

Zeitschrift:	Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	117 (1999)
Heft:	36
Artikel:	Ausbau der unteren Querschnittshälfte des Stollens: Projekt und Ausführung
Autor:	Ulrich, Markus / Künzli, Gottlieb / Schlatter, Rolf
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-79781

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: 11.02.2026

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

Markus Ulrich, Gottlieb Künzli und Rolf Schlatter, Zürich

Ausbau der unteren Querschnittshälfte des Stollens

Projekt und Ausführung

Im Folgenden wird das aufgrund der Vorgaben des Bauherrn erstellte Projekt detailliert dargestellt. Ferner werden die Bauausführung sowie die Qualitätssicherung in der Ausführungsphase beschrieben.

Bei der Wahl des Konzepts spielten die Zugänglichkeit zum Stollen und die Art der Rohrverlegung eine entscheidende Rolle. Die nur über den ehemaligen Förderschacht des Stollens im Güterareal des Bahnhofs Oerlikon mögliche Materialanlieferung erzwang die Erstellung des Bauwerks «vor Kopf», d.h. von den beiden Stollenenden her in Richtung des Förderschachts. Die Evaluation ergab, dass dabei nicht nur die Rohrbettung, sondern auch die Umhüllung der Rohre mit Vorteil aus Beton bestehen würde.

Die Abwasserrohre

Als Abwasserrohre wurden innen und aussen glasierte Steinzeugrohre DN 1100 entsprechend der EN 295 gewählt. Es handelt sich um moffenlose, planparallel geschnittene Inliner-Rohre mit beidseits gefrästen Spitzenden. Die Rohrverbindungen bestehen aus im Werk vormontierten Dichtungselementen und Edelstahlkuppelungen. Das vorgegebene Leitungsgefälle beträgt 2,0 bzw 2,212%.

Die Rohre lagern auf Rohrsockeln aus Polymer-Beton auf dem durchgehenden Sohlbeton B 30/20. Es folgen drei weitere Schichten aus Magerbeton B 25/15: Rohrbettungsbeton, unterer und oberer Hüllbeton; den Abschluss bildet der Fahrbahnbeton. Eine seitlich angebrachte elasstische Trennschicht verhindert in diesem Bereich eine starre Verbindung zur Stollenkonstruktion und damit eine Beeinträchtigung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Stollenauskleidung. Die Ausführungstoleranz des Stollens wurde in der Regel mit dem Sohlbeton aufgenommen; die Rohrüberdeckung ist demzufolge konstant und beträgt 0,30 m.

Im Abstand von 100 m sind Inspektionsöffnungen in den Rohren angeordnet. Sie bestehen aus einer geschalteten Schachttöffnung NW 600 mit einer Beschichtung und einer Abdeckung mit

einem Gussdeckel, die die Anforderungen hinsichtlich Gasdichtheit und Druckwiderstand erfüllt. Die Öffnungen in den Steinzeugrohren wurden vor Ort geschnitten und der Übergang Rohr/Schacht in der vorgegebenen Rundung mit kunststoffvergütetem Mörtel erstellt. Um den Einstieg zu vereinfachen, sind in den Schachthälsen je eine Trittnische und ein Handgriff aus Edelstahl eingebaut.

Zur Rohrentlüftung sind im Endbereich und in der Zwischenkaverne Rohrstutzen vorgesehen, die vertikal aus der unteren Querschnittshälfte bzw. aus der Fahrbahnoberfläche hervortreten und über einen Rechteckkanal aus Edelstahl im Hüllbeton mit dem nächstgelegenen Inspektionsschacht verbunden sind.

Für die bauseitigen Durchflussmessgeräte sind an den vorgegebenen Standorten besondere Schächte in ähnlicher Ausführung wie die Inspektionsöffnungen vorgesehen. Eingelegte Blechkonstruktionen aus Edelstahl gewährleisten ein einfaches Versetzen der Instrumente.

