Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 102 (1984)
Heft: 48: Die Neubaustrecke der Zürcher S-Bahn

Artikel: Bahnhof Museumstrasse, Unterquerung Limmat
Autor: Gründler, Heini / Letta, Gion / Hagmann, Alfred J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75574

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: 14.07.2025

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

Auge des Kantons Zürich, der sich ein Mitspracherecht bei der Projektierung ausbedungen hatte, sind Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Neubaustrecke mehrmals überprüft und - mit zum Teil neuartigen bahntechnischen Einrichtungen - verbessert worden. Auch hinsichtlich architektonischer Gestaltung und Komfort wurden Massstäbe gesetzt, die der städtebaulichen Bedeutung der Anlagen und ihrer grossen Benützerzahl gerecht werden. Ein besonderes Augenmerk galt der Gewährleistung der hohen Sicherheit der Bahn. Alle denkbaren Vorkommnisse wie Brand, Stützenausfall, Wassereinbruch u.a.m. wurden überprüft und in der Konstruktion so berücksichtigt, dass der Reisende in der S-Bahn mindestens so sicher sein wird wie auf jeder andern Strecke.

Am meisten Kopfzerbrechen verursachten indessen die unumgänglichen Eingriffe in die Umgebung, selbst wenn sie als Bauprovisorien nur vorübergehender Art sind. Zahllose Bauvorgänge wurden studiert und verworfen, bis in Übereinstimmung mit den zuständigen Stellen der Stadt Zürich die Unterquerung der wichtigsten Strassen mit minimaler Beeinträchtigung des Verkehrs gewährleistet werden konnte. Gleiche Rücksicht wurde auf Gärten und Bäume genommen mit dem Ergebnis, dass dank raffinierten und teilweise auch aufwendigen Massnahmen ein Maximum an Grünflächen und einige besonders markante Bäume im Baugebiet verschont bleiben. Die Diskussion um den Abbruch der Stützmauer im Bahnhof Stadelhofen hat auch in der Öffentlichkeit ein Echo ausgelöst, entsprechend ist der aus einem Wettbewerb hervorgegangene, städtebaulich überzeugende Vorschlag zur Neugestaltung des Stadelhofer-Areals überall auf Zustimmung gestossen. Die Regelung der Finanzierungsfrage befindet sich auf gutem Weg.

In den folgenden Beiträgen erläutern die Projektverfasser einige der grösseren im Bau oder kurz vor der Ausführung stehenden Bauwerke der S-Bahn-Neubaustrecke. Es besteht die Absicht, in künftigen Artikeln auf die weiteren Bauwerke, auf die Gestaltung der Publikumsanlagen und auf die bahntechnischen Einrichtungen einzugehen.

Adressen der Verfasser: *Max Glättli*, dipl. Ing. ETH, Oberingenieur, und *Peter Zuber*, dipl. Ing. ETH, Projektleiter S-Bahn, SBB-Bauabteilung, Kreis III, 8021 Zürich

Bahnhof Museumstrasse, Unterquerung Limmat

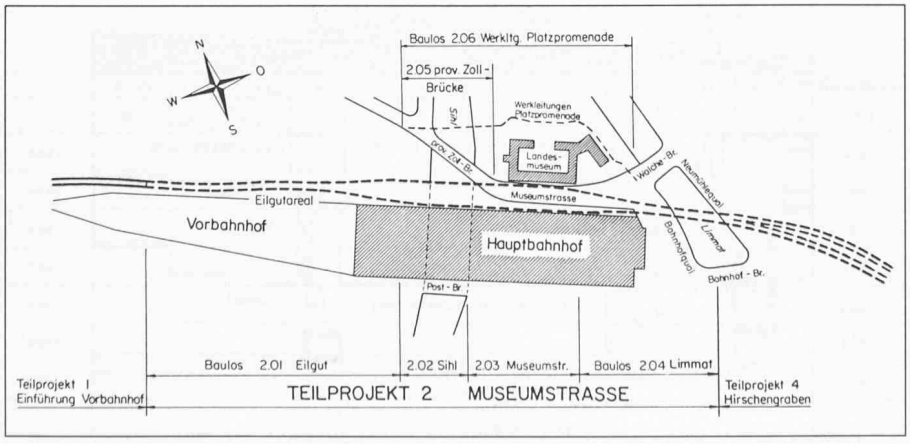
Von Heini Gründler, Gion Letta, Alfred J. Hagmann und Nutal Bischoff, Zürich

Die Bauarbeiten für den unterirdischen Durchgangsbahnhof wurden 1983 aufgenommen. Ende 1987 wird der Rohbau fertiggestellt, und 1990 erfolgt die Inbetriebnahme. Durch die Anwendung der Deckelbauweise kann der private und öffentliche Verkehr in der Museumstrasse verbleiben; er muss dazu aber in mehreren Etappen seitlich auf ein provisorisches Trasse gelegt werden. Für die Unterquerung der Limmat wird das Gefrierverfahren angewandt. Diese Baumethode erlaubt, den Tunnel bergmännisch aufzufahren.

