

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 33/34

Artikel: Projektierung und Bau des Stollens
Autor: Henniger, Karl / Ganzmann, Konrad
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79293>

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: 23.02.2026

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

gleich zur Glatt um einen sehr leistungsfähigen Vorfluter handelt, ist die Überleitung des Abwassers zum Werdhölzli die umweltfreundlichere Lösung als der Ausbau und der Weiterbetrieb der Kläranlage Glatt. Ein weiterer Vorteil aus der Betriebseinstellung der Kläranlage Glatt erwächst daraus, dass ein grosser Teil des Areals für neue Nutzungen verfügbar wird. Zudem werden durch die Installation von Absorptionsfiltern im Rechengebäude an der Glatt und beim Bauwerk «Am Wasser» die Geruchsemissionen auf ein Minimum begrenzt.

Die Analyse der Betriebssicherheit des Stollens und der zu erwartenden Umwelt-

schädigungen bei Betriebsstörungen (Unfälle, menschliches Versagen, Naturkatastrophen wie Erdbeben und Überschwemmungen, Sabotageakte usw.) haben gezeigt, dass die Risiken sehr klein sind und ohne weiteres verantwortet werden können.

Fazit

Die dauerhafte Verbesserung der Wasserqualität in der Glatt ist Auslöser und Ziel des Projekts. Die gewählte Variante «Überleitung» kommt dieser Absicht besonders weit entgegen, ohne zusätzliche Probleme

durch die geringe Mehrbelastung der Limmat zu schaffen. Da schon von Anfang an seitens der Bauherrschaft der Wille zu umweltschonenden Bau- und Transportverfahren bestand, kann unter Beachtung einer Zahl von Massnahmen das Vorhaben umweltgerecht verwirklicht werden.

Adresse der Verfasser:

Mathias Müller, dipl. Phys. ETH, und Elmar Ledergerber, Dr. oec. HSG, econcept, Lavaterstrasse 66, 8002 Zürich

Karl Henniger und Konrad Ganzmann, Zürich

Projektierung und Bau des Stollens

Dem Bauunternehmer als Totalunternehmer obliegen Projektierung und Ausführung des Bauvorhabens, im vorliegenden Fall insbesondere die Ausarbeitung eines Vor- und Submissionsprojekts und die Wahl des Bauverfahrens. Es werden die Aufgaben des Ingenieurs während der Bauausführung, die Transport- und Umschlagsanlagen und der Vortrieb der Fels- und Lockergesteinsstrecke beschrieben.

Bei der vom Bauherrn für den Bau des Anschluss-Stollens Glatt gewählten Projektentwicklung handelt es sich um einen mehrstufigen Submissionswettbewerb. Vier in- und ausländische Unternehmen schlossen sich dafür zur «Arbeitsgemeinschaft Anschluss-Stollen Glatt (Arge ASG)» zusammen und bildeten mit einem Zürcher Ingenieurbüro die Ingenieur-Unternehmergruppe Anschluss-Stollen Glatt (siehe Kasten auf S. 14). Diese Gruppierung hat den sich über drei Phasen und drei Jahre erstreckenden Wettbewerb gewonnen. Der Werkvertrag wurde am 20. Juli 1994 in Form eines Totalunternehmervertrags mit der Arge ASG abgeschlossen.

Das Vorprojekt

Im Rahmen des Vorprojekts wurden in einem ersten Schritt Varianten zur Linien-

führung studiert. Dabei stellte sich heraus, dass eine Variante mit einem Zwischenschacht auf dem Freiverladeareal des Bahnhofs Oerlikon als erfolgversprechende Lösung aus folgenden Gründen im Vordergrund stand:

- Ver- und Entsorgung der Baustelle ausschliesslich per Bahn mit idealen Umschlagsmöglichkeiten.
- Lage des Schachts im Übergangsbereich Molasse/Seeablagerungen. Dies erlaubt eine optimale Anpassung des Bauverfahrens.
- geringstmögliche, projektbedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen bzw. -immissionen in einer vergleichsweise wenig empfindlichen Umgebung beim Bahnhof Oerlikon.