Arbeitsebene

Die oberste Schicht der Rohrumhüllung dient als Arbeits- und Verkehrsebene. Sie ist 18 bis 22 cm stark und besteht aus Konstruktionsbeton B 35/25. Die Oberfläche des Monobetons ist verschleissfest und gut zu reinigen. Um der Rissbildung

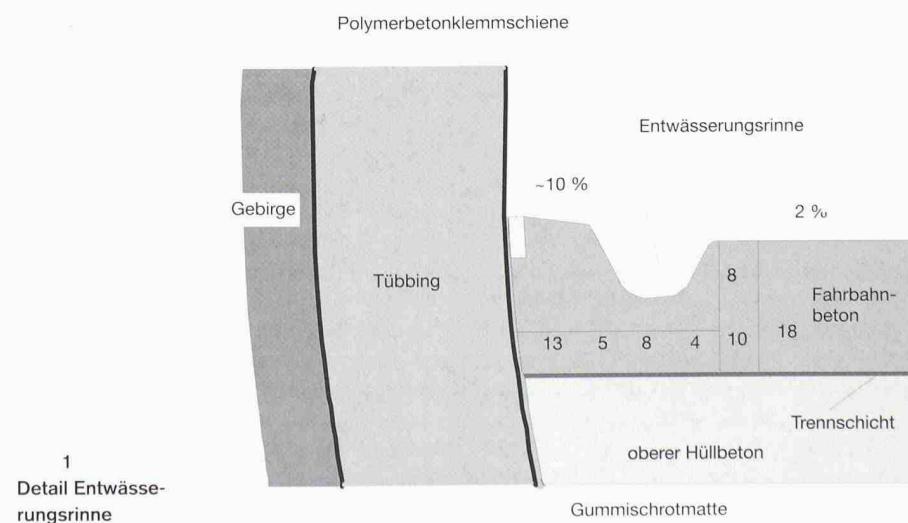
zu begegnen, ist die Betonplatte im Abstand von rund 6,7 m mit einer Querfuge von 1,5 cm Breite unterteilt, die mit einer bituminösen Fugendichtungsmasse ausgegossen ist. Das Niveau der Arbeitsebene liegt 1,50 m über der Sohle und folgt dem Längsgefälle der Abwasserleitung. Die verbleibende lichte Höhe bis zum Stollenscheitel beträgt 2,38 m.

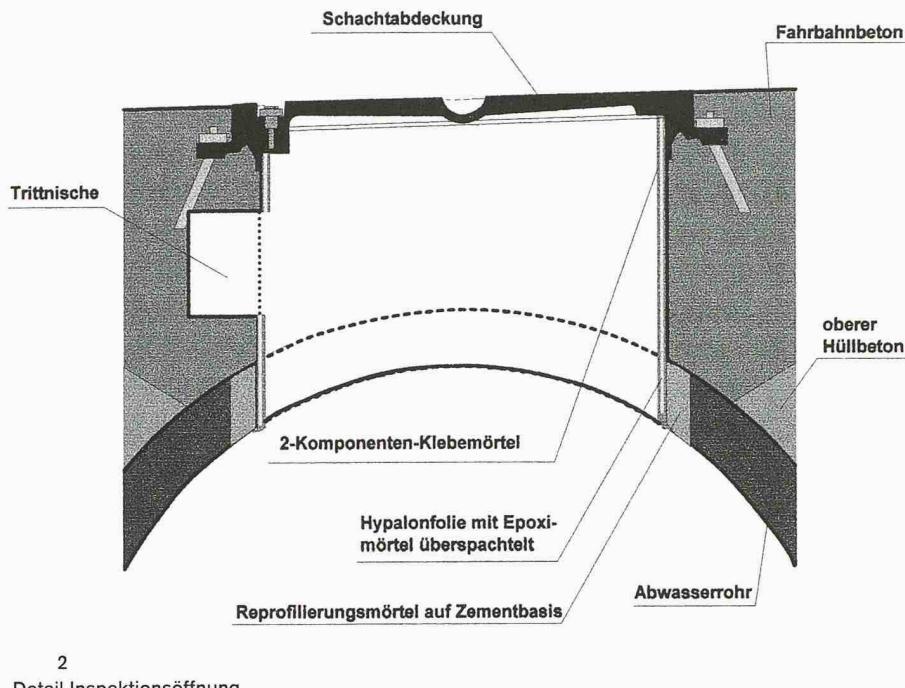
Stollenentwässerung

Ein beidseitiges Gefälle von 2% erlaubt die Ableitung des Reinigungswassers in seitlich entlang der Stollenwand angeordnete Rinnen. Das durch die Stollenauskleidung allfällig eindringende Bergwasser wird sich in der Trennfuge zwischen Verdämmungsbeton und Stollenauskleidung stauen und in die Rinne überlaufen.

