

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 20

Artikel: Der Tagbautunnel zwischen Glattbrugg und dem Flughafenbahnhof
Autor: Glättli, Max / Hasenfratz, Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73374>

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: 05.04.2026

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

benden Querschnittfläche so erleichtert werden, dass die mittlere Schrämmeistung auf bis 20 m³ je Stunde, die tägliche Vortriebsleistung auf 3,60 m bis 4,20 m stieg.

In dem ausgewaschenen, rolligen Kies der Schotterrinne konnte die gewählte Bruststeinbaumethode erprobt werden. Zum Einsatz kamen die Brustplatten längs dem oberen Schildmantel und der oberen Arbeitsbühne, der maschinelle Betrieb war daher jederzeit möglich. Mit Ausnahme einer kurzen Strecke konnte dank dieser Ausrüstung die Ortsbrust jederzeit unter Kontrolle gehalten werden.

Das Grundwasser wurde nur in den Übergangszonen von Moräne/Schotterrinne und Schotterrinnen/Seeablagung angetroffen. Beim letzten Übergang wurde im Sohlbereich ein *kleines Grundwasserbecken angeschnitten*, das anscheinend von dem nächstliegenden Filterbrunnen nicht mehr erfasst wurde. Während 20 Arbeitstagen drangen 10–15 l/s im Schildschwanz ein und mussten von dort aus dem Tunnel gepumpt werden, bis durch die Sohle des Tunnels zusätzliche Filterbrunnen erstellt waren.

Die angetroffenen *Seeablagerungen* erwiesen sich für einen Schildvortrieb als *sehr günstig*. Dank dem hohen Siltanteil und der festen Lagerung musste die Ortsbrust nicht gestützt werden. Massgebend für die Leistung waren hier die Ladekapazität des unteren Baggers und die Ringbauzeit. In dieser Zone wurde daher auch die *grösste Monatsleistung von 130,80 m* erreicht, was einem *Tagesmittel von 6,20 m* entspricht.

In der abschliessenden Schotterstrecke musste wieder ein Wassereinbruch bewältigt werden. Ein erst nachträglich angeordneter Filterbrunnen vermochte ein Grundwasserbecken nicht mehr zu entleeren, bevor der Schild diese Zone anfuhr. So trat am 22. November 1976 abends eine Wassermenge von gegen 30 l/s an der Ortsbrust aus. Die Pumpanlage war aus Wirtschaftlichkeitsgründen auf eine geringere Wassermenge bemessen worden. Es musste deshalb mit einem Pumpwagen von 11 m³ Inhalt in pausenlosem Einsatz zusätzlich Wasser herausgeführt werden, bis einerseits der Wasserandrang zurückging und andererseits stärkere Pumpen installiert waren. Die besonders in diesem Abschnitt erwarteten verkitteten Schotter wurden nur zonenweise und in dünnen Lagen angetroffen; doch nahm die Härte der Lagerung gegen die Losgrenze wieder eindeutig zu.

Zusammenfassend darf gesagt werden: die gewählte Schildkonstruktion hat sich als Ganzes im angetroffenen Baugrund sehr gut bewährt. Die zusätzlichen Massnahmen wie Sprengen und Schildüberschneide haben es möglich gemacht, den Ende 1975 einmonatigen Rückstand auf das Bauprogramm in einen Vorsprung von über drei Monaten zu verwandeln.

Adresse des Verfassers: R. Frey, dipl. Ing. ETH, c/o Prader AG, Zürich; Arbeitsgemeinschaft Hagenholz Ost, Postfach, 8303 Bassersdorf.

Der Tagbautunnel zwischen Glattbrugg und dem Flughafenbahnhof

Von Max Glättli und Jakob Hasenfratz, Zürich

Die dichte Überbauung des Flughafenkopfes und der Wohngebiete, durch welche die Flughafenlinie in Kloten und Glattbrugg geführt werden muss, aber auch die topographischen Verhältnisse und die Randbedingungen, die in den Verflechtungspunkten mit den bestehenden Bahnanlagen und im Bereiche des Flughafens selbst zu berücksichtigen sind, haben zur Folge, dass *drei Viertel der 6,4 km langen Neubaustrecke unterirdisch* verlaufen. Hiezu gehört ausser dem Hagenholztunnel und dem Flughafenbahnhof auch der südlich anschliessende Streckenabschnitt von rund 1,2 km Länge, der das Flughafenareal zwischen Blindlandepiste und Werft in Richtung Glattbrugg durchquert, um hier mit der bestehenden Klotenerlinie wieder ein gemeinsames Trasse in abgesenkter Lage zu finden (Bild 1).

Der nachfolgende Projekt- und Baubeschrieb soll diesem Tunnel gewidmet sein. In *offener Baugrube*, zum Teil unmittelbar neben der Hauptpiste unter *schwierigen Baugrundverhältnissen* erstellt, gehört er zu den technisch besonders interessanten und anspruchsvollen Abschnitten der Flughafenlinie. Mit seinem in die Lose 4 und 5 aufgeteilten Bau wurde im April 1975 begonnen. Heute gehen die Arbeiten ihrem Ende entgegen.

Linienführung und Nivellette

Die Linienführung dieser Teilstrecke wird im Norden durch die Lage des *Flughafenbahnhofs* bestimmt, während am südlichen Ende die *Kläranlage Kloten/Glattbrugg* und im Flughafenareal selbst vor allem die *Blindlandepiste* massgebend sind (Bild 2). Wenn es auch gelungen ist, in angemessenem Abstand östlich dieser Piste vorbeizufahren, liegt doch ein ca. 500 m langer Abschnitt der Bahnlinie in einer für die *Radaranlagen des Flugsicherungssystems* («Instrument Landing System», ILS) empfindlichen Zone. Es ergaben sich daraus für den Baubetrieb sehr einschneidende Auflagen. Im Bereich der Antennen dürfen *überhaupt keine Setzungen* riskiert werden. Eine offene Bau-

grube war zwar zulässig, ihre Breite musste jedoch stark eingeschränkt werden. Auch die Verwendung von Baugeräten unterlag strengen Bestimmungen: Im Sommer durften sie in dieser Zone höchstens um 4 m überragen, während solche Einragungen im Winterhalbjahr mit Rücksicht auf ein absolut störungsfreies Funktionieren der ILS-Anlage überhaupt untersagt waren.

