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

Artikel: Bahnhof Museumstrasse: Übersicht über Projekt und Bauvorgang
Autor: Hagmann, Alfred J. / Bischoff, Nutal / Perucchi, Sandro
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77438

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: 10.12.2025

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

- Linie S7 Rapperswil–Zürich–Winterthur im ½-Stunden-Takt
- Linie S3 Herrliberg–Zürich–Dietikon im ½-Stunden-Takt
- Linie S16 Feldbach–Zürich–Hardbrücke (als Schnellzug zwischen Meilen und Stadelhofen)

- *Limmattal:*
  ¼-Stunden-Takt bis Dietikon
- *Furttal:*
  regelmässiger ½-Stunden-Takt bis Regensdorf-Watt
- *Effretikon–Wetzikon:*
  regelmässiger ½-Stunden-Takt mit der Linie S6 von/nach Zürich und sehr gutem Anschluss an die Linie S2 in Effretikon von/nach Zürich Flughafen
- *Unterland:*
  ½-Stunden-Takt bis Bülach
- *Weinland:*
  optimale Anschlüsse an die S-Bahn in Winterthur und Busanschluss in Marthalen
- *Tösstal:*
  ½-Stunden-Takt bis Bauma.

Die Massnahmen zur Konsolidierung des S-Bahn-Angebots umfassen verschiedene Stationsausbauten und die Modernisierung der Stellwerkanlagen und Fernsteuerung am linken Zürichseeufer. Diese Ausbauten leisten einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung des angestrebten hohen S-Bahn-Standards.

Das Ausbauprogramm beinhaltet im wesentlichen folgende Bauvorhaben:

- Doppelspurausbau ab Portal Riesbachtunnel bis Küsnacht und von Meilen bis Uetikon
- Doppelspurausbau Zürich Seebach bis Regensdorf-Watt einschliesslich Fernsteuerungseinrichtung in Zürich Oerlikon
- Überwerfung Hürlistein (Entflechtung der Verzweigung der Linien Effretikon–Zürich Flughafen und Effretikon–Wallisellen)
- Ausbau bzw. Ergänzung von 20 bestehenden Stationen, nämlich: Marthalen, Rafz, Hüntwangen-Wil, Dielsdorf, Oberglatt, Regensdorf, Zürich-Affoltern, Seebach, Birmensdorf, Affoltern a.A., Zürich Tiefenbrunnen, Zollikon, Goldbach, Herrliberg-Feldmeilen, Uetikon, Feldbach, Rüti ZH, Fehraltorf, Effretikon und Oberwinterthur.
- Erstellung der zwei neuen Haltestellen Schönenwerd (zwischen Schlieren und Dietikon) und Katzenbach (in Zürich Seebach)
- Sicherungstechnische Massnahmen am linken Zürichseeufer.

Die Investitionskosten für die 2. Teilergänzungen der S-Bahn Zürich sind auf 444 Mio Franken veranschlagt (Preisbasis September 1988). Der zwischen dem Bundesamt für Verkehr, dem Kt. Zürich und den SBB ausgehandelte Kostenverteilschlüssel berücksichtigt die unterschiedliche Interessenlage der SBB an den einzelnen Objekten (je nach Objekt beträgt die SBB-Beteiligung 100, 60, 20 oder 0%) und beträgt gesamthaft 44% z.L. SBB und 56% z.L. Kt. Zürich, so dass die SBB 190 Mio Franken und der Kt. Zürich 254 Mio Franken übernehmen werden. Nicht eingerechnet sind die Folgeinvestitionen, die die zweiten Teilergänzungen den SBB verursachen und deren Kosten sie selber zu tragen haben. So werden der Personalbedarf um rund 75 Stellen und der Fahrzeugbedarf um 14 Doppelstockpendelzüge (vgl. Bild Seite 566) sowie 2 Pendelzüge für den Regionalverkehr zunehmen. Zur Sicherstellung der Bahnstromversorgung müssen Unterwerke in Eglisau, Zürich und allenfalls im Raume Meilen/Herrliberg erstellt werden.

Mit der Realisierung des Pakets «zweite Teilergänzungen S-Bahn Zürich», wird ein weiterer bedeutender Schritt im Ausbau des öffentlichen Schienenverkehrs im Kanton Zürich getan. Die damit anvisierten Angebotsverbesserungen werden ab 1995 voll zum Tragen kommen. Ob diese auch in einer fernen Zukunft zu genügen vermögen oder ob weitere Ausbauschritte ins Auge gefasst werden müssen, werden die künftige Verkehrsentwicklung sowie die Bedürfnisse, welche sich aus den Veränderungen der Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur sowie der Umweltbedingungen ergeben können, zeigen. Das System S-Bahn Zürich wird sich jedenfalls auch diesbezüglich als anpassungs- und ausbaufähig erweisen.

Adresse des Verfassers: *F. Kühni*, dipl. Ing. ETH, Oberingenieur SBB Kreis III, 8021 Zürich.

Bahnhof Museumstrasse

Übersicht über Projekt und Bauvorgang

Projekt

Der viergleisige Durchgangsbahnhof verbindet die 12 km lange S-Bahn-Neubaustrecke mit dem nationalen und

VON ALFRED J. HAGMANN, NUTAL BISCHOFF, SANDRO PERUCCHI, ZÜRICH

internationalen Eisenbahnnetz. Er befindet sich unter der Museumstrasse und den ehemaligen Gleisen 15 und 16 (heute 17 und 18) des Zürcher Hauptbahnhofes. Seine Höhenlage wird durch die Flüsse Sihl und Limmat bestimmt, welche beide unterquert werden müssen. Auf der untersten Ebene, dem Perrongeschoss mit einer lichten Breite von 36 m und einer lichten Höhe von 6 m, sind zwei Mittelperrons von je 320 m Länge und 10,35 m Breite und die vier Gleise 21 bis 24 angeordnet. Über den beiden Perrons befindet sich eine begehbare Leitungsgalerie (Bild 1).

Zum Teilprojekt 2, Bahnhof Museumstrasse, gehören auch der überdeckte Teil der Rampe, welche die Verbindung zum Eisenbahnnetz herstellt, und die Limmatunterquerung bis zum Beginn des Hirschengrabentunnels. Diese beiden zweispurigen Bahntunnels enthalten die Gleisanlagen für einen vollständigen Spurwechsel.

Die über den Perrons liegende Ebene, das Fussgängergeschoss, wird durch Schanzengraben, Sihl und die geplante Sihlexpressstrasse in zwei voneiander unabhängige Hallen «Museumstrasse» und «Sihlquai» aufgeteilt (Bild 2). Als Vertikalverbindungen zwischen den beiden Geschossen stehen Rolltreppen, Lifte und feste Treppen zur Verfügung. Die beiden Hallen stellen die Fussgängerverbindungen zwischen dem Perrongeschoss und dem restlichen Teil des Hauptbahnhofes sowie den Strassen und Tramhaltestellen her. Sie beherbergen zudem verschiedene Dienstleistungs-, Verkaufs- und Restaurationsbetriebe für die Bahnreisenden.

