

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 10

Artikel: Quaibrücke Zürich
Autor: Heierli, Richard / Hirt, Fritz / Hofacker, Heinrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75733>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Quaibrücke Zürich

Von Richard Heierli, Fritz Hirt, Heinrich Hofacker, Willi Hofmann und Urs Schneider, Zürich, Erich Möscher, Bern

Den Brücken kommt aufgrund ihrer verbindenden Funktion symbolische Bedeutung zu. Im Alltag jedoch werden sie meistens «benützt», ohne sich über ihre Merkmale, Eigenheiten, geschichtliche Entstehung oder gar bauliche Einzelheiten aufzuhalten.

Die Quaibrücke nimmt in der Limmatstadt eine ganz besondere Stellung ein. Ihre bauliche Erneuerung kann schon als wesentliches Ereignis des Jahrhunderts angesehen werden. Zudem stellt das gewählte Bauverfahren mit der Verschiebung der alten und neuen Brücke sicher für den Ingenieur eine nicht alltägliche Lösung dar. Die beteiligten Fachleute berichten zusammenfassend über dieses Werk, auf das unsere Generation trotz aller Technikfeindlichkeit stolz sein darf. (Red.)

Limmatübergänge im Stadtkern

Ohne klare Grenze ging einst der Zürichsee in die Limmat über, die in rascher werdendem Lauf der engsten Stelle beim heutigen Rathaus zustrebte, jener Stelle, die noch heute das Abflussvermögen bei Hochwasser bestimmt.

Flussbreite und Baugrundverhältnisse sind dort günstig, und so entstand an diesem Ort die erste Brücke, die bis in die neueste Zeit der einzige fahrbare Übergang und auch der Mittelpunkt der Stadt war. Der Verkehr bestimmte übrigens Zürichs Bedeutung: Der Wechsel vom See zum Fluss zwang zum Warenumlad beim Wassertransport,

und die weithin einzige Strassenbrücke verlangte Sicherung; so entstand zunächst die römische Befestigung und Siedlung und später das blühende mittelalterliche Gemeinwesen.

Erst im letzten Jahrhundert wurde ein zweiter fahrbarer Übergang nötig, flussaufwärts der Rathausbrücke wurde 1838 die Münsterbrücke an Stelle eines früheren Steges gebaut. Sie ist mit ihren fünf sorgfältig aus Jurakalk gemauerten Bögen nicht nur die schönste Zürcher Limmatbrücke, sondern auch die einzige, die anderthalb Jahrhunderte Verkehrszunahme und Laststeigerung ohne namhafte Änderungen und Unterhaltsarbeiten überdauert hat. Das dürfte noch lange so bleiben. Immer noch war aber Zürich eine Flussstadt; die Schifffahrt auf dem See endete an der Schifflande, unweit der Wasserkirche, und die Seeufer waren mit Werkplätzen und Schöpfen gesäumt.

Erst die rasante Entwicklung vor etwa hundert Jahren liess Zürich zur Stadt

Bild 1. Die Limmatbrücken im Stadtkern von Zürich; Im Vordergrund die alte Quaibrücke beim Übergang Zürichsee/Limmat. Limmatseitig der alten Brücke die auf Verschiebbahnen bereits zur Hälfte betonierete neue Quaibrücke.

Limmatabwärts folgen: die Münsterbrücke, 1836-1838 erstellt durch die Zürcher Baumeister Konrad Stadler und Johann Jakob Locher-Oeri und Steinmetzmeister Heinrich Staub nach den Plänen von Ludwig Negrelli (bekannt für sein Suez-Kanal-Projekt); Rathausbrücke, Neubau 1972/73; Rudolf-Brun-Brücke, 1913; Bahnhofbrücke, 1949/51; Walchebrücke, 1958



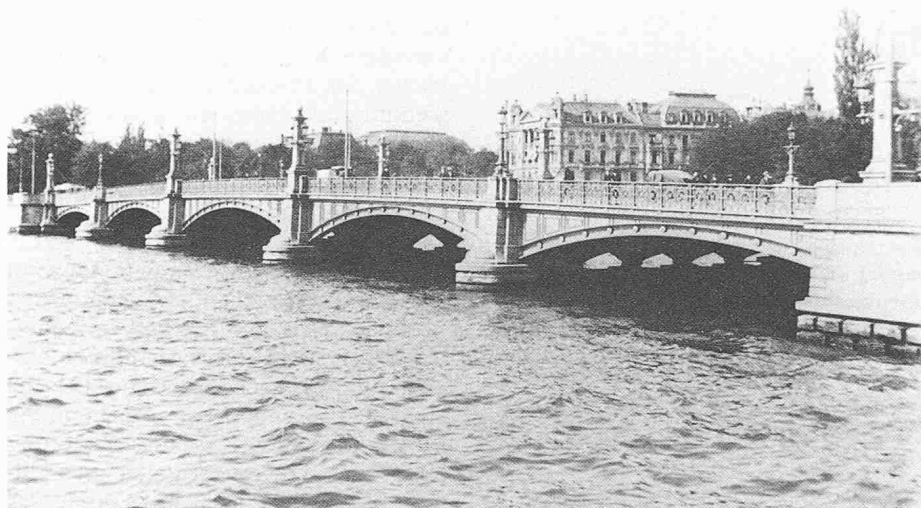


Bild 2. Ansicht der alten Quaibrücke, erstellt 1882-84

100 Jahre Quaibrücke (1884-1984)

Die erste Quaibrücke ist 1882 bis 1884 als gemeinsames Unternehmen der damaligen Gemeinden Enge, Riesbach und Zürich erstellt worden. Im Zeitalter des Eisenbahnbaus - 1882 wurde die Gotthardbahn eröffnet - erhielt die neue Brücke über die Limmat beim Ausfluss des Zürichsees die respektable Breite von 20 m für den damals bescheidenen Kutschenverkehr. Erst 1899 fuhr die elektrische Strassenbahn über die 12 m breite chaussierte Brückenfahrbahn.

Die ursprüngliche Brückenkonstruktion

Als Tragwerk wurden bogenförmige schweiss-eiserne Träger verwendet, welche die 5 Öffnungen zwischen den Pfeilern und den Widerlagern überspannten. Besondere Schwierigkeiten bot damals der schlechte Baugrund. Die mehrere Meter starke oberste Schicht aus Seekreide und Faulschlamm eignete sich nicht zur Aufnahme von Lasten. Deshalb wurden für die 4 Pfeiler und die Widerlager Pfahlroste erstellt. Pro Pfeiler durchstossen je 130 bis 150 Tannenholzpfähle von 12 bis 15 m Länge den weichen Boden und ruhen auf einer tragfähigen eiszeitlichen Schicht aus Silt, Feinsand und Kies (Bild 3).

Für die Erstellung der Betonpfeiler mit Granitverkleidung verwendete die beauftragte Unternehmung Philipp Holzmann AG zum erstenmal eine Taucherglocke aus Holz mit 61 m² Grundfläche.

Während des Baues des Widerlagers Bellevue am 27. Februar 1883 rutschte ein Teil der Seekreide- und Faulschlammschichten ab, liess das Widerlager teilweise einstürzen und beschädigte auch die Foundation des nächstliegenden Pfeilers. Um den Erddruck zu

reduzieren, wurde darauf hinter dem Widerlager ein Hohlraum von rund 25 m Länge und Breite und 3 m Höhe geschaffen und mit einer Betonplatte abgedeckt.

Im Jahre 1932 wurde die Fahrbahn (Zores-Eisen mit Chaussierung und Abdeckung mit Steinzeugplatten) durch eine armierte Betonplatte ersetzt und die Eisenkonstruktion verstärkt, und im Jahre 1939 gab die Landesausstellung den Anlass, die Brücke von 20 auf 28,5 m zu verbreitern. Beidseits der Brücke wurde je ein neuer Stahlträger (St 24/37) eingebaut, so dass die Brücke fortan acht Hauptträger aufwies. Die alten Granitaufbauten über den Pfeilerköpfen, die gusseisernen Beleuchtungskandelaber und Geländer mussten der Verbreiterung weichen. Die Brücke erhielt ihr heutiges Aussehen (Bilder 4 und 5).

Unterhalts- und Reparaturarbeiten

Seit der grundlegenden Sanierung der Quaibrücke 1939 hat der Verkehr enorm zugenommen. Die durchschnittliche Tagesfrequenz auf der Brücke liegt heute bei 50 000 Motorfahrzeugen und 1530 Tramzügen; zu den Spitzen-

zeiten passieren 2000 Autos und 57 Tramzüge je Stunde und Richtung die Brücke. Die grossen Verkehrsfrequenzen, die Zunahme der Fahrzeuggewichte, aber auch die Einwirkung von Frost und Tausalz haben dem alten Bauwerk stark zugesetzt.

am See werden (Bild 1). Der Kernpunkt der Neuorientierung war die *Quaibrücke*. Es sollte nicht nur ein neuer, leistungsfähiger Übergang geschaffen werden, der die am Ende des Sees zusammenlaufenden Strassen zu verbinden hatte - die Brücke war ebenso sehr als Teil einer grosszügigen Seeufergestaltung mit breiten Promenaden und Parkanlagen gedacht. Das Projekt hatte sich aber gegen ein anderes durchzusetzen: Die rechtsufrige Seebahn sollte vom Stadelhofen zur Enge entlang dem Seeufer verlaufen, was glücklicherweise verhindert werden konnte. Dem damaligen Stadtgenieur *Dr. Arnold Bürkli* kommt am erfolgreichen Kampf für die Ufergestaltung mit Quaianlagen und Quaibrücke und an der schliesslich geglückten Verwirklichung das Hauptverdienst zu (Bild 2).

In den Jahren 1966, 1970 und 1975 ereigneten sich örtliche Fahrbahneinbrüche, die jeweils Sanierungen in den betroffenen Bereichen erforderten. Zudem mussten zu Beginn der siebziger Jahre am Widerlager Bellevue aufwendige Reparaturen durchgeführt werden. Das Widerlager hatte sich im Laufe der Zeit 7 cm Richtung Limmat verschoben und dadurch das Brückenaufleger und den beweglichen Fahrbahnübergang beschädigt.

Der unarmierte Beton der vier Brückenpfeiler wurde 1944/45 durch Injektionen verbessert. Im Hinblick auf einen baldigen Neubau wurden die Unterhaltsarbeiten im übrigen auf das absolut Notwendige beschränkt.

Neubauprojekte für die Quaibrücke

Der steigende Aufwand für den Unterhalt, aber auch die ungenügende Kapazität der Brücke für den privaten und öffentlichen Verkehr veranlasste den Stadtrat, verschiedene Projektvarianten für einen Neubau der Quaibrücke ausarbeiten zu lassen.

