

Der Hagenholztunnel, Los 6

Autor(en): **Müller, Henry**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 20

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73372>

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.

Der Hagenholtunnel, Los 6

Von Henry Müller, Zürich

Bauarbeiten

Das Westlos 6 des Hagenholtunnels wird von einem *Zwischenangriff* aus in Schildbauweise durch die Arbeitsgemeinschaft Schafir & Mugglin AG, AG Heinr. Hatt-Haller und CSC Strassen- und Tiefbau AG aufgeföhren.

Vor Beginn der Tunnelbauarbeiten musste der Grundwasserspiegel abgesenkt und der Zwischenangriffsschacht von 20 x 40 m rund 20 m tief mit einer 250 m langen Rampe von 8% Neigung erstellt werden. Die ersten 6 m wurden als Voreinschnitt abgetragen, dann der Zwischenangriff und die Rampe ausgehoben und mit einer Röhrlwand verbaut, bestehend aus vorgängig abgeteufte Bohrträgern, die etappenweise mit Ortbeton ausgefacht und verankert wurden.

Hierauf wurden rund 500 m des Tunnels in Richtung West, dann rund 760 m in Richtung Ost vorgetrieben, wobei im Westteil drei zweispurige Autobahnen mit rund 8,50 m Überlagerung zu unterfahren waren. Im Ostteil liegen zwei grosse Radarstationen des Flugsicherungsdienstes und verschiedene Ein- und Mehrfamilienhäuser über der Tunnelachse. Kurz vor der Losgrenze beim Bahnhof Kloten führt der Tunnel unter der Kantonsstrasse Zürich-Schaffhausen und mit einer Überdeckung von ca. 11 m auch unter vier Betriebsgleisen der SBB durch.

Um eine genügende *Wasserdichtigkeit* zu gewährleisten wird das Gewölbe durchgehend und – wo es der Wasserandrang erfordert – auch die Sohle mit einer *Chloropren-Butylkautschuk-Folie* isoliert. Als zweite Schale wird ein *Ortbeton-gewölbe* eingezogen, das in der Sohle als armerter Spritzbeton auszuführen ist.

Schildbauweise

Grundsätzliches

Der Vortriebschild besteht aus einer zylindrischen Stahlröhre, die ins Gebirge unter gleichzeitigem Abtrag der Ortsbrust eingepresst wird. Je nach Verhalten der Ortsbrust muss diese zusätzlich abgestützt werden. Im Schutz des hintern Teils des Schildmantels wird die Tunnelauskleidung aus vorfabrizierten Tübbings eingebracht. Dabei liegt der zuletzt eingebaute Tübbingring noch im Schildschwanz, so dass das Gebirge nie mehr sichtbar, d.h. nie ungestützt ist. Um die Reibung zwischen Stahl und Gebirge zu vermindern, kann der Schildmantel mit einer Betonitsuspension geschmiert werden.

Entwicklung

Die Schildbauweise wird vorwiegend im Lockergestein angewendet. *Marc Isambard Brunel* erfand 1818 den Tunnelchild und setzte ihn beim Bau des ersten 460 m langen Themsetunnels ein. Die Bauarbeiten dauerten 18 Jahre, von 1825 bis 1843.

Erstmals wurde beim Bau des *Baregtunnels bei Baden* (AG) in den Jahren 1963 bis 1968 die *Schildbauweise mit Sprengvortrieb im Fels* erfolgreich angewendet. Es wurden 2 x 1120 m Molassefels durchörtet. 1969 bis 1972 wurde das *Westlos des Heitersbergunnels* als längster in der Schweiz im Lockergestein in Schildbauweise erstellter Tunnel mit grossem Profil gebaut. Mit diesem Schild wurden 1400 m Lockergestein und 300 m Fels aufgeföhren.

Arbeitsphasen

Phase 1. Der Schild wird durch die am inneren Umfang angeordneten hydraulischen Pressen in die Ortsbrust vorgepresst. Gleichzeitig wird das Gebirge maschinell oder von

Hand gelöst, mit einer Raupenladeschaufel auf Grosslastwagen geladen und auf Zwischendeponien ausserhalb des Tunnels transportiert. Dieser Abbauvorgang dauert so lange, bis die Vortriebspressen ganz ausgefahren sind, wobei sich diese über den Druckring auf den letzteingebauten Tübbingring abstützen.

Phase 2. Nach Abschluss von Phase 1 wird die Hydraulik umgeschaltet und dadurch die Pressen wieder eingezogen. Der Druckring rückt um einen vollen Kolbenhub nach vorn und gibt den Raum innerhalb des Schildschwanzes für den Einbau des nächsten Tübbingrings frei. Dabei umfasst der Schildschwanz mit seinem hintern Ende immer noch den letzteingebauten Tübbingring, so dass das Gebirge niemals freigelegt wird.

Phase 3. Im Schutze des Schildschwanzes, der nun den gesamten Gebirgsdruck aufzunehmen hat, wird mit Hilfe eines selbstfahrenden hydraulischen Versetzgerätes der nächste 5teilige Tübbingring mit Schluss-Stein eingebaut. Hierauf wird ein Stahlschutterboden eingelegt und der Druckring durch die Vortriebspressen wieder satt an den neu versetzten Tübbingring angepresst, womit erneut die Phase 1 eingeleitet wird.

Phase 4. Sobald der Schildschwanz über den letzteingebauten Tübbingring nach vorn gleitet, wird der dadurch hinter dem Mantelblech entstehende Hohlraum mit Injektionsgut verpresst. Die Phasen 1 und 4 müssen gleichzeitig erfolgen, um Setzungen an der Oberfläche durch Nachbrechen des Gebirges zu vermeiden.