Zum Vorprojekt gehörte auch die Wahl des Vortriebsverfahrens und des Stollenausbaus. In der Felsstrecke wurden diesbezüglich folgende Lösungen in Betracht gezogen:

- TBM-Vortrieb, Sicherung und Innenring mit Spritzbeton
- TBM-Vortrieb, Sicherung mit Spritzbeton, Innenring in Ortbeton
- TBM-Schildvortrieb, einschaliger Ausbau mit Stahlbetontübbings

Aufgrund umfangreicher Studien und der Kriterien Machbarkeit, Qualität, Risiken und Kosten wurde als Vorprojekt die Variante «Schacht Oerlikon» mit Zielschacht «Am Wasser» und folgende Lösungen für den Stollenausbau und die Vortriebsverfahren eingereicht:

- durchgehend einschaliger Ausbau mit mörtel hinterfüllten Stahlbetontübbings, im Bereich des wasserführenden Lockergesteins mit Neoprene-Profilen abgedichtet
- Einsatz einer Schild-TBM, im Fels ausgerüstet mit einem rollenmeisselbestückten Bohrkopf, für die Lockergesteinsstrecke umgerüstet zum Einsatz als Druckluft- oder Erddruckschild mit Schneidrad

Neben den technischen Lösungsvorschlägen war auch der Preis in Form eines Kostendachs anzugeben. Bei dem nicht alltäglichen Projekt konnte das Kostendach nur anhand eines detaillierten Leistungsverzeichnisses in der geforderten Genauigkeit ermittelt werden.

Die Ausarbeitung des Submissionsprojekts

Das Submissionsprojekt umfasst den Rohbau des Stollens, die beiden Endschächte und den Zwischenangriff beim Bahnhof Oerlikon. Die Ausführung des Projekts war zu einem globalen Preis zu offerieren. Als Grundlage für die Kalkulation des Globalpreises waren auf der Basis des Vorprojekts folgende Elemente und Teile des Projekts sowie der Bauausführung im Detail und abschliessend zu planen:

- Linienführung des Stollens
- bauliche Massnahmen für den Zwischenangriff Oerlikon
- statische und konstruktive Bemessung der Endschächte
- Normalprofil im Fels und Lockergestein
- Bauverfahren im Fels und Lockergestein, Transport- und Umschlagsanlagen

■ Tübbingherstellung und Deponie des Ausbruchmaterials

Der Stollen verläuft vom Schacht «Glatt» in der Leutschenbachstrasse bis zur Bahnlinie Oerlikon-Wallisellen und anschliessend geradlinig bis zum Schacht «Am Wasser». Die Lage des Zwischenangriffs wurde so gewählt, dass alle baulichen Massnahmen in den Fels zu liegen kommen. Es sind dies der Förderschacht mit einem Durchmesser von 10 und einer Tiefe von 40 m sowie eine 170 m lange Kaverne für die Montage der Tunnelbohrmaschinen und die Installation der Transport- und Umschlagsanlagen.