Das Projekt

Der viergleisige Durchgangsbahnhof befindet sich unterhalb der Museumstrasse, zwischen Landesmuseum und Hauptbahnhof, wobei ein Teil des Bauwerks unter den Gleisen 15 und 16 liegt. Seine Höhenlage wird durch die Flüsse Sihl und Limmat bestimmt, welche beide unterquert werden müssen (Bild 1). Auf der untersten Ebene, dem Perrongeschoss, sind zwei Inselperrons von je 300 m Länge und 10,35 m Breite angeordnet. Die darüberliegende Ebene, das Fussgängergeschoss, wird durch Schanzengraben, Sihl und die geplante Sihlexpressstrasse in zwei voneinander unabhängige Hallen «Museumstrasse» und «Sihlquai» aufgeteilt. Als Vertikalverbindungen zwischen den beiden Geschossen stehen Rolltreppen, Lifte und feste Treppen zur Verfügung. Die Ausgänge und Verbindungen nach aussen entsprechen in ihrer Lage den heutigen Fussgängerwunschlinien und hinsichtlich Kapazität der erwarteten Verteilung der Bahnpassagiere auf die angrenzenden Stadtquartiere und die umliegenden Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs.

Bild. 1. Situation Bahnhof Museumstrasse mit Einteilung der Baulose



Baugrund und Grundwasserverhältnisse

Die S-Bahn durchfährt vom ehemaligen Eilgutareal bis zum Neumühlequai ein Gebiet mit stark wechselnden, vielfältigen geologischen Verhältnissen. Unter künstlichen Auffüllungen und lokal auftretenden Überschwemmungssedimenten liegt ein bis 25 m mächtiger Schichtkomplex aus moränennahen Limmattalschottern. Die Schotter sind bezüglich Schichtung, Materialzusammensetzung und Lagerungsdichte sehr heterogen aufgebaut. In etwa 25-30 m Tiefe folgen kompakt gelagerte, eiszeitliche und späteiszeitliche Seeablagerungen. Zwischen Bahnhofquai und Neumühlequai ändern sich die Verhältnisse: die Mächtigkeit des Schotterkomplexes nimmt ab, und die Seeablagerungen keilen aus. In 15 bis 20 m Tiefe folgen hier verschwemmte Moräne, Grundmoräne und schliesslich die Felsoberfläche der oberen Süsswassermolasse.

Das Gebiet beim Hauptbahnhof gehört zum obersten Bereich des Limmattal-Grundwasserstromes. Als Grundwasserleiter wirken hier die moränennahen Limmattalschotter, wogegen die

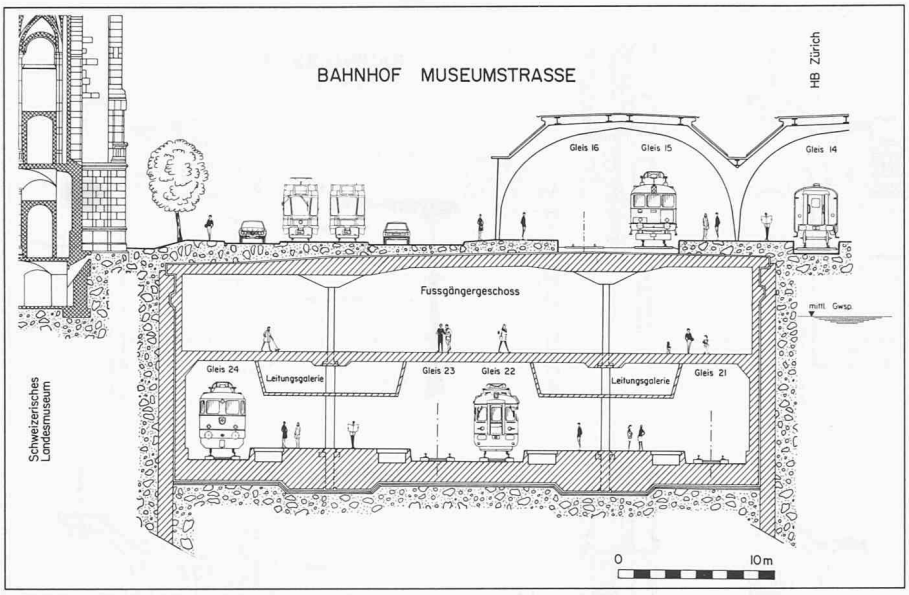


Bild 2. Querschnitt Bahnhof Museumstrasse

undurchlässigeren Seeablagerungen als Grundwasserstauer zu betrachten sind. Die Durchlässigkeit innerhalb des Schotterkomplexes variiert relativ stark, wobei sie generell in Richtung Langstrasse zunimmt.