Bauvorgang

Schildkonstruktion

Der hier verwendete Schild wurde in den Werkstätten der Bauunternehmung Schafir & Mugglin AG entwickelt und gebaut. Er hat ein Gewicht von über 300 t und ist ausgerüstet mit 35 *Vortriebspressen* von je 150 t bei 300 atü, entsprechend einer Gesamtpressenkraft von 5250 t. Die Pressen haben einen Kolbenhub von 1,20 m. Ihre Zylinderteile sind fest mit dem vorderen Schneideteil des Schildes verbunden, während sich ihre Kolbenkopfteile auf den im hinteren Schwanzteil beweglichen Druckring abstützen. Der *kreisrunde Schild ist ausgelegt für einen Tübbingaussendurchmesser von 11,30 m und ist mit 2 bis 3 festmontierten horizontalen Bühnen ausgesteift*. In der Regel wird die untere Bühne nicht eingebaut und durch ein Sprengwerk ersetzt, das genügend freie Höhe aufweist, um ein leistungsfähiges Ladegerät einsetzen zu können.

Im obersten Arbeitsfeld ist ein *hydraulischer Ausleger* mit einem 100 kg schweren *Pressluft-Abbauhammer* montiert, und im zweitobersten Arbeitsfeld sind zwei solche Ausrüstungen eingesetzt, so dass die ganze obere Profilhälfte von diesen Geräten bearbeitet werden kann.

Auf den horizontalen Bühnen können einzeln bedienbare, 90 cm breite, *hydraulische Schiebepodeste* aufgesetzt werden, an deren Schneiden sich 1,10 bis 1,30 m hohe hydraulische Bruststützen montieren lassen. Die Schiebepodeste werden von 50-t-Pressen mit einem Hub von 90 cm bewegt. Jede Bruststütze ist mit einer 34-t-Pressen ausgerüstet, was eine Stützung der Ortsbrust mit ca. 30 t/m² erlaubt.

Im Bedarfsfall werden die von den Brustklappen nicht gestützten Flächen der Ortsbrust mit zusätzlichen horizontalen und hydraulisch abgestützten Bohlen in herkömmlicher Art verbaut.

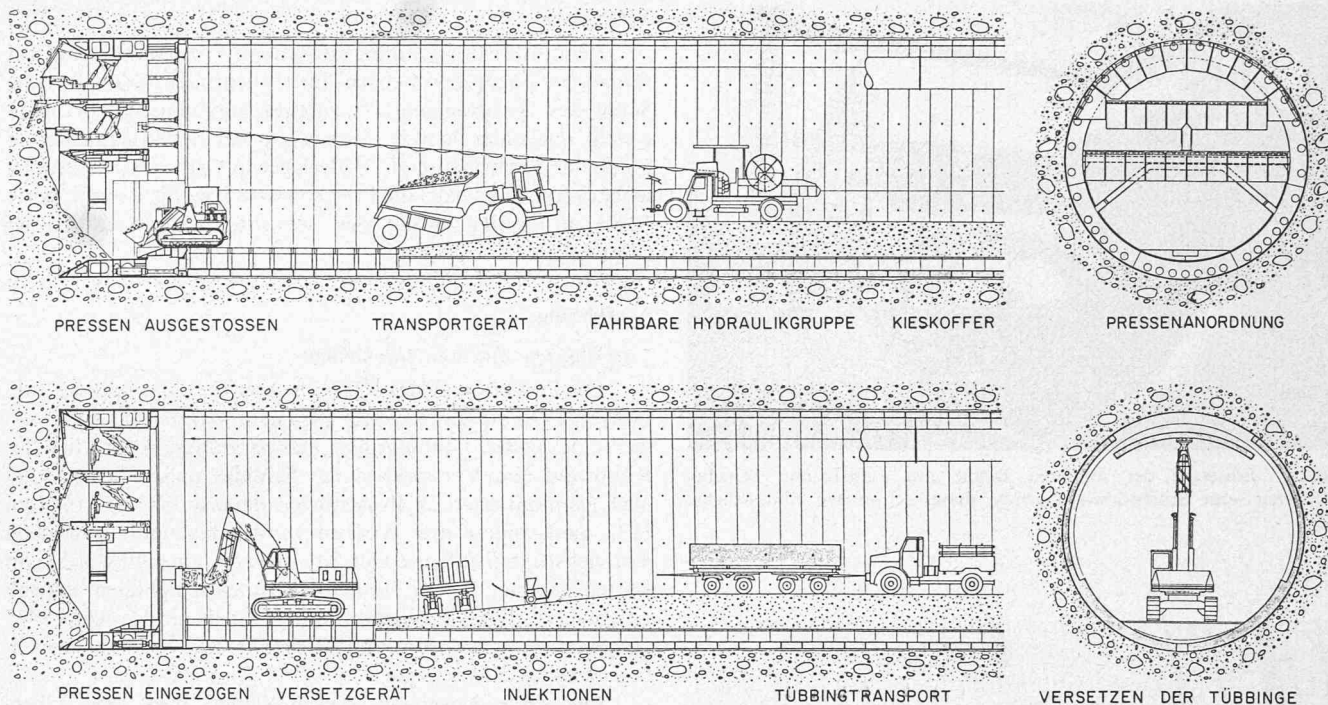


Bild 1. Schildvortrieb (oben). Abtrag und Transport. Brustverbau des Schildes mit Pressenanordnung (rechts), Tübbingeinbau (unten) mit Versetzen der Tübbinge (rechts)

Die empfindlichen *elektrohydraulischen Antriebsgruppen* und das *elektronische Steuerpult* für die Vortriebspresen sind *ausserhalb* des Schildes auf einem *selbstfahrenden Lastwagen* aufgebaut, wobei die Hydraulikverbindungen zum Schild während des Betriebes mühelos gelöst und wieder gekuppelt werden können. Es ermöglicht dies eine jederzeitige Umstellung auf Sprengvortrieb. Die Hydraulikaggregate für die Schiebepodeste und die Brustklappen sind ebenfalls geschützt innerhalb der Schildkonstruktion untergebracht.