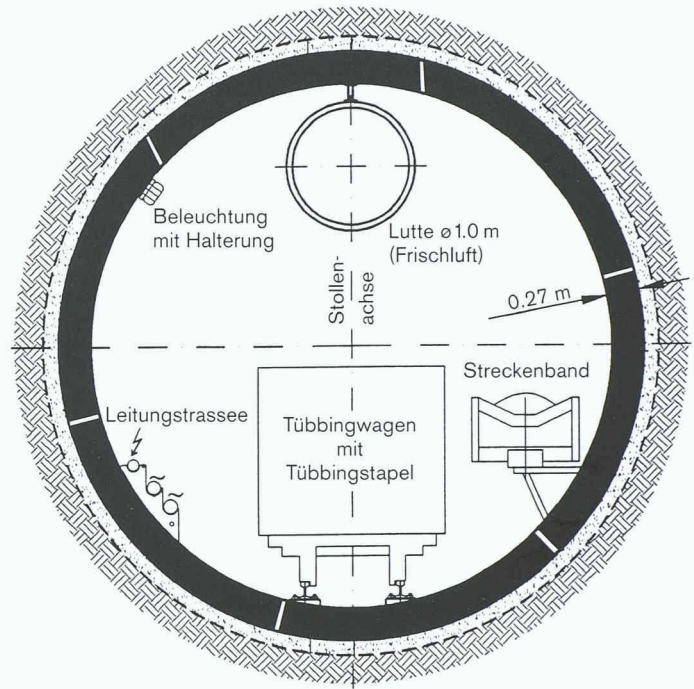
Als Baugrubenumschliessungen beim 14 m tiefen, im Lockermaterial und Grundwasser liegenden Schacht «Glatt» wurden Schlitzwände, beim Schacht «Am Wasser» eine Rühlwand gewählt. Letzterer dient auch als Baugrube für das Übergangsbauwerk vom Stollen zum Limmatdüker und ist aus topographischen Gründen gegen die Limmat als offener Voreinschnitt ausgebildet. Die Dimensionierung der Tübbings führte zu einem sechsteiligen Ring von 160 cm Länge, dessen Stärke durchgehend 27 cm beträgt.

Für den Vortrieb in der Lockergesteinsstrecke bestätigte sich nach genauerem Studium der Möglichkeiten die Eignung und Zweckmässigkeit eines Mixschilds, der als Druckluft- oder Erddruckschild eingesetzt werden kann. In den siltigen, teilweise dichten Seeablagerungen gelangt das Druckluftverfahren, im mehr kiesigen und durchlässigen Material das Erddruckverfahren zur Anwendung. Beim letzteren muss je nach Durchlässigkeit der Boden mit einem Schaum zu einer plastischen Masse konditioniert werden. Das für die Konditionierung verwendete Produkt baut sich mit Sauerstoff ab, so dass der damit behandelte Boden nicht als kontaminiert gilt.

Ferner waren im Rahmen des Submissionsprojekts die Transport- und Umschlagseinrichtungen im Stollen, im Schacht und für den Bahntransport zu studieren, mögliche Deponien mit Bahnanschluss zu ermitteln sowie Lösungen und Stellungnahmen zu speziellen Problemen vorzuschlagen. Wichtige Bestandteile des Submissionsprojekts waren auch Angaben zur Beweissicherung, zum Sicherheits- und Nutzungsplan, zu den Umweltaspekten Grundwasser, Altlasten, Erschütterungen, Lärm und lufthygienische Emissionen/Immission sowie zum Konzept des Qualitätssicherungsplans.

Schliesslich war der Globalpreis für Installation und Bauvorhaben anhand eines detaillierten Leistungsverzeichnisses zu ermitteln.