Randbedingungen für die Wahl des Bauvorganges

Die Baustelle für den Bahnhof Museumstrasse liegt nicht bloss mitten in der Stadt und neben dem Hauptbahnhof, in welchem der Bahnbetrieb dauernd aufrechterhalten werden muss, sondern zudem eingezwängt zwischen zwei für den Strassenverkehr wichtigen Brücken über die Limmat und die Sihl. Alle Überlegungen mussten deshalb davon ausgehen, die an diesem innerstädtischen Knotenpunkt bestehenden Verkehrsbeziehungen für den öffentlichen und privaten Verkehr während der fast 7jährigen Bauzeit aufrechtzuerhalten.

Ausweichrouten für den öffentlichen und privaten Verkehr durch den Park der Platzpromenade wurden untersucht, mussten aber ausgeschlossen werden. Sie hätten zwar den Bauablauf von wesentlichen Auflagen befreit, der Eingriff in die Parkanlage mit dem alten Baumbestand war jedoch nicht zu verantworten. Bauvorgang sowie Etappierung waren deshalb so zu wählen, dass die Verkehrsbeziehungen in der Museumstrasse auch während der Bauarbeiten darin verbleiben können und der Trambetrieb zu keiner Zeit eingeschränkt wird.

Diese wichtigsten Randbedingungen führten zur Wahl der sogenannten *Dekkelbauweise* (siehe Kapitel Bauvorgang). Der Verkehr wird dabei in mehreren Etappen seitlich auf ein provisorisches Trasse umgelegt, das bis zum Ende der Bauarbeiten in der Museumstrasse benutzt werden muss. Für die einzelnen Bauetappen und Installationsplätze verbleiben dadurch verhältnismässig schmale Streifen mit beschränkten Manöver- und Wendemöglichkeiten, was die Organisation der Baustellen stark erschwert.

Das Bauwerk

Die Tragkonstruktion

Die Konstruktion (Bild 2) ist als geschlossener Betonkasten ausgebildet, wobei die oberste Decke für Brückenlasten von Hauptstrassen bzw. Eisenbahnlinien ausgelegt wird. Die Stützen in den beiden Stützenreihen haben einen Abstand von 13,60 m. Die Dekken über Fussgänger- und Perrongeschoss sind als punktgestützte Flachdecken mit Stützstreifen-Vorspannung in Längs- und Querrichtung ausgebildet. In der Halle Museumstrasse ist die Decke über den Stützenköpfen mit flachen Pilzen verstärkt. Dieses Tragsystem erfüllt die Forderung nach möglichst geringen Konstruktionsstärken bzw. nach maximaler Höhe im Fussgängergeschoss. Die Anordnung von Spannkabeln in den Stützstreifen ermöglicht zudem grössere Aussparungen im Mittelfeld der Decken, welche als Bauöffnungen benötigt werden.

Aus wirtschaftlichen, konstruktiven und statischen Überlegungen wurde eine Lösung gesucht, bei der von Anfang an definitive Stützen versetzt werden können. Wegen der grossen Stützenlasten (bis zu 1400 Tonnen Normalkraft im Endzustand und 200 Tonnen Aufprallast im Perrongeschoss) kommen vorfabrizierte Betonstützen nicht in Frage. Runde, geschmiedete Vollstahlstützen werden im Schutze eines Mantelrohres vor dem Betonieren der obersten Decke auf vorgängig erstellte Pfähle versetzt. Um die Toleranzanforderungen zu erfüllen, wird auf dem Pfahlkopf eine Zentrierplatte verlegt. Grössere Setzungen der Pfähle werden durch Anheben der Stützen mittels vorgängig eingebauter Flachpressen ausgeglichen.

Die Fundation

Die Fundation muss auf zwei verschiedene Hauptbelastungszustände ausgelegt werden. Während des Aushubs in der Bauphase 4 (Grundwasserspiegel abgesenkt) tragen Schlitzwand und Pfahlfundation das Gewicht der beiden Decken und der Verkehrsprovisorien. Für die Schlitzwand ergeben sich dadurch Belastungen von etwa 25 Tonnen pro Laufmeter, für die Pfahlfundamente etwa 900–1200 Tonnen pro Pfahl.

Nach Vollendung des Rohbaues wird die Wasserhaltung abgestellt. Das Eigengewicht der Konstruktion reicht nicht aus, um eine genügende Sicherheit gegen Auftrieb zu gewährleisten. Der Auftriebsüberschuss wird durch die Schlitzwand, die Pfahlfundationen sowie durch permanente Auftriebsanker, die im Bereich der Stützenfüsse angeordnet werden, aufgenommen.