Qualitätssicherung

Laut Werkvertrag musste sich der Unternehmer einem umfassenden projektbezogenen Qualitätssicherungskonzept des Bauherrn unterstellen, das die gesamte Planung, Projektierung und Ausführung umfasst. Der Totalunternehmer erarbeitete zusammen mit der Bauherrschaft innerhalb weniger Monate nach Vertragsabschluss für das Projekt und die Ausführung einen QS-Plan, der von der Bauherrschaft genehmigt und mit dem die vereinbarte Bauwerksqualität überwacht, sichergestellt und dokumentiert wurde. Insbesondere regelte er die Kontrolle aller Tätigkeiten der Totalunternehmung, der Subunternehmer und der Lieferanten. Er fixierte außerdem die Organisation, regelte die Projektierung, die Verantwortlichkeiten





2
Detail Inspektionsöffnung

ten sowie den Dokumentenfluss und definierte die für die Ausführung wichtigsten Dokumente, die Arbeits- und Prüfanweisungen und die Abweichungsprotokolle.

Die Arbeitsanweisungen legten alle Abläufe der Bauausführung in einem Flussdiagramm fest. Die Tätigkeiten sind exakt umschrieben, die Grundlagen, Ergebnisse und Verantwortlichkeiten definiert. Die Prüfanweisungen hielten den Ablauf der Prüfungen, die einzuhaltenden Anforderungen, die verantwortlichen Prüfer und die Protokollierung der Ergebnisse fest. Die Abweichungsprotokolle dienten der Bauherrschaft zur raschen Information über Abweichungen von den Anforderungen; mit Zustimmung der Bauherrschaft konnten entsprechende Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden.

Im Wesentlichen wurden die nachstehenden Prüfungen auf der Baustelle durchgeführt:

- Steinzeugrohre: visuelle Kontrolle der Rohre und des Dichtungsbereichs, Rissprüfung der Steinzeugrohre mit Talk, mechanische Rohrendprüfung (Spitzendprüfung)
- Verlegte Rohre: Muffenprüfungen mit Druckluft vor und nach dem Einbetonieren, Dichtheitsprüfung des ganzen Rohrsystems (inkl. Schächte) abschnittsweise nach dem Einbetonieren, Gefälle der einzelnen Rohre vor und nach dem Einbetonieren, Höhenlage der Rohre vor und nach dem Einbetonieren
- Fahrbahnplatte: Gefälle und Höhenlage nach dem Betonieren
- Beton: Laufende Frisch- und Festbetonprüfungen.

weiteren Arbeiten waren - im Prozess unterschiedlich - gleichzeitig in beiden Stollenabschnitten nach genau geplanten Arbeitsabläufen im Gange.

Arbeiten im Takt

Ein Spezialwagenzug transportierte die 2 m langen und 1288 kg schweren Rohrteile der Abwasserleitung auf der Sohlbeton-Ebene zur Einbaustelle. Das gut eingespielte Vorgehen beim Verlegen und Justieren der beiden Abwasserrohre erlaubte Tagesleistungen von rund 40 m Stollenstrecke. Vor dem Betonieren wurden das Gefälle und das Nivellement mit einer Präzisionswasserwaage nachgeprüft und die Dichtheit der Rohrverbindungen mit Lufterdruck gemessen. Die Erstellung der Rohrbettung, der -umhüllung und der Arbeitsebene erfolgte im gleichen Rhythmus wie die Rohrverlegearbeiten in vier Taktabschnitten von durchschnittlich 40 m Länge im Tag. Der Arbeitsbereich der Taktarbeiten erstreckte sich somit über rund 160 m. Für den Betontransport auf der Haupttransportstrecke von der Zwischenkaverne Bahnhof Oerlikon bis rund 180 m vor der Einbaustelle diente ein Fahrmischer mit 7 m³ Inhalt. Die Restdistanz bewältigte eine Pumpe. Die erforderliche mittlere Tagesleistung betrug rund 160 m³. Der für die Betontakte auf den Rohren provisorisch aufgebaute Holzsteg wurde mit dem Fortschritt der Betonierungsarbeiten laufend zurückgebaut. Die im letzten Takt betonierte Fahrbahnplatte erhielt durch mechanisches Abtalonieren ihre definitive Oberflächenbeschaffenheit.

