

Bauwerke Limmat: Projekt und Ausführung

Autor(en): **Ulrich, Markus / Kaspar, Heinz / Scheifele, Jakob**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **117 (1999)**

Heft 36

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79785>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Markus Ulrich, Heinz Kaspar, Jakob Scheifele, Zürich

Bauwerke Limmat

Projekt und Ausführung

Die Bauwerke Limmat als Projekt des Gesamtvorhabens «Sanierung der Abwasserverhältnisse Zürich-Nord (SAN)» umfassen im Wesentlichen den Rohbau des Stollenzugangs Limmat, den Düker zur Unterquerung der Limmat und den Anschluss an die bestehenden Kanäle in der Hardturmstrasse über einen Freispiegelkanal. Die hydraulischen Komponenten weisen ungewöhnlich grosse Dimensionen auf.

Im Zeitpunkt der Volksabstimmung war die Planung für die Unterquerung der Limmat bereits weit fortgeschritten. Bis zur Auftragsformulierung für den Ingenieur im Sommer 1996 veränderten sich jedoch verschiedene Anforderungen. So sollte die neue Überleitung auf beiden Seiten der Limmat bestehende Kanalisationen aufnehmen. In der Strasse Am Wasser ermöglichte der Anschluss der Schmutzwasserleitung mit einer maximalen Kapazität von $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ eine wesentliche Entlastung eines bestehenden Pumpwerks im Kanalnetz. Auf der linken Limmatseite kann mit der Übernahme von bis zu $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ Abwasser ein Hauptkanal zugunsten der Grossüberbauung «Limmatwest» aufgegeben werden.

Koordinationsbedarf entstand mit der 1996 begonnenen privaten Wohnüberbauung «Hardgütli Ost und West» an der Strasse Am Wasser, in unmittelbarer Nachbarschaft des Stollenzugangs Limmat. Um potentielle Kauf- und Mietinteressenten nicht abzuschrecken, bot die Stadt Zürich Hand, das unterirdische Stollenbauwerk inmitten der neuen Wohnsiedlung innert kürzester Zeit und möglichst vor dem Bezug der Häuser im Winter 1998/99 zu erstellen und zu überdecken.

Andererseits war das Anforderungsprofil des Stollenzugangsbauwerks noch offen und sollte erst später bei der Planung des Stollens bestimmt werden. Deshalb wurde beschlossen, lediglich die Hülle des unterirdischen Bauwerks als Rohbau zu erstellen. Es galt, innerhalb des durch ein Baurecht gesicherten Bodenraums eine wasserdichte Gebäudehülle, den Primärrohbau, mit einem möglichst grossen Volumen zu schaffen; dabei musste auf Stützen, Wände oder Zwischenböden, die eine tragende Funktion hätten übernehmen kön-

nen, verzichtet werden. Wegen unterschiedlicher Realisierungszeiten und Anforderungen schien eine Aufteilung des Projekts Bauwerke Limmat in drei Baulose - Objekte - sinnvoll (Übersichtsskizze, S. 742). Das Objekt Freispiegelkanal auf der linken Limmatseite war im Hinblick auf die erwähnte Grossüberbauung «Limmatwest» sofort zu erstellen, das Objekt Düker hingegen muss erst auf den Zeitpunkt der Inbetriebsetzung des Anschluss-Stollens fertig sein.

Primärrohbau des Stollenzugangs Limmat

Die Bemessung des Primärrohbaus hatte so zu erfolgen, dass die Innenwände und Zwischendecken später an beliebiger Stelle eingefügt werden können. Die oberste Decke mit Spannweiten von 11,0 und 16,5 m hat eine Erdüberschüttung von 2,40 m und zusätzliche Verkehrslasten zu tragen. Die schlaff bewehrte Decke ist 80 cm stark und mit einer Wasserabdichtung versehen. Die über 12 m hohen und 15 m langen Wände sind mindestens 50 cm stark. Im unteren Bereich kamen einhäuptige Kletterschalungen zum Einsatz, die das Hinterfüllen des Zwischenraums zum Baugrubenabschluss mit Konstruktionsbeton erlaubten. Die 50 cm starke Bodenplatte liegt auf dem Molassefels. Die Bauteile im Bereich des Grundwassers wurden im Rahmen eines umfassenden, von Bauherr, Ingenieur und Unternehmer gemeinsam erarbeiteten Konzepts wasserdicht ausgeführt.