Fixpunkt für die Nivellette ist einerseits die Gleishöhe im Flughafenbahnhof (Kote 413.00). Andererseits muss die Linie in südlicher Richtung notwendigerweise in Tieflage weitergeführt werden, solange sie im Hindernis- und Gefahrenbereich der Landepiste und der Rollwege des Flughafens liegt. Damit müssen zwangsläufig auch verschiedene Werkkanäle und Vorfluter im Werftareal unterquert werden, die für den tiefsten Punkt der ganzen Neubaustrecke (Kote 411.57) bestimmend sind.

Der nächste Zwangspunkt für die Höhenlage ist die *Glatt*, die mit einer Brücke zu überqueren ist. Es ergibt sich daraus auf 430 m Länge eine Steilrampe von 22‰ Steigung. Die in diesem Bereich liegende Kreuzung zwischen Flughof- und Rohrstrasse muss den neuen Gegebenheiten angepasst und um ca. 2,5 m gehoben werden.

Die konstruktive Gestaltung des Bauabschnittes der Lose 4 und 5 wurde indessen nicht nur durch die Tieflage, die schwierigen Baugrundverhältnisse und den durchgehend fast auf Terrainhöhe liegenden Grundwasserspiegel beeinflusst, sondern massgebend auch durch die Forderung des Flughafenhalters, für die Zukunft die Möglichkeit offen zu halten, Pistensystem und Rollwege auch im Bereich der Bahnlinie in *beliebiger* Weise verlegen zu können, nachdem hiefür heute noch keine verbindlichen Pläne aufgestellt werden können.

Um im weiteren auch jeder Entwicklung im Flugverkehr und Flugzeugbau gewachsen zu sein, war dabei mit einem Flugzeuggewicht von 1000 t zu rechnen (Jumbo-Jet B 747 heute: 365 t).