Vermessung

Die Anforderungen an die Versetzgenauigkeit der Rohre beim vorgegebenen Gefälle von 2,0 bzw. 2,212% waren aussergewöhnlich hoch. Die Toleranzgrenze be-

Bauausführung

Konzept

Das Gesamtkonzept sah vor, dass innerhalb von 12 Monaten im Wesentlichen 26 000 m³ Beton und 10 520 m Steinzeugrohre hergestellt und eingebaut würden. Die Kies- und Zementlieferungen (Tageslieferung) für die Betonherstellung vor Ort und die in Köln produzierten Steinzeugrohre gelangten mit der Bahn zur Betonmaschine bzw. zum Rohrlagerplatz auf dem Güterareal des Bahnhofs Oerlikon. Von dort wurden der Beton über eine Fallleitung und die Rohre mit einem Kran im Förderschacht in die Kaverne transportiert. Der als erstes über die ganze Stollenlänge eingebrachte Sohlbeton von 2,80 m Breite diente als Fahrbahn für Pneufahrzeuge und gleichzeitig als Arbeitsebene für die Verlegung der Abwasserrohre. Die

3 Längsschnitt durch die untere Querschnittshälfte mit Betonieretappen

Betonieretappe:

160 m

40 m

40 m

40 m

40 m

Steinzeugrohr

Sohlbeton Rohrsattel Rohrbettungsbeton unterer Hüllbeton oberer Hüllbeton Fahrbahnbeton

trug in der Höhe ± 1 mm, in der Lage ± 5 mm. Die Basis der Lage bildeten Absteckungspunkte im Abstand von 10 m auf dem Sohlbeton in der Stollenachse. Davon ausgehend konnten die parallelen Rohrachsen mit einer Lehre markiert werden. Die Höhenlage der Rohre wurde mit einem Rotationslaser mit automatischer Horizontierung und der Möglichkeit der manuellen Bildung einer schiefen Ebene bestimmt. Als Empfänger dienten Präzisionsdetektoren. Der Laser fixierte in

50 cm Höhe eine parallel zur Rohrsohle verlaufende Ebene mit dem geforderten Gefälle.

Das permanente Nachmessen der Steinzeugrohre durch die Unternehmung mit der Präzisionswasserwaage und einem Nivellement sowie die Kontrolle einiger Rohrabschnitte mit Präzisionsnivelllement durch das Vermessungsamt der Stadt Zürich gaben dem Bauherrn die Gewissheit, dass sich die Abwasserrohre nach dem Einbringen des Rohrbettungsbetons

nicht verschoben hatten und die Verlegegenauigkeiten eingehalten waren.

Adressen der Verfasser:

Markus Ulrich, dipl. Ing. HTL, Entsorgung + Recycling Zürich, Bändlstr. 108, 8010 Zürich,
Gottlieb Künzli, dipl. Ing. HTL, Zschokke Lacher AG, Pelikan-Platz 5, 8022 Zürich, und *Rolf Schlatter*, dipl. Ing. HTL, SNZ Ingenieurbüro AG, Seiler Niederhauser Zuberbühler, Dörflistrasse 112, 8050 Zürich

Heinz Kaspar und Michael Aggeler, Zürich

Hydraulische Aspekte

Die Projektierung und Ausführung des grossen Bauvorhabens erfordert bei der hydraulischen Auslegung eine übergeordnete Koordination. Diese ist besonders bei den Schnittstellen, wo beispielsweise neben der Abwasserleitung auch die entsprechenden Lüftungsrohre geführt werden müssen, nötig. Die Koordination wurde einem «Gesamthydrauliker» übergeben, der den einzelnen Projektverfassern Vorgaben zu formulieren hatte und deren Einhaltung überwachen musste.

Nachdem im Jahre 1993 das Vorlageprojekt ausgearbeitet war, wurde klar, dass für die weitere Projektierung die Koordination der verschiedenen Projektierungsteams von zentraler Bedeutung sein würde. Es galt, das rund 5 km lange Überleitungssystem kontinuierlich und in allen Elementen sorgfältig aufeinander abgestimmt zu projektiert und auszuführen. Neben dem Festlegen der übergeordneten hydraulischen Randbedingungen war insbesondere an den Schnittstellen der drei Teams eine klare Aufgabenteilung vorzunehmen. Ein Team ist verantwortlich für die Rohre in der unteren Querschnittshälfte des Stollens, ein zweites für den obenliegenden Teil des Gesamtvorhabens SAN mit dem Umbau des Klärwerks Glatt und ein drittes für den untenliegenden Teil mit dem Düker unter der Limmat.