Aus dieser schliesslich zehn Jahre dauernden Planungs- und Projektierungsperiode sind die folgenden wichtigsten Ereignisse zu erwähnen:

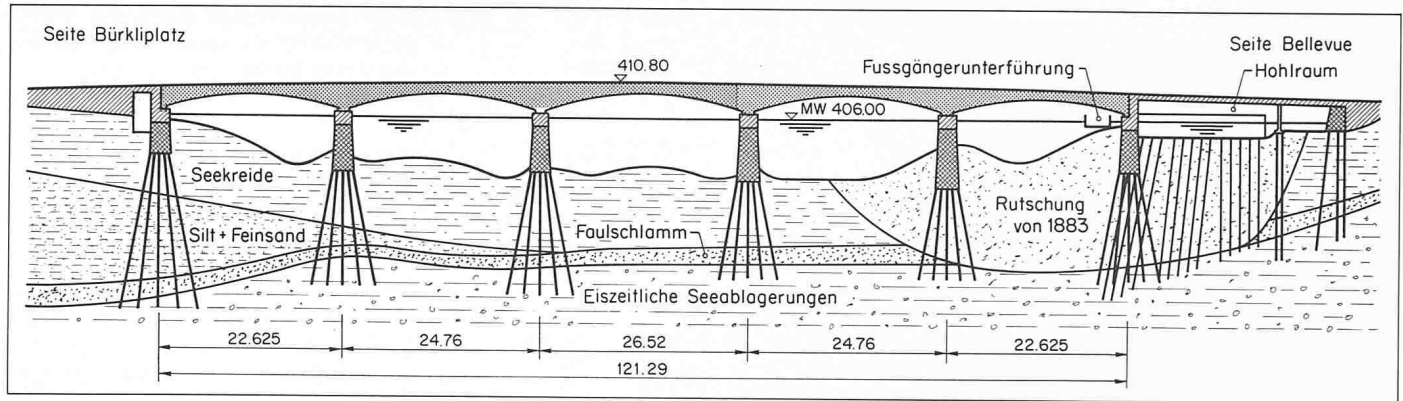


Bild 3. Längsschnitt der Quaibrücke mit der Geologie des Untergrundes. Auf der Seite Bellevue die Rutschung der Uferpartie von 1883

- Der Stadtrat beantragte einen Vorschusskredit für die Ausarbeitung eines allgemeinen Bauprojektes für zwei Neubauvarianten, nämlich mit:
 - 2×3 Fahrspuren, 3 Tramgeleisen und 42,4 m Totalbreite der Brücke
 - 2×2 Fahrspuren, 3 Tramgeleisen und 34,4 m Totalbreite der Brücke.
 Der Kredit wurde am 30. Juni 1974 an der Urne abgelehnt.
- Kurz zuvor, am 13. Juni 1974, wurde eine Volksinitiative eingereicht mit folgendem Wortlaut: «Der Stadtrat wird beauftragt, dem Gemeinderat, allenfalls zuhänden der Gemeindeabstimmung, raschmöglichst eine Vorlage für die Instandstellung der Quaibrücke in ihrer heutigen Gestalt und Breite vorzulegen.»
- Der Stadtrat zog weiterhin einen Neubau der Quaibrücke vor und unterbreitete den Stimmberechtigten daher zusammen mit der Initiative einen Gegenvorschlag, der die Erteilung eines Kredites von 28 Millionen Franken für einen Neubau der Brücke mit drei Tramgeleisen und 32 m Gesamtbreite vorsah. In der Abstimmung vom 25. September 1977 zogen die Stimmberechtigten die Initiative dem Gegenvorschlag deutlich vor. Damit waren die Weichen gestellt; es galt nun, ein Projekt für eine umfassende Sanierung der Quaibrücke zu erarbeiten.

Normen zu entsprechen. Eine vom Stadtrat eingesetzte Expertengruppe veranlasste die eingehende Untersuchung sämtlicher Brückenelemente unter Beizug der EMPA. Die Ergebnisse sind wie folgt zusammenzufassen:

- Eine Probebelastung der Quaibrücke mit insgesamt 320 Tonnen ergab eine maximale Durchbiegung von lediglich 6,5 mm. Die Brücke verhielt sich elastisch.

- Das Stahltragwerk hätte nach örtlichen Verstärkungen, gründlicher Revision und Aufbringen eines neuen Rostschutzanstriches weiter verwendet werden können. Anlässlich des Abbruchs der alten Brücke konnte allerdings festgestellt werden, dass der Zustand der sekundären Träger bedeutend schlechter war als ursprünglich angenommen wurde.

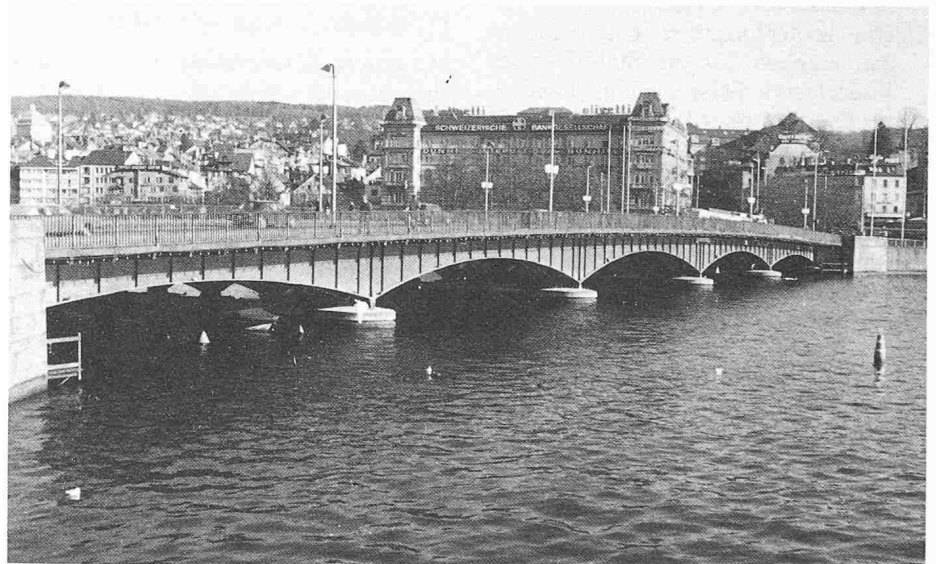


Bild 4. Ansicht der Quaibrücke nach der Verbreiterung 1939

Bild 5. Ansicht der neuen Quaibrücke 1984, entsprechend der Volksinitiative «mit gleicher Gestalt wie 1939»



Ziel und Umfang der Brückensanierung

Die Hauptelemente der Quaibrücke – die Fahrbahnplatte, das Stahltragwerk, die Pfeiler und Widerlager sowie die Pfahlfundationen – wiesen unterschiedliche Qualität auf. Eine umfassende Sanierung musste zum Ziel haben, für alle Elemente ein ungefähr gleiches Niveau bezüglich Qualität, Lebensdauer und Sicherheit zu erreichen. Die Sicherheit hat den heute geltenden

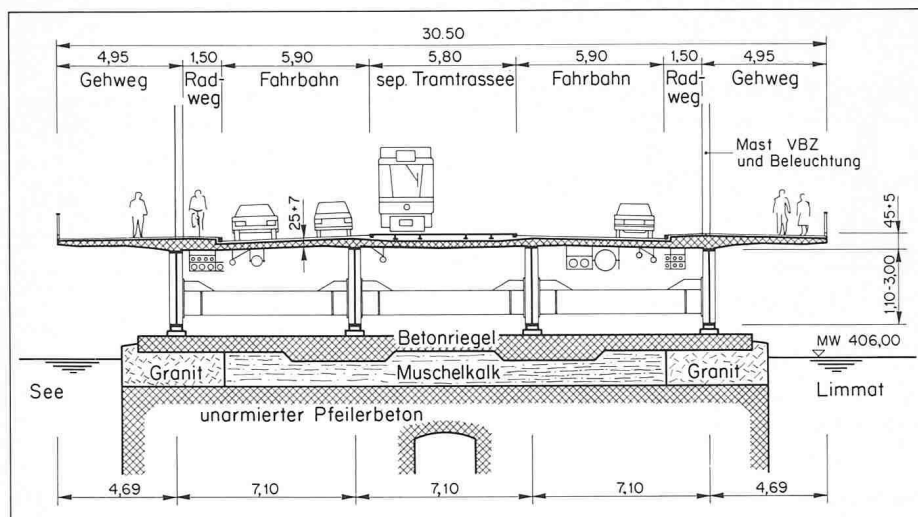


Bild 6. Querschnitt der neuen Quaibrücke mit Aufteilung der Verkehrsfläche

- Die in der Seekreide und im Faulschlamm unter Luftabschluss stehenden hundertjährigen Holzpfähle befinden sich noch in gutem Zustand.
- Der zum Teil poröse Beton der Brückenpfeiler war erneut durch Injektionen zu verbessern.
- Die geotechnischen Untersuchungen ergaben für die Stabilität des Widerlagers Bellevue ein günstigeres Resultat als früher angenommen wurde. Laufend durchgeführte geodätische und Slope-Indicator-Messungen bestätigten, dass sich das Widerlager ruhig verhält. Allerdings war die Fundation des Widerlagers und die Hohlraumkonstruktion reparaturbedürftig.
- Die Fahrbahnplatte erwies sich als das schwächste Glied in der Kette. Die Plattenstärke lag zwischen 15 und 30 cm. Die angerostete Armierung hatte den Beton an verschiedenen Orten abgesprengt, und schliesslich wies die Fahrbahnplatte mehrere von oben nach unten durchgehende Risse auf, was auf eine örtliche Überbelastung schliessen liess. Die statische Nachrechnung der Fahrbahnplatte zeigte, dass keine normengemässe Sicherheit mehr vorhanden war.
- Im Hinblick auf die massgebenden Beurteilungskriterien wie Sicherheit, Lebensdauer und Kosten gelangte die Expertenkommission zum Schluss, es sei der Neubau der Fahrbahnplatte einer Reparatur vorzuziehen. Ein Neubau bot zudem den Vorteil, die Brücke mit einer dauerhaften Isolation zu versehen.

Dieser Befund, zusammen mit der Bedingung der Volksinitiative, die Breite von total 28,5 m einzuhalten, führte zu langwierigen Diskussionen über die Aufteilung des Verkehrsraumes für den öffentlichen Verkehr, privaten Verkehr, Fussgängerverkehr und neu für

die Radfahrer. Es wurden folgende *Forderungen* gestellt:

Öffentlicher Verkehr: Separates Tramtrasse von 6 m Breite mit der Möglichkeit, dass zwei Busse kreuzen können.