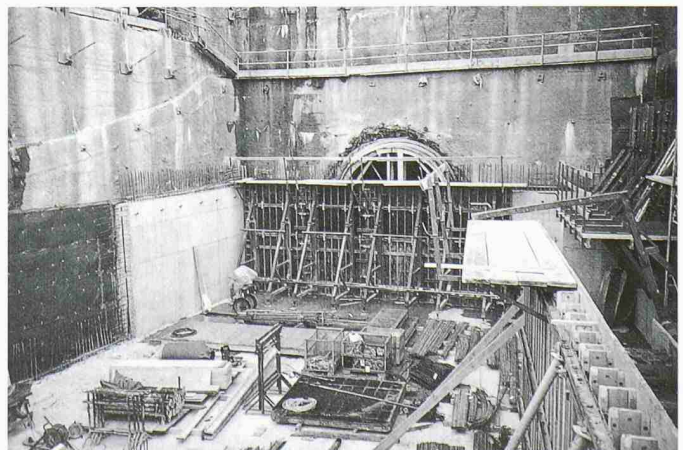
Die Baugrube für den Stollenzugang wurde im Bereich der Molasse mit Spritzbeton ausgekleidet und mit Felsnägeln gesichert. In der aufgelockerten Moräne darüber bestand der Baugrubenabschluss aus Rühlwänden mit vorgespannten Ankern. Aussparungen von $80 \times 60 \text{ cm}$ in den Wänden des Primärrohbaus ermöglichten nachträglich das Entspannen und Ausbauen der Anker. Deformationsmessungen bezüglich Lage, Höhe und Slope, Ableisungen an den Druckmessdosen der Anker, Setzungsmessungen und Rissaufnahmen an den Gebäuden der Umgebung gehörten zum Überwachungskonzept des Stollenbauers. Besonderes Augenmerk galt der am hangseitigen Rand der Baugrube liegenden Villa Schoeller.

Der Düker

Konzept

Bereits im Vorlageprojekt war vorgesehen, die rund $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ grosse Abwassermenge mit einem 116 m langen Düker unter der Limmat hindurchzuführen. Aus Gründen der Redundanz wählte die Bauherrschaft drei parallel verlaufende Rohrleitungen, um eine möglichst grosse Betriebssicherheit zu gewährleisten.

In einer Untersuchung über die Anwendung verschiedener Baumethoden wie Pressvortrieb mit oder ohne Hydroschild sowie Microtunneling stellte sich die Methode mit offenen Baugruben in vier Etappen in der Limmat als wirtschaftlich sinnvollste Lösung heraus, die auch die Realisierung und Überwachung der vom Bauherrn verlangten hohen Qualität garantierte. Die im Rahmen der Submission eingereichten Unternehmensvarianten wurden sorgfältig geprüft, scheiterten aber entweder am Preis, an den Auflagen des Gewässerschutzes während der Bauaus-



1
Baubeginn Primärrohbau des Stollenzugangs Limmat

	Rohr links NW 1000		Rohr Mitte NW 800		Rohr rechts NW 1000		
	Q [m ³ /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]	v [m/s]	
Nachtminimum Heute (1996)	0,2 m ³ /s		0,2	0,6			
Tagesspitze Prognose 2070 (vor Anspringen des rechten Rohrs)	1,0 m ³ /s		1,0	2,7			
Abfluss vor Anspringen des linken Rohrs	2,0 m ³ /s		0,7	1,9	1,3	2,2	
Maximalabfluss	3,3 m ³ /s	1,3	2,2	0,7	1,8	1,3	2,2

2

Betrieb des Dükers: Aufteilung der Abflussmenge (Q) in den Dükerrohren mit Angabe der Fließgeschwindigkeiten (v)

führung oder an den gestellten Qualitätsanforderungen. Da das Bauwerk unmittelbar oberhalb der Gewässerschutzzone des Grundwasserwerks Hardhof der städtischen Wasserversorgung liegt, wollte die Bauherrschaft hinsichtlich der Dichtheit der Abwasserrohre keine Kompromisse eingehen.