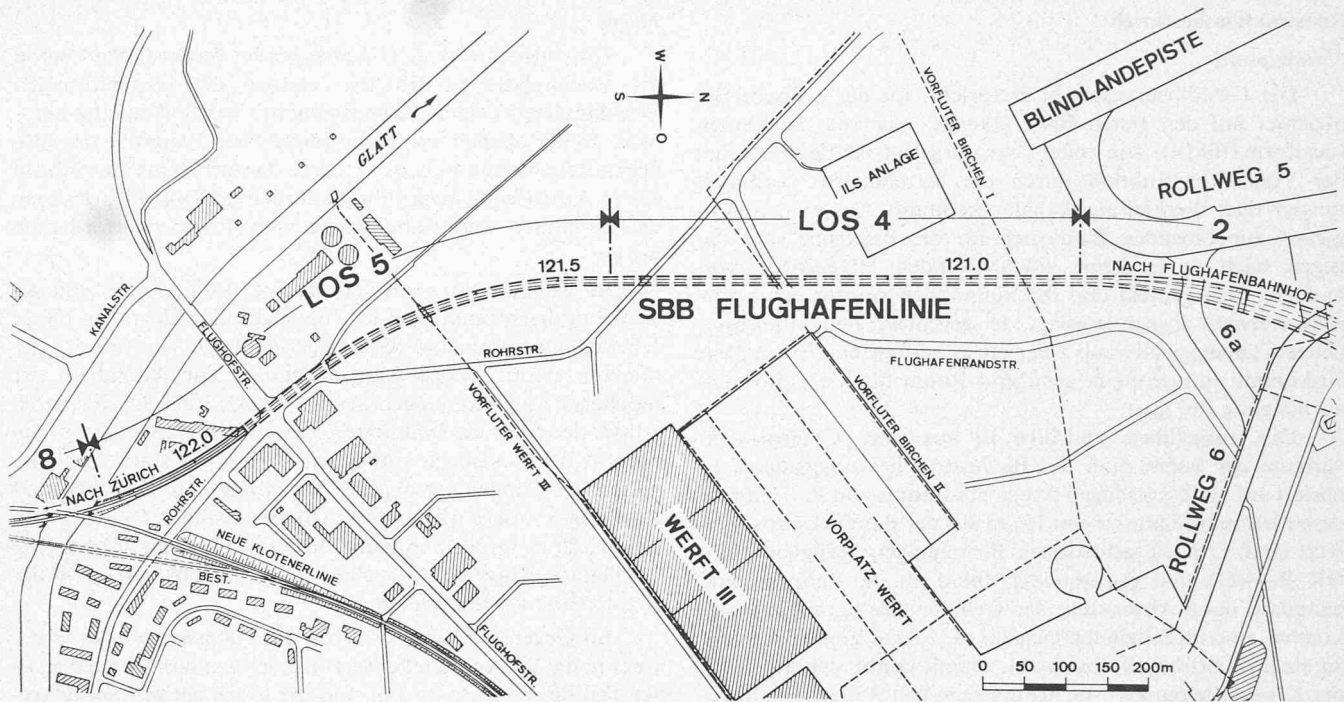


Bild 1. Situation Los 5, Los 6

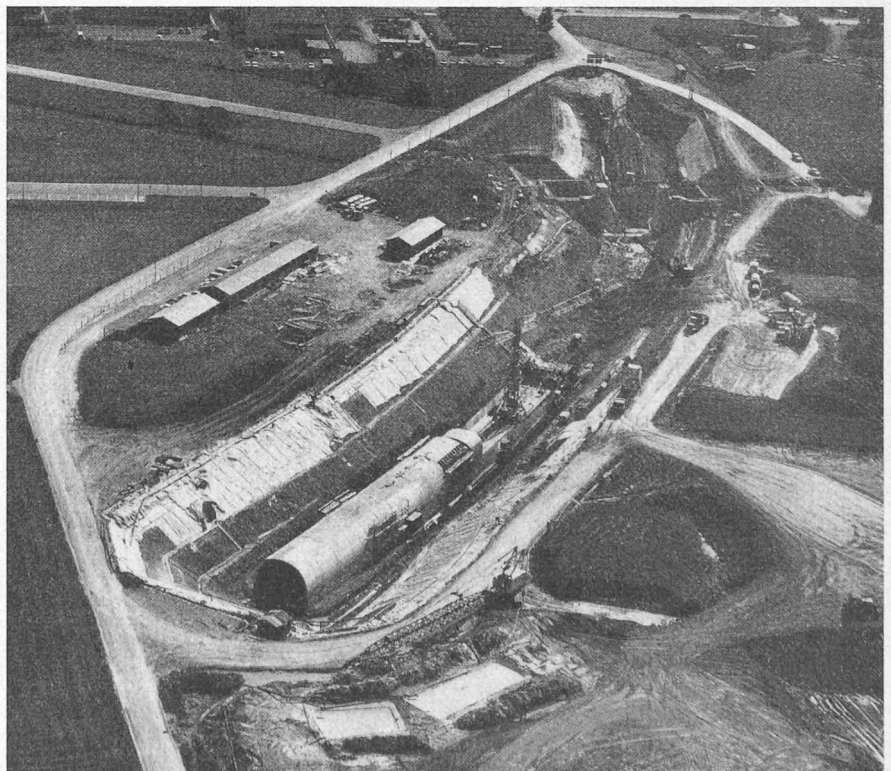
Geologie und Hydrologie

Im Bereich des Bauloses 4 liegen unter der Terrainoberfläche zunächst unterschiedlich mächtige Überschwemmungs- und Verlandungssedimente aus Sand, tonigem Silt und Torf (Bild 3). Unter der anschliessenden 1–2 m starken Kies-Sand-Schicht folgen nicht vorbelastete Seeablagerungen, aus tonigem Silt, lokal mit Sand durchsetzt, die bis in eine Tiefe von 25 m reichen. Diese Schichten werden im ganzen Bereich von teilweise vorbelasteten groben, gletschernahen Ablagerungen aus tonigem und sandigem Silt mit Kies unterlagert.

Die Seeablagerungen verlieren gegen das Los 5 an Mäch-

tigkeit. Ab km 121,250 bis km 121,900 des Bauloses 5 liegt die Tunnelsohle vorwiegend in einer, in Lagerung und Aufbau, wechselhaften Wallmoräne. Sie wird durch eine dünne, weich gelagerte Deckschicht aus Kies-Sand und tonigem Silt überlagert. Die Vorbelastung nimmt gegen die Glatt im allgemeinen zu. Unter der durchwegs mächtigen Wallmoräne liegt eine Grundmoräne mit Einschlüssen von eiszeitlichen Schottern. Diese bilden einen durch die Überlagerung gespannten Grundwasserträger. Die Wasserführung im Baugrubenbereich beschränkt sich vorwiegend auf die Deckschicht. Die tonigen Silte sind wassergesättigt aber nur wenig durchlässig.

Bild 2. Los 5: Flugaufnahme in Richtung Südosten



Konstruktionsbeschreibung

Normalprofil

Der Gewölbequerschnitt entspricht, wie der kritische Beobachter auf den ersten Blick erkennt, nicht der bekannten Idealform (Bild 4). Wie weiter oben dargelegt, ist die Oberkante der Tunnelkonstruktion durch die bestehenden Vorflutleitungen und Werkleitungskanäle bestimmt. Ausser den progressiv zunehmenden Baukosten für die Baugrube sind dagegen nach unten keine entsprechenden Hindernisse vorhanden. Dem Projekt und der Submission wurden ein *Rechteckquerschnitt* zugrunde gelegt, der gegenüber dem konventionellen Tunnelgewölbe mit einer etwas geringeren Gesamthöhe auskommt und dennoch genügend Raum für die Fahrdrähtaufhängung frei lässt.

Das ausgeführte Gewölbe ist aus einer Unternehmervariante zur Submission des Bauloses 5 hervorgegangen. Es basiert auf Halbkreisbögen mit einem Radius von $R = 5,05$ m, deren Kreismittelpunkte um 15 cm aus der Bauwerksachse versetzt sind. Um die geforderten Bedingungen bezüglich Höhe OK Bauwerk und genügendem Raum für die Fahrdrähtaufhängung, ohne Absenkung der Geleisenivelette, einhalten zu können, sind im Scheitelpunkt auf ca. 7,20 m Breite die Kreise zu einem Korbbogen abgeflacht. Damit ergibt sich auf Höhe der Kreismittelpunkte eine lichte Breite von 9,80 m. Die Scheitelhöhe beträgt dabei +6,30 m über OK Geleise. Das Gewölbe hat eine Stärke von 35–38 cm. Unter dem Kreisbogen, ab 1,20 m Höhe, wurde auf der Wandinnenseite ein Anzug von 32 cm, auf total 70 cm angeordnet, als Übergang zur Einspannung in die Bodenplatte.