Etwa die Hälfte der Pfahlfundationen steht in den verschieden dicht gelagerten Limmattalschottern, bei der anderen Hälfte reicht der Pfahlfuss in die dicht gelagerten, sandigen Seeablagerungen. Das Lastsetzungsverhalten der Grossbohrpfähle von 1,8 m Durchmesser vorherzusagen ist sehr schwierig, je nach Berechnungsverfahren ergeben sich stark abweichende Resultate. Zu Beginn der Bauarbeiten wurden deshalb an zwei Pfählen Belastungsversuche bis zu einer Last von 1250 Tonnen durchgeführt.

Die Abdichtung

Das Bauwerk wird mit einer durchgehenden, elastischen Abdichtung umhüllt. Diese hat die Funktion, die Konstruktion gegen Wasser und zugleich gegen elektrische Streuströme zu schützen. Wegen der vielen Bauetappen ergeben sich zahlreiche Arbeitsstösse. Die Abdichtung muss deshalb aus mehreren Schichten bestehen. Zur Ausführung kommt eine Abdichtung mit zwei Lagen kunststoffmodifizierter Bitumendichtungsbahnen von je 5 mm Stärke.

Die Baugrubenabschlüsse

Die Baugrube wird auf die ganze Länge des Bauwerkes mit Schlitzwänden abge-

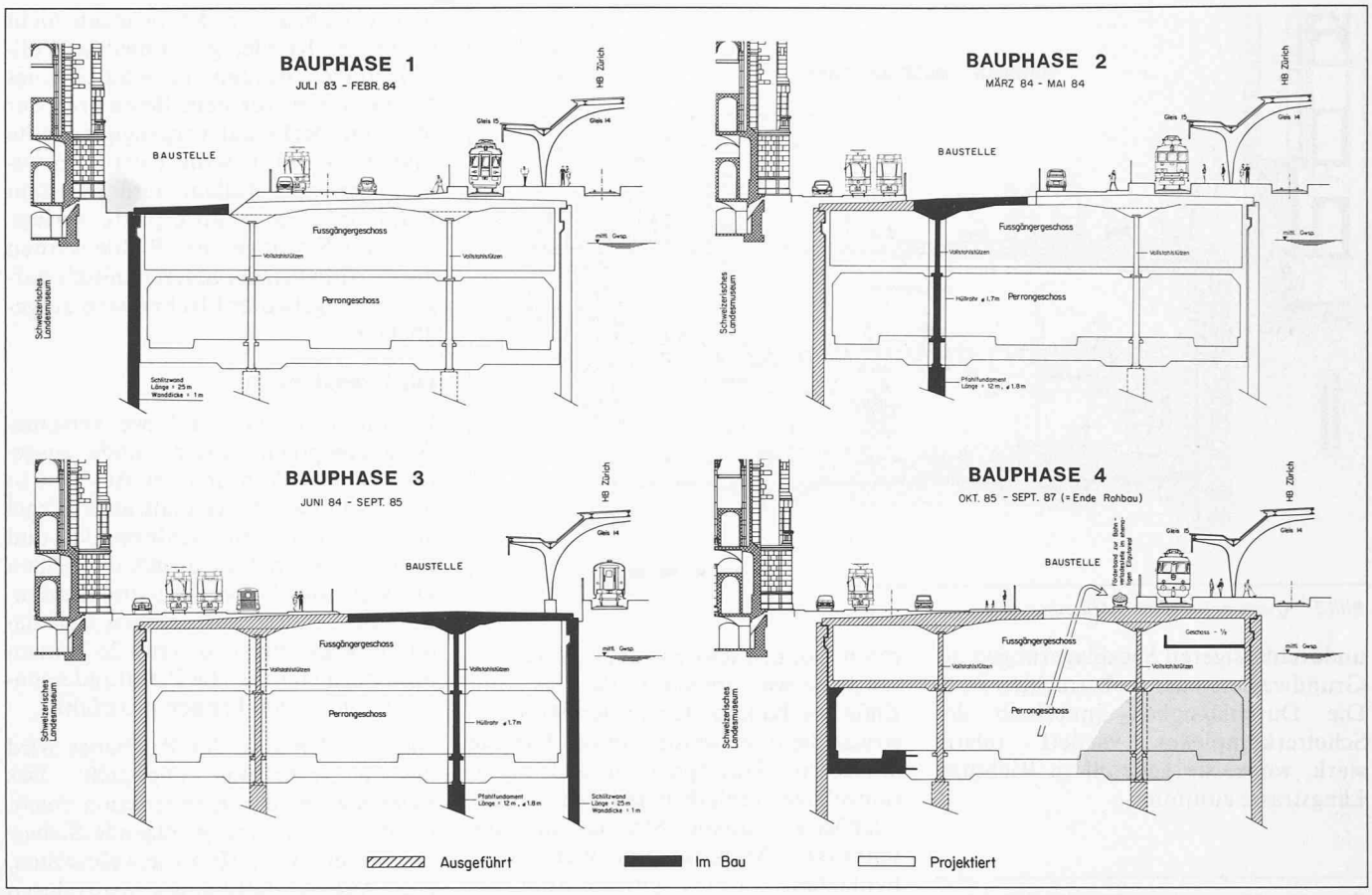
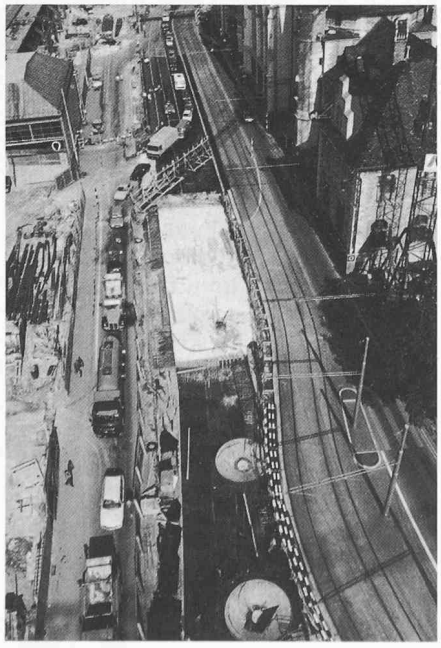