Gemäss den Forderungen der Bauherrschaft ist eine möglichst grosse Abwassermenge im Stollen abzuleiten. Je mehr die Kapazität die übliche, zweifache Trockenwetterabflussmenge überschreitet, desto mehr kann die Glatt während Re-

genwetter von Abwasser verschont bleiben. Auch sollte das für die Stadt Zürich sehr bedeutungsvolle «Jahrhundertwerk» der Abwasserentsorgung genügend Reserven für zukünftige, unvorhersehbare Entwicklungen aufweisen und deshalb nicht zu knapp bemessen sein.

Die übergeordnete Aufgabe des für die Gesamthydraulik beauftragten Ingenieurs bestand somit darin, für das einwandfreie Ableiten einer möglichst grossen Menge Abwassers zu sorgen. Dazu schien es sinnvoll, den einzelnen Teams klare Vorgaben zu stellen, beratend zur Seite zu stehen, die ausgearbeiteten Projekte zu prüfen und zu korrigieren, die Auswirkungen von Toleranzen bei der Ausführung zu beurteilen und nicht zuletzt die Vorgaben für den zukünftigen Betrieb aufgrund der Erfahrung bei der Inbetriebsetzung zu formulieren.

Dimensionierungsabflussmengen

Die neue Überleitung hat das Abwasser von Zürich-Nord anstelle des heutigen Klärwerks Glatt aufzunehmen. Die Zuflüsse erfolgen über den Kanal Leutschenbachstrasse und über den Düker Leutschenbach. Zur Dimensionierung kann somit von den Betriebsdaten des Klärwerks Glatt ausgegangen werden, ergänzt mit den Werten für die Regenwetterabflüsse aus den Berechnungen nach der Ganglinien-Volumen-Methode, welche die Entsorgung + Recycling Zürich (ERZ) anwendet. Am unteren Ende des Stollens erhöht sich die Abflussmenge durch den Zufluss der Kanalisation in der Strasse Am Wasser. Auf der anderen Seite des Dükers Limmat liegt der Zufluss des

Kanals beim Schoeller-Areal, womit in der untersten Strecke der neuen Überleitung, im Freispiegelkanal, die Abflussmenge am grössten ist. Über einen Anschlusschacht fliesst das Abwasser in zwei parallel verlaufende Kanäle in der Hardturmstrasse, die genügend gross sind, um das zusätzliche Abwasser dem Klärwerk Werdhölzli zuzuleiten.

Die zukünftigen Anforderungen gab die ERZ anhand einer Abflussprognose für das Jahr 2070 vor, wobei für die Trockenwetterabflüsse der heutige Schmutzwasseranteil um die prognostizierten Einwohnergleichwerte (EWG) erhöht und die Fremdwasserzuflüsse den möglichen Sanierungen entsprechend reduziert wurden. Die in Bild 2 angegebenen Trockenwetterabflüsse entsprechen dem üblichen 16-Stunden-Mittel. Beim zweifachen Trockenwetterabfluss ist der Fremdwasseranteil nur einmal enthalten.

Die maximale Mischwasserabflussmenge bei Regenwetter im Kanal zum Klärwerk Glatt beträgt heute $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$, ist begrenzt durch das Kanalnetz im Einzugsgebiet Zürich-Nord und gilt unverändert auch für die Prognose. Die Abflussmengen, die die Kapazität der Abwasserrohre im Stollen überschreiten, werden in den Regenbecken kurzfristig gespeichert; übertrifft die Regenwassermenge das Volumen der Regenbecken, fliesst das Wasser durch die Klärüberläufe der Regenbecken der Glatt zu. Für diesen Fall sind die Regenbecken so ausgelegt, dass das Überlaufwasser grob gereinigt wird.

Die in Bild 2 angegebenen Maximalabflüsse im Stollen von $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ resultieren nicht wie die anderen Werte aus den Zuflüssen des Kanalisationssystems, sondern widerspiegeln die maximale Abflusskapazität der gewählten Rohre. Es zeigt sich, dass die im Hinblick auf den Gewässerschutz übliche zweifache Trockenwetterabflussmenge von $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ spielend abge-