Die Bodenplatte hat eine variable Stärke von ca. 90 bis 100 cm in der Mitte und ca. 70 cm bei den Wandeckpunkten. Sie ist an den Seiten abgewinkelt, ihre Oberfläche weist ein Quergefälle von 3,6% zur mittig, längs laufenden Entwässerungsrinne auf. Alle 40 m sind beidseitige Sicherheitsnischen für das Bahnpersonal angeordnet, dazu kommen, je etwa in den Drittelpunkten des Tunnels, zwei Paar sogenannte grosse Nischen.

Fugen

Um *möglichst wenig Arbeitsfugen* im wasserdichten Beton der Bodenplatte zu erhalten, wurden die voutenförmigen Wandansätze in einem Arbeitsgang mit der Bodenplatte betoniert. In der offenen wie in der gespriessten Baugrube des südlichen Bauabschnittes (Los 5) wurde daraufhin das Gewölbe in einem Arbeitsgang ausgeführt, während im Tunnelos 4 wegen der gewählten Spriessanordnung zwei Etappen erforderlich waren.

Im Endzustand, nach vollständiger Eindeckung, sind die Temperaturschwankungen im Tunnelgewölbe klein. Aus dieser Überlegung heraus und da eine geringfügige Verstärkung der ohnehin erforderlichen Längsarmierung zur Aufnahme der möglichen Zugspannungen genügt, wurde auf sich in kurzen Abständen folgende *Dilatationsfugen* verzichtet. Solche wurden nur bei der Losgrenze und beim Wechsel im statischen Verhalten des Tunnelquerschnittes angeordnet. Im Los 5 beträgt damit der mittlere Abstand der Dilatationsfugen 80–100 m, im Los 4 120 m in der Sohle und 60 m im Gewölbe, wobei jede 2. Dilatationsfuge des Gewölbes mit einer Schwindfuge in der Bodenplatte korrespondiert.

Im Gegensatz zum Los 5, wo die Tunnelsohle fast durchwegs in die Wallmoräne fundiert werden konnte, kam ein grosser Teil des Tunnels im Los 4 in die tonig, siltigen Seeablagerungen zu liegen. Im vorgängig erstellten, südlichen Bahnhofteil wurden, bei ähnlichen geologischen Verhältnissen, während der Aushubphase *bis zu 9 cm Hebungen* gemessen, die sich dann, bei der Erstellung des Bauwerkes und dem Einfüllen der Baugrube, wieder grösstenteils zurückbildeten. Diese Erfahrungen liessen befürchten, dass mit solchen Hebungen und Setzungen auch in diesem fraglichen Tunnelabschnitt gerechnet werden müsse. Aus diesem Grunde wurden *alle 120 m Schwind- und Setzungsfugen* angeordnet. Sie sind im Gewölbetaeil identisch mit einer Dilatationsfuge, während in der Bodenplatte und im dazugehörigen Wandansatz eine 1 m breite durchgehend armierte Fuge offen gelassen wurde. Das Wiedereinfüllen der Baugrube hatte möglichst gleichmässig zu erfolgen und konnte