Der Dükerrohrblock mit einem Querschnitt von 1,80 × 4,70 m und einer Länge von 116 m zwischen Stollenzugang Limmat und Freispiegelkanal weist in der Flusssohle eine minimale Überdeckung von 1,30 m auf. In Zusammenarbeit mit der Bauherrschaft wurden aus Unterhaltsgründen für den Düker Rohre und Form-



3

Düker, erste Etappe, mit Dienstbrücke

stücke aus Polyethylen mit hoher Dichte gewählt. Aufgrund der massgebenden Lasteinwirkungen bei einer vorgesehenen Nutzungsdauer von 100 Jahren baute man zwei Rohre DN 1000 mm und ein Rohr DN 800 mm sowie 8 Kabelschutzrohre DN 100 mm für Steuerung und Kommunikation ein. Die Bemessung der Betonbewehrung gründete auf differentiellen Setzungen des Baugrunds zwischen starren Auflagern im Abstand von 23 m. Weitere Krafteinwirkungen ergaben sich aus den Dehnungen der HDPE-Rohre infolge Temperaturänderungen des Abwassers in den Rohren und aus den Umlenkkraften bei den Rohrboegen.

Hydraulik

Im Dükereinflaßschacht wird das zu strömende Abwasser mit Überlaufkanten auf die drei Rohrleitungen aufgeteilt. So fließt der gesamte Trockenwetterabfluss durch die kleine Rohrleitung ab (Bild 2). Die Fließgeschwindigkeiten variieren zwischen 0,6 m/s in der Nacht und 2,7 m/s zur Tagesspitze; sie gelten als genügend gross, um an der tiefsten Stelle der Leitungen Ablagerungen von Feststoffen zu verhindern. Die zweite Rohrleitung springt bei einer Abflussmenge von 1,1 m³/s an, die dritte bei 2,0 m³/s. Bei der maximal möglichen Abflussmenge von 3,3 m³/s beträgt die Abflussgeschwindigkeit in allen drei Rohren ungefähr 2 m/s. Bei Starkregenergiefällen im Einzugsgebiet der Kanäle in der Hardturmstrasse, in die der Freispiegelkanal mündet, kann sich ein Rückstau bis zum Dükereinflaßschacht bilden. In diesem Schacht sorgt jedoch der Notüberlauf in die Limmat dafür, dass bei einem ausserordentlich selten zu erwartenden grossen Rückstau das Wasser nicht zu hoch ansteigen und damit die Abwasserrohre im Stollen einstauen kann.

Dükerein- und -auslaßschacht sind belüftet, um bei Wasserspiegelschwankungen das Luftvolumen in den Kanälen auszugleichen. Die monatliche Spülung des Dükers kann ohne weitere Vorkehrungen durchgeführt werden. Für die jährliche Reinigung mit Inspektion sind an beiden Enden des Dükers Schieber angebracht, um jeweils eine Rohrleitung ausser Betrieb setzen zu können.

Bau des Dükers

Dienstbrücke

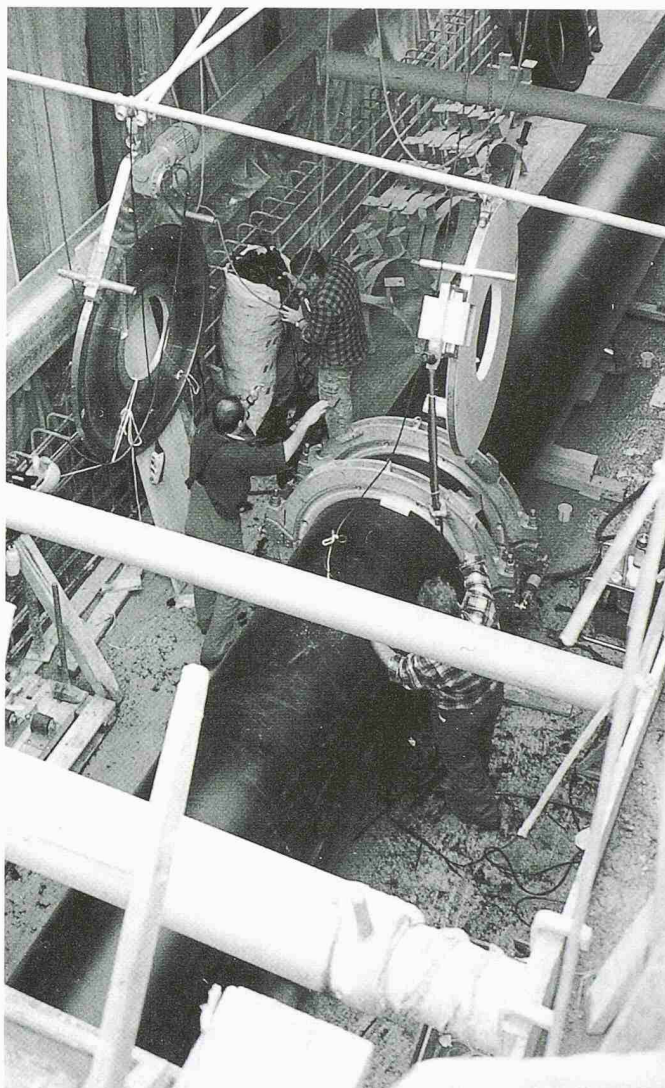
Die Limmatunterquerung bzw. die Dükerachse verläuft nicht orthogonal zur Flussachse, sondern leicht abgewinkelt flussaufwärts, da am linken Ufer die unter Schutz stehende Bernoulli-Siedlung die Erstellung des Freispiegelkanals im öffentlichen Grund nahelegt. Parallel zum pro-