Die ganze Strecke des Westloses des Hagenholtunnels befindet sich bis über dem First in einem für Trinkwasserversorgungen ausgiebig genutzten Grundwasserträger. Normales *Hydrauliköl* kann schon in geringster Konzentration Trinkwasser ungeniessbar machen. Hydraulikölverluste sind aber unvermeidbar. Erstmals wurde hier für die Schildkonstruktion eine *synthetische, umweltfreundliche Hydraulikflüssigkeit* verwendet, die auf Poly-Glykol-Basis aufgebaut und wasserlöslich ist. In Konzentrationen von weniger als 1:1000 ist diese Flüssigkeit ungiftig.

Um einen *Sprengvortrieb* zu ermöglichen, ist es erforderlich, dass das ganze Profil, auf eine gewisse Länge von der Ortsbrust entfernt, vollkommen frei ist. Ein besonders entwickelter *hydraulischer Versetzarm*, aufgebaut auf dem Grundgerät eines Hydraulik-Raupenbaggers, erlaubt es, den 5teiligen Tübbingring mit Schluss-Stein zu versetzen, der eine Baulänge von 1,00 m aufweist. Die beiden Sohl-tübbings sind je 7,50 t schwer; die beiden Ulm-tübbings und der First-tübbing wiegen je 5,25 t und der Schluss-Stein 0,45 t. Damit bleibt unmittelbar hinter dem Schild das Profil für alle weiteren Arbeiten frei (Bild 1).

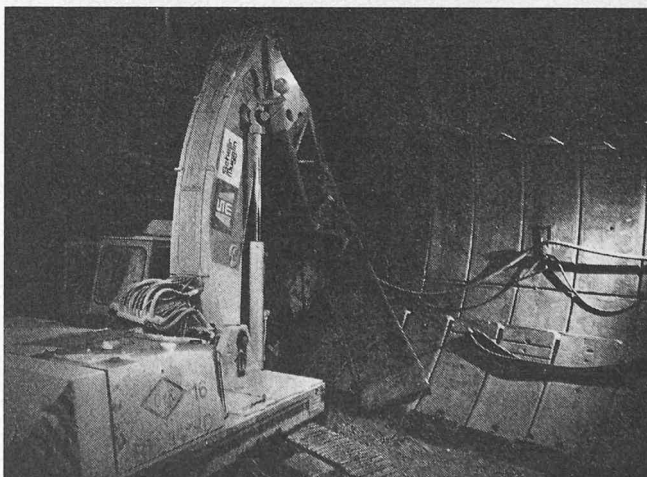
Der 31,2 t schwere Tübbingring wird gesamthaft auf einem Plattformanhänger verladen und von einem Zugfahrzeug dem Versetzgerät vor Ort zugeführt (Bild 2).

Der durch die Vorwärtsbewegung des Schildmantels entstehende Hohlraum wird laufend verpresst, um ein sattes Anliegen der Tunnelauskleidung an das Gebirge zu gewährleisten. Auch kann jederzeit eine Vollschnittfräse in diese Schildkonstruktion eingebaut werden oder die horizontalen Bühnen mit Teilschnittmaschinen ausgerüstet werden.

Schildmontage

Der Schild wurde ein erstes Mal im Zwischenangriffsschacht für die Fahrt nach Westen montiert, nach dem Austritt aus der Baugrubenböschung demontiert und ein zweites Mal im Zwischenangriffsschacht für den weiteren Vortrieb nach Osten montiert (Bild 3 und 4). Die vorliegenden Verhältnisse erlaubten für die Montage des Schildes die Verwendung eines 250-t-Pneukrans, des grössten verfügbaren Gerätes dieser Art. Damit konnten Einzelstücke von 32 t zusammengefügt werden, was eine Werkmontage der schweren Pressen in die sieben Schildsegmente und der Schiebepodeste mit Bruststützen auf die Horizontalbühnen ermöglichte. Entsprechend kurz fielen dadurch die Standzeiten des Schildes für Montage, Demontage und Wiedermontage aus (Bild 5).

Bild 2. Versetzen eines Sohl-tübbings von 7,5 t mit einem hydraulischen Greifer (Eigenkonstruktion) aufgebaut auf einem hydraulischen Raupenbagger



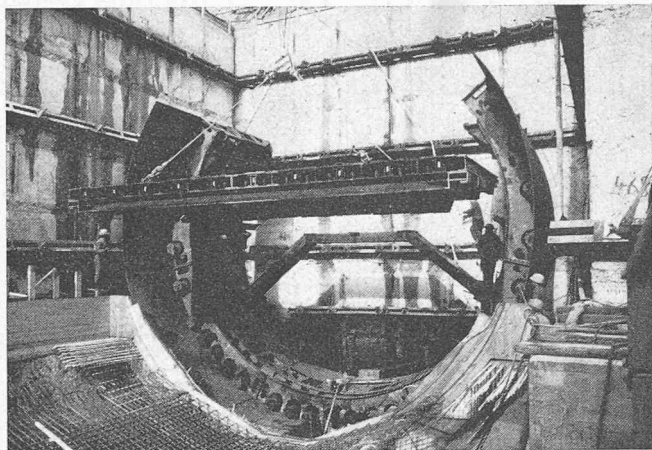


Bild 3. Einsetzen der mittleren Bühne mit aufgebauten Schiebepodesten samt Bruststützen. Gewicht dieses schwersten Einzelstücks: 32 t