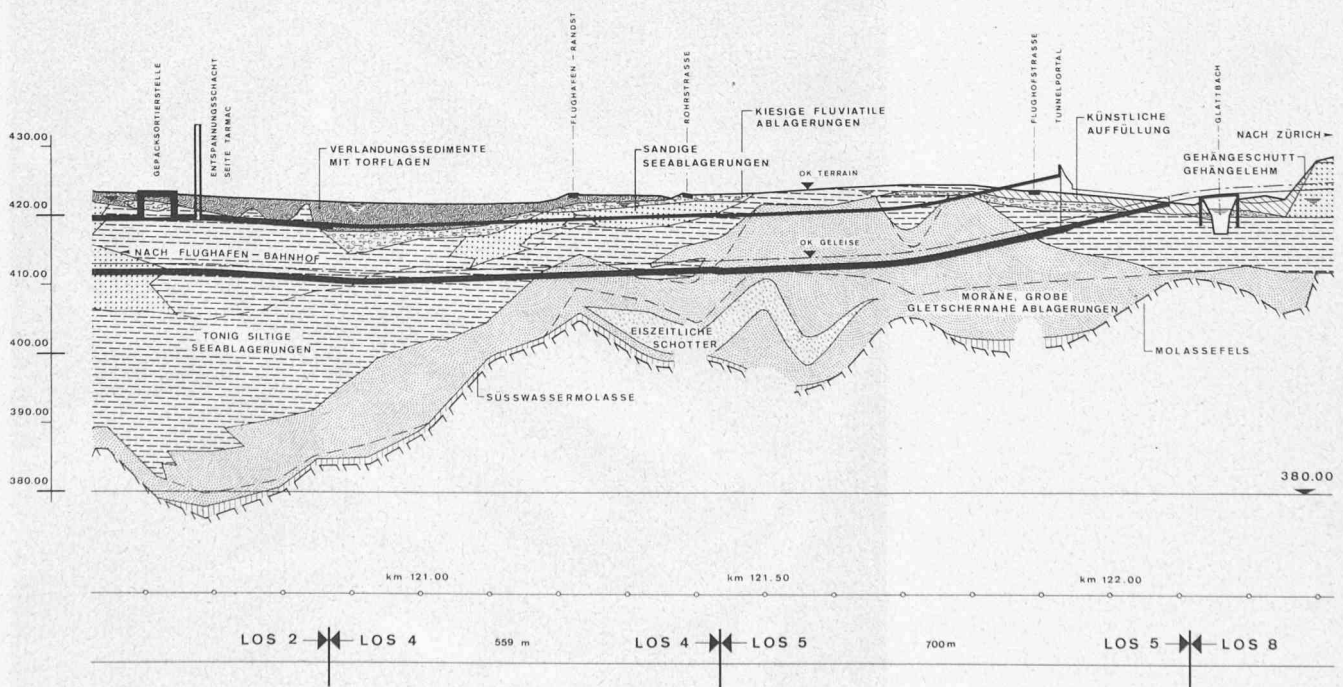


Bild 3. Geologisches Längsprofil

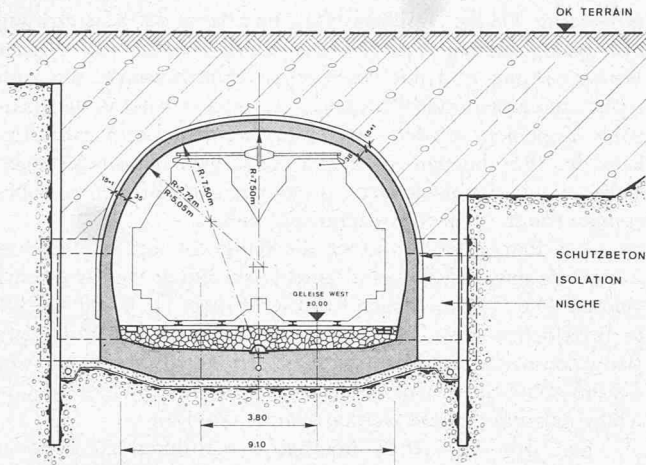


Bild 4. Normalprofil

deshalb erst angefangen werden, wenn wieder ein zusammenhängender Abschnitt fertig erstellt war. Die Fugenpartien blieben bis zum Abklingen der Setzungen offen.

Grundwasserisolation, Auftriebssicherung

Ausgehend davon, dass ein 70–100 cm starker Beton genügend wasserdicht hergestellt werden kann, wurde auf die Isolation der Bodenplatte mit den anschliessenden Wandansätzen verzichtet. Die Dichtung der Dilatationsfugen erfolgt mit speziell angefertigten Oberflächenfugenbändern. Das 38 cm starke Gewölbe wurde dagegen mit bituminierten Jutegewebebahnen in 2 Lagen, bis über die Arbeitsfuge hinunter, isoliert. Gegen Beschädigung ist die Isolation mit einer 15 cm starken Spritzbetonschicht geschützt. Eine Ausnahme bilden die ersten 200 m Tunnel, die wegen der Gefahr der Eisbildung ringsum isoliert sind.

Bei vollüberdecktem Tunnel ist eine ausreichende Sicherheit gegen *Auftrieb* vorhanden. Um jedoch späteren vorübergehenden Erdabtragungen bei Leitungsverlegungen oder anderen Bauvorhaben Rechnung zu tragen, wurde unter der Sohle ein *Drainageteppich in Form von Sickerbeton* eingebracht. Die beidseits angeordneten Entwässerungsleitungen münden in Schächte, die mit Druckdeckel und Kugelhahn ausgerüstet sind. Im Bedarfsfall kann damit das Grundwasser bis auf den gewünschten Druck entspannt werden. Um eine Wasserzirkulation durch den Drainageteppich längs dem Bauwerk zu unterbinden, wurden quer zur Tunnelachse mehrere Dichtungsriegel

Bild 6. Los 5: Spriessung und Aushub

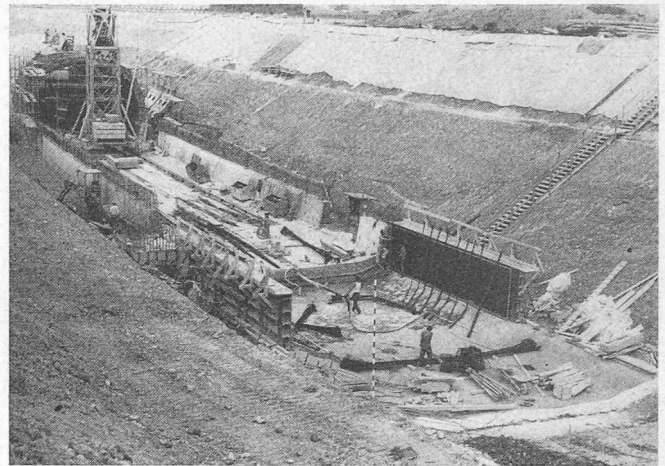
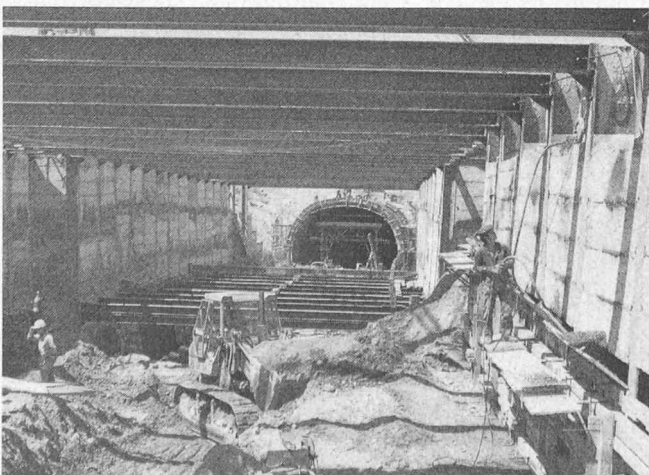


Bild 5. Los 5: Tunnel in geböschter Baugrube

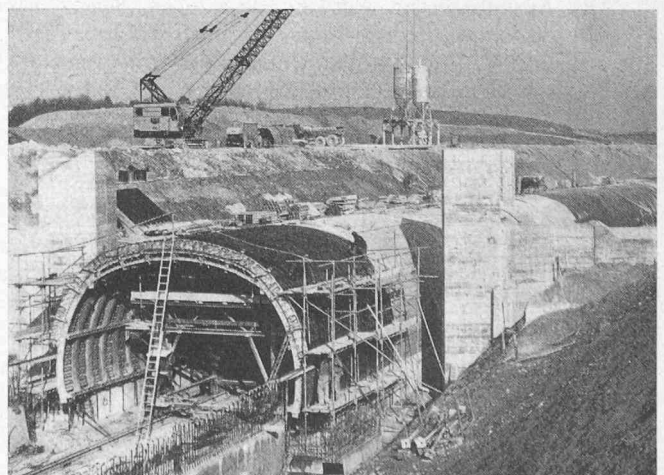
angeordnet. Eine Ausnahme bilden wiederum die ersten 200 m Tunnel, die wegen der geringen Überlagerung mit Vorspanngliedern im Untergrund verankert werden mussten.