jektierten Düker überquerte eine Dienstbrücke die Limmat, die als Arbeitsplattform für die Spundwandarbeiten, den Aushub und den Bau des Dükerblocks mit den Abwasserrohren diente.

Die Dimensionierung der Brücke richtete sich nach den zu erwartenden, verhältnismässig hohen Belastungen. Zu berücksichtigen waren das Eigengewicht des benötigten Rammbaggers von 50 t sowie 20 t Zuglast. Aus Gründen des Gewässerschutzes bestand die Forderung nach einem wasserdichten Überbau. Das Abflussprofil der Limmat bestimmte die Höhe der Unterkante der Brückenfelder.

Als Pfeiler dienten Stahlrohre mit einem Durchmesser von 800 mm, deren Hohlraum mit Geröll aufgefüllt und verdichtet wurde. Die Jochträger bestanden aus HEM-220-Profilen, die Feldträger mit rund 10 m Spannweite aus je vier HEB-600-Profilen und die Brückenplatte aus vorfabrizierten Betonelementen mit abgedichteten Querfugen. Eine einfache Schwelle aus Ort beton bildete das Widerlager.

Vorher wurden zwei Stahlrohre mit einer Länge von 12 m im Abstand von 10 m vom Widerlager in den Fluss gerammt, mit Geröll gefüllt und anschliessend mit einem Betondeckel in der genauen Höhenlage versehen. Der Jochträger verband die beiden Rohrpfiler und bildete gleichzeitig das Auflager für die 12 m langen Feldträger. Nach dem Verlegen der Betonplatten konnte der Rammbagger für die Erstellung des nächsten Felds auffahren. Das Konzept der Konstruktion gestattete verhältnismässig grosse Toleranzen und Exzentrizitäten.



4
Rohrschweissung an den HDPE-Rohren der Dükerleitungen

Bohrplanum

Am rechten Flussufer erwies es sich als notwendig, die Spundwände mit Vorbohrungen in den aufsteigenden Molassefelsen einzubinden; das Bohrgut durfte jedoch den Fluss in keiner Weise verschmutzen. Vor den eigentlichen Spundwandarbeiten entfernte ein Hydraulikbagger die Uferbefestigungen; anschliessend wurden die kurzen Spundwände für die Umschliessung gerammt und die Schüttung für das Bohrplanum eingebracht; jetzt konnte das Vorbohren für die Düker-Spundwände in Angriff genommen werden.

Baugrube

Die Spundwände waren so zu dimensionieren, dass einerseits die Grundbruchsicherheit gewährleistet und andererseits grössere Arbeitsunterbrüche, hervorgerufen durch Überflutungen der Baugrube, vermieden werden konnten. Demzufolge sollte die Eindringtiefe in den Seebodenlehm mindestens 1 m betragen und die Oberkante der Wände auf ein 5-Jahre-