1
Normalprofil mit den Transport- und Versorgungseinrichtungen. Erkennbar ist auch der sechsteilige Tübbingring



Die Aufgaben des Ingenieurs in der Ausführungsphase

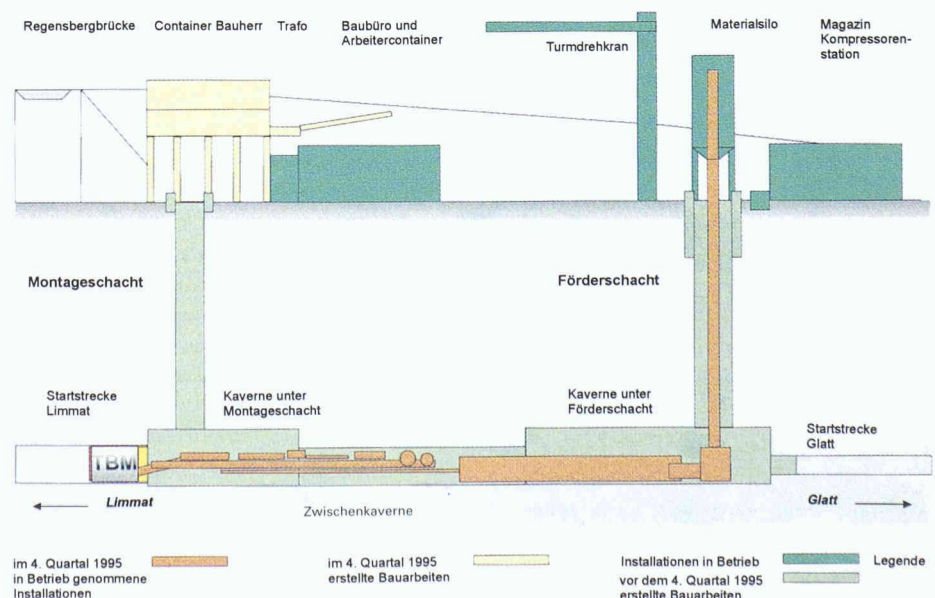
Auf der Basis des Submissionsprojekts bestimmt der Ingenieur die definitive Lage und Höhe der Stollenachse, dimensioniert und erstellt die Ausführungspläne für die Tübbings und Schächte und erstellt die Ausführungspläne.

Das Schwergewicht der Ingenieurleistung liegt aber bei der Erarbeitung und Überwachung der Sicherheits- und Überwachungskonzepte, der Beweissicherung und der Baubegleitung.

Qualitätssicherung (QS), Sicherheits- und Überwachungskonzepte

Basis der Qualitätssicherung bildet der bereits für das Submissionsprojekt ausgearbeitete Qualitätssicherungsplan. Dieser wird vor dem Baubeginn durch Unternehmer und Ingenieur konkretisiert und hält die Organisation der Baustelle fest, regelt die Verantwortlichkeiten und den Dokumentenfluss, nennt die notwendigen Arbeitsanweisungen, umschreibt die Anforderungen an die Arbeitssicherheit, den Gesundheitsschutz und regelt die Umweltbelange. Mit dem QS-Plan wird die

2
Zwischenangriff Bahnhof Oerlikon, Längsschnitt





3

Durchstich an der Limmat, 21. Oktober 1996

Eigenkontrolle aller Tätigkeiten der Arge, des Ingenieurbüros und der Subunternehmer und Lieferanten geregelt.

Im Rahmen eines «Sicherheits- und Rettungsdispositivs», in das neben Polizei und Unfallinstanzen auch die SBB und die Feuerwehr einbezogen sind, werden für die betroffenen Objekte vor Beginn der Bauausführung u.a. Risikoüberlegungen angestellt und entsprechende Sicherheits- und Überwachungskonzepte erarbeitet.

Einen Sonderfall stellen die Bahnanlagen dar. In diesem Bereich werden vor allem die Gleise direkt über der Stollenachse mit einem Präzisionsnivelement

4

Blick durch Bohrkopf in den Arbeitsraum zwischen Schneidräder und Ortsbrust



überwacht. Die geodätischen Messungen werden jeweils dem aktuellen Stand des Stollenvortriebs angepasst. Der Kontrollbereich umfasst je 75 m vor und hinter der Ortsbrust.

Beweissicherung

Das Konzept «Beweissicherung» umfasst Bauwerksaufnahmen, Nivellemente, Erschütterungs-, Deformations- und Lärmmessungen. In der Lockergesteinsstrecke sind Setzungen zu erwarten. Aufgrund dieses allgemeinen Gefährdungsbilds wurde ein Gefährdungskorridor festgelegt. Alle Bauten und Werkleitungen, die ganz oder teilweise in diesem Korridor liegen, werden erfasst und dokumentiert. Von allen als stark gefährdet eingestuft Bauten werden kurz vor einer möglichen Gefährdung Grundaufnahmen erstellt. Während der Bauarbeiten werden Zwischenbeobachtungen durchgeführt und allenfalls eine Schlusssaufnahme erhoben.