Privater Verkehr: 2×6 m Fahrbahnen

Radfahrer: 2×1,5 m Fahrstreifen

Fussgänger: 2×4,8 m wie bisher

Mit einem Zusatzantrag für die Volksabstimmung, die Brücke um 2,0 m auf total 30,5 m zu verbreitern, kam ein «zeitgemässer» Kompromiss mit entsprechender Reduktion der Fahrspurbreiten zustande (Bild 6).

Submission

Eine verlässliche Ermittlung der Kosten für die Sanierung der Quaibrücke war schwierig, da der Aufwand stark abhängig ist von der vom Unternehmer gewählten Baumethode. Um sich vor Überraschungen zu schützen, wurde deshalb unter 5 zürcherischen Tiefbauunternehmern, mit Erfahrung im Brücken- und Wasserbau, ein Wettbewerb durchgeführt, der exakten Aufschluss geben sollte über Kosten, Bauverfahren und Bauzeit. Folgende Randbedingungen waren dem Wettbewerbsprogramm zugrunde gelegt worden: Die Offerten mussten die Neuerstellung der Fahrbahnplatte sowie die notwendigen Verstärkungen des Stahltragwerkes und des Pfeilerbetons sowie die Reparatur des Widerlagers Bellevue vorsehen. Den Unternehmern wurden folgende 2 Varianten vorgeschrieben, wobei es ihnen freigestellt war, eigene Vorschläge einzureichen:

1. Bauverfahren ohne Hilfsbrücke mit Aufrechterhaltung sämtlicher Verkehrsspuren
2. Bau mit Verwendung einer Hilfsbrücke limmatseitig der Quaibrücke mit 2 Fahrspuren (7 m breit) für den

Individualverkehr Richtung Bellevue-Bürkliplatz und einem Trottoir von 3,0 m Breite.

Resultat der Submission

Bau ohne Hilfsbrücke

Die günstigste Offerte für die Sanierung ohne Verwendung einer Hilfsbrücke ergab Gesamtkosten von 21,4 Millionen Franken bei einer Bauzeit von 3½ Jahren. Für diese Variante wurden Vorbehalte bezüglich der Betonqualität gemacht. Die Vorbehalte resultieren aus dem Umstand, dass in engsten Verhältnissen und in zahlreichen Etappen – insgesamt 8 Bauphasen – betoniert werden musste; Verkehrsbehinderungen mit Fahrzeugrückstau während 3½ Jahren wären die Folge gewesen.

Bau mit Hilfsbrücke

Die Kosten gemäss günstigster Offerte beliefen sich auf 21,1 Millionen Franken mit einer Bauzeit von 2½ Jahren. Die Minderkosten gegenüber einem Bau ohne Hilfsbrücke fielen also nicht entscheidend ins Gewicht; von Bedeutung war jedoch die kürzere Bauzeit und der Wegfall der Vorbehalte bezüglich Qualität. Der Abbruch und Neubau der Fahrbahnplatte hätte nur drei Bauphasen erfordert, wobei der Tramverkehr zweimal hätte umgelegt werden müssen.

Ein Unternehmer sah vor, nicht bloss die Brückenplatte, sondern auch die 8 alten Stahlträger durch 4 neue geschweisste Träger zu ersetzen und die neue Fahrbahn vorzuspannen. Diese Variante stand kostenmässig im ersten Rang mit einem Betrag von 20,6 Millionen Franken und einer Bauzeit von 2½ Jahren.

Unternehmervorschläge

Ein Vorschlag sah vor, die alte Brückenplatte nicht neu zu bauen, sondern durch Stahllamellen, die auf der Brückenunterseite aufgeklebt werden, zu verstärken. Dieses Verfahren hat sich für die Verstärkung bestehender Brücken schon oft bewährt, setzt aber voraus, dass die vorhandene Brückenplatte – mit Beton, Belag und Isolation – von guter Qualität ist. Dies traf bei der Quaibrücke nicht zu, und der Unternehmervorschlag sah denn auch weiter vor, auf der Brückenoberseite eine zusätzliche armierte Betonschicht von 7 cm Dicke aufzutragen. Damit fielen die grundsätzlichen Vorteile der «Lamellenlösung» wieder dahin: Die Kosten lagen bei über 21 Millionen Franken, und die Bauzeit betrug 3¼ Jahre.

Die zur Ausführung bestimmte Einschubvariante der Arbeitsgemeinschaft Fietz + Leuthold AG/Schneider, Stahl- und Kesselbau AG:

Der neue Brückenüberbau besteht aus 4 geschweissten Stahlträgern (anstelle der bestehenden 8 genieteten Träger) in Verbund mit einer quer vorgespannten Betonplatte, welcher limmatseitig der alten Quaibrücke auf 6 Verschiebbahnen erstellt wird. Während der Bauzeit zirkuliert der gesamte Verkehr unbehindert über die bestehende Quaibrücke. An einem Wochenende wird der neue Brückenüberbau einschliesslich fertig montierter Werkleitungen auf die zuvor sanierten Pfeiler und Widerlager eingeschoben, während gleichzeitig der alte Brückenüberbau auf die seeseitig erstellten Verschiebbahnen ausgeschoben und anschliessend abgebrochen wird. Die grossen Vorteile dieser Variante ergeben sich wie folgt:

- Optimale Qualität, da der Bauvorgang unabhängig vom Verkehr nach bautechnischen Erfordernissen gestaltet werden kann.
- Kurze Bauzeit (20 Monate)
- Geringes Risiko während des Baues
- Montage der Werkleitungen ohne Behinderung des Bauvorganges und Verkehrs
- Minimale Verkehrsbehinderung während der Bauzeit
- Minimaler Unterhalt für den neuen Brückenüberbau.

Die Quaibrücke markiert damit den Übergang von der Phase der Brückenneubauten zu derjenigen der Sanierungen.

Hier liegen denn auch in unserer Stadt und ganz allgemein in unserem Land die Hauptaufgaben der Brückeningenieur für die Zukunft. Wie sich gerade am vorliegenden Beispiel zeigt, sind auch diese Aufgaben attraktiv, erfordern technisches Können und Ideenreichtum. Den aktuellen und zukünftigen Beanspruchungen ist Rechnung zu tragen, beispielsweise den enormen Auswirkungen durch das Streusalz. Neue materialtechnische Schwierigkeiten sind zu lösen, wie etwa die Frage der Betonkarbonisierung. Schliesslich erfordern vom Verkehr extrem stark belastete Bauwerke originelle Lösungen, bei denen die Aufgabe mit möglichst geringen Verkehrsbeeinträchtigungen gelöst werden kann.

Anlässlich der *Gemeindeabstimmung vom 26. September 1982* haben die Stimmberechtigten der Stadt Zürich mit einem deutlichen Mehr von 61 268 Ja gegen 12 417 Nein einen Kredit von 23,1 Millionen Franken für die Erneuerung der Quaibrücke bewilligt und auch für die Verbreiterung der Brückenplatte um 2 m einen klaren Entscheid getroffen.

Bereits Mitte November 1982 konnte mit den Bauarbeiten begonnen werden,

und 17 Monate später, am Wochenende des 17. März 1984, wurde der neue Brückenüberbau unter dem Beisein von Tausenden von Schaulustigen in 15 Stunden an seinen definitiven Standort eingeschoben.

Rückblickend kann festgestellt werden, dass die erwähnten Vorteile der Einschublösung die Mehrkosten, gegenüber der kostengünstigsten Variante mit Verwendung einer Hilfsbrücke, rechtfertigen. Die sonst mit positiven Kommentaren über Baustellen recht zurückhaltende Zürcher Tagespresse würdigte das Bauvorhaben wie folgt:

«Zürich ist nicht gerade arm an Baustellen. Selten aber hat in jüngster Zeit ein Bauobjekt so problemlos ohne nennenswerte Auswirkungen auf den Verkehr abgewickelt werden können. Selten hat eine Baustelle so fasziniert. Es war für die Leute am Bau wie für die Bevölkerung der Stadt eine angenehme Baustelle.

Eine Brückensanierung mit Hilfsbrücken hätte bestimmt zu grösseren Störungen des öffentlichen und individuellen Verkehrs geführt. Die Stadtzürcher Stimmberechtigten haben gut gewählt, als sie sich für die Einschubvariante entschieden. Mit einem Ja zu einem etwas teureren Bauvorgang haben sie letztlich der besseren und damit billigeren Lösung zum Durchbruch verholfen.»

Das Projekt der neuen Brücke

Der Querschnitt der neuen Quaibrücke trägt die Merkmale der modernen Brückenbautechnik. An Stelle von 8 Hauptträgern konnte unter Ausnützung hochfester Baustähle und der Vorspanntechnik ein Verbundquerschnitt mit lediglich 4 Hauptträgern aus Stahl entworfen werden (Bild 6).

Querschnittsgestaltung

Ausgehend vom Konzept des Beibehaltens der alten Pfeiler und Widerlager musste für den Entwurf des Querschnittes die Bedingung eingehalten werden, dass die Gesamtlasten des neuen Überbaues nicht grösser sein durften als diejenigen der entsprechenden alten Konstruktion. Dabei war als Folge der wiederholten Umbau- und Sanierungsarbeiten an der alten Brücke die Errechnung des alten Überbaugesichtes mit Ungenauigkeiten verbunden.

Weitere Schwierigkeiten bestanden darin, dass die heutigen Erkenntnisse für die konstruktive Durchbildung des Ge-

leisetretroges sowie des Belagsaufbaues zu erhöhten Lasten führten, die nur mit einer Reduktion der Stärke des Konstruktionsbetons der Fahrbahnplatte kompensiert werden konnten.

Schliesslich war die Lage der 4 neuen Hauptträger durch die Anordnung der bestehenden 8 alten Hauptträger weitgehend festgelegt. Durch die beschlossene Brückenverbreiterung um 2 m ergab sich zudem eine grössere Auskragung der Fahrbahnplatte über die äussersten Hauptträger, was zu Momentenumlagerung und damit zu einer Vergrösserung des Konstruktionsgewichtes führte.

Die gewählte Lösung sieht nun eine quervorgespannte Fahrbahnplatte von 25–45 cm Stärke vor. Damit konnten

alle oben erwähnten Bedingungen technisch einwandfrei in die neue Konstruktion einbezogen werden.

Der neue Überbau weist ständige Lasten (inkl. Belag, Werkleitungen, Geländer, Maste, VBZ-Geleise) von total 4080 t auf und ist um rund 360 t (10%) schwerer als der entsprechende Überbau der alten Brücke. Bezogen auf die Belastungen der alten Holzpfähle ergibt sich bei einem Pfeilergewicht von total 5850 t für alle Pfeiler und Widerlagerpfeiler eine Mehrbelastung von rund 3,8% oder etwa 0,5 t pro Pfahl, was als vertretbar erachtet wurde. Die grösste Last pro Pfahl beträgt je nach Lastfall etwa 22 bis 24 t.