Die Halle Museumstrasse bildet mit einer Länge von rund 200 m und einer Breite von 36 m die Drehscheibe der

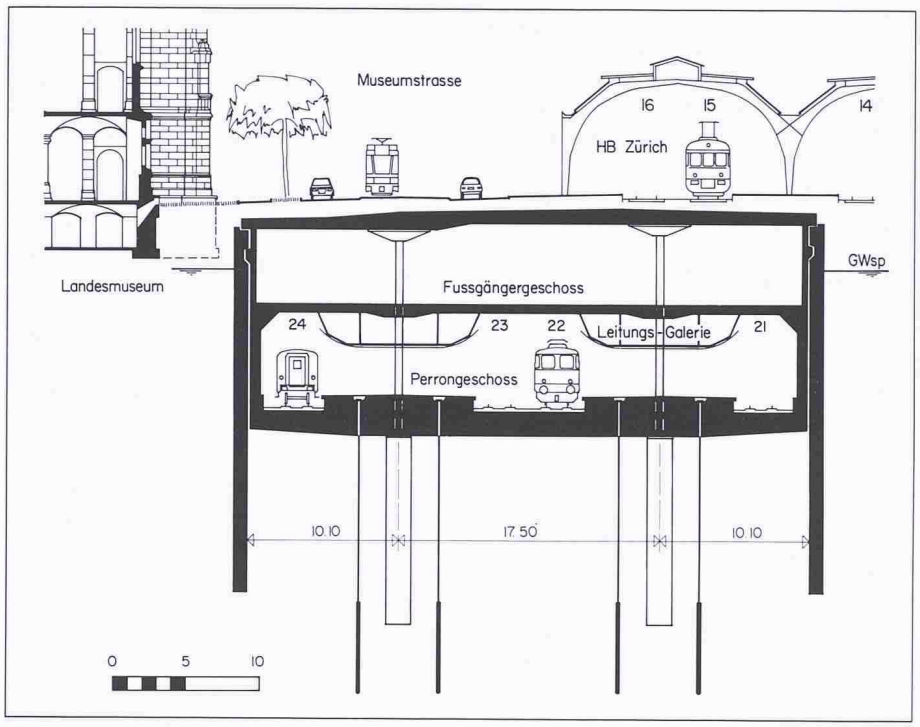

Bild 1. Querschnitt Bahnhof Museumstrasse

Fussgängerverbindungen. Zwei Querverbindungen zum Shopville sorgen für die Entlastung der heutigen Querhalle von einem Teil des Umsteigeverkehrs. Nebenbetriebe, Kioske, Kaffees usw. sind entlang den Aussenwänden angeordnet, so dass sich die Verkehrsfläche zusammenhängend und übersichtlich präsentiert.

Der Ausgang Bahnhofquai umfasst zwei feste Treppen zu den Traminseln und eine zum limmatseitigen Trottoir. Unter diesem Ausgang liegt die Kältezentrale, welche den gesamten Kältebedarf sowohl für den Bahnhof Museumstrasse als auch für die bestehenden Bauten im HB Zürich abdeckt. Der Ausgang Landesmuseum bedient die nördliche Seite der Walchebrücke und den Weg zum Platzspitz. Ein Mehrzweckraum und ein Kaffee sind mit diesem Ausgang kombiniert.

Der Ausgang Platzspitz liegt zwischen dem Landesmuseum und dem Schanzengraben. Er ist mit einer provisorischen Rampe versehen, welche der Warenanlieferung für die Läden im Fussgängergeschoss dient. Nach dem Bau der unter dem Bahnhofquai geplanten unterirdischen Anlieferungsanlage des Hauptbahnhofes soll diese Rampe wieder abgebrochen werden.

Eine breite Treppe verbindet die Halle Sihlquai mit der Personenunterführung West. Rolltreppen, eine feste Treppe und Lifte dienen als Vertikalverbindung zum Erdgeschoss und zu der geplanten Überbauung HB-Südwest. Die beiden Ausgänge Radgasse und Sihlquai führen zu den benachbarten Strassen und zur Tramhaltestelle Sihlquai.

Die technischen Räume für den Betrieb des unterirdischen Bauwerkes und der Bahnanlagen sind am westlichen und östlichen Ende des Fussgängergeschosses angeordnet. Weitere technische Räume befinden sich im vierten Untergeschoss des Nordtraktes. Von dort werden die Medien über einen Leitungskanal unter dem Perrongeschoss hindurch zu den beiden Leitungsgalerien geführt.

Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

Das Bauwerk durchquert ein Gebiet mit stark wechselnden geologischen Verhältnissen (Bild 3). Unter künstlichen Auffüllungen und lokal auftretenden Überschwemmungssedimenten liegt ein bis 25 m mächtiger Schichtenkomplex aus moränennahen Limmattalschottern. In etwa 25 bis 30 m Tiefe folgen kompakt gelagerte, eiszeitliche und späteiszeitliche Seeablagerungen. Gegen Osten, 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 gegen Osten ansteigende Felsoberfläche der Oberen Süsswassermolasse.

Das Bauwerk liegt im Grundwasser, der mittlere Grundwasserstand fällt von 404,5 m ü.M. am Bahnhofquai auf 402,0 m ü.M bei der Sihl. Er liegt rund 10 m über der Schienenhöhe des Perrongeschosses. Weitere Angaben über die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse befinden sich in [1].

Konstruktive Gestaltung

Die gewählte Deckelbauweise hat die Konzeption der Tragkonstruktion massgeblich beeinflusst. So muss die oberste Decke auf Stützen gelagert werden, die in vertikalen Bohrlöchern auf vorgängig erstellten Pfählen versetzt worden sind. Damit ist von vornherein ein System von horizontalen und vertikalen Elementen, das heisst von Dekken und Stützen, fixiert, das an und für sich logisch ist, das aber viele Alternativen ausschliesst, die bei einer normalen Bauweise von unten nach oben denkbar wären. Aus naheliegenden Gründen hat man versucht, wenn immer möglich die definitiven Stützen einzubauen. Nur in Ausnahmefällen hat man