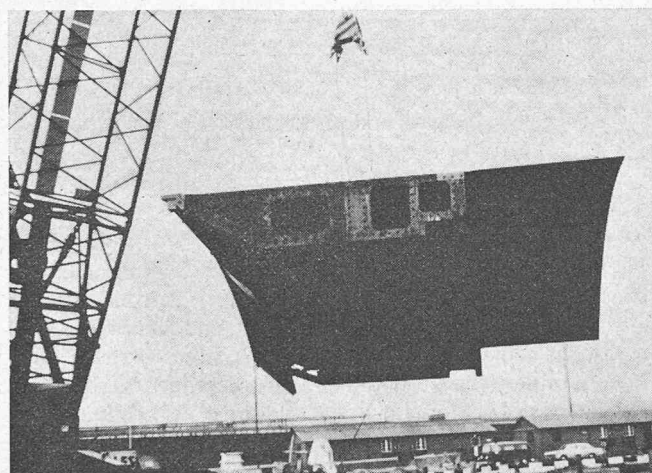
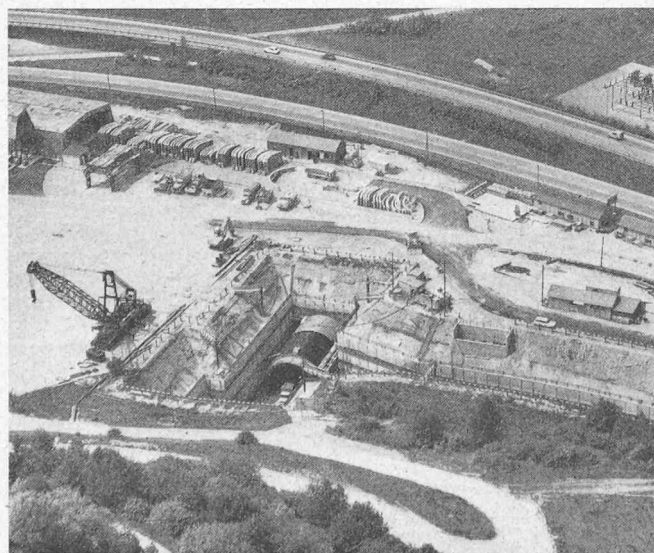


Bild 4. Montage des Schildes. Einbau des 30 t schweren Firstsegmentes mit angebauten Bruststützen

Bild 5. Zwischenangriffsschacht. Blick: nach Westen in Richtung Flughafenbahnhof. 250-t-Pneukran für die Schildmontage, Tübbingfabrikationshalle mit Lagerplatz, der — wie auch die drei Autobahnen Zürich-Schaffhausen, Schaffhausen-Zürich und Zürich-Flughafen — von der Schildröhre ohne messbare Setzungen mit einer Überlagerung von nur 8,5 m unterfahren wurde



Schildstart

Beim Start des Schildes müssen die Pressenkräfte auf ein *Widerlager* abgegeben werden. Im vorliegenden Fall wurde die Sohle des Zwischenangriffsschachtes vorgängig in Ort beton erstellt und nach dem Zusammenbau der Schildsegmente ein Stück der Tunnelröhre als Widerlager in Ort beton ausgeführt, wobei beim Schildstart die Pressenkräfte über die vorbetonierte Sohle in die Rückwand des Schachtes eingeleitet wurden (Bild 6 und 7).

Ausführung

Unterfahrung der drei Autobahnen

Die Erstmontage des 300 t schweren Schildes dauerte vom 1. April 1975 bis zum 26. Mai 1975 acht Wochen bis zum Versetzen des ersten Tübbingrings. Das sorgfältige Abbrechen der Rühlwand und Vorschieben des Schildes unter Verwendung aller festmontierten 28 Bruststützen dauerte bis zum 16. Juni 1975, und weitere drei Wochen wurden bis zum eigentlichen Vortriebsbeginn aufgewendet. Mit grösster Vorsicht wurden im Monat Juni noch sechs Tunnelmeter in einschichtigem Betrieb aufgefahren. Die Tübbingfabrikation wurde am 15. April 1975 aufgenommen, so dass mit dem Vortrieb zwei Monate darnach begonnen werden konnte.

Die erste Autobahn Zürich-Kloten wies eine Überlagerung von nur 8,50 m oder dreiviertel Tübbingaussendurchmesser auf, was zu höchster Vorsicht mahnte. In enger Zusammenarbeit zwischen Bauherrschaft, Bauleitung und Bauunternehmung wurden folgende Massnahmen getroffen, da auf keinen Fall die Sperrung oder gar die Unterbrechung der Autobahn mit umständlichen Verkehrsumleitungen in Kauf genommen werden konnten:

1. Geschwindigkeitsbeschränkung auf 40 km/h
2. Bereitstellung einer Notbrücke von 20 m Spannweite
3. Brustverbau, wie er nachfolgend beschrieben wird.

Brustverbau

Für die erste Unterfahrung wurde nebst den 28 fest eingebauten Bruststützen sowohl der im obersten als auch der im zweitobersten Arbeitsbereich vorgesehene horizontale Brustverbau mit hydraulischen Pressen eingesetzt, womit die oberen zwei Drittel der Brust mit 30 t/m² gestützt werden konnten. Bei der Unterfahrung der Autobahn Schaffhausen-Zürich konnte auf den zusätzlichen horizontalen Verbau im zweitobersten Arbeitsbereich und bei der Unterfahrung der Autobahn Zürich-Flughafen noch auf den zusätzlichen Horizontalverbau im obersten Arbeitsbereich verzichtet werden. Ständige Beobachtungen der Bauleitung ergaben keinerlei messbare Setzungen (Bild 5).

Schilddemontage und Wiedermontage

Beim Losende West wurde mit aller Sorgfalt durch die mit einer Neigung von 1:1 anstehende Böschung in die offene Baugrube ausgefahren. Das letzte Teilstück bis zum Durchschlag am 15. Januar 1976 sowie die restlichen Vortriebe im Freien wurden einschichtig ausgeführt. Wie im Bild 8 ersichtlich, wurden die Tübbings gegenseitig verbunden und die Böschung über dem Scheitel nachträglich mit Beton verfüllt.