Bild 3. Museumstrasse, Querschnitte mit Bauvorgang, Bauphasen 1 bis 4

schlossen. Diese werden durch die beiden Decken und die Bodenplatte gestützt. Die grossen Stützweiten erfordern eine Wanddicke von 100 cm. Die Einbindetiefe der Schlitzwände wurde aufgrund von statischen und hydraulischen Überlegungen festgelegt. Soweit es wirtschaftlich vertretbar ist, wurde angestrebt, die Schlitzwand in die wenig durchlässigen Seeablagerungen einzubinden, damit für das Absenken des Grundwassers möglichst wenig Wasser gepumpt werden muss.

Bild 4. Bauarbeiten in der Museumstrasse vom Bahnhofquai aus gesehen: Vorne Inselbaustelle der Bauphase 2, auf der rechten Seite liegen die Tramgeleise und eine Fahrspur bereits auf der in der Bauphase 1 betonierten Decke



Das Terminprogramm

Im generellen Bauprogramm der Zürcher S-Bahn war der Bahnhof Museumstrasse von Anfang an auf dem kritischen Weg. Um den Eröffnungstermin Mai 1990 und die Teilinbetriebnahme für die rechte Zürichseelinie im Mai 1989 einhalten zu können, müssen die Rohbauarbeiten Ende 1987 beendet sein. Deshalb musste mit den Bauarbeiten bereits anfangs 1983, also knapp 1½ Jahre nach der Volksabstimmung, begonnen werden.

Die bis 1987 auszuführenden Arbeiten für den Rohbau sind in vier Hauptlose und einige kleinere Lose unterteilt (Bild 1). Der Spatenstich für die Vorbereitungsarbeiten – Baulos 2.05 Provisorische Zollbrücke und Baulos 2.06 Werkleitungsumlegungen Platzpromenade – erfolgte am 17. März 1983, und bereits ab Sommer 1983 waren die Bauarbeiten für die Hauptlose 2.01 bis 2.04 im Gange. Nach dem Rohbauende im Herbst 1987 werden nebst dem Innenausbau und der bahntechnischen Ausrüstung noch die Ausgänge auf der Nordseite gebaut und die Strassen mit den VBZ-Gleisen wiederhergestellt.

Der Bauvorgang

Museumstrasse

Wie schon erwähnt, wird der Bahnhof Museumstrasse im Deckelbauverfahren ausgeführt. Die Schlitzwände, die Pfahlfundationen, die Stahlstützen und die oberste Decke werden in der Museumstrasse in drei Bauphasen erstellt (Bild 3). In der *ersten Bauphase* wird die Schlitzwand Seite Landesmuseum ausgeführt und ein Teil der Decke direkt auf dem Terrain betoniert und vorgespannt. Da die Schlitzwand sehr nahe an die Fassade des Landesmuseums zu liegen kommt, musste der Baugrund an den kritischen Stellen durch Injektionen verfestigt werden. In der *zweiten Bauphase* verläuft ein Teil des Verkehrs über dem betonierten Deckenteil (Bild 4). In der zwischen den Verkehrsspuren liegenden Inselbaustelle werden die Pfahlfundationen in unverrohrten, betonitgestützten Bohrungen von 1,8 m Durchmesser erstellt. Nach dem Betonieren werden die Vollstahlstützen (Durchmesser 50 cm, Gewicht etwa 20 Tonnen) versetzt. Anschliessend wird die zweite Deckenetappe betoniert und vorgespannt. In der *dritten Bauphase* verläuft der Verkehr vollständig auf der nördlichen Seite der Museumstrasse. Damit die südlichen Bauteile erstellt werden können, müssen während 16 Monaten die beiden Gleise 15 und 16