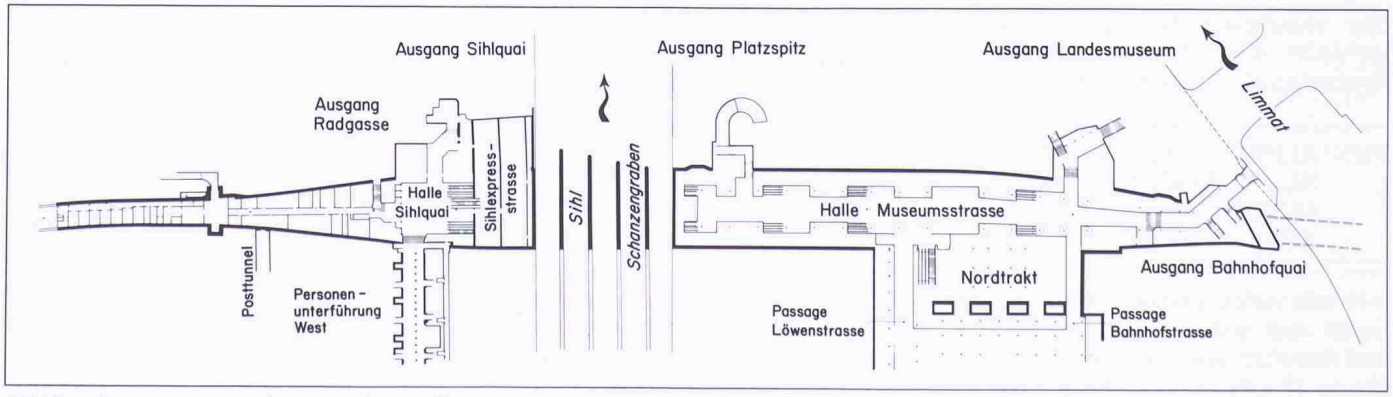

Bild 2. Fussgängergeschoss mit den Hallen Museumstrasse und Sihlquai

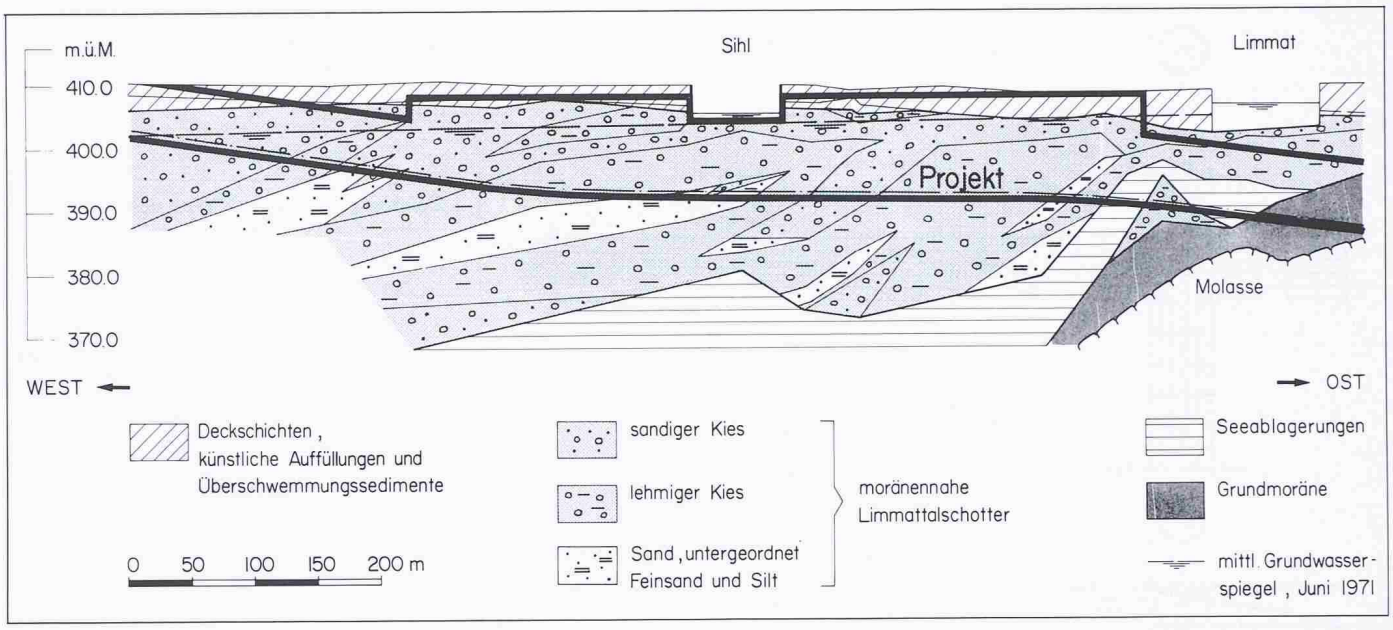

Bild 3. Geologisches Längenprofil

auf provisorische Stützen zurückgegriffen.

Der Stützenraster wurde so ausgelegt, dass er grösstmögliche Bewegungsfreiheit auf den Perrons und in der Halle gewährleistet und einen möglichst grossen Sicherheitsabstand zu den Gleisen aufweist. Auf jedem Perron ist eine Reihe von Stützen im Abstand von ca. 13,6 m angeordnet worden. Mit der Festlegung des Stützenrasters war es allerdings bei weitem nicht getan. Im Laufe der jahrelangen Projektierung hat man verschiedentlich versucht, einzelne Stützen zugunsten einer bequemen örtlichen Problemlösung zu verschieben. Es ist aber wichtig, dass solche einmal festgelegte, übergeordnete Konzepte wenn auch nicht stur, so doch entsprechend einer Bauhierarchie eingehalten werden.

Die Dilatationsfugen wurden nicht am Ende eines Feldes angeordnet, was eine Doppelstütze erfordert hätte, sondern im Fünftelspunkt der Spannweite. Somit bleiben die Stützen im Normalrhythmus. Das Bauwerk, das eine Gesamtlänge von ca. 860 m aufweist, ist in Abständen von 60 bis 80 m dilatiert.

Decke über dem Fussgängergeschoss

Die unter der Strasse liegenden Werkleitungen wurden nicht in die Decke einbetoniert, sondern auf der Decke über der Abdichtung verlegt; eine Lösung, die im Hinblick auf spätere Strassenumbauten sicher Vorteile bietet, die aber eine Aufbaustärke von ca. 1,0 m mit entsprechend grossen toten Lasten erfordert.

Da bei der Deckelbauweise die oberste Decke zuerst gebaut werden musste, zu diesem Zeitpunkt aber die Konzepte für die Beleuchtung der Halle, den Ladenausbau, usw. noch nicht vorlagen, entschied man sich, sämtliche Installationen auf Putz zu montieren. Von daher war eine möglichst ebene Deckenuntersicht erwünscht. Die Flachdecke hätte diese Bedingung am besten erfüllt und zudem die geringste Konstruktionsstärke aufgewiesen. Sie wäre auch der Bestrebung entgegengekommen, die Raumhöhe der Halle möglichst gross zu halten. Jedoch vermochte diese eher gesichtslose Konstruktion ästhetisch nicht zu befriedigen. Man wollte die Tragkonstruktion zeigen, wobei den Architekten eine Kassettendecke vorschwebte. Dazu ist zu sagen, dass die Decke in zahlreiche, den Verkehrsbahnen folgende Bauetappen unterteilt war, wodurch die Arbeitsfugen nicht immer in die statisch gewünschten Zonen niedriger Beanspruchung zu liegen kamen. Aus diesem Grund war eine Konzentration der Armierung in einzelnen Rippen, wie dies bei der Kassettendecke der Fall gewesen wäre, zu vermeiden.