Mit der Demontage des Schildes wurde am 2. Feb. 1976 begonnen, danach wurde er durch die fertige Tunnelröhre in den Zwischenangriffsschacht zurücktransportiert und daselbst Richtung Ost bis zum 12. März 1976, d.h. in sechs Wochen, wieder betriebsbereit montiert. Bis Ende März konnte der Schild durch die östliche Rückwand des Zwischenangriffsschachtes vorgeschoben werden, so dass der Vortrieb Richtung Ost am 1. April 1976 wieder aufgenommen werden konnte (Bild 9). Das östliche Teilstück wurde mit dem Einbau des

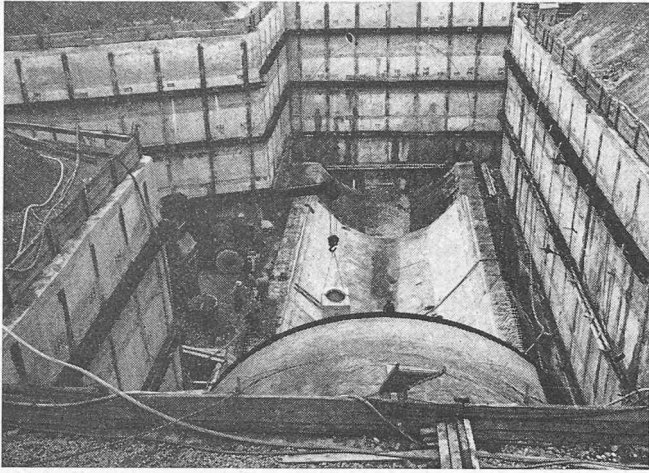


Bild 6. Sohle des Zwischenangriffsschachtes als unterer Teil des Schildwiderlagers

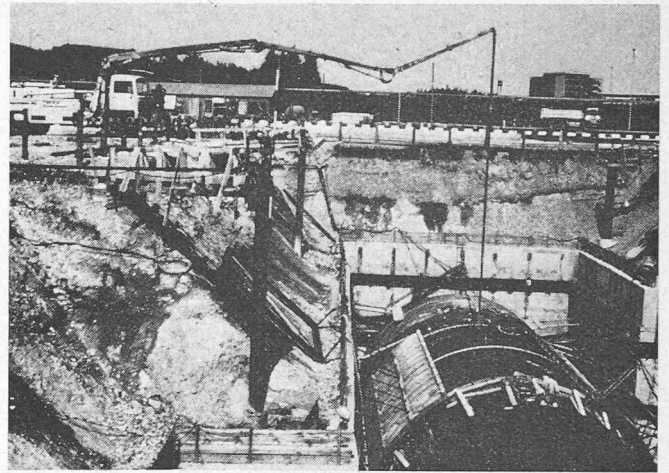


Bild 7. Betonieren eines Stücks der Tunnelröhre im Zwischenangriffsschacht als Schildwiderlager

viertletzten Tübbingringes am 29. März 1977 beendet. Nach dem am 14. April 1977 erfolgten Durchschlag sind noch drei Tübbingringe einzubauen. Hierauf wird der Schild ausgebaut und der Schildmantel im Berginnern belassen, der dann einen Teil der Tunnelauskleidung bilden wird.

Unterfahrung der Kantonsstrasse und der vier SBB-Betriebsgeleise

Unmittelbar vor dem Losende waren die Kantonsstrasse mit einer Überlagerung von 17 m (anderthalb Tübbingaussendurchmessern) und die vier SBB-Betriebsgeleise im Bereich des Bahnhofs Kloten mit einer Überlagerung von 11 m, entsprechend dem einfachen Tübbingaussendurchmesser, zu unterfahren. Aufgrund der guten Resultate beim Unterfahren der drei Autobahnen im westlichen Teil wurde auf eine weitere Geschwindigkeitsbeschränkung auf der Kantonsstrasse Zürich-Schaffhausen verzichtet, da sich das kritische Teilstück ohnehin auf dem Gebiet der Stadt Kloten befindet und damit als Innerortsstrecke einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 60 km/h unterliegt. Der Vortrieb erfolgte mit Hilfe der fest eingebauten Bruststützen ohne den ergänzenden Horizontalverbau (Bild 10). Beim Unterfahren der vier SBB-Betriebsgeleise ordneten die Schweizerischen Bundesbahnen eine

Langsamfahrstrecke von 40 km/h an. Erschwerend fiel ins Gewicht, dass täglich einige schwere Zisternenzüge mit Flugpetrol im Bereich des Bahnhofes Kloten hin- und zurückmanövriert werden. Unmittelbar vor Erreichung der Losgrenze musste das sehr rollige und nicht standfeste Gebirge vorgängig des Abtragens mit Brustinjektionen gesichert werden.

Überwachung

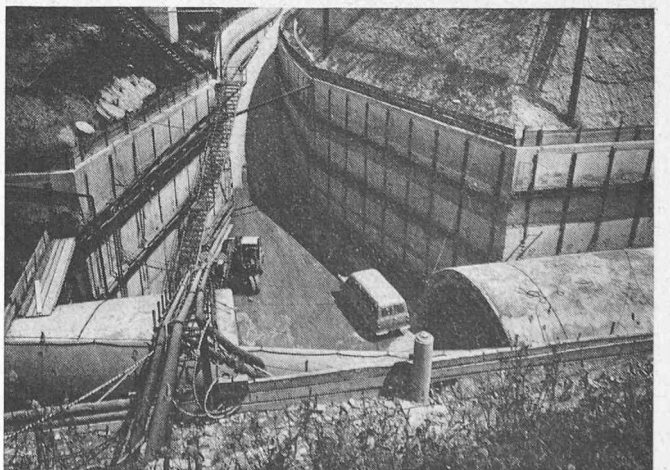
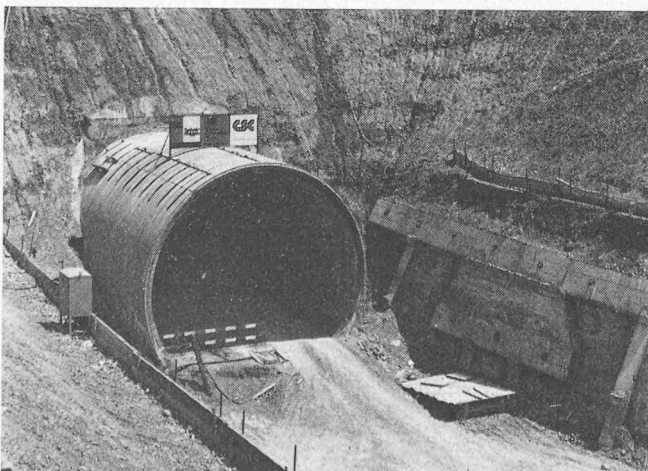
Die Bauleitung hat für jede einzelne Gefahrenzone ein ausgeklügeltes *Alarmsystem* in fünf Bereitschaftsgraden aufgestellt, das alle nur erdenklichen Instanzen und Funktionäre erfasste. In jedem Bereitschaftsgrad wusste jeder Beteiligte vom Vorarbeiter über Baustellenleiter, Kantonspolizei, Bahndienst zum Bauherrn, was er im genau umschriebenen Ereignis zu tun hatte. Diese sorgfältige Planung hat sich einmal mehr aufs beste bewährt.