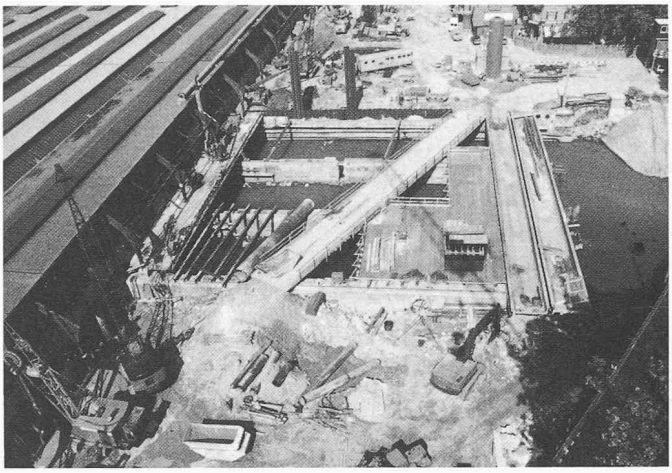


Bild 5. Erste Bauetappe der Sihlunterquerung: Die beiden Durchflussöffnungen des Schanzengrabens sind geschlossen (vorne), links entlang der Perronhalle sind die Schlitzwandarbeiten im Gange. Über den drei verbleibenden Durchflussöffnungen sind rechts die beiden verschobenen Gleisbrücken zu erkennen

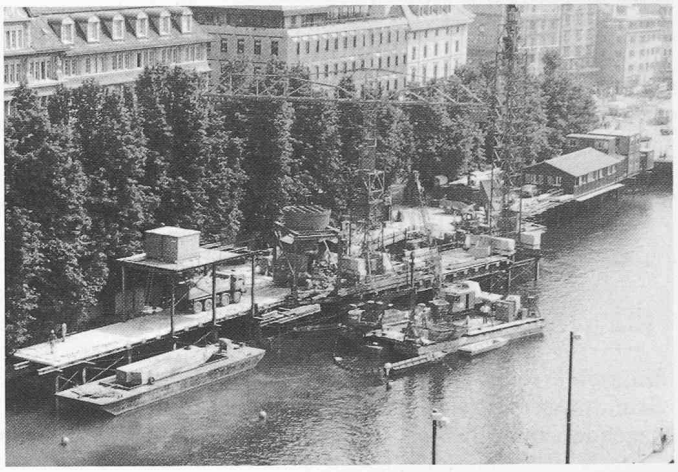


Bild 6. Installationsplattform und Angriffsschacht Limmat. Auf dem Ponton in Bildmitte sind die Geräte für die Rütteldruckverdichtung installiert

aufgehoben und ins ehemalige Eilgutareal verlegt werden.

Im Herbst 1985 erfolgen in der *vierten Bauphase* Aushub und Betonierarbeiten für die unter der obersten Decke liegenden Bauteile bergmännisch. Der Aushub wird durch Aussparungen in den Decken emporgehoben und auf Förderbändern zur Eisenbahnverladestelle im ehemaligen Eilgutareal transportiert.

Sihlunterquerung

Auch zur Unterquerung der Sihl und des Schanzengrabens wird die Deckelbauweise angewandt, wobei hier die Etappierung - entsprechend dem Verlauf des Flusses - quer zum Bauwerk erfolgt (Bild 5). Von den fünf Durchflussöffnungen werden jeweils zwei mittels Spundwänden geschlossen, so dass die unter der Sihl liegende Perrondecke sowie die Brückenpfeiler in drei Etappen gebaut werden können. Die Spundwandabschlüsse bei der Postbrücke und bei der provisorischen Zollbrücke sind mit Notöffnungen versehen, welche bei einem Hochwasser geöffnet werden können. In den ausgeprägten Hochwassermonaten Juni bis November sorgt eine Alarmorganisation mit Pikettdienst für das rechtzeitige Einleiten der notwendigen Massnahmen.