Brückenbelag und Tramgeleise

Der Brückenbelag wurde aus folgenden Schichten aufgebaut:

- Vorerst wurde auf die mit Hochdruckwasserstrahl gereinigte Fahrbahnoberfläche als Haftbrücke Lackbitumen heiss aufgespritzt.

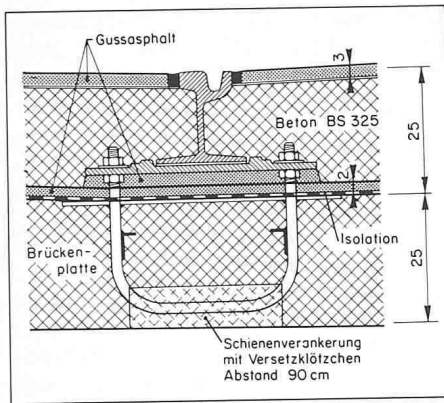


Bild 7. Detail der Verankerung der VBZ-Schienen

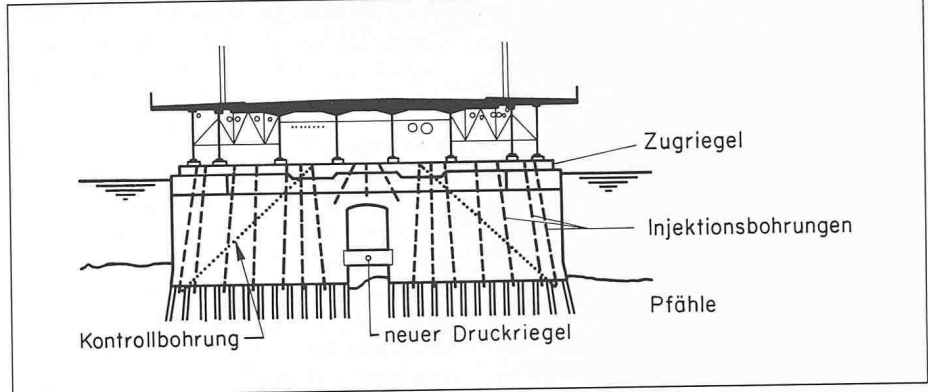


Bild 8. Querschnitt der Pfeiler mit Zug- und Druckriegel sowie Injektionsbohrungen

- Darauf wurde im Fahrbahnbereich eine gewebearmierte, auf der Oberseite mit Aluminiumfolie kaschierte Polymer-Bitumendichtungsbahn vollflächig thermisch aufgeschweisst (B3A-Folie). Im Bereich der Randsteine wurde Vaprolen als Dichtung verwendet.
- Darüber folgte ein zweischichtig aufgebraucher Gussasphalt von 6,5 cm Stärke (Fahrbahn) resp. 5,5 cm Stärke (Gehweg). Schliesslich wurde die Oberfläche fein abgesplittet.

Im Bereich der Tramgeleise sind die Schienen mittels spezieller durch die Brückenisolation durchgehender Halterungsbügel im Konstruktionsbeton verankert (Bild 7). Die Geleise selbst sind in frosttausalzbeständigem Beton BS 325 einbetoniert und ruhen auf einem Gussasphaltpolster.

Pfeilersanierung

Statische Gegebenheiten

Die Pfeilerscheiben werden an je vier statt wie früher 8 Stellen durch den Überbau belastet. Jede Pfeilerscheibe besteht aus zwei seinerzeit unabhängig voneinander erstellten und lediglich am Kopf miteinander verbundenen Teilscheiben. Infolge der grösseren Breite des neuen Überbauquerschnittes wird auch die Exzentrizität des Lastangriffes grösser, und es ergeben sich Lastumlagerungen in den Pfeilern. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen und die Quersteifigkeit der Pfeilerscheiben zu erhöhen, wurden bei jedem Pfeiler die beiden Teilscheiben durch einen unteren Druckriegel und ein oberes Zugband zu einer Einheit verbunden. Das Zugband wirkt gleichzeitig zur Aufnahme der Spaltzugkräfte aus Überbaubelastung mit (Bild 8).

Pfeilerzustand

Wie Kernbohrungen zeigten, war das Gefüge des alten Pfeilerbetons sehr porös. Mittels Injektionen von Zement-

mörtel mit einem Druck von max. 5 bar wurde die Dichtigkeit des Pfeilerbetons verbessert. Kontrollbohrungen unter 45° zur Vertikalen dienten dazu, den Erfolg der getroffenen Massnahmen an jedem Pfeiler zu kontrollieren. Auch diese Bohrungen wurden mit Zementmörtel verfüllt, so dass die alten Pfeiler wieder praktisch neuwertig sind.

Im Mittel wurde pro Pfeiler rund 17 t Injektionsgut verpresst (etwa 40 kg/m³ Beton).

Die Stahl-Tragkonstruktion

Statik

Die Stahlhauptträger sind als Verbundträger gerechnet. Die Beanspruchungen wurden am homogenen, ungerissenen System ermittelt; die Spannungen am ungerissenen und gerissenen Querschnitt. Die stark veränderlichen Querschnitte, entsprechend der bogenartigen Trägerform, konnten durch ein engmaschiges Stabsystem mit relativ kurzen Stablängen berücksichtigt werden. Tragfähigkeits-, Gebrauchsfähigkeits- und Ermüdungsnachweis erfolgten gemäss der SIA-Norm 161. Interessant ist, dass die von der alten Brücke übernommene Trägerform auch unter den heutigen Lastannahmen ein statisch günstiges und wirtschaftliches Tragwerk ergab.

Die Stahlkonstruktion

Die vier Hauptträger sind in RST 52-3 ausgeführt. Die Flansche sind oben 500 mm, unten 600 mm breit und variieren in der Stärke von 25 bis 60 mm. Die Stegblechdicken betragen 14 und 15 mm. Die Materialqualität und die umfangreichen Schweissarbeiten wurden durch Experten der Bauleitung und interne Werkskontrollen laufend überwacht. Zahlreiche Vertikalsteifen dienten als Anschlüsse für die vielen temporären Bauteile und Verbände. Als Beulaussteifung sind sie nur von untergeordneter Bedeutung. Die auf der äusseren Seite der Träger sichtbare Anord-

nung der Steifen hat grösstenteils ästhetische Bedeutung. Im Bereich der Pfeiler wurden im unteren Trägerviertel Längsaussteifungen nötig, um die volle Tragfähigkeit des Querschnittes zu garantieren.

Der ungewöhnlich grosse Platzbedarf der Werkleitungen und die durch das Einschleiben gesetzten Bedingungen machten die Anordnung von Querrahmen anstelle der sonst üblichen Verbände für die Aufnahme der horizontalen Querlasten nötig. Auf besondere Kipp- und Stabilitätsverbände konnte verzichtet werden. Die festen Lager auf den beiden mittleren Pfeilern sind Kunststofftopfkonstruktionen. Als bewegliche Lager dienen Topfgleitlager.

Die Lagerungsart entspricht weitgehend derjenigen der alten Brücke, wobei das angestrebte statische Modell besser verwirklicht werden konnte, als dies seinerzeit mit den Stahllagern möglich war. Ein vierschichtig aufgebraucher Zweikomponenten-Anstrich von durchschnittlich 260 Mikrometer Stärke bildet den Korrosionsschutz. Die Qualität der Ausführung wurde laufend von einer unabhängigen Prüfstelle überwacht.

Montagekranbahn und -verbände

Zum Montieren der schweren Träger Teile kam ein Turmdrehkran zum Einsatz. Er fuhr auf einer eigens in die Brückenkonstruktion eingebauten Kranbahn. Diese liess sich samt zugehörigem Verband durch Umsetzen dem Baufortschritt anpassen und somit mehrmals verwenden. Die bis maximal 18 t schweren und bis 26,5 m langen Hauptträgerschüsse konnten nachts auf der alten Brücke antransportiert und innert kürzester Zeit montiert werden.

Zur Gewährleistung der Gesamttragwerksstabilität diente ein weiterer Verband. Er wurde zugleich als Abstützung für das Vorschleiben der zwischen den Stahlträgern liegenden Fahrbahnplattenschalung verwendet. Alle diese Konstruktionen wurden nach Fertigstellung des Überbaues wieder demontiert.

Planung und Durchführung der Bauarbeiten

Für die zur Ausführung gelangende Unternehmervariante stellten sich verschiedene, nicht alltägliche Probleme hinsichtlich Verschiebbahn mit ihrer Foundation, Erstellung des neuen Überbaues und vor allem Planung und Durchführung des eigentlichen Verschiebevorganges. Insbesondere waren die von der Bauherrschaft gestellten Rahmenbedingungen des tolerierten Verkehrsunterbruches nur während eines Wochenendes, die wasserbaulichen Bedingungen für die provisorischen Foundationen sowie die Aufrechterhaltung der Schifffahrt zwischen Zürichsee und Limmat für die Bauarbeiten von grosser Bedeutung. Der Ablauf der Bauarbeiten geht aus Bild 9 hervor.