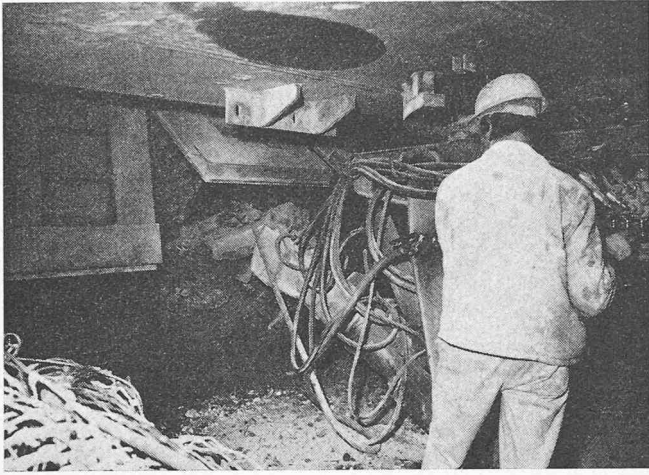
Gebirge

Das Gebirge hat sich in einer kaum zu erwartenden Heterogenität gezeigt, und dies meist noch im gleichen Profil, was besonders dann Schwierigkeiten bereitete, wenn in der obern Profilhälfte lockergelagerte, rollige Kiespartien ohne Sandanteil auftraten und in der untern Profilhälfte stark ver-

Bild 8 (links). Die im Freien, aber ebenfalls im Schutz des Stahlschildes montierten Tübbinge wurden untereinander verbunden

Bild 9 (rechts). Beide Schildwiderlager innerhalb des Zwischenangriffsschachtes, die für den Schildstart Richtung West und Richtung Ost verwendet wurden. Zufahrtsrampe mit Rühlwandverbau, oben Mitte und rechts zwei Filterbrunnen. Der ursprüngliche Grundwasserspiegel befand sich auf Bermenhöhe 6 m unter Terrain und wurde rund 14 m abgesenkt





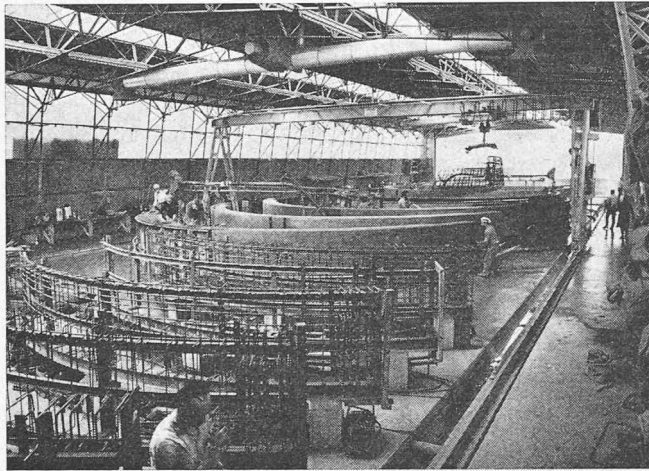
kittete Schotter oder gar felsähnliche Nagelfluhformationen anstanden, die nur durch Sprengungen zu lösen waren.

Bei ganz rolligen Strecken waren Brustinjektionen auch bei sorgfältigstem Einsatz des Brustverbaues nicht zu umgehen. Meist genügte relativ wenig Injektionsgut, aber durch das Eintreiben der Injektionslanzen und Abbinden des Injektionsgutes geht immer wertvolle Zeit verloren, so dass dadurch die Leistung auf einen Bruchteil heruntersinkt.

Andererseits mussten längere Strecken auf der ganzen Profilhöhe durch Sprengschüsse abgetan werden, unangenehmerweise just gerade unter den beiden Radarstationen des Flugsicherungsdienstes und unter Wohnhäusern der vom Lärm ohnehin nicht besonders verschonten Bevölkerung der Stadt Kloten. Um die zulässigen Schwingungsamplituden nicht zu überschreiten, wurde während der Bauausführung die Sprengstoffmenge pro Zündstufe auf 2,0 kg vermindert. Zudem musste im östlichen Teil vom Zwischenangriffsschacht bis zur Losgrenze beim Bahnhof Kloten die Sprengstoffmenge pro Zündstufe weiter reduziert werden, und zwar über 272 m auf 1,000 kg/Zst, über 80 m auf 0,750 kg/Zst und über 122 m sogar auf 0,500 kg/Zst.