Für die Haupthalle östlich der Sihl wählte man schliesslich eine Deckenplatte mit grossen konischen Betonpilzen über den Stützen (Bild 4). Diese Konstruktion ist die ideale Lösung für eine punktgestütze Decke, weist sie doch gerade über den Stützen, wo die Beanspruchungen hoch sind, die grössten Konstruktionsstärken auf. Auf die Gestaltung der Betonpilze hat man grosse Sorgfalt verwendet. Auch wenn sie durch die Ladeneinbauten teilweise verdeckt werden, prägen sie doch den Gesamteindruck der Fussgängerhalle. Den Übergang zwischen dem Betonpilz und der Stahlstütze bildet eine versenkte Kopfplatte.

Die Decke weist in Querrichtung zur Halle eine mittlere Spannweite von 17,5 m auf, während die Randfelder nur ca. 10 m weit gespannt sind. Somit ergeben sich für die Mittelfelder Spannweiten von 17,50×13,60 m.

Wegen der relativ grossen Spannweiten und Lasten ist die Decke partiell vorgespannt. In jedem Stützstreifen sind sechs parabelförmig geführte Vorspannkabel à 2300 kN angeordnet (Bild 5 und 6); die daraus resultierenden Umlenkkräfte entsprechen ungefähr 90% der ständigen Lasten. Die zentrische Betonspannung beträgt ca. 1 N/mm². Die Vorspannung wurde in zwei Stufen, drei bzw. zehn Tage nach dem Be-

Bild 4. Decke über Fussgängergeschoss, Schalung

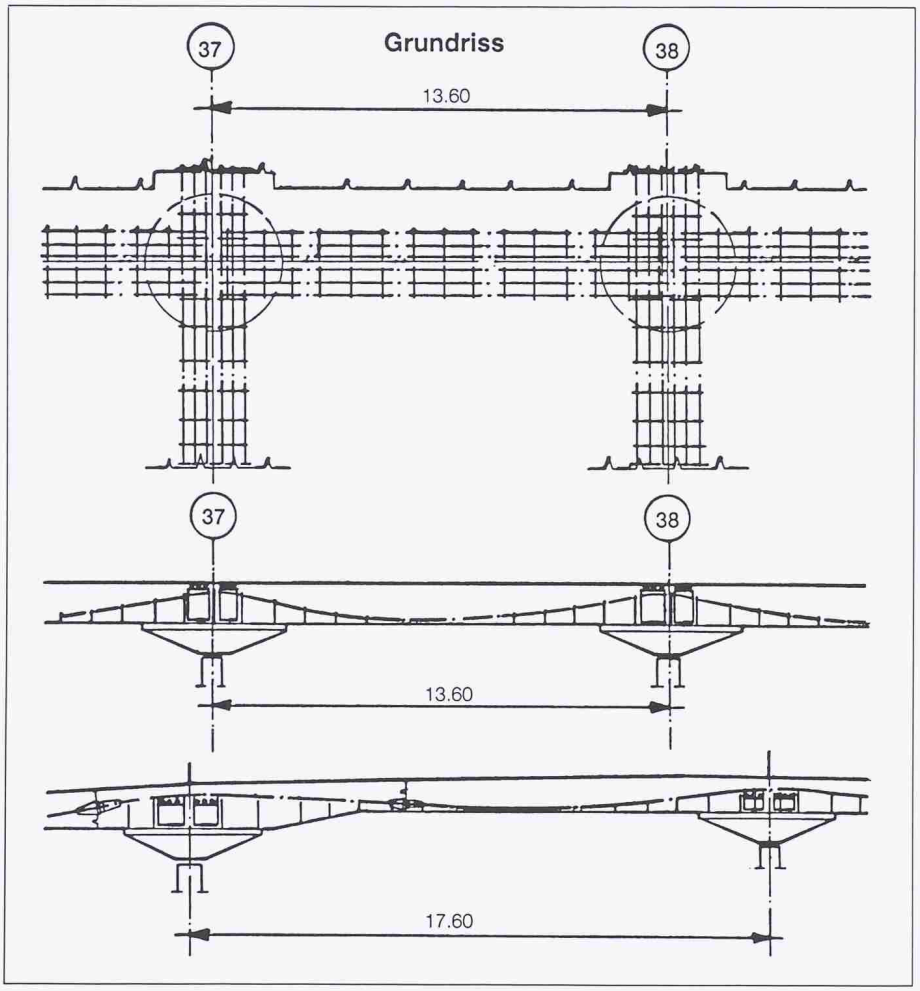

Bild 5. Decke über Fussgängergeschoss, Stützstreifenvorspannung

tonieren einer Etappe, aufgebracht. Unmittelbar danach sind die Vorspannkabel mit Zement injiziert worden. In den Arbeitsfugen sind die Kabel gekoppelt. Die Kupplungen liegen im Querschnitt relativ nahe der neutralen Achse, so dass die vom Verkehr erzeugten Zusatzspannungen relativ klein bleiben.

Ein für die Bemessung der Decken wichtiger Lastfall war der Stützenausfall. Die SBB haben für Gleisarealüberbauungen, die durch Dritte erstellt werden, eine Richtlinie für die Auslegung der Tragkonstruktion aufgestellt, die auch bei diesem Bauwerk sinngemäss angewandt wurde. Danach wurde als besonderer Lastfall der Ausfall von einer Stütze sowie von zwei Stützen untersucht. Im Bereich Museumstrasse ist die Tragkonstruktion so bemessen, dass beim Ausfall einer Stütze die Bruchsicherheit noch 1.3 und beim Ausfall von zwei Stützen hintereinander 1.0 beträgt.