Die Schächte und die Kaverne für den Zwischenangriff werden im Sprengvortrieb ausgebrochen. Vor dem Beginn der Sprengarbeiten wurden mit Probesprengungen die Lademengen auf die zulässigen Erschütterungen abgestimmt.

Der Materialumschlag auf dem Installationsplatz des Zwischenangriffs Bahnhof Oerlikon verursacht Lärm. Um diesbezüglichen Reklamationen zu begegnen, wurden vor und beim Beginn der Vortriebsarbeiten Lärmmessungen durchgeführt, die zeigten, dass trotz des relativ hohen Lärmpegels im Bereich des Bahnhofs Oerlikon die Umschlagsanlagen über Tag nach 22 Uhr nicht mehr betrieben werden dürfen.

Die Bauausführung

Mit dem Submissionsprojekt als Bestandteil des Totalunternehmervertrags waren das Bauverfahren, der Bauablauf und das Bauprogramm festgelegt. Die Vortriebs-, Transport- und Umschlagsanlagen wurden für einen Vortrieb von 1,60 m pro Stunde ausgelegt.

Vortriebsausrüstung

Das Normalprofil ist in der Fels- und Lockergesteinsstrecke gleich. Die Gebirgssicherung und der Ausbau bestehen aus einer wasserdichten einschaligen Tübbingröhre. Dieser Ausbau erlaubt im Lockergestein und Fels den Einsatz einer Schild-TBM (Bohrdurchmesser 529 cm). Für die Erstellung des Pflichtenhefts bis zur Auslieferung einer montagebereiten neuen TBM muss auch bei guter Fachkenntnis und Organisation mit einem Jahr gerechnet werden. Für das Auffahren der 2900 m langen Felsstrecke ist der Bohrkopf mit 34 17''-Rollenmeisseln bestückt. Für den Einsatz als Druckluft- bzw. Erddruckschild wird der Bohrkopf durch ein Schneiderad ersetzt.

Transport- und Umschlagsanlagen

Das Ausbruchmaterial wird mit einem Förderband vom Nachläufer bis zur Senkrechtförderanlage transportiert.

Die Bandkonstruktion wird dem Vortrieb folgend im Bereich des Nachläufers verlängert. Die Antriebsstation befindet sich am Fusse des Förderschachts und der Bandspeicher in der Montagekaverne. Von der Übergabestation am Schachtfuss bringt eine 60 m hohe Senkrechtförderanlage das Material in ein Zwischensilo von 400 m³ Inhalt. Ein Abzugband ist in der Lage, in 30 Minuten einen Halbzug der SBB mit 500 t Material zu beladen. Das feuchte, zum Teil bindige Material der Lockergesteinsstrecke wird ohne Zwischensilo direkt auf die Bahnwagen verladen.

Im Stollen werden Personen, Tübbings und Mörtel im Gleisbetrieb transportiert.

Tübbings

Der Tübbingring besteht aus sechs annähernd gleich grossen Teilen. Von diesen sind drei gleich, der Schlussstein beidseitig und die benachbarten Steine einseitig konisch. Für die Ausbildung von Kurven wird ein Korrekturring mit einer Konizität von 4 cm hergestellt. Dieser kann in jeder Position eingebaut werden und erlaubt damit Korrekturen in alle Richtungen. Die Betonqualität beträgt B 40/30. Mit der Auflage, dass die Tübbings mit der Bahn angeliefert werden müssen, erwies

sich die Produktion im bestehenden Beton-elementwerk in Veltheim als günstige Lösung.

Transport und Deponie des Ausbruchmaterials

Der Bahntransport und die Deponie des Stollenausbruchmaterials ist ebenfalls Bestandteil des Totalunternehmervertrags. Als Aushubdeponie wählte die Arge Hüntwangen. Die Transporteinheit besteht aus 18 Bahnwagen und fasst 1026 t Ausbruchmaterial. Dank des flexiblen und raschen Einsatzes von Streckenlokomotiven durch die SBB und des Siloinhalts von 400 m³ entstanden praktisch keine Wartezeiten.