Pfahlfoundationen für die Verschiebbahnen

Im schwierigen Baugrund der Quai- brücke mussten die als Foundation für die Verschiebbahn vorgesehenen Pfähle folgende Bedingungen erfüllen:

- Störungsfreies Durchfahren der obersten, strukturempfindlichen Schicht, ohne Gefährdung bestehender Brückenpfeiler und Ufermauern
- Übertragen der horizontalen und

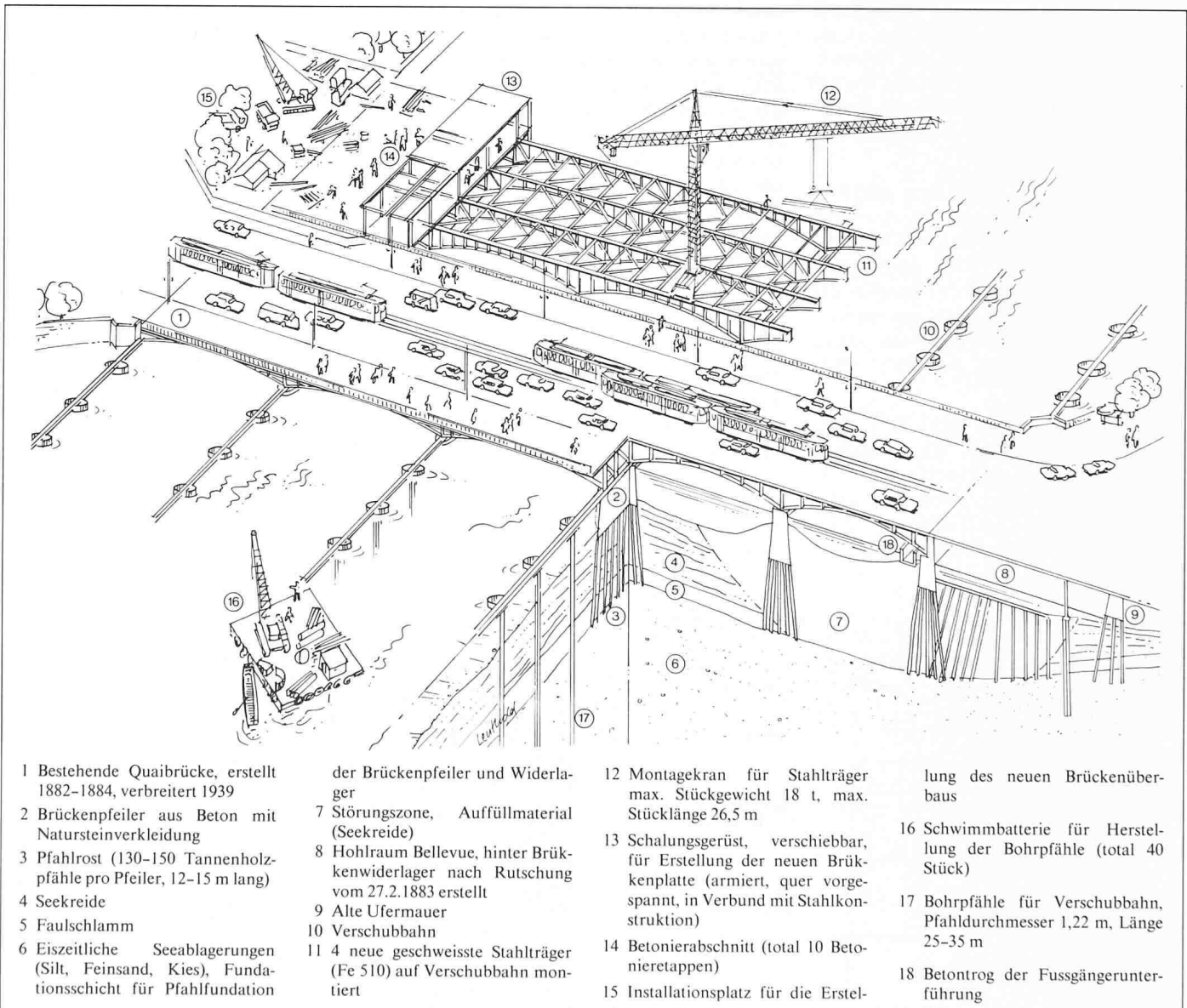
vertikalen Lasten aus der Verschiebbahn in den Baugrund

- Kontrolliertes Setzungsverhalten unter den ständig veränderten Belastungen während des Baues der neuen Brücke und während des Verschiebes
- Geeigneter Pfahlaufbau für einen möglichst einfachen Abbruch nach Beendigung der Bauarbeiten
- Bewegliche, schwimmende Bohrin- stallation für eine kurze Bauzeit und Sicherung der Durchfahrt von Schif- fen.

Als geeignete Lösung, um all diesen Randbedingungen gerecht zu werden, zeichneten sich grosskalibrige Bohr- pfähle, Durchmesser 122 cm, ab. Dabei wurden Bohrrohre bis zum Erreichen der Einbindetiefe in die eiszeitlichen Seeablagerungen getrieben und mit Beton aufgefüllt. Das somit verlorene Bohrrohr diente als Armierung und als Schalung im Bereich des Wassers.

Die Pfähle wurden auf eine maximale Last von 450 Tonnen dimensioniert. Die Berechnung ergab eine durch- schnittliche Einbindelänge in der See- bodenablagerung von 12 Metern. Die rechnerischen Pfahlsetzungen unter dieser Last erreichen Werte von 1,4 bis 3,3 cm. Für die horizontale Tragfähig- keit der Pfähle verwendete man als Be- rechnungsmodell einen elastisch gebet- teten Balken. Die Zusammendrük- kungsmodule betragen für die Seekrei- de zwischen 10 und 30 kg/cm² und für die Seebodenablagerungen 300 kg/cm². Ein horizontaler Zugversuch an zwei Pfählen ergab Federsteifigkeiten am

Bild 9. Bauvorgang



- 1 Bestehende Quai- brücke, erstellt 1882-1884, verbreitert 1939
- 2 Brückenpfeiler aus Beton mit Natursteinverkleidung
- 3 Pfahlrost (130-150 Tannenholz- pfähle pro Pfeiler, 12-15 m lang)
- 4 Seekreide
- 5 Faulschlamm
- 6 Eiszeitliche Seeablagerungen (Silt, Feinsand, Kies), Funda- tionsschicht für Pfahlfoundation

- 7 Störungszone, Auffüllmaterial (Seekreide)
- 8 Hohlraum Bellevue, hinter Brük- kenwiderlager nach Rutschung vom 27.2.1883 erstellt
- 9 Alte Ufermauer
- 10 Verschiebbahn
- 11 4 neue geschweisste Stahlträger (Fe 510) auf Verschiebbahn mon- tiert

- 12 Montagekran für Stahlträger max. Stückgewicht 18 t, max. Stücklänge 26,5 m
- 13 Schalungsgerüst, verschiebbar, für Erstellung der neuen Brük- kenplatte (armiert, quer vorge- spannt, in Verbund mit Stahlkon- struktion)
- 14 Betonierabschnitt (total 10 Beto- nieretappen)
- 15 Installationsplatz für die Erstel-

lung des neuen Brückenüber- baus

- 16 Schwimmbatterie für Herstel- lung der Bohrpfähle (total 40 Stück)
- 17 Bohrpfähle für Verschiebbahn, Pfahldurchmesser 1,22 m, Länge 25-35 m
- 18 Betontrog der Fussgängerunter- führung

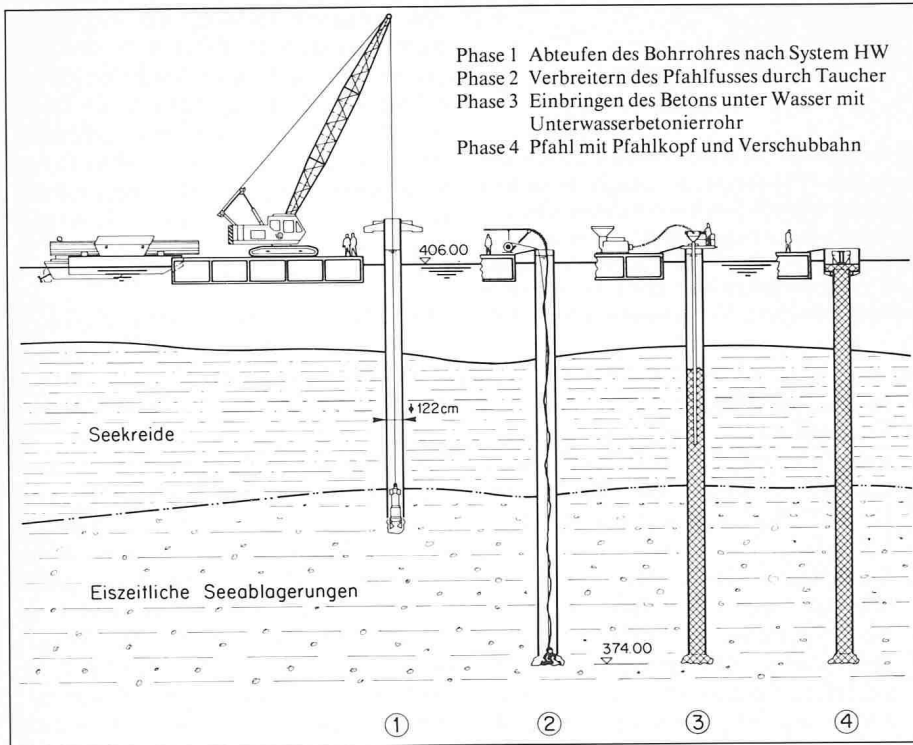


Bild 10. Bohrpfähle für die Verschubbahn

Pfahlkopf von etwa $c = 1,5 \text{ t/cm}$. Diese gemessenen Werte entsprachen ziemlich genau den errechneten Werten. Mit dem Bau der neuen Brücke konnte auch das Setzungsverhalten kontrolliert werden; es entsprach ebenfalls den Berechnungen.

Unmittelbar nach Annahme des Projektes durch die Stimmbürger der Stadt Zürich begannen im Oktober 1982 die Pfählungsarbeiten mit geramten Schleuderbetonpfählen im Bereich der Installationsbühne. Anschliessend wurden in demselben Gebiet die ersten Verschubbahnpfähle abgeteuft (Bild 10).

Das erste Bohrrohr, Stahl RST 37-2, Durchmesser 1220 mm, Wandstärke 11 mm, nach dem Lizenzverfahren Hochstrasser-Weise vorgetrieben und unter Wasser ausgebohrt, erreichte nach 2 Tagen die rechnerische Solltiefe von 21,5

Meter ab Seespiegel. Mit einer Unterwassersonde, Typ Nordmeyr, konnte nun ein Standard-Penetrationstest im Pfahlbereich ausgeführt werden. Der dynamische Bodenwiderstand und die geologische Beurteilung des Bohrgutes machten eine Ausweitung des Pfahlfusses auf 1,60 Meter Durchmesser erforderlich. Es zeigte sich, dass ein Taucher mit modernen Abbaugeräten innerhalb weniger Stunden die notwendige Fussverbreiterung ausbrechen konnte.

Nach 5 Tagen war der erste Pfahl fertiggestellt. Bald erreichte die Bohrequipe einen Takt von 2 Pfählen pro Woche, wobei die Taucherarbeiten jeweils in der Nacht vor dem Betonieren ausgeführt wurden. Die insgesamt 40 Pfähle von total 1254 Metern Länge reichten bis max. 38 Meter unter Seespiegel und beanspruchten eine Bauzeit von 6 Monaten.

Verschubbahnen

Die Verschubbahnen über den Pfählen wurden als Kastenträger aus zwei zusammengeschweissten Walzprofilen in Stahl Fe 510 ausgebildet; für die Widerlagerachsen waren HEB 600, in den Pfeilerachsen hingegen HEB 1000 erforderlich, total etwa 410 t Stahl.

Die Lager über den Pfahlköpfen wurden mit je zwei hydraulischen Pressen regulierbar ausgeführt. Dadurch konnten während des Baues der neuen Brücke ungleiche Pfahlsetzungen ausgeglichen werden. Während des Verschubes mussten keine Korrekturen vorgenommen werden.