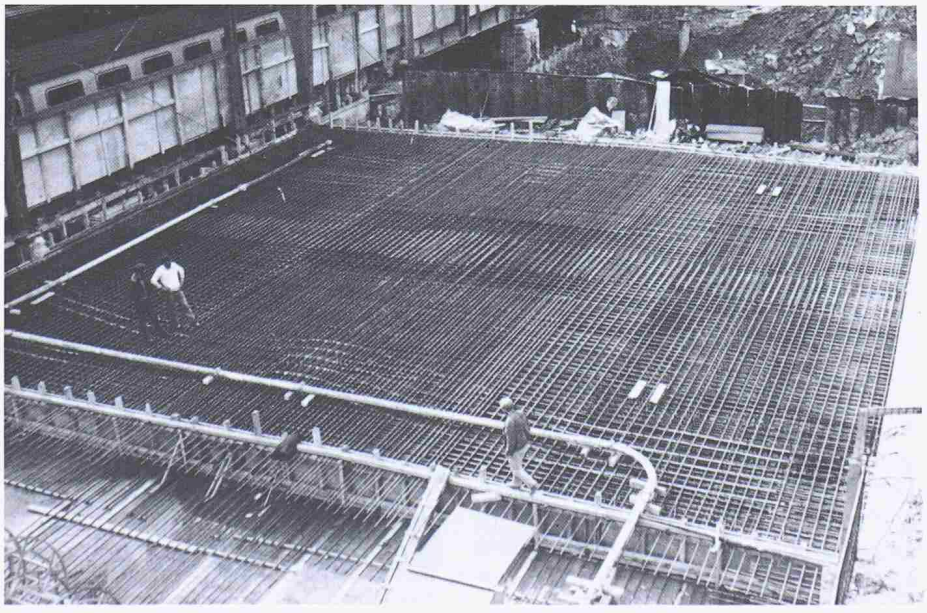

Bild 6. Decke über Fussgängergeschoss, Armierung

Decke über dem Perrongeschoss

Diese Decke hat im Grundriss die gleiche Geometrie wie die obere Decke, sie weist aber zusätzlich zahlreiche Öffnungen für Treppen, Lifte usw. auf. Im Bereich östlich der Sihl wurde sie als Platte von 60 cm Dicke mit Voutenverstärkung entlang der Stützenreihe ausgelegt und mit vier Vorspannkabeln à 2300 kN pro Stützstreifen partiell vorgespannt; die zentrische Betonspannung beträgt ca. 1 N/mm². Die resultierenden Umlenkkräfte entsprechen ca. 75% der ständigen Lasten. Da die Dekkenstirn von den Schlitzwänden verdeckt war, mussten die Querkabel von Spannischen aus wechselseitig vorgespannt werden. Während des Aushubs des Perrongeschosses diente die Decke als Spriess zwischen den Schlitzwänden.

Vollstahlstützen

Die Stütze aus Vollstahl weist die kleinstmöglichen Abmessungen auf, was im Hinblick auf die engen Platzverhältnisse auf den Perrons ein gewichtiger Vorteil ist. Die Stützen sind aus Stahl St 52-3 (σ_f= 295 N/mm²) geschmiedet (Bild 7).

Im Perrongeschoss müssen die Stützen eine Anprallkraft von 2 MN (200 t) aufnehmen können. Die Spannungen dürfen dabei die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten. Dies ergab einen Durchmesser von 50 cm. Dort, wo die Stütze nicht ausfallen darf, wurde sie für eine zweifache Anprallast von 4 MN (400 t) ausgelegt; der Durchmesser beträgt hier 60 cm.

Wegen der relativ grossen Stützenlänge von ca. 14 m mussten die Stützen in zwei Teilen geschmiedet werden (Bild 8). Der Stoss mit Doppelflansch wurde als Auflager für die Decke über dem Perrongeschoss genutzt. Während die Stützenlasten im Bauzustand (ca. 12 MN) über eine Fussplatte auf die Pfähle abgegeben werden, werden sie im Endzustand nach Ansteigen des Grundwasserspiegels von der Bodenplatte aufgenommen. Das entsprechende Auflager für die volle Last von 20 MN wurde als Kreisring ausgebildet. Im Perrongeschoss bleiben die Stützen unverkleidet, da sie einen Brandwiderstand F90 aufweisen. Im Fussgängergeschoss hingegen werden die Stützen mit einer Brandschutzverkleidung versehen.

Bild 7. Schmieden der Vollstahlstützen bei von Roll, Gerlafingen

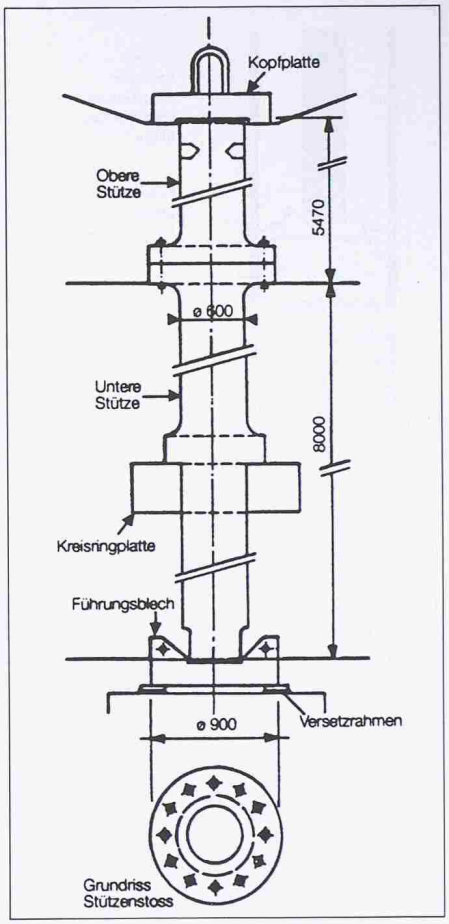

Bild 8. Vollstahlstütze

Das Zusammensetzen der zwei Stützenteile in vertikaler Lage am Kran und das Versetzen der bis zu 20 t schweren Stützen im Bohrloch erforderten eine genaue Planung (Bild 9 und 10). Um eine gute Lagegenauigkeit zu erreichen, wurde zuerst eine Fussplatte mit Führungsrippen auf dem Pfahl versetzt. Danach wurde die Stütze blind abgesenkt.

Fundation

Die Fundation ist auf zwei verschiedene Belastungszustände ausgelegt. Während im Endzustand die Lasten der beiden Stützenreihen über die Bodenplatte auf den Baugrund abgegeben werden bzw. dem Auftrieb entgegenwirken, mussten die Stützen im Bauzustand auf Pfähle abgestellt werden. Der gewählte Stützenraster führt im Bauzustand bei abgesenktem Grundwasserspiegel zu maximalen Pfahlbelastungen von 12 MN. Die Pfähle sind als unverrohrte Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 180 cm und einer Länge von 12 bis 15 m ausgeführt worden. Die Bemessung der Pfahlfundation stützt sich auf die Resultate von Probebelastungen, welche in [2] erläutert sind. Zum Ausgleich grösserer Setzungen und Setzungsdifferenzen wurden Flachpressen zwischen Pfahlkopf und Stützenfuss eingebaut (Bild 11).

Auftriebssicherung

Bereits im frühen Projektstadium wurde klar, dass aus wirtschaftlichen und technischen Gründen Permanentanker für die Auftriebssicherung nicht zu vermeiden sind. Mit verschiedenen Massnahmen ist es gelungen, von der Sihl an westwärts auf Anker zu verzichten sowie im Bereich zwischen Limmat und Sihl mit dem Gewicht des Bahnhofgebäudes und der Schlitzwände den mittleren Grundwasserstand abzudecken. Die Permanentanker haben damit zur Hauptsache den Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels über dem Mittelstand aufzunehmen.