Berechnungsannahmen und sich daraus ergebende Probleme

Am wichtigsten ist die Forderung des Flughafenhalters, überall innerhalb des Flughafenareals müsse mit 1000-t-Flugzeugen gerechnet werden. Die einseitige Aufstellung dieser Last beansprucht das Gewölbe bei der relativ geringen Überdeckung von lediglich 3 bis 4 m recht erheblich. Da nach Bauende die Wasserhaltung eingestellt wird, muss angenommen werden, dass sich der Grundwasserspiegel wieder bis annähernd auf Terrainhöhe zurückbildet. Andererseits wurde aus den weiter oben dargelegten Gründen die Möglichkeit geschaffen, das Grundwasser bis auf die Höhe der Bodenplatte abzusenken. Wasserdruck und Auftrieb waren daher in ungünstigster Lastkombination einzusetzen.

Die *Berechnung des Gewölbes* erfolgte nach dem *Staubprogramm*, das erlaubt, das umgebende Erdreich in die Berechnung miteinzubeziehen, wodurch die Gewölbe bedeutend schlanker ausgebildet werden können. Da dieses «Mittragen» des Bodens direkt von den in der Auffüllung erreichten Bodenkennwerten abhängt, müssen an den Einfüllvorgang hohe Anforderungen gestellt werden. Um sicher zu gehen, dass diese geforderten Verdichtungswerte auch wirklich erreicht werden können, wurden vorgängig der Berechnung bei Schüttungen mit ähnlichem Material Messungen durchgeführt. Diese er-

Bild 7. Los 5: Tunnel in geböschter Baugrube mit Düker, Vorfluter Werft III



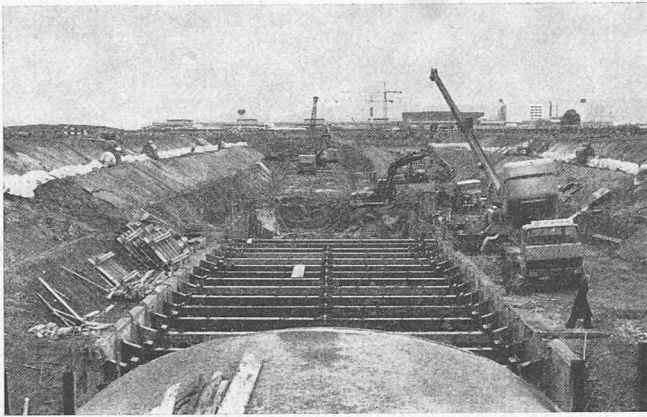


Bild 8. Baugrubenübersicht. Im Hintergrund (rechts): Kläranlage Kloten/Glattbrugg

gaben, dass beim Moränenmaterial mit einem M_E -Wert von 300 kg/cm^2 gerechnet werden kann. In der Praxis war dieser Wert allerdings nicht so leicht zu erreichen und erforderte oft das *Einstreuen von Kalk zur Optimierung des Wassergehaltes*. Andere Probleme stellten sich im Bereich der tonig, siltigen Seeablagerungen. Hier wurde zum vornherein damit gerechnet, dass bis auf Höhe des Gewölbes «Kies ab Wand» eingefüllt werden müsse. Um ein Auflockern des Bodens zu vermeiden, wurde hier auf die Entfernung des Baugrubenabschlusses verzichtet. Anstelle der teureren Spundwand kamen deshalb Rühlwände zur Anwendung.

Zur Überprüfung der Berechnung und der getroffenen Annahmen wurden in einem Querschnitt sowohl Erd drücke wie Verformungen gemessen. Die bisherigen Resultate zeigen dabei eine relativ gute Übereinstimmung.

Bauausführung

Die Einhaltung einer Vielzahl von Vorschriften, die vom Flugbetrieb und den dafür benötigten Einrichtungen diktiert wurden, ermöglichten es, den das Flughafenareal querenden Tunnel im Tagbau auszuführen. Um die Bauzeit zu reduzieren wurde dieser Abschnitt in zwei Lose unterteilt: Los 4 vom Flughafenbahnhof bis zur jetzigen Flughafenarealgrenze und anschliessend Los 5 bis zur Brücke über die Glatt.

Bauvorgang Los 5

Die äusseren Randbedingungen, Baugrund und bestehende Überbauung, bestimmten die zwei grundsätzlich verschiedenen Baugrubentypen in diesem Los. Das erste Teilstück von 350 m liegt in der *Wallmoräne* und das Trasse führt durch offenes Gelände. Dieser Umstand ermöglichte es, die bis 12 m tiefe Baugrube mit abgeböschten Wänden auszuführen (Bild 5).