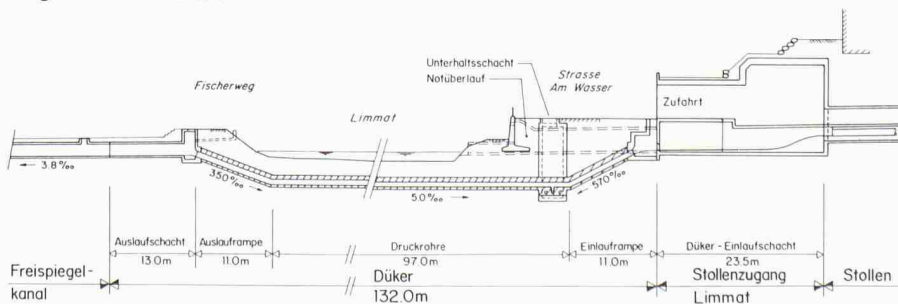
Hochwasser ausgelegt sein. Zur Baugrubenaussteifung waren zwei Spriesslagen vorzusehen. Weil die Baugrube für die Schweisarbeiten an der Verbindung der HDPE-Rohre möglichst trocken gehalten werden musste, waren die Spundwandenschlösser generell abzudichten.

Die Spundwände wurden von der Hilfsbrücke aus mit einem Raupenkrane und einem grossen Vibrationsbär gerammt; als Longarinen dienten HEB-300-Profilen. Die Spriesskräfte wurden mit be-

sonders hergestellten Spriesswinden mit einer Tragkraft von 500 kN aufgenommen, die sich durch hohe Flexibilität auszeichnen. Vor den Perioden mit Rammarbeiten für die einzelnen Dükerabschnitte orientierte die Bauherrschaft jeweils mit Flugblättern die Bewohner der benachbarten Überbauungen.

Hydraulik- und Seilbagger mit Greifern sorgten den Aushub. Das wiederverwendbare Aushubmaterial konnte in einer nahegelegenen Kiesgrube zwi-

5
Längsschnitt des Dükers





6
Hochwasser vom
12./13. Mai 1999

schengelagert und nach den Betonarbeiten wieder eingebaut werden. Vakuumsicherungen sicherten die Wasserhaltung in der Baugrube. Zum Entfernen der Spundwände nach Abschluss der Betonierungsarbeiten dienten wiederum Raupenkrane und Vibrationsbär. Die Querwände blieben zum Teil im Boden.

Einbau

Auf eine Magerbetonschicht als Fundament folgte die armierte Betonsohle. Diese diente nach dem Entfernen der unteren Spriesslage als Unterlage für die Rohrsättel bzw. für die Rohre. Die vom Werk angelieferten 10 m langen Rohrteile wurden auf Rollen gelegt, mit Spiegelschweissung verbunden und auf die vorgängig montierten Rohrsättel abgesenkt und befestigt. Visuelle Prüfungen und Druckproben nach jeder Etappe gewährleisteten die Dichtheit und Unversehrtheit der Rohre. Um Deformationen durch Auftrieb und äussere Einwirkungen möglichst zu vermeiden, standen die mit Wasser gefüllten Rohre während des Armierens und Betonierens unter Druck. Nach dem Betonieren wurden die Rohre von innen nochmals einer genauen Kontrolle unterzogen.

Qualitätssicherung bei der Ausführung

Zur Sicherung der verlangten Qualität erarbeiteten Bauherr, Bauleitung und Unternehmer gemeinsam Kontrollpläne für die wichtigen Bauteile. Besonderes Augenmerk galt dabei dem HDPE-Rohrleitungsbau im Düker und hier vor allem den Schweissverbindungen. Die Qualitätskontrollen an den HDPE-Rohren wurden von der Prüfstelle der Bauherrschaft und durch den Schweizerischen Verein für Schweissstechnik in Basel vorgenommen. Periodische visuelle Kontrollen in der Werkstatt und auf der Baustelle betrafen die Qualität des Rohrmaterials und dessen Verarbei-

tung. Die Güte der Heizelement-Stumpfschweissungen wurde an Probekörpern mit Zug- und Biegeversuch nach DVS 2203 geprüft, bei den Segmentbögen kamen zusätzliche Ultraschallkontrollen hinzu. Die Dichtheitsprüfungen bei den einzelnen Dükerrohrleitungen erfolgten nach jeder Bauetappe nach Empfehlung SIA V 190 mit 1,5-fachem Betriebsdruck, d.h. mit 1,2 bar.