Bild 9. Versetzen der unteren Stütze

Bild 10. Verbinden der beiden Stützenteile

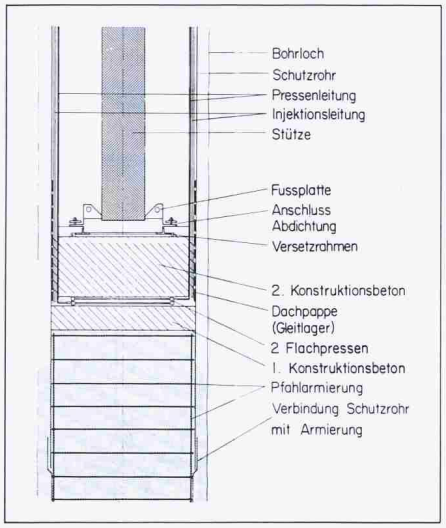

Bild 11. Schnitt durch Stützenfuss

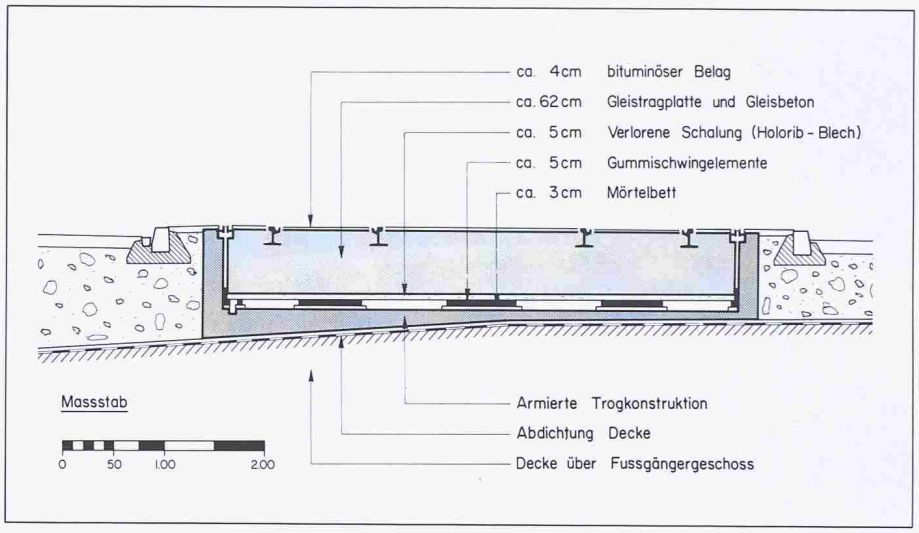

Bild 12. Schnitt durch Massefedersystem unter dem Tramtrassee

Die prinzipielle Anordnung der Auftriebsanker ist aus dem Querschnitt (Bild 1) ersichtlich. Die Anker – Lokkergesteins- oder Felsanker, je nach Lage der Felsoberfläche – weisen eine freie Länge von 7 bis 20 m und eine Verankerungslänge von 6 m auf. Die Gebrauchslasten betragen 500 kN bzw 750 kN. Um Deformationen zu verhindern, sind die Anker auf die Gebrauchslast vorgespannt. Angesichts der hohen Anforderungen, die an die Bauwerke der S-Bahn Zürich gestellt werden, wurden Einflüsse auf die Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit der Auftriebsanker sowie mögliche Verbesserungen sorgfältig untersucht. Es zeigte sich, dass die auf dem Markt angebotenen Permanentanker Schwachstellen sowohl in der Konstruktion als auch in der Anfälligkeit auf Ausführungsfehler aufweisen, welche die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen können [3]. In Anbetracht der hohen Anforderungen wurden deshalb verschiedene technische Massnahmen und zusätzliche Ausführungskontrollen realisiert, mit denen die Zuverlässigkeit der Anker erhöht und deren Lebensdauer verlängert werden konnte.

Abdichtung und Streustromschutz

Gegen das Eindringen von Grundwasser und elektrischen Streuströmen ist das Bauwerk mit zwei Lagen kunststoffmodifizierten Bitumendichtungsbahnen à je 5 mm Dicke vollflächig geschützt. Auch alle Durchdringungen für Leitungen und Auftriebsanker sind wasserdicht und elektrisch isolierend ausgebildet. Wegen der grossen Ausdehnung des Bauwerkes und der grossen Zahl von Anschlüssen bei Bauetappen, Ausgängen, Durchdringungen usw. wurden folgende Massnahmen zur Ortung und Sanierung von allfälligen Leckstellen getroffen:

- Kontroll- und Injektionsstutzen im Bereich schwieriger Anschüsse und Übergänge
- Abschottungen
- Drainagesystem zur Ableitung von Leckwasser im Bereich von Schwachstellen.

Dem Schutz des Bauwerkes vor Streuströmen kommt grosse Bedeutung zu. Durch das Fernhalten des Wassers wird erreicht, dass der Beton trocken bleibt und seine elektrische Leitfähigkeit entsprechend niedrig ist. Die elektrisch isolierende, elastische Abdichtung verhindert das Eindringen von unerwünschten Streuströmen weitgehend. Als zusätzliche Massnahme ist die Armierung inklusive Spannkabel vernetzt und geerdet. Allfällig eintretende Streuströme werden auf diese Weise kontrolliert abgeleitet.

Schutz gegen Erschütterungen und Körperschall

Das Tram befährt die Bauwerksdecke mit teilweise geringer Überdeckung. Um die Immissionen unter die festge-

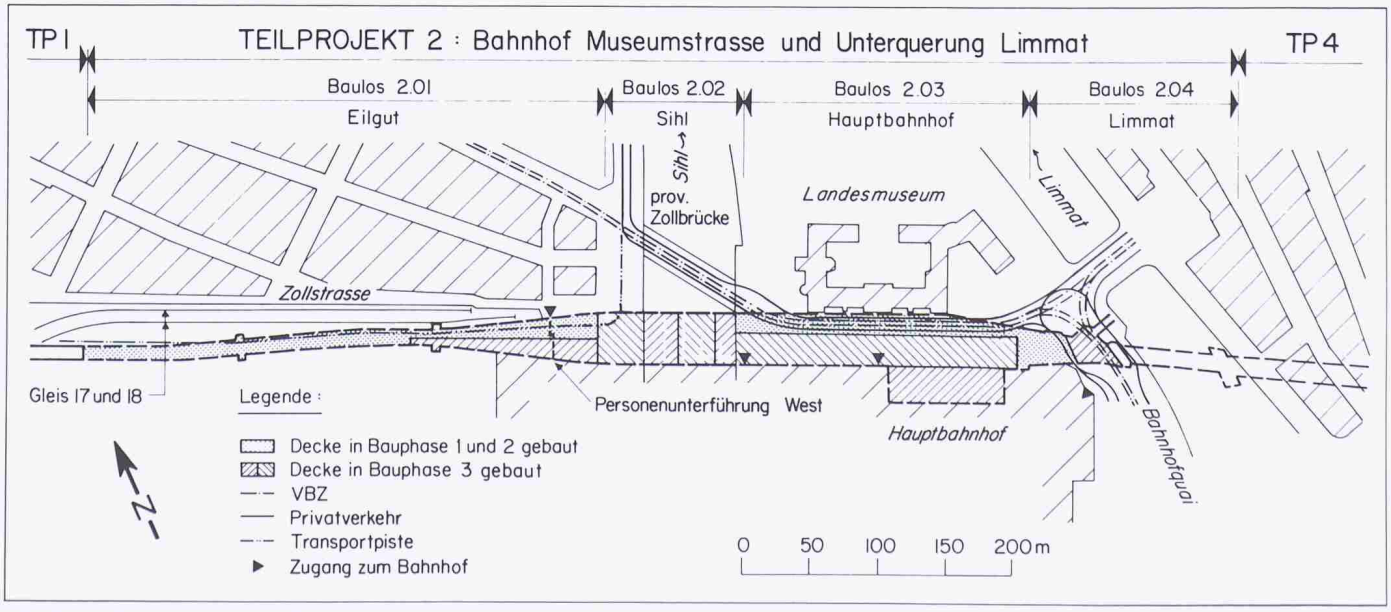

Bild 13. Situation Bahnhof Museumstrasse mit Etappierung der Decke und Verkehrsprovisorien Bauphasen 3 und 4