Die Aushubarbeiten wurden durch einen *Bagger mit Dragelineausrüstung* und einer *Raupenladeschaufel* ausgeführt. Die ursprünglich durchgehende, mehrstufige Grundwasserabsenkung mit Wellpointfilter war nur im ersten Teilabschnitt

notwendig. Da die Durchlässigkeit und damit der Wasserdrang nur gering waren, konnte der weitere Aushub mit offener Wasserhaltung und mit vereinzelt Filterbrunnen, die zum Abbau des gespannten Grundwassers unterhalb der Baugrubensohle eingebaut wurden, ausgeführt werden. Die Standfestigkeit der Böschungen in den tonig-siltigen Seeablagerungen stellte einige Probleme; trotz umfangreichen Böschungssicherungen traten örtliche Rutschungen auf.

Aus Platzgründen musste die Baugrube auf rund 200 m Länge als mittels Rühlwand gespriesste Baugrube ausgeführt werden. Die 12,00 m langen Rühlwandträger HEB 600 wurden in Bohrlöcher versetzt. Die 13,20 m breite und 10,00 m tiefe Baugrube wurde mit Profilträgern HEB 300 ausgespriesst, wobei die obere Spriesslage so hoch gesetzt wurde, dass das Gewölbe darunter erstellt werden konnte (Bild 6).

Um den Tunnelbau überhaupt realisieren zu können, waren umfangreiche Werkleitungsverlegungen erforderlich, unter anderem wurden drei grössere Dükerbauwerke erstellt (Bild 7). Zudem musste die Flughafenstrasse provisorisch über den bereits ausgeführten Tunnelabschnitt und eine Hilfsbrücke über die Glatt umgeleitet werden.

Das eigentliche Tunnelbauwerk mit einer Länge von 493 m wurde in Elementen à 10,00 m polygonal erstellt, wobei das Gewölbe auf die vorgängig erstellte Bodenplatte aufgesetzt wurde. Auf die fertige Bodenplatte wurden die Kranschiene montiert, die zugleich einem 90-mt-Kran und dem Gewölbeschalwagen dienen. Mit diesem Konzept konnte die durch die Flugebene bedingte Höhenbeschränkung eingehalten werden. Mit der relativ leichten, teleskopierbaren, stählernen Gewölbeschalung mit Aluminium-Murallis, bestehend aus 4 Elementen à 4,95 m, konnten 2 Betonieretappen à 10,00 m eingeschalt werden. Mit Hilfe eines vollhydraulischen Schalwagens von 4,95 m Länge wurden die einzelnen Elemente jeweils abgesenkt, unter den restlichen Elementen hindurch vorgefahren und wieder aufgestellt. Unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Ausschalfestigkeiten wurde im Sommer ein Arbeitsfortschritt von 10 m pro 4 Arbeitstage erreicht.

Bauvorgang Los 4

Das Baulos 4 umfasst die 559 m lange im Flughafenareal liegende Tunnelstrecke. Die unmittelbare Nachbarschaft der Blindlandepiste und deren funktechnische Anlagen (ILS) brachten für den Bauvorgang sehr einschneidende Vorschriften. So war die maximale Arbeitshöhe der Geräte über Terrain auf 4 m limitiert. Dieses Zugeständnis war jedoch zusätzlich mit der Auflage verbunden, dass in gewissen Abschnitten diese 4-m-Zone jederzeit kurzfristig ganz geräumt werden könne.

Aus diesem Grunde wurde bei diesem Los vorerst ein ca. 6 m tiefer Voraushub erstellt, in dem auch die Baustrasse liegt. Darunter folgt die zwischen gespriessten Rühlwänden liegende Tunnelbaugrube. Zur Gewährleistung der notwendigen Gesamtstabilität musste zudem beidseits der Baugrube ein 2,0 bis 2,5 m tiefer und ab Bauwerksaxe maximal 37 m breiter Voraushub erstellt werden (Bild 8).

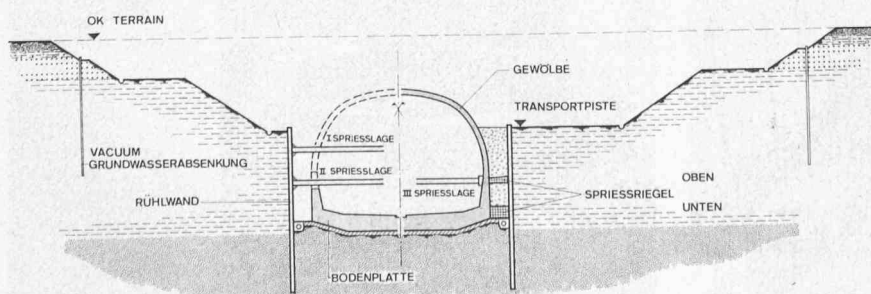
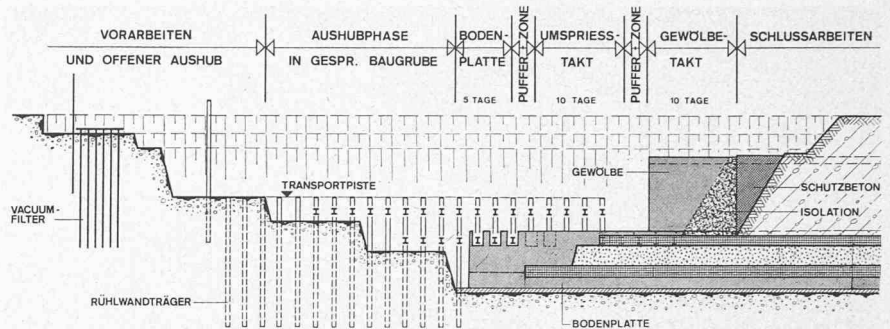


Bild 9. Querprofil. Darstellung der Arbeitsphasen, links Phase 1, rechts Phase 2

Bild 10. Längensprofil der Arbeitstakte



Der *Arbeitsablauf* erfolgte in einem Taktprogramm, das die Einhaltung der von Geologie und Flugsicherheit diktierten Randbedingungen gewährleistete (Abbildungen 9 und 10).