Der Vortrieb zeigte folgende Besonderheiten:

- auf 83 m wurde mit Brustverbau gearbeitet
 - auf 117 m war das Gebirge rollig
 - auf 421 m musste gesprengt werden
 - auf 44 m waren Füllinjektionen erforderlich
 - auf 19 m kamen Brustinjektionen zur Anwendung
 - auf 570 m waren an der Ortsbrust keine ausserordentlichen Massnahmen zu treffen.
- 1254 m gesamte Vortrieblänge



Leistungen

Es wurden nachfolgende Leistungen erzielt:

Westteil:

Juni 1975	6,21 m in 11 AT, einschichtig	= 0,56 m/AT 1)
Juli 1975	60,03 m in 23 AT, zweisechichtig	= 2,61 m/AT
Aug. 1975	44,51 m in 20 AT, zweisechichtig	= 2,23 m/AT 2)
Sept. 1975	80,73 m in 22 AT, zweisechichtig	= 3,67 m/AT 3)
Okt. 1975	125,24 m in 23 AT, zweisechichtig	= 5,45 m/AT
Nov. 1975	92,12 m in 20 AT, zweisechichtig	= 4,61 m/AT
Dez. 1975	62,10 m in 15 AT, zweisechichtig	= 4,14 m/AT
Jan. 1976	26,91 m in 15 AT, einschichtig	= 1,79 m/AT 4)

im Mittel 497,85 m in 149 AT = 3,41 m/AT

im Zweisechichtbetrieb 464,73 m in 123 AT = 3,78 m/AT

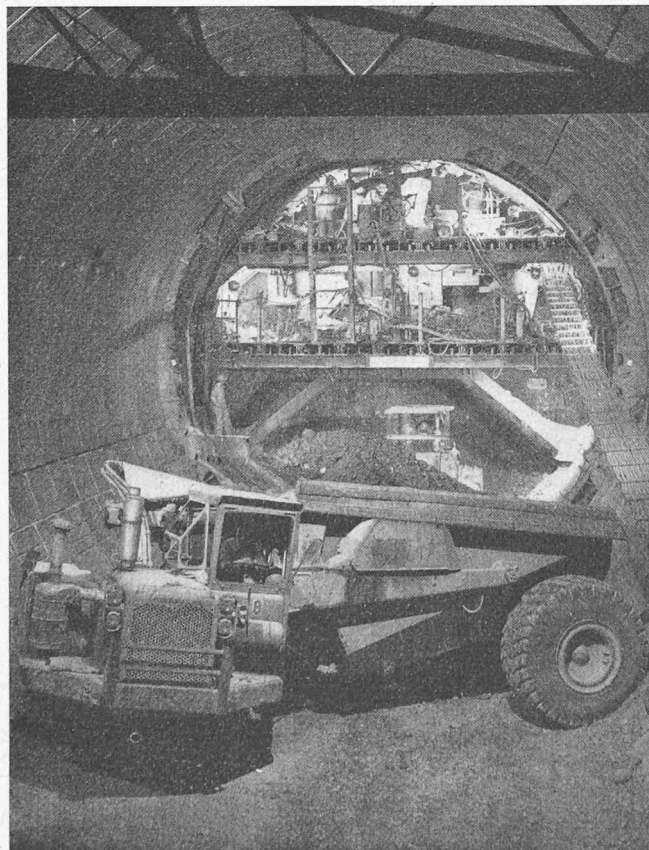


Bild 10 (oben). Abbau der Ortsbrust, mit einem 100 kg schweren Pressluft-Abbauhammer auf hydraulischem Trägergerät (Eigenkonstruktion) unter Verwendung der an Schiebepodesten festmontierten Bruststützen

Bild 11 (Mitte). Fabrikation der Vakuumbeton-Tübbinge und Flechten der Bewehrungskörbe in einer 1000 m² grossen und geheizten Halle

Bild 12 (unten). Abtrag der Ortsbrust unter Verwendung der an den Schildpodesten festmontierten Bruststützen in der obersten Profilhälfte. Laden des Ausbruchs auf Rückwärtskipper mit einer Raupenladeschaufel. Rechts die Hydraulikleitungen von den Pumpenaggregaten auf fahrbaren Lastwagen zu den Vortriebspresen im Schild, die unter Betriebsdruck gekuppelt und auch wieder gelöst werden können

Ostteil:

April 1976	86,10 m in	20 AT, zweischichtig	= 4,31 m/AT 5)
Mai 1976	37,93 m in	20 AT, zweischichtig	= 1,90 m/AT
Juni 1976	58,43 m in	21 AT, zweischichtig	= 2,78 m/AT 6)
Juli 1976	100,45 m in	22 AT, zweischichtig	= 4,75 m/AT 6)
Aug. 1976	52,28 m in	22 AT, zweischichtig	= 2,38 m/AT
Sept. 1976	58,43 m in	22 AT, zweischichtig	= 2,66 m/AT
Okt. 1976	37,93 m in	21 AT, zweischichtig	= 1,81 m/AT 6)
Nov. 1976	56,38 m in	22 AT, zweischichtig	= 2,56 m/AT 7)
Dez. 1976	41,00 m in	17 AT, zweischichtig	= 2,41 m/AT 6)
Jan. 1977	32,80 m in	10 AT, einschichtig	= 3,28 m/AT
Jan. 1977	25,63 m in	6 AT, zweischichtig	= 4,27 m/AT
Febr. 1977	96,35 m in	20 AT, zweischichtig	= 4,82 m/AT 7), 8)
März 1977	61,50 m in	14 AT, zweischichtig	= 4,39 m/AT 7), 9)
März 1977	4,10 m in	7 AT, einschichtig	= 1,03 m/AT 7)

im Mittel 749,31 m in 244 AT = 3,07 m/AT

im Zwei-

schicht-
betrieb 712,41 m in 227 AT = 3,14 m/AT

West- und Ostteil

Gesamtmittel 1247,16 m in 393 AT = 3,17 m/AT

im Zwei-

schichten-
betrieb 1177,14 m in 350 AT = 3,36 m/AT

Grösste Monatsleistung 125 m = 5,45 m/AT

Mittlere Monatsleistung 67 m = 3,35 m/AT

Grösste Tagesleistungen 9,23 m an 1 AT = 0,25 % und
8,28 m an 2 AT = 0,50 % von 393 AT

1) inkl. Durchbruch der Rühlwand. 2) inkl. Unterfahren der beiden Autobahnen Zürich-Schaffhausen und Schaffhausen-Zürich. 3) inkl. Unterfahren der Autobahn Zürich-Flughafen. 4) inkl. Ausfahren aus der Böschung und Sicherung der Tübbings im Freien. 5) ohne Durchbruch Rühlwand. 6) inkl. Füllinjektionen. 7) inkl. Brustinjektionen. 8) inkl. Unterfahrung Kantonsstrasse Zürich-Schaffhausen. 9) inkl. Unterfahren von vier SBB-Betriebsgleisen.

