfemassnahmen notwendig.

Strossenabbau / Sohlensaubau

Bereits zwei Tage vor dem Kalottendurchschlag, am 23. Januar 1989, wurden die restlichen Ausbrucharbeiten auf Seite Wetzikon in Angriff genommen (Bild 6); der Beginn auf Seite Uster folgte zwei Wochen später. Die Ausbruchlänge betrug jeweils 4 m. Nach dem Ausbruch folgte das Betonieren der Aussengewölbesohle ($d = 25$ cm) in Ortsbeton und das Einspritzen der Parameter mit Spritzbeton. Parameter und Sohle sind mit zwei Netzlagen armiert; hier beträgt der Armierungsgehalt jedoch lediglich 40 kg/m^3 Beton. Am 10. März 1989, nach weiteren sechs Wochen, waren die Ausbruchs- und Sicherungsarbeiten im Tunnel abgeschlossen. In den nächsten zwei Wochen wurden noch zwei gegenüberliegende Kammern in der Tunnelmitte ausgebrochen. Für den Strossenabbau/Sohlensaubau wurden von Seite Wetzikon 157 m und von Seite Uster 86 m ausgeführt; der Ausbruch wurde voll im Zweischichtbetrieb durchgeführt (mittlere Leistung von 4,2 m/AT).

Innengewölbe / Innenausbau

Für die Innenausbauarbeiten wurde von Seite Uster her gearbeitet. Das Erstellen des armierten Sohlengewölbes erfolgte auf die ganze Tunnellänge (243 m) in zwei Schichten. Gestaffelt dahinter waren die

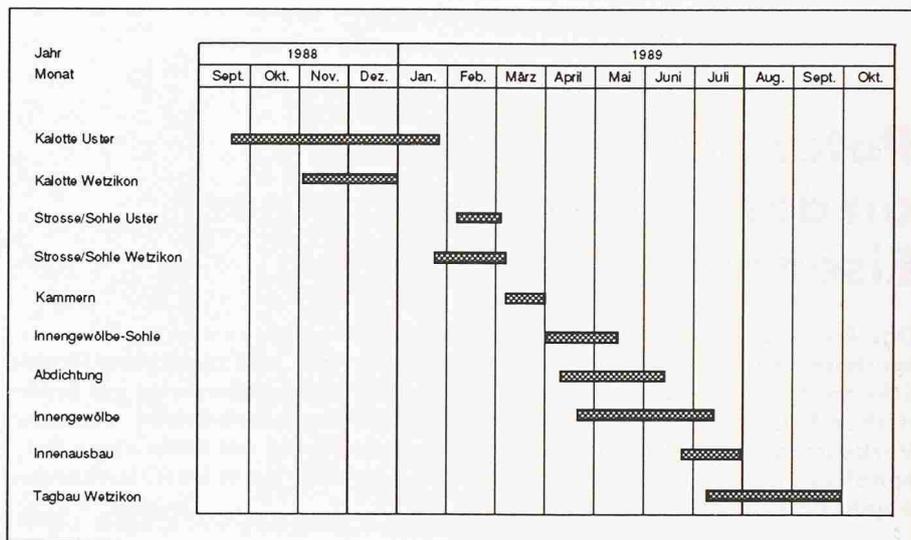


Bild 8. Balkendiagramm Bauprogramm

Tunnelabdichtung (Kunstfaservlies als Unterlage und PVC-Abdichtungsfolie) zu verlegen. Das Innengewölbe wurde in Etappen von 10 m, entsprechend der Schalwagenlänge, betoniert. Lediglich die beiden Gewölbeelemente bei den Portalen und dasjenige im Bereich der beiden Kammern sind ausarmiert. Für das Stützen der Netzarmierung kamen wiederum Gitterträger zur Anwendung. Jeden zweiten Tag wurden 10 m Innengewölbe betoniert; die mittlere Wochenleistung betrug somit ca. 25 m. Auf der Tunnelsohle wurde eine Sammelleitung mit einer Abdeckung aus gelochten Halbschalen eingebaut. Für die Tunnelauffüllung bis UK-Fundationsschicht konnte Tunnelausbruchmaterial wiederverwendet werden (Bild 7).

Qualitätssicherung

Neben visuellen Kontrollen wurden am Bau unter anderem während des Vortriebs Distometer- und Verschiebungsmessungen und Betonkontrollen mittels Kernbohrungen und Würfelproben durchgeführt. Dabei zeigten die Resulta-

te aus der Vermessung sehr kleine, im Millimeterbereich liegende Verschiebungen des Kalottenaussengewölbes. Die Spritzbetonqualität des Kalottengewölbes wurde mittels Kernbohrung am Bauwerk bestimmt. Die Messungen ergaben eine mittlere Druckfestigkeit von 34.1 N/mm^2 .

Termine / Kosten / Beteiligte

Bauprogramm

Im Juni 1988 wurden die Installationen erstellt und mit den Bauarbeiten begonnen. Das Bauprogramm für die Tunnelarbeiten ist aus dem Balkendiagramm (Bild 8) ersichtlich. Gegenüber dem Werkvertragsprogramm ergab sich beim Ausbruch ein Vorsprung von rund zwei Wochen. Alle Arbeiten wurden im vorgegebenen Zeitraum ausgeführt. Der Tunnel konnte nach Montage der eisenbahntechnischen Ausrüstung am 20. Mai 1990 auf die Eröffnung der Zürcher S-Bahn in Betrieb genommen werden.

Adressen der Verfasser: *Ede Andraskay*, Dipl. Bauing. ETH/SIA; *Arnold Stauber*, Ing. HTL; *Hans Vollenweider*, Dipl. Bauing. ETH/SIA; *Basler & Hofmann*, Ingenieure und Planer AG, Mitglied ASIC, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.

Kosten

- Der Kostenvoranschlag für die Mehrkosten der Tunnelvariante ergab einen notwendigen Kredit von **Fr. 21,6 Mio.**
- Für diesen Kredit müssen Kanton, Bund (Subventionen) und Gemeinde aufkommen.
- Die Werkvertragssumme mit der Arbeitsgemeinschaft für die Tunnelbauarbeiten betrug Fr. 13,8 Mio.
- Wegen der günstigen Verhältnisse und des Ersatzes des einen Tagbaubereiches durch die Lagerhausüberbauung ergab sich eine Abrechnungssumme von Fr. 11,6 Mio.
- Für die Gesamtabrechnung ist ebenfalls mit einer Kreditunterschreitung zu rechnen.

Am Bau Beteiligte

Bauherrschaft und Oberbauleitung:
Tiefbaubaum des Kantons Zürich

Gesamtprojektleitung:
SBB Bauabteilung Kreis III

Projektverfasser und Bauleitung:
Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich

Bauausführung:
Arbeitsgemeinschaft Jak. Scheifele AG/
Specogna & Co., Zürich.