Die Limmathochwasser

Um den Aufstau der Limmat in Grenzen zu halten, wurden von Anfang an möglichst kleine Baugruben angestrebt. Dies ergab letztlich, wie bereits erwähnt, eine Unterquerung der Limmat in vier Etappen. Der Kanton verlangte im Rahmen des Bewilligungsverfahrens ein minimales Freibord am Limmatdamm von 50 cm während eines 30-Jahre-Hochwassers, dessen Nachweis der Ingenieur im Laufe der Detailprojektierung erbrachte. Mit dem Werkvertrag übernahm der Unternehmer das gesamte Hochwasserrisiko bis zu einer Abflussmenge von 600 m³/s, was ungefähr dem 100-Jahre-Hochwasser entspricht. Die wirtschaftliche Optimierung der Baugrubenkonstruktion seitens des Unternehmers führte zu einem in der Höhe begrenzten Baugrubenabschluss, der ein Fluten der Baugrube ab einer Wassermenge von 310 m³/s zuließ.

In der Folge kam es dreimal zu Baugrubenflutungen, da sich in der Zeitspanne mit den Baugruben in der Limmat vom Juli 1998 bis Juni 1999 drei grosse Hochwasser ereigneten. Nach einer längeren Schönwetterperiode liessen heftige Regenfälle Anfang September 1998 die Limmat anschwellen. Vorsichtshalber evakuierte der Unternehmer die Baugrube unmittelbar nach dem Betonieren der Bodenplatte und brachte Baumaterialien und Maschinen in Sicherheit. Über das Wochenende vom 12./13. September stieg das Wasser weiter an und füllte die Baugrube.

Die Abflussspitze entsprach mit 360 m³/s etwa einem 3-Jahre-Hochwasser. Es entstanden jedoch keine grösseren Schäden; notwendig waren lediglich wenige Aufräum- und Reinigungsarbeiten. Ein zweites Hochwasser mit einer Abflussspitze von 450 m³/s, die im Mittel nur alle 20 Jahre erreicht wird, ereignete sich am 12./13. Mai 1999, ebenfalls nur mit geringen Schäden.

Infolge der Schmelze der diesjährigen ausserordentlich grossen Schneemassen und lang anhaltender Niederschläge ereigneten sich im Mai 1999 in der ganzen Zentral- und Ostschweiz weitere grosse Hochwasser. In der Limmat kam es am 22. Mai zu einem Jahrhunderthochwasser mit einer Abflussmenge von 540 m³/s. Dank entsprechender Vorsichtsmassnahmen blieben die Baugrube und die bereits erstellten Bauwerksteile glücklicherweise ohne Schäden, hingegen bereitete das Entfernen des in die Baugrube eingeschwemmten Sands grosse Mühe; eine Verzögerung von rund einer Woche war die Folge. Die Hochwassersicherheit der Limmatdämme blieb aufgrund des gering gehaltenen Aufstaus der Baugrube und der Pfeiler der Dienstbrücke jederzeit erhalten.

Der Freispiegelkanal

Der Freispiegelkanal leitet das Abwasser auf der linken Limmatseite vom Düker zu den bestehenden Kanälen in der Hardturmstrasse; von dort gelangt es schliesslich ins Klärwerk Werdhölzli.

Der Kanal wurde mit einem Querschnitt von 1,60 x 1,80 m in Ortbeton ausgeführt. Der Zusammenschluss mit den bestehenden Hauptsammelkanälen erwies sich ausführungstechnisch als recht schwierig, da das Vereinigungsbauwerk teilweise in der stark befahrenen Hardturmstrasse und unter den Tramgleisen liegt. Der Trambetrieb durfte nicht gestört oder gefährdet werden, und verschiedene Bautätigkeiten erforderten Nacht- und Wochenendarbeit. Für den Bau des Freispiegelkanals wurden Gärten der gegen die Stadt gelegenen Zeile der Bernoullihäuser in einer Breite von bis zu 7 m vorübergehend beansprucht. Der Freispiegelkanal wurde wie der Primärrohnbau beim Stollenzugang im Frühjahr 1998 fertiggestellt.

Adresse der Verfasser:

Markus Ulrich, dipl. Ing. HTL, Entsorgung + Recycling Zürich, Bändlistrasse 108, 8010 Zürich,
Heinz Kaspar, dipl. Ing. ETH, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich, Jakob Scheifele, dipl. Ing. ETH, Jak. Scheifele AG, Regensbergstr. 248, 8050 Zürich