Die Auflagerung der Verschubbahnträger auf den Pfeilern und Widerlagern der Brücke erfolgte durch einen lastenverteilenden Auflagerkörper. Diese für den Erfolg des Verschubes mitentscheidende Konstruktion wurde durch vier Belastungsversuche an den Pfeilerenden, Seite Limmat, mit der beim Einschub auftretenden Last geprüft.

Für die Dimensionierung der Verschubbahnen wurde als Berechnungsmodell ein Durchlaufträger auf elastischen Stützen verwendet. Die mittlere Federsteifigkeit als Mass für die Pfahlsetzung betrug 250 t/cm . Der Einfluss von ungleichen Pfahlsetzungen auf die Verschubbahn wurde mit den extremen Federsteifigkeiten von 150 und 350 t/cm untersucht.

Während des Einschubes durfte das Längsgefälle auf der Verschubbahn unter einem Gleitlager 1% nicht überschreiten. Das maximale Quergefälle wurde auf 0,5% festgelegt. Diese einschneidenden Bedingungen mussten wegen der Gleitlager eingehalten werden. Die Verschubbahnen auf den bestehenden Pfeilern und Widerlagern wurden mit einem lastenverteilenden Betonriegel und einem darüberliegenden Stahlblech von 600 mm Breite ausgeführt (Bild 11).

Bild 11. Detail der Brückenaullagerung auf den alten Pfeilern

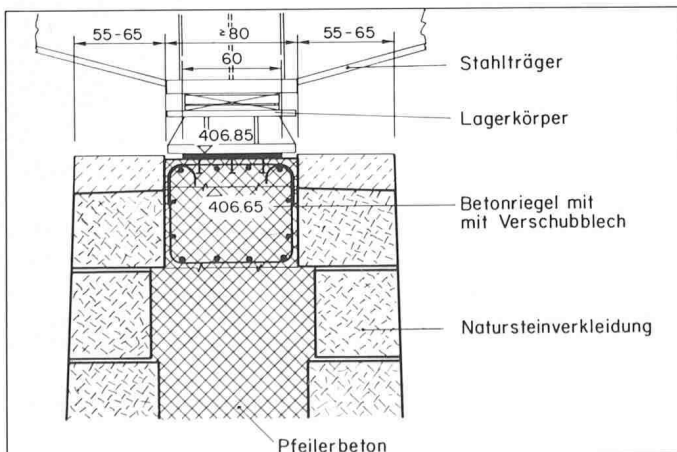
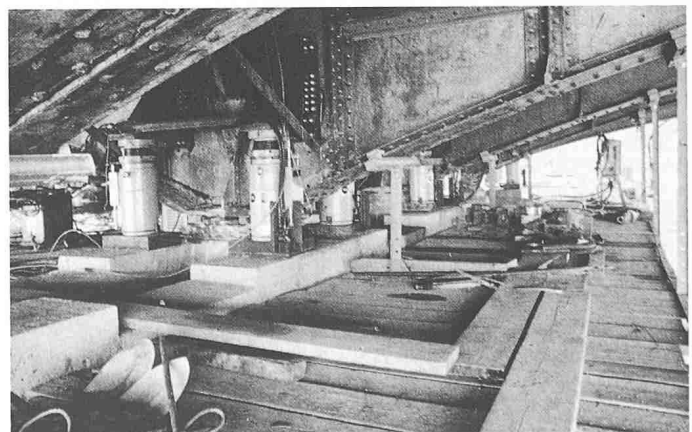


Bild 12. Aufpressen der alten Brücke unter Verkehr zum Einbau der Gleitschuhe für den Verschubvorgang um etwa 1 cm



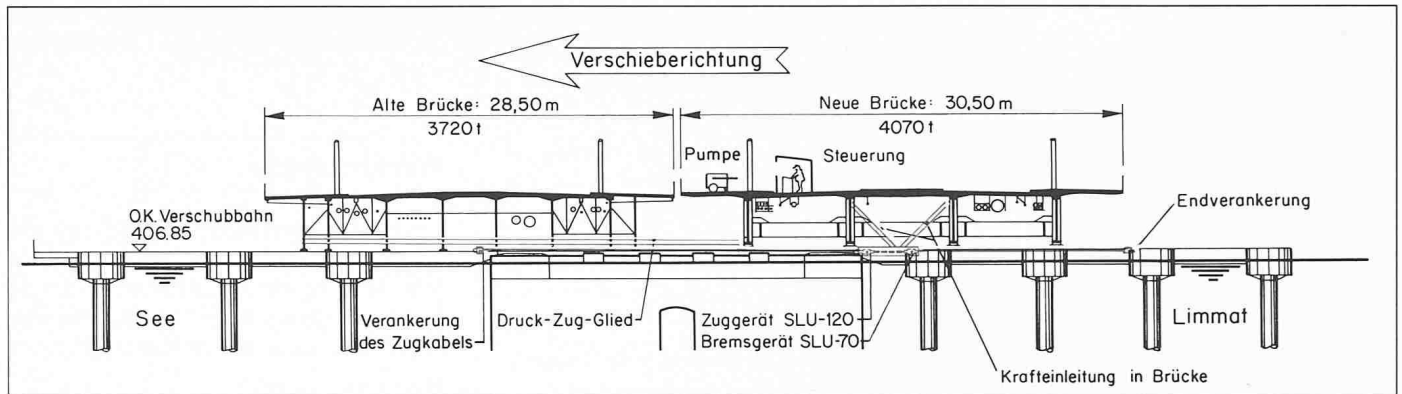


Bild 13. Schema der Kraftführung beim Brückenverschieben

Erstellung der Fahrbahnplatte

Die auf den 4 Stahlhauptträgern aufliegende, quer vorgespannte Fahrbahnplatte wurde mittels eines obenliegenden Vorschubgerüsts aus Stahl in einem 1-Wochen-Takt in insgesamt 10 Etappen erstellt. Das Gerüst war direkt auf den 4 Brückenträgern abgestützt. Nach dem Absenken der Schalung fuhr die Fahrbahnplattenschalung auf dem Betonierverband der neuen Brücke in die nächste Etappe.

Das Taktprogramm der einzelnen Etappen war wie folgt festgelegt:

Freitag: Einbringen der Betons (BS 325, $\rho_w 28\ 400\ \text{kg/cm}^3$, etwa $120\ \text{m}^3$)

Samstag/Sonntag: Abbinden und Erhärten des Betons

Montagvormittag: Quervorspannung in 1 Etappe (Litzenkabel 0,5", Abstand 90 cm)

Montagnachmittag: Absenken der Schalung und Vorfahren des Gerüsts

Dienstag bis Donnerstag: Schalen, Armieren, Kabelverlegen, Montage von Werkleitungs-Jordal-Schienen und Anker für Tramgeleise.

Verschiebevorgang

Der Verschiebevorgang war ohne Zweifel die *spektakulärste Bauphase*. Die beiden druckfest miteinander verbundenen Brücken hatten ein Gesamtgewicht von rund 7800 t. Pro Pfeiler waren Reibungskräfte von bis zu 100 t zu überwinden. Die Verschiebung erfolgte mit einer Geschwindigkeit von rund 2,5 mm/s sehr langsam und in Schritten von rund 25 cm. Nach jedem Meter wurden durch umfangreiche Messungen die Konstruktionen kontrolliert und die Messresultate mit den vorberechneten Werten verglichen. Die rechnerische Simulation des Verschiebevorganges auf einem Computer erteilte genauen Aufschluss über die zu erwartenden Beanspruchungen. Eine spezielle Überwachung erforderten die Pfeiler, da bei unsachgemäßem Einsatz der Verschiebegeräte eine horizontale Ver-

schiebung derselben nicht auszuschließen war. Ein Führungssystem ermöglichte ein genaues Einfahren der neuen Brücke in die vorgesehene Lage. Die beiden Brücken waren also steuerbar. Die Verschiebearbeiten lassen sich in folgende drei Hauptphasen einteilen:

□ **Lagerwechsel der beiden Brücken:** Zum Verschieben mussten die beiden Brücken auf Gleitschuhen stehen. Die neue Brücke wurde bereits auf solchen montiert. Die Gleitschuhe blieben bis zum Verschieben auf den Verschiebbahnen arretiert. Der obere Teil diente später als Teil des Auflagers. Bei der alten Brücke wurden während des Einbaues der Zugriegel in den Pfeilern die alten Lager gegen Gleitschuhe ausgetauscht, wobei die vorhandenen Lagerungsbedingungen genau einzuhalten waren. Diese Arbeiten erfolgten in mehreren Etappen unter Verkehr (Bild 12).

□ **Verschiebevorgang:** Acht VSL-Litzenzuggeräte zogen die neue Brücke an Kabeln in die vorgesehene Lage. Die alte Brücke wurde dabei auf die seeseitige Verschiebbahn hinausgestossen. Eine besondere Konstruktion zwischen dem zweiten und dritten Hauptträger der neuen Brücke übernahm die Krafteinleitung. Die Kabel waren an Verankerungskonsolen an der Verschiebbahn «See» befestigt. So entstand ein praktisch in sich geschlossenes Kräftesystem, das die Pfeiler und Widerlager nur in geringem Masse durch Horizontalkräfte beanspruchte (Bild 13). Um beim Verschieben Zwängungen zu vermeiden, wurde pro Brücke nur eine Führung angeordnet.

Die Gleitschuhe waren auf ihrer Unterseite mit Chromstahl beschichtet. Sie glitten auf teflonbeschichteten, armierten Neoprenkissen. Diese Anordnung gewährleistete bei allfälligen Unebenheiten der Verschiebbahn eine sichere Lastübertragung (Bild 14).

□ **Lagerwechsel der neuen Brücke:** Unmittelbar nach dem Einschleichen wurde der untere gleitfähige Teil der Gleitschuhe entfernt und durch Futterbleche gleicher Stärke ersetzt. Die Lager konnten definitiv mit dem Unterbau verbunden werden.

Der Ablauf des Brückenverschiebens ist aus der Tabelle 1 ersichtlich.

Vermessung während des Verschiebens

Während des Verschiebens wurden sämtliche Bauteile mit umfangreichen Messungen in Lage und Höhe überwacht (Bild 16). Dabei wählte man vier verschiedene, voneinander unabhängige Messsysteme. Zum Teil konnten sich diese Systeme gegenseitig kontrollieren. Für die Vermessung des Verschiebens wurden insgesamt 122 Messpunkte verwendet.