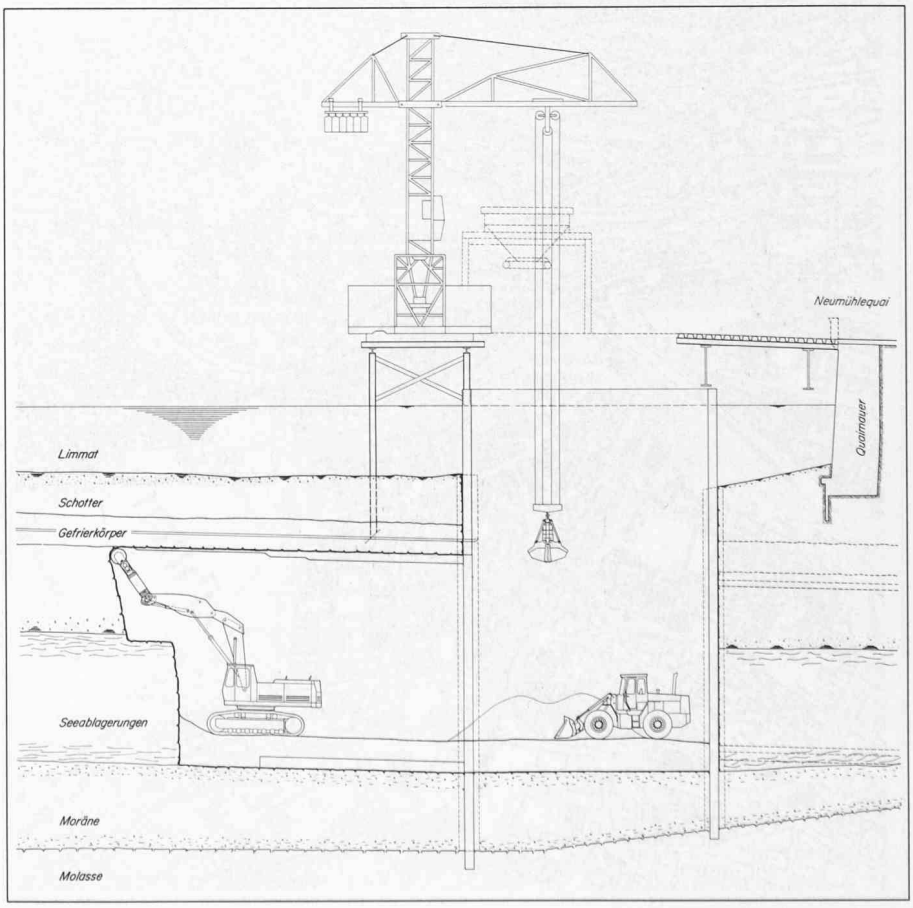
Da das neue Perrongeschoss bis unter die beiden Gleise 15 und 16 reicht, mussten die bestehenden Gleisbrücken im Juli 1984 auf den Pfeilern der abgebrochenen Zollbrücke flussabwärts verschoben werden (Bild 5). Bereits ein Jahr später können sie wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgeschoben werden. Nach Fertigstellung der Perrondecke erfolgt ab Oktober 1985 der Aushub unterirdisch, wobei man Bauöffnungen im Sihlquai als Zugang benützen kann. Nach Abschluss der Aushubarbeiten werden die Bodenplatte und die Innenwände betoniert. Parallel zu diesen Arbeiten erfolgt 1986 der Bau der neuen Zollbrücke.

Limmatunterquerung

Die Bauarbeiten für die Limmatunterquerung erfolgen nach dem *Gefrierverfahren*. Dazu werden zuerst zwei rund 21 m tiefe Angriffsschächte erstellt, einer in der Limmat am Ufer Neumühlequai (Bild 6), der andere im Bahnhofquai, unmittelbar neben den VBZ-Gleisen. Mit Hilfe von gebohrten Gefrierlanzen, in welchen die Gefrierflüssigkeit zirkuliert, wird ein Gefrierkörper über dem geplanten Tunnelquerschnitt erstellt. Im Schutze dieses Gefrierkörpers wird dann der Tunnel bergmännisch vom Schacht Limmat her ausgebrochen und mit Spritzbeton, Einbaubögen und Armierungsnetzen gesichert. Anschliessend wird das Tunnelgewölbe eingebaut (Bilder 7 und 8).

Eine Besonderheit bei der Anwendung des Gefrierverfahrens für die Limmatquerung liegt in der geringen Überdeckung zwischen Tunnelgewölbe und

Bild 7. Längsschnitt Angriffsschacht Limmat. Nach dem Aushub des Schachtes werden die horizontalen Gefrierbohrungen vorgetrieben. Im Schutze des Gefrierkörpers wird der Tunnel mit einer Teilschnittfräse ausgebrochen; der Hohlraum wird mit Spritzbeton, Einbaubögen und Armierungsnetzen gesichert. Schliesslich wird das Tunnelgewölbe betoniert