Schlussfolgerungen

Die Schildbauweise hat sich in technischer, terminlicher und finanzieller Hinsicht bestens bewährt. Es wurden die verschiedenartigsten Formationen von Lockergestein bis Nagelfluhfels gemeistert, selbst bei gleichzeitigem Auftreten im gleichen Profil. Auch wurde die Bauzeit nicht nur eingehalten,

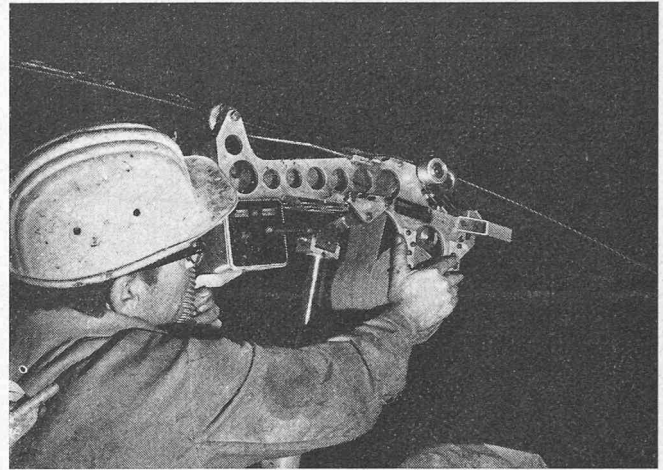


Bild 13. Aufziehen der Chloropren-Buthylkautschukfolien und Heissverkleben der Fugenbänder auf den Stössen im Gewölbe

sondern erheblich unterschritten, und einmal mehr wird sich die Abrechnung der in Schildbauweise ausgeführten Rohbautunnelröhre auch bei diesem Bauwerk erfreulicherweise im Rahmen des Kostenvoranschlages halten: erfreulich für den Bauherrn und den Projektverfasser, aber erfreulich auch für die ausführende Bauunternehmung, deren Ziel es ist, ihre Bauherrschaft nicht nur bei der Offertstellung sondern bis zur Schlussabrechnung preisgünstig zu bedienen. Dies war und ist nur möglich, weil die Bauunternehmung über einen Stab von Bau- und Maschineningenieuren, Polieren, Spezialisten und einsatzfreudigen Tunnelarbeitern mit selbst entwickelten Geräten verfügt, die seit nunmehr 17 Jahren ununterbrochen Schildbauarbeiten ausführen. Die Schildbauweise bietet daneben *beste Arbeitsplatzbedingungen*, was besonders in der geringen Unfallhäufigkeit von ca. 1,4 Prozent und in der Beständigkeit der Belegschaft zum Ausdruck kommt.

Federführung und Technische Leitung wie auch die Schildkonstruktion erfolgten durch die Firma Schafir & Mugglin AG.

Adresse des Verfassers: H. Müller, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor Schafir & Mugglin AG, Zollikerstr. 41, 8032 Zürich.

Der Hagenholtunnel, Los 7

Von René Frey, Zürich

Im Frühjahr 1974 wurde die Arbeitsgemeinschaft Locher & Cie, Prader AG und Wayss & Freytag AG von den Schweizerischen Bundesbahnen mit der Ausführung von *Baulos 7* der Flughafenlinie beauftragt. Es umfasst den 1560 m langen östlichen Teil des Hagenholtunnels in *fallendem Vortrieb* sowie die *630 m lange Anschlussstrecke an die bestehende Linie Kloten-Bassersdorf*.

Geologische Prognose – Wasserführung

Der nach der Voruntersuchung zu erwartende Baugrund umfasste folgende geotechnischen Zonen (Bild 1):

- Vom Portal Ost bis km 117900 durchwegs Moräne, von eiszeitlich vorbelasteten Schottern überlagert und eine geringmächtige Lage von feinkörnigen, eiszeitlichen Seeablagerungen.
- Ab km 117900 bis 118200 eine mit eiszeitlichen Schottern ausgefüllte Rinne.

- Daran schliessen bis km 118500 eiszeitliche Seeablagerung an, die tonig-siltig ausgebildet sein können.
- Die restliche Tunnelstrecke liegt wiederum in vorbelasteten Schottern, die vor allem in diesem Bereich fest gelagert, lagen- und linsenweise zu Nagelfluh verkittet sein können.

Im Bereich Moräne war nur eine geringe Wasserführung zu erwarten. Es war vorgesehen, den Grundwasserspiegel im Bereich der Schotter durch Filterbrunnen abzusenken. Die aufzufahrende Tunnelstrecke konnte somit etwa in folgende Abschnitte unterteilt werden:

1. *Moränenstrecke 660 m*: standfest, festgelagerter Boden.
2. *Schotterrinne 300 m*: rollig bis verkitteter Boden.
3. *Seeablagerung 300 m*: siltiger, sandiger Boden. Standfestigkeit der Ortsbrust fraglich, abhängig von Wassergehalt und Anteil Silt oder Sand.
4. *Schotterstrecke 240 m*: teilweise stark verkitteter Boden.