Die wichtigste Vermessung, die der 6 Verschiebbahnen von je 90 Metern Länge, wurde von drei Stationen nach je 3 Metern Verschiebeweg mit modernsten elektronischen Theodoliten ausgeführt. Nach je 1 Meter Verschiebeweg beobachteten zwei andere Gruppen die beiden Brückenflächen mit einem Flächennivellement. Zwei weitere Equipen kontrollierten ebenfalls nach je 1 Meter Verschiebeweg den Spielraum zwischen den Fahrbahnübergängen, und die Brückenpfeiler mit einem Alignment senkrecht zur Fließrichtung der Limmat.

Sämtliche Messungen mussten in kürzester Zeit während des Umsetzens der

Bild 14. Einbau der teflonbeschichteten Neoprenkissen



Freitag, 16.3.1984

18.00-21.00	Strassensperrung vorbereiten
21.00	Sperrung der Quaibrücke für Fussgänger und Individualverkehr
21.00-23.00	Entfernen der Fahrbahnübergänge auf den Widerlagern
	Vorbereitungen für den Brückenverschub
22.30-23.30	Verpflegung
23.00	Einstellung des Trambetriebes über die Quaibrücke
23.00-24.00	Tramgeleise trennen, Fahrleitung demontieren, Null-Messung

Samstag, 17.3.1984

	(Bild 15)
00.00-05.00	Brückenverschub 8 Meter (1,6 m/Std.)
05.00-05.30	Verpflegungspause
05.30-11.15	Brückenverschub 14 Meter (2,6 m/Std.)
11.15-12.00	Verpflegungspause
12.00-15.15	Brückenverschub 8,7 Meter (2,6 m/Std.) und einfahren in die Endlage
	Fahrbahnübergänge, Widerlager versetzen und einbetonieren
	Strassenanpassungen
	Bau- und Verschiebeinstallationen von der Brücke entfernen

Sonntag, 18.3.1984

	Tramgeleise bei den Brückenköpfen neu verlegen und an die Geleise auf der Brücke anschliessen
	Strassenanpassungen

Montag, 19.3.1984

00.00-04.30	Tramoberleitung montieren
04.30-05.45	Absperrungen entfernen
05.45-06.20	Eröffnungszeremonie mit Verkehrsübergabe
06.30-08.00	Aufrichte-Frühstück

Tabelle 1. Ablauf des Verschubes

Gleitkissen durchgeführt werden. Die Messresultate wurden über Telefon oder mit Meldeläufern in ein zentrales Auswertungsbüro gebracht, wo die Messwerte zum Teil mit einem Computer für die technische Leitung aufbereitet wurden. Das gewählte Vermessungskonzept hat sich bestens bewährt. Die Genauigkeit der Messresultate lag bei 2-3 mm. Während des Verschubes haben sich die vorbelasteten Pfähle, Seite Limmat, zwischen 0 und 5 mm gesetzt. Auf der Seeseite haben sich Pfahlsetzungen zwischen 4 bis 32 mm eingestellt. Die mittlere Pfahlsetzung, Seite See, betrug 17 mm. Die horizontalen Verschiebungen an den Widerlagern

und Pfeilern lag in allen Richtungen unter 1 cm.

Abbruch der alten Brücke

Die 15-30 cm starke Betonplatte wurde mit einem 850-kg-Abbau-Hammer zertümmert, wobei grösste Sorgfalt vor grosser Leistung stand. Das Abbruchmaterial wurde auf dem Land- oder Seeweg abgeführt (Bild 17).

Der Stahlkonstruktion rückte man von einer schwimmenden Plattform aus mittels Schweißbrennern und Kran zu Leibe. Die schwersten Einzelteile betragen 7 Tonnen. Das Material wurde in

eine Schredder-Anlage geführt und so im Recycling-Verfahren wieder genutzt.

Werkleitungen

Unter der alten Brücke (Bild 18) war eine grosse Anzahl von Werkleitungen montiert, welche mit Ausnahme der 48 Telefonkabel auch die neue Brücke wieder als Träger benützen und zwar:

Wasserversorgung:

1 Stahlleitung	Ø 800 mm
2 Stahlleitungen	Ø 300 mm

Elektrizitätswerk:

1 Block mit	6 × Ø 150 mm
1 Block mit	4 × Ø 200 mm
und	5 × Ø 150 mm

(Eternitrohre mit eingezogenen Pe-h-Kunststoffrohren)

Polizei:

1 × Ø 150 mm

(Eternitrohr mit eingezogenem Pe-h-Kunststoffrohr)

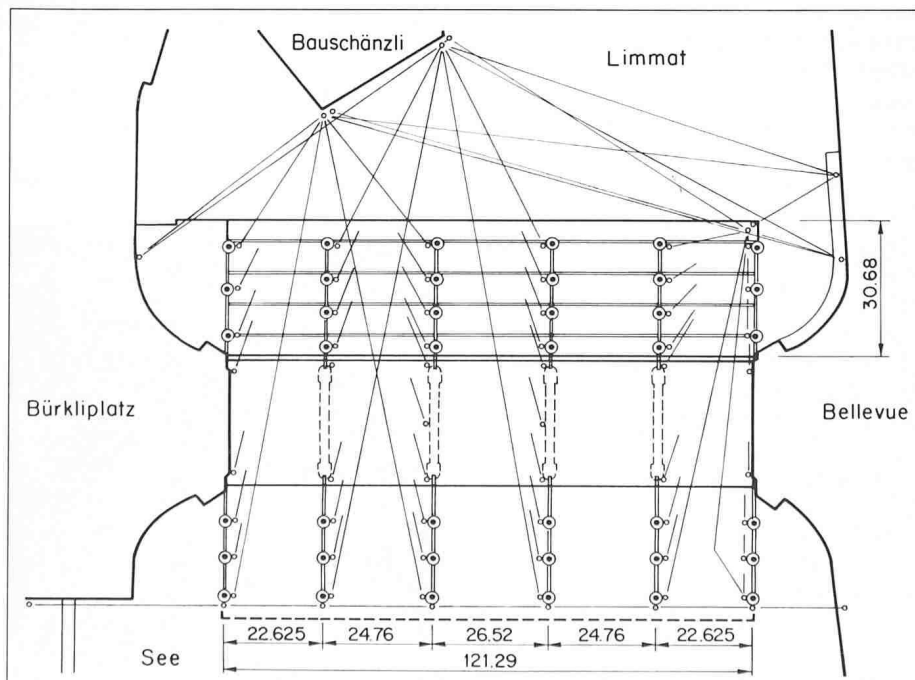
Gaswerk:

1 × Ø 400 mm Stahlrohr

Die Rohraufhängungen bestehen aus unterhaltsfreien Materialien, wie feuerverzinktem und rostfreiem Stahl (Bild 19). Diese Leitungen wurden nach dem Erstellen der Fahrbahnplatte in der Zeit von Oktober 83 bis März 84 unter der Brücke montiert und für die Kopplung nach dem Einschub vorbereitet.

Als Ersatz für die unter der alten Brücke angeordneten Telefonkabel wurde ein neues Kabeltrasse in einem stromabwärts neu erstellten Düker unter der Limmat vorgesehen.

Bild 16. Disposition für die Vermessung während des Verschubs



Materialqualitäten und ihre Prüfung

Konstruktionsbeton

Als Folge der relativ geringen Konstruktionsstärke der Fahrbahnplatte von 25-45 cm waren an Druckfestigkeit und Frostauszählbeständigkeit des Betons grosse Anforderungen zu stellen. Die geforderten Druckfestigkeitswerte ($\beta_{w7} = 320 \text{ kg/cm}^2$, $\beta_{w28} = 400 \text{ kg/cm}^2$) wurden mit Ausnahme eines beschränkten Gebietes mit verspäteter Festigkeitsentwicklung überall eingehalten. Die Frostauszählbeständigkeit ist durchwegs gut, der gefügeanalytische Widerstandsfaktor WF-P liegt bei allen Proben über 80%.

Stahlprüfungen

Die Prüfung des verwendeten Grundmaterials (Haupttragkonstruktion: St 37-3 und 52-3 bzw. sekundäre Teile

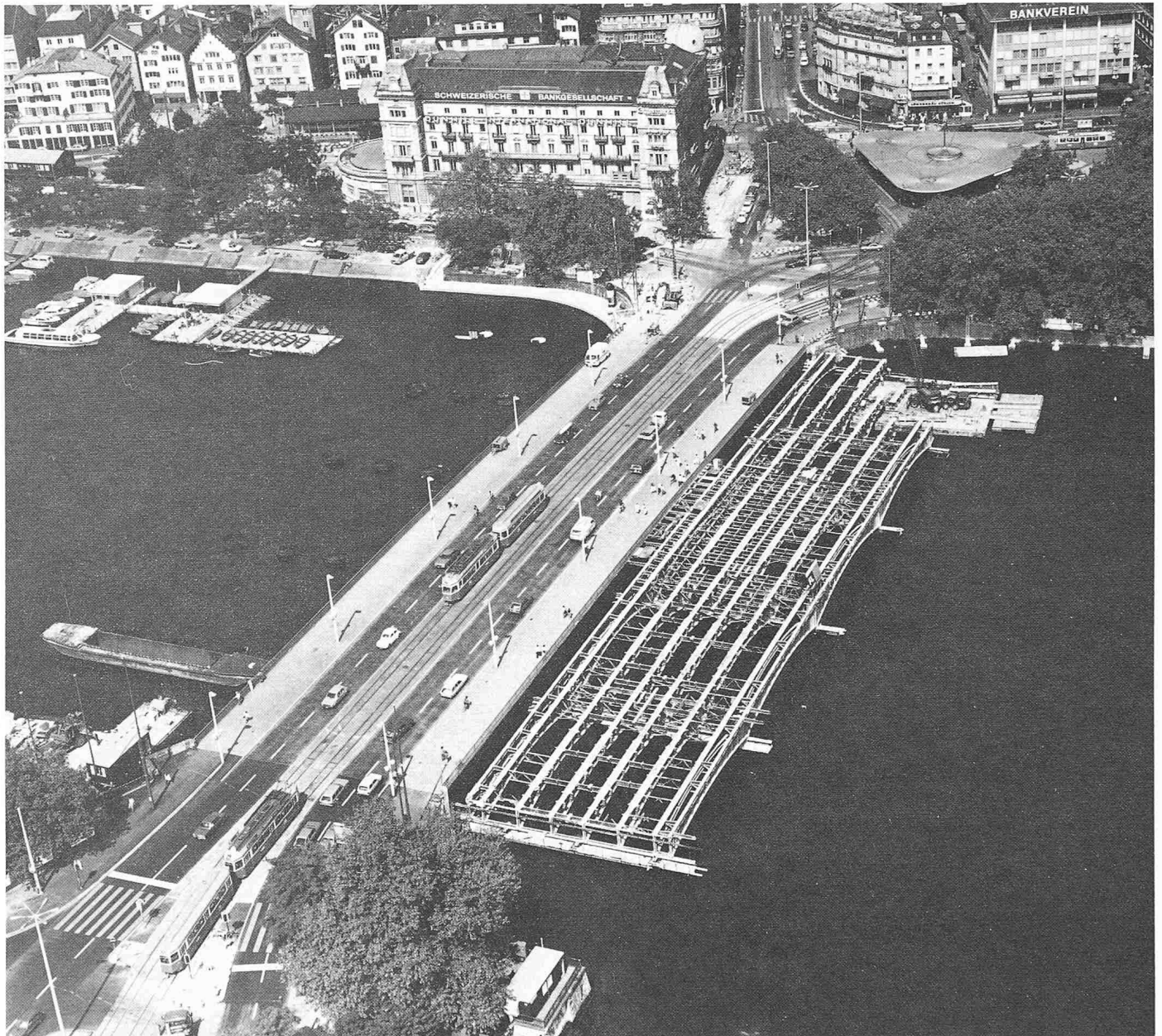


Bild 17. Abbruch der alten Quaibrücke nach dem Entfernen der Fahrbahnplatte

St 37-2 und 42-2) erfolgte im Werk, Werksabnahmeprüfzeugnis nach DIN 50049/3.1 B.