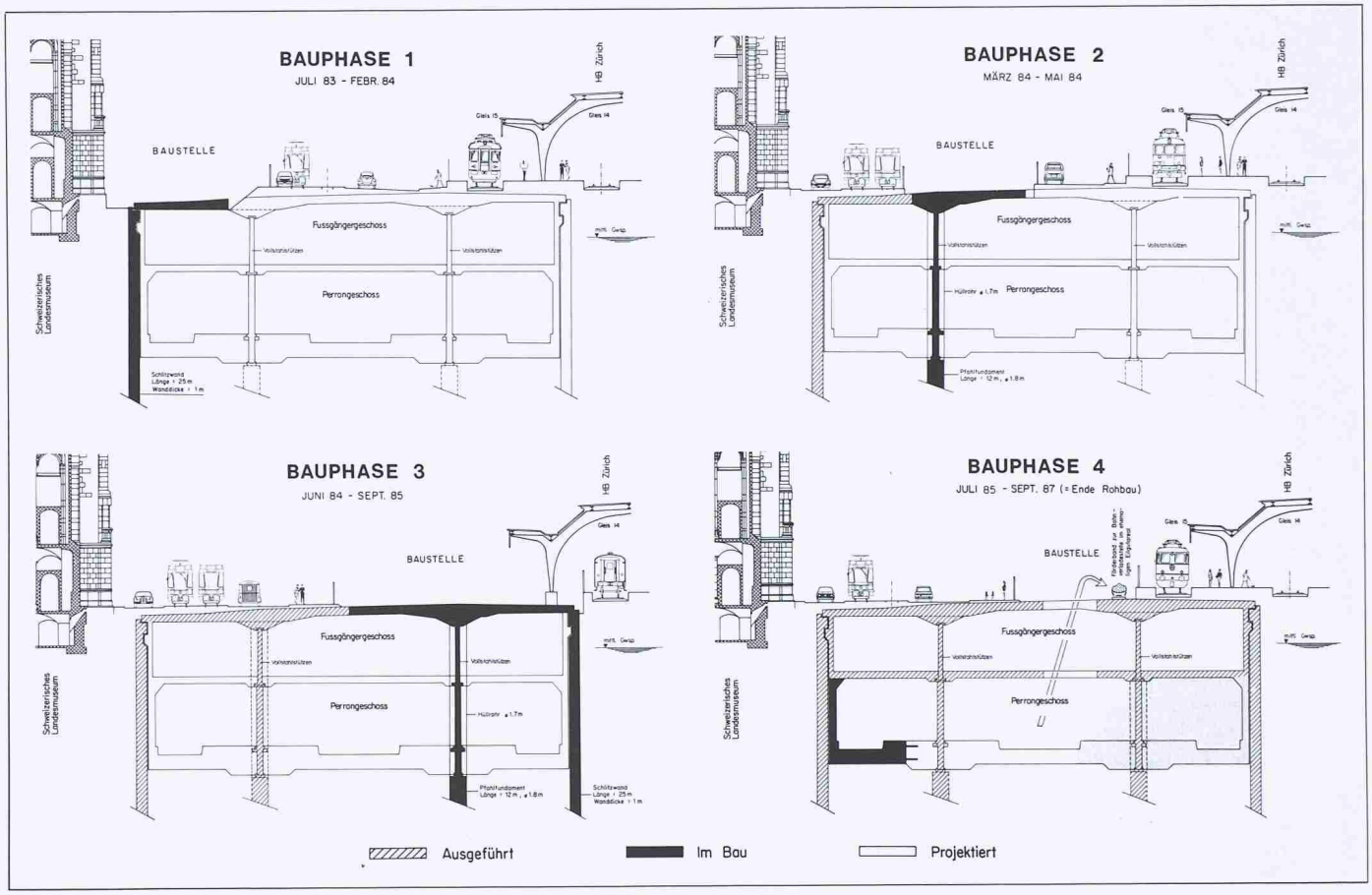

Bild 14. Querschnitt Museumstrasse mit Bauvorgang Bauphasen 1 bis 4

setzten Zielgrössen von o,4 mm/s Schwinggeschwindigkeit bei den Erschütterungen und von 55 dB(A) beim Körperschall zu senken, wurden folgende Massnahmen getroffen:

1. Einbau eines Massefedersystems (Bild 12) im Bereich der Weichen (Ausgänge Landesmuseum und Limmat) und bei ungenügender Überdeckung (Bahnhofquai).

2. Einbau einer schalldämmenden Kunststoffmatte zwischen Bauwerksdecke und Kieskoffer im restlichen Bereich der Museumstrasse.

Bei den SBB-Gleisen 15 und 16, welche ebenfalls über der Decke des Bauwerks liegen, ist der Gleistrog so ausgebildet, dass bei Bedarf eine Unterschottermatte eingebaut werden kann.

Bauvorgang

Die Baustelle für den Bahnhof Museumstrasse liegt nicht bloss mitten in der Stadt und unmittelbar neben dem Hauptbahnhof, sondern auch zwischen zwei für die innerstädtischen Verkehrsbeziehungen wichtigen Flussübergängen. Alle Überlegungen mussten davon ausgehen, die an diesem Verkehrsknoten bestehenden Beziehungen für den öffentlichen und privaten Verkehr während der fast siebenjährigen Bau-