Für die Entwässerung der über den tonigen Silten liegenden Deckschichten wurde eine Vacuum-Grundwasserabsenkung installiert. Anschliessend erfolgte der Voraushub. Von diesem Planum aus wurden dann die 10 m langen HEB 300-Rühlwandträger im Abstand von 2,50 m gerammt. Der Aushub im Bereich der Rühlwandträger musste etappenweise sehr sorgfältig ausgeführt werden unter gleichzeitiger Ausfachung der Träger, und zwar abwechselnd mit Beton und Sickerbeton, um einen Aufbau von Wasserdruck hinter der Wand zu verhindern. Da wegen dem schlechten Baugrund eine spriessfreie Baugrube mittels Erdankern nicht möglich war, wurde jeder Rühlwandträger mit zwei HHH-Spezialsprissen auf den gegenüberliegenden abgestützt.

Nach einem teilweise von Hand getätigten Restaushub, abgedeckt mit Vliessmatte und 25 cm starkem Sickerbeton, konnte die Bodenplatte zusammen mit dem aufgehenden Gewölbeansatz betoniert werden.

In zwei Etappen wurde sodann auf das bereits erstellte Bauwerk umgespriess: Mittels Betonriegel in Höhe der Bodenplatte (zum Ausbau der untern Spriesslage) und mittels Ausspriessung zwischen dem aufgehenden Gewölbeansatz zusammen mit Hinterfüllung desselben und Spriessriegel (zum Ausbau der oberen Spriesslage) wurde die Voraussetzung zur Erstellung des Gewölbes geschaffen. Auf den Umspriessstakt folgte der Gewölbetakt mit Ausschalen, Vorfahren, Richten, Armieren, Stellen der Konterschaltung und Betonieren des Gewölbes.

Als letzte Phase wurden die Schlussarbeiten durchgeführt: Isolieren, Aufbringen des Schutzbetons und sorgfältiges Auffüllen der Baugrube.

Gemäss diesem vom Unternehmer vorgeschlagenen Taktprogramm konnten in 10 Arbeitstagen 20 m Tunnel erstellt werden.

Adresse der Verfasser: *M. Glättli*, dipl. Ing. ETH, Chef der Sektion Tiefbau, Bauabtlg. Kreis III, SBB, Kasernenstrasse 97, 8021 Zürich und *J. Hasenfratz*, dipl. Ing. ETH, Direktor in Firma Locher & Cie. AG, Pelikanplatz 5, 8001 Zürich.

Heisse Plasmasäule auf Herkules X-1

Messung der Magnetfeldstärke eines Neutronensterns

Zum ersten Mal haben Wissenschaftler bei einem Neutronenstern das Magnetfeld gemessen: Seine Stärke beträgt 4,6 Billionen (10^{12}) Gauss und ist damit das stärkste bisher im Kosmos beobachtete Magnetfeld (das der Sonne misst ungefähr 100, das der Erde nur einige Zehntel Gauss).

Diese von Fachleuten als die «vielleicht bedeutendste Beobachtung deutscher Astronomen seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs» (Rudolf Kippenhahn, Direktor am Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik) gefeierte Entdeckung gelang einer *gemeinsamen Arbeitsgruppe der Universität Tübingen* und des *Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in Garching bei München*. Mit Hilfe einer am Rand der Erdatmosphäre fliegenden Ballonsonde untersuchten *Wolfgang Pietsch, Klaus Reppin, Bruno Sacco* und *Joachim Trümper* vom Max-Planck-Institut sowie *Eckhard Kendzorra* und *Rüdiger Staubert* vom astronomischen Institut der Universität Tübingen die regelmässigen Röntgenblitze aus dem Doppelsternsystem Herkules X-1.

Bei der Auswertung der von zwei unabhängig voneinander arbeitenden *Röntgenteleskopen* gelieferten Daten bestimmten die Wissenschaftler jetzt zum ersten Mal «bis auf ungefähr 10 Prozent genau» die Stärke des Magnetfelds eines Neutronensterns. «Damit haben wir einen Schlüssel für das Verständnis der bizarren Physik auf der Oberfläche von Neutronensternen in der Hand», meint der Leiter der gemeinsamen Arbeitsgruppe, Joachim Trümper. «Wir hoffen,

dass wir damit noch weitere Eigenschaften dieser Exoten unter den Sternen jetzt nicht mehr nur abschätzen, sondern genau berechnen können.»

Supernova-Explosion sprengt -Stern-Hülle ab

Für Astrophysiker gehören *Neutronensterne* zu den faszinierendsten Objekten im Kosmos – sie entstehen am Ende der Entwicklung von Himmelskörpern, die mehr Masse als unsere Sonne haben. Wenn ein solcher Stern seinen Kernbrennstoff erschöpft hat, geht in seinem Inneren der Kernfusions-Ofen – der auch unsere Sonne leuchten lässt – aus. Eine gewaltige Supernova-Explosion sprengt seine äussere Hülle in den Weltraum ab und lässt den sterbenden Stern noch einmal für wenige Tage millionenfach heller als jemals zuvor aufleuchten.

Nach dieser Explosion wird für den Sternrest die Gravitation übermächtig. Weil das erloschene «Sternfeuer» keinen Widerstand mehr entgegensetzen kann, bricht der Stern unter der Wirkung seiner eigenen Schwerkraft in sich zusammen, bis Elementarteilchen-Kräfte der Materie diesen Kollaps stoppen. Es bleibt eine ausgebrannte Stern-Leiche übrig, in der die gesamte Masse einer Sonne zu einer Kugel von nur noch etwa 20 Kilometer Durchmesser zusammengepresst ist – bei entsprechender Materiedichte hätte die Erde ungefähr 300 Meter Durchmesser.