Die Prüfung der Schweissnähte im Werk bzw. auf der Baustelle wurde in enger Zusammenarbeit mit der EMPA durchgeführt.

Korrosionsschutz

Die Güte der Sandstrahlung, sowie die Einhaltung der geforderten Mindeststärken der einzelnen Schutzanstriche (2× Grundanstrich Epoxi-Zinkstaub, je mindestens 60 μ , 2× Deckanstrich Epoxi-Eisenglimmer, je mindestens 70 μ) wurde im Werk und auf der Baustelle laufend geprüft.

Isolation und Beläge

Der gesamte Belagsaufbau einschliesslich Isolation und Haftbrücke wurde laufend durch die EMPA geprüft. Die Bedingungen der Norm SN 640 440 hin-

sichtlich Hohlraumgehalt, Bindemittelgehalt, Erweichungspunkt, Stempeldringtiefe wurden bei allen zur Verwendung gelangenden Schichten eingehalten.

Schwingverhalten des Überbaues

Dieses Problem beschäftigte alle am Bau der neuen Quaibrücke Beteiligten ganz besonders, da infolge Brückenverbreiterung bei gleichzeitiger «Ausmagerung» des Querschnittes eine Verschlechterung des Schwingverhaltens nicht auszuschliessen war. Da die Schwingungen hauptsächlich von Fussgängern auf den Gehwegen unangenehm wahrgenommen werden, wurden Erschütterungsmessungen unter gleichen Voraussetzungen an der alten und neuen Brücke durchgeführt.

Es zeigte sich, dass die neue Brücke erschütterungsmässig nicht ungünstiger ist als die alte. Lastwagen verursachen bei der neuen Brücke geringere Er-

schütterungen, dafür wurden für Tramzüge härtere Schläge, vermutlich durch die starrere Schienenlagerung hervorgerufen, gemessen.

Baukosten ohne Aufwendungen der Werke

Brückenüberbau		
Stahlkonstruktion	Fr.	3 200 000.-
Fahrbahnplatte		3 950 000.-
Isolation und Beläge		670 000.-
Verschubbahn und Vershub		6 600 000.-
Sanierungsarbeiten		
Pfeiler, Widerlager		600 000.-
Hohlraum Bellevue		1 250 000.-
Abbrucharbeiten		930 000.-
Strassenbauarbeiten (Anschlussarbeiten)		800 000.-
Total Sanierung Quaibrücke		18 000 000.-

Materialbedarf

Stahlkonstruktion	424 t	(113 kg/m ²)
Beton BS 325	1100 m ³	(0,29 m ³ /m ²)
Baustahl III	200 t	(182 kg/m ²)
Vorspannkabel	21 t	(5,6 kg/m ²)

Zum Vergleich: Die Stahlkonstruktion der alten Brücke wies ein Gewicht von 980 t auf.

Bild 15. Luftaufnahme der Quaibrücken während des Verschubvorganges (17. März 1984), kurz vor Endlage



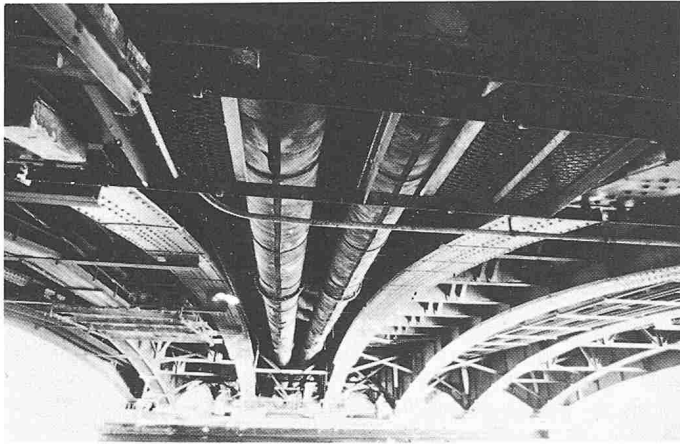


Bild 18. Untersicht der alten Brücke mit Werkleitungen

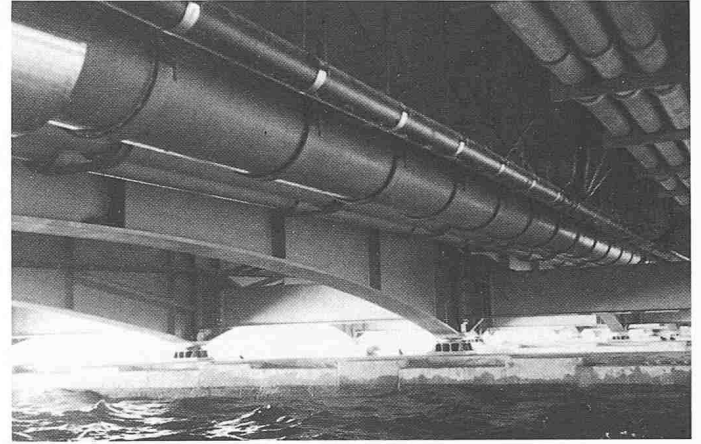


Bild 19. Untersicht der neuen Brücke mit Werkleitungen

Schlussbemerkung

Die Vertreter der Bauherrschaft waren bestrebt, mit der von der Unternehmer-Arbeitsgemeinschaft vorgeschlagenen Einschub-Variante dem Stimmbürger eine unter allen Gesichtspunkten optimale und nicht einfach die billigste Sanierungsmöglichkeit für die Quaibrücke vorzuschlagen. Ihr Mut wurde durch die Zustimmung des Souveräns zur Kreditvorlage belohnt.

Dank der zielorientierten Zusammenarbeit aller an dieser technisch sehr anspruchsvollen Bauaufgabe beteiligten Organe und Firmen konnte die Sanierung der hundertjährigen Quaibrücke termingerecht und qualitativ einwandfrei durchgeführt werden. Möge die neue Quaibrücke Zürich eine ebenso lange Lebensdauer erreichen wie ihre Vorgängerin.

Adressen der Verfasser: Prof. Richard Heierli, Stadtgenieur, Zürich; Fritz Hirt, dipl. Ing. ETH/SIA, Hauptabt. Bauausführung, Tiefbauamt der Stadt Zürich; Heinrich Hofacker, dipl. Ing. ETH/SIA, Ing.-Büro Stucki + Hofacker, 8006 Zürich; Willi Hofmann, Vizedirektor Fietz + Leuthold AG, Bauunternehmung, 8001 Zürich; Urs Schneider, dipl. Ing. ETH/SIA, Schneider Stahl- und Kesselbau AG, 8645 Jona; Erich Möschler, Bauing. HTL, VSL International, 3001 Bern.

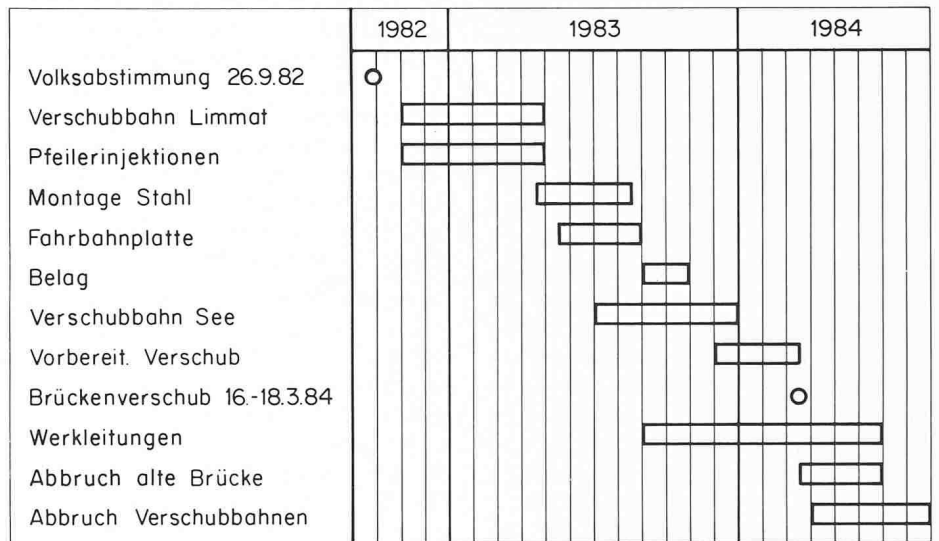


Bild 20. Ablauf der Bauarbeiten für die Quaibrücke

Bauherr Stadt Zürich	Örtl. Bauleitung und Prüflingenieur Ing.-Büro E. Stucki + H. Hofacker, Zürich
Oberbauleitung Tiefbauamt der Stadt Zürich	Vermessung Vermessungsamt der Stadt Zürich
Projekt Brückenbau und Vershub: Arbeitsgemeinschaft Fietz + Leuthold AG, Zürich Schneider Stahl- und Kesselbau AG, Jona	Geotechnische Beratung Büro Dr. von Moos AG, Zürich Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB) an der ETH Zürich
Projekt Strassenbau, Pfeilersanierung, Brückenplatte, Werkleitungen Ing.-Büro Eichenberger AG, Zürich	Bauausführung Arbeitsgemeinschaft Fietz + Leuthold AG Schneider Stahl- und Kesselbau AG, Jona
Projekt Hohlraumsanierung Ing.-Büro E. Studer, Zürich	Korrosionsschutzberatung Büro SCE, Hombrechtikon