Bauablauf, Bauprogramm und Ausbruch der Felsstrecke

Nach dem Spatenstich, der am 6. Dezember 1994 erfolgte, wurden 1995 die Schächte und die 170 m lange Kaverne gebaut, die 420 t schwere Schild-TBM montiert und die Transport- und Umschlagseinrichtungen für das Ausbruchmaterial und die Tübbings installiert. Am 7. Dezember 1995 wurde der 2900 m lange Felsabschnitt vom Zwischenangriff zum Schacht «Am Wasser» angefräst; der Normalbetrieb konnte Mitte März aufgenommen werden. Im zweischichtigen Betrieb mit Arbeitszeiten von 6-22 Uhr wurden im Mittel 18 m, im Maximum 29 m Stollen aufgeföhren. Der Durchstich fand am 21. Oktober 1996 statt.

Der Ausbruch des Stollens erfolgt entsprechend der Ringlänge der Tübbings in Abschnitten von 160 cm. Während des Vortriebs wird der Ringspalt des zuletzt versetzten Rings mit Mörtel hinterfüllt. Die Mörtelaufbereitungsanlage befindet sich am Fuss des Förderschachts.

Ein besonderes Problem, das erst nach mehreren Versuchen im Massstab 1:1 gelöst wurde, bildete die Zusammensetzung, Konsistenz und Abbindegeschwindigkeit des Mörtels. Im Zusammenhang mit der Verfüllung des ganzen Ringspals mit Mörtel steht auch die Verrollung des Schilds und das Aufschwimmen der Tübbingröhre. Die Verrollung wurde durch den Einbau von beweglichen Kufen im Schildmantel verhindert, das Aufschwimmen der Tübbingröhre durch das Aufbringen von Ballast auf dem Nachläufer reduziert.

Ausbruch der Lockergesteinsstrecke

Nach dem Durchstich der Felsstrecke wurde die TBM mit Nachläufer im Schacht «Am Wasser» demontiert und in der Kaverne des Zwischenangriffs für den Ausbruch der Lockergesteinsstrecke umgebaut. Gleichzeitig wurde die noch im Fels liegende 70 m lange Startstrecke Richtung Glatt mit einer Teilschnittmaschine ausgebrochen.

Mitte März 1997 war es soweit, dass der Vortrieb Richtung Kläranlage Glatt aufgenommen werden konnte. Dabei erwies

sich der Abbau der Molasse mit den auf dem Schneidrad aufgebraachten Sticheln als praktisch nicht möglich. Eine Verbesserung wurde mit dem Einsatz von Schaftmeisseln erzielt. Im Übergang zum Lockermaterial liegt auf der Molasse eine rund einen Meter starke Moräne. Diese ist ausgewaschen und führt erheblich Wasser. Beim Anföhren dieser Schicht stellt sich im Scheitel ein Wasserdruck von 2,6 bar ein, der mit dem Stand der Piezometer übereinstimmt. Mit 2,6-2,9 bar Druckluft und Bentonit konnte die Ortbrust stabil gehalten werden.

Die Vortriebsleistung war in der flach abfallenden Molasse und in der grobkörnigen Moräne durch den grossen Zeitverlust beim Wechsel der Abbauwerkzeuge unter 2,8 bar gering.

Das generelle Bauprogramm sieht vor, die 2300 m lange Lockergesteinsstrecke zur Kläranlage Glatt bis Frühjahr 1998 auszuföhren. Bis zu diesem Zeitpunkt wird auch der Schacht «Glatt» erstellt sein.

Adresse der Verfasser:

Karl Henniger, dipl. Bauing. ETH, Locher & Cie AG, Bauingenieur und Bauunternehmer, Postfach, 8022 Zürich, und *Konrad Ganzmann*, Bauing. HTL, Electrowatt Engineering AG, Postfach, 8034 Zürich