Bild 15. Bauarbeiten für die Pfahlfundationen in der Bauphase 2

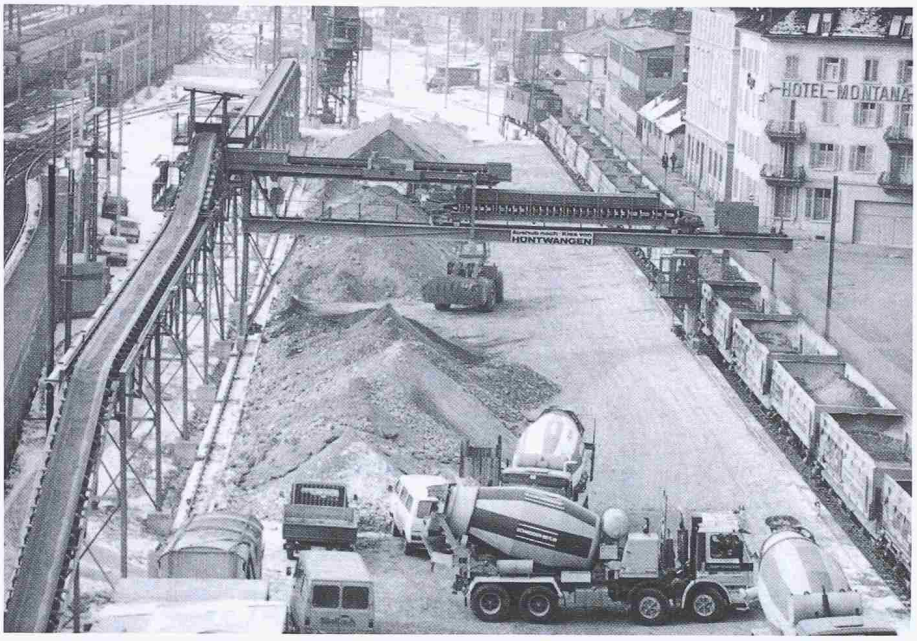

Bild 16. Verladeareal mit Bandanlage und Bahnwagen

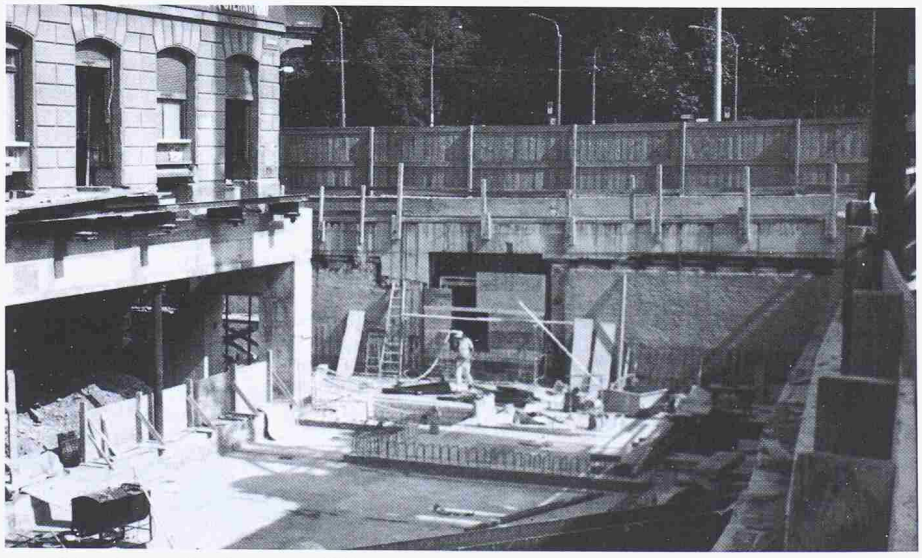

Bild 17. Baugrube Ausgang Sihlquai

Beteiligte an Projekten und Bauleitung

Die Bauarbeiten am Bahnhof Museumstrasse haben an alle Beteiligten hohe Anforderungen gestellt. Manchmal entstand der Eindruck, die Grenzen des Machbaren seien erreicht. Dank des überdurchschnittlichen Einsatzes aller an Projekt und Ausführung Beteiligten konnten die überaus anspruchsvollen Rohbauarbeiten termingerecht und im vorgesehenen Kostenrahmen abgeschlossen werden. Dafür sei allen auch seitens der mit Projekt und Bauleitung betrauten Ingenieure bestens gedankt.

Oberbauleitung: SBB, Bauabteilung Kreis III, Sektion Tiefbau

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

Architekt: Steiger Partner AG, Zürich

Geologie: Dr. H. Jäckli AG, Zürich

Vermessung: H. Lüscher, Zürich

Provisorische und neue Zollbrücke: SKS Ingenieure AG, Zürich

Projekt Gedeckte Rampe: Fietz AG, Bauingenieure, Zürich

Projekt Aushubverladeanlage: Lanz/Poier, Maschineningenieure, Bülach

Erschütterungen: GSS Glauser, Studer, Stüssi, Ingenieure SIA/ASIC AG, Zürich

Innenausbau: Architektengemeinschaft T. und R. Haussmann, Steiger Partner AG, Zürich

Haustechnikkoordination und Sanitäranlagen: Synerga AG, technische Planungen, Haustechnik, Zürich

Heizungs- und Lüftungsanlagen: Schindler Haerter AG, Beratende Ingenieure, Zürich

Elektrische Anlagen: Bakoplan, Elektroingenieure AG, Zürich

Fahrleitungen: P. Keller, Ingenieurbüro AG, Dübendorf

zeit zu erhalten. Zudem war zu berücksichtigen, dass der Zugang und die Zulieferung zum Hauptbahnhof jederzeit zu gewährleisten sind.

Ausweichrouten für den öffentlichen 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 und Etappierung waren deshalb so zu wählen, dass Tram-, Privat- und Fussgängerverkehr während der Bauarbeiten in der Museumstrasse verbleiben konnten (Bild 13).

Diese Randbedingungen führten zur Wahl der sogenannten Deckelbauweise für die ganze Länge des Bahnhofs. Sie wurde den jeweiligen örtlichen Verhältnissen angepasst, wobei der Bauvorgang in jedem Baulos anders gestaltet werden musste [4].

Als erstes waren Werkleitungen umzulegen und ein Provisorium für die abzubrechende Zollbrücke zu bauen. Anschliessend, von 1983 bis 1987, erfolgte in den vier Hauptlosen der Rohbau des ganzen Bahnhofes mit Ausnahme der Ausgänge Sihlquai, Platzspitz und Landesmuseum. Diese Bauarbeiten waren in vier Bauphasen unterteilt (Bild 14).

In den ersten drei Bauphasen wurden bis zum Sommer 1985 die seitlichen Schlitzwände, die Pfähle, die Stützen und die oberste Decke gebaut (Bild 15). Damit die unter den Gleisen 15 und 16 liegenden Bauteile erstellt werden konnten, mussten diese Gleise aufgehoben und ins ehemalige Eilgutareal verlegt werden (Gleise 17 und 18 in Bild 13).

Ab Sommer 1985 erfolgten in der vierten Bauphase Aushub und Betonierarbeiten für die unter der obersten Decke liegenden Bauteile bergmännisch. Der Aushub wurde durch Aussparungen in den Decken emporgehoben und auf Förderbändern zur Eisenbahnverladestelle transportiert (Bild 16).

Der Grundwasserspiegel wurde mittels Filterbrunnen abgesenkt, welche vor dem Betonieren der obersten Decke gebohrt werden mussten. Zur Beschränkung der Pumpwassermenge wurden die Schlitzwände wo immer möglich in die Seeablagerungen eingebunden oder bis in die feinkörnigen Bodenschichten verlängert. Zur terminlichen Entflech-

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.