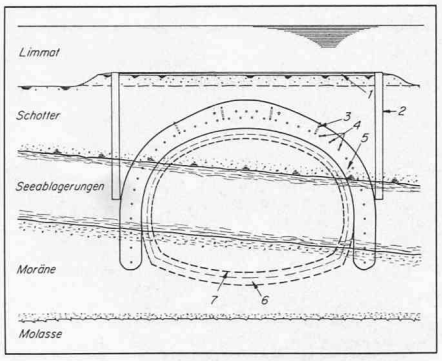


Bild 8. Querschnitt Limmatquerung mit Gefrierkörper, unter dessen Schutz der Tunnel ausgebrochen wird. Als Kälteträger dient eine Kühlflüssigkeit (Calziumchlorid 30%), die in den Gefrierlanzen zirkuliert. (Legende: 1 Isolation der Flusssohle, 2 Spundwand, 3 Temperaturmesssonde, 4 Gefrierlanzen, 5 Gefrierkörper, 6 Aussengewölbe Spritzbeton armiert, 7 Innengewölbe Ortsbeton armiert)

Flusssohle sowie in den vorhandenen Grundwasserverhältnissen. Damit ein tragender und dichter Gefrierkörper überhaupt erstellt werden kann, müssen in der Limmat verschiedene Massnahmen getroffen werden. Durch zwei entlang des Tunnels gerammte Spundwände, einen Injektionsschirm an der Ufermauer Bahnhofquai und durch Rütteldruckverdichtung des Bodens über dem Tunnel reduziert man die Grundwasserströmung unterhalb der Flusssohle. Über dem Tunnel wird diese mit einer Wärmeisolation abgedeckt, damit nicht zuviel Kälte aus dem Gefrierkörper in die Limmat entweichen kann. Insgesamt hat der gewählte Bauvorgang die kleinstmöglichen Auswirkungen auf den Limmatraum und die angrenzenden Strassen.

Adresse der Verfasser: *Heini Gründler*, dipl. Ing. ETH, Chef der Sektion Tiefbau, *Gion Letta*, dipl. Ing. ETH, Adjunkt bei der Sektion Tiefbau, SBB-Bauabteilung Kreis III, 8021 Zürich, *Dr. Alfred J. Hagmann, dipl. Ing. ETH, und Nutal Bischoff*, dipl. Ing. ETH, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich

Die Unterfahrung der Altstadt rechts der Limmat

Vom Central zum Bahnhof Stadelhofen

Von Bernard Wüst und Lothar Garbe, Zürich

Nach dem neuen Bahnhof Museumstrasse wird die Altstadt rechts der Limmat bis zum Bahnhof Stadelhofen vom 1300 m langen Hirschengrabentunnel bergmännisch unterfahren. Von einem Angriffsschacht etwa in Tunnelmitte erfolgt der Vortrieb nach beiden Seiten in wechselnden geologischen Verhältnissen. Die Endbereiche des Tunnels beim Central und bei der Rämistrasse werden unter schwierigen Verhältnissen in anspruchsvollen Konstruktionen separat ausgeführt.

Bild 1. Übersichtsplan

Konzept

Als Teilstück des Kernprojektes der Zürcher S-Bahn hat der 1300 m lange Hirschengrabentunnel den zukünftigen Bahnhof Museumstrasse mit dem Bahnhof Stadelhofen zu verbinden, wo der neue Tunnel seeseitig des Portals des bestehenden Lettentunnels ins Freie mündet.

Das Projekt hat einer Reihe bautechnisch schwieriger Verhältnisse Rechnung zu tragen, wie kleine Überlagerungen, eine starke Überbauung mit zum Teil alten Gebäuden, wechselnden geologischen Verhältnissen von Fels bis zu Lockergestein im Grundwasser sowie Platzmangel und prekären Verkehrsverhältnissen für Baustelleneinrichtungen. Diese Schwierigkeiten sind besonders ausgeprägt in den Endbereichen, die der zeitraubenden komplizierten Bauverfahren wegen als separate Objekte ausgeführt werden müssen. Der 1100 m lange Hauptteil des Hirschengrabentunnels wird von einem Zwischenangriffsschacht aus nach zwei Seiten vorgetrieben.

Aufgrund dieser Gegebenheiten haben sich eine Anzahl unterschiedlicher Tunnelquerschnitte ergeben, d.h. ein- und zweigleisige Profile in Hufeisen- und Kastenform mit entsprechenden Übergangsprofilen.

Der Hirschengrabentunnel ist für eine Ausbaugeschwindigkeit von 80 km/h trassiert. Ab dem Neumühlequai verläuft die Strecke in einem Rechtsbogen bis in die Nähe der ETH und Uni und geht dann in einen Linksbogen über, der in den Bahnhof Stadelhofen führt; die Radien betragen 350 m bis 700 m (Bild 1).

Nach dem Bahnhof Museumstrasse hat die Strecke bis zur Weinbergstrasse ein Gefälle von 24‰, wo auf 389 m über Meer der tiefste Punkt der S-Bahn so-