

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 80 (1962)
Heft: 41

Artikel: Neues vom U-Bahn-Bau in Hamburg
Autor: Mandel, Georg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-66245>

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>

trages wird durch die Künstler selber aufgebracht werden, indem jeder Beteiligte eine Lithographie in einer Auflage von 150 Exemplaren stiften wird, so dass 150 Mappen mit je 16 bis 18 verschiedenen, in Raten liefer- und zahlbaren Lithos auf dem Subskriptionswege zu einem Preis von etwa 3000 Fr.

verkauft werden können, woraus sich ein Nettoerlös von rund 400 000 Fr. ergeben dürfte. Im übrigen hoffen wir, dass die nötigen Mittel teils von der Wirtschaft, teils von privaten Kunstfreunden zur Verfügung gestellt werden.

Prof. Dr. E. Naegeli, St. Gallen

Neues vom U-Bahn-Bau in Hamburg

DK 625.42.002

Von Dipl.-Ing. Georg Mandel, Hamburg

Der Verfasser hat im 77. Jahrgang, Heft 43, S. 705 dieser Zeitschrift (22. Oktober 1959) ausführlich über den U-Bahn-Neubau in Hamburg berichtet. Inzwischen sind drei Jahre vergangen, und es wird die Leser interessieren, zu erfahren, wie weit der Bau fortgeschritten ist und welche baulichen Probleme zu lösen waren.

Stand der Bauarbeiten im September 1962

Die Bauarbeiten an der seinerzeit beschriebenen Strecke (Bild 1) von Rathaus über Hauptbahnhof, Lübecker Strasse, Wartenau, Wandsbek-Markt nach Wandsbek-Gartenstadt mit Einmündung in die Walddörferbahn sind zügig und in kürzerer Zeit als geplant war, vorangekommen. Nachdem am 22. Febr. 1960 der erste Teilstreckenabschnitt Rathaus-Messberg in Betrieb genommen worden war, folgte bereits am 1. Oktober 1960 der Abschnitt Messberg-Hauptbahnhof mit seiner dritten neuen Bahnsteiganlage. Am 1. Juli 1961 erfolgte die Betriebsaufnahme eines weiteren Streckenabschnittes mit den Haltestellen Lohmühlenstrasse und Lübecker Strasse und schon seit dem 1. Oktober 1961 können die U-Bahn-Fahrgäste bis zur Haltestelle Wartenau fahren. Von der insgesamt 9,6 km langen Neubaustrecke sind einschliesslich einer Zugwendeanlage nunmehr 4,4 km in Betrieb.

Der Innenausbau der Haltestellen Ritterstrasse, Wandsbeker Chaussee und Wandsbek-Markt, ferner die Ausstattung der fertigen Tunnelanlagen einschliesslich der Zugwendeanlagen Wandsbek-Markt mit Oberbau, Stromversorgung und Sicherungsanlagen stehen vor dem Abschluss. In einer Feierstunde am 25. Oktober 1962, auf der zugleich dem 50jährigen Bestehen der Hamburger U-Bahn gedacht wird, wird das Tiefbauamt der Hansestadt Hamburg den neuen Strecken-

abschnitt der Betriebsgesellschaft der U-Bahn, der Hamburger Hochbahn AG., zur Aufnahme des Betriebes übergeben. Mit der nunmehr 6,7 km langen Strecke Rathaus-Wandsbek-Markt wird eine schnelle, pünktliche, sichere und bequeme Verbindung zwischen dem Verkehrsschwerpunkt Wandsbek-Markt des Bezirkes Hamburg-Wandsbek und der Hamburger Innenstadt mit verschiedenen Umsteigemöglichkeiten auf das U-Bahn-Netz hergestellt sein.

Im August 1963 werden die Arbeiten an dem 2,9 km langen Reststück der neuen Strecke bis Wandsbek-Gartenstadt beendet und ein neuer Betriebshof mit Wartungshalle für 340 U-Bahn-Wagen bei der Haltestelle Farmsen der Walddörferbahn, etwa 3,5 km nordostwärts von Wandsbek-Gartenstadt, betriebsfertig sein. Diese Anlage einschliesslich einer Abstellmöglichkeit für 200 U-Bahnwagen auf 12 Gleisen machte eine Dammschüttung mit rd. 300 000 m³ Sand, den Neubau von sieben Strassenunterführungen und einen Ausbau der Haltestelle Farmsen auf zwei Bahnsteige mit vier Gleisen erforderlich.

Moderne Omnibusanlage am Wandsbeker Markt (Bild 2)

Da nach meinen früheren Ausführungen die Strassenbahn durch die U-Bahn ersetzt wird und ausserdem auf der Oberfläche von Strassen, in deren Grund eine U-Bahn fährt, zusätzlich kein Busverkehr geführt werden soll, werden die acht Buslinien, die den Wandsbeker Markt anfahren, entweder dort enden oder nur anhalten. Die Fahrgäste, deren Fahrziel die Innenstadt Hamburg ist, werden auf die U-Bahn umsteigen. Um diesen das Umsteigen bequem zu machen und die Wege möglichst kurz zu halten, sind U-Bahn und Bus-Anlagen dicht übereinander gelegt worden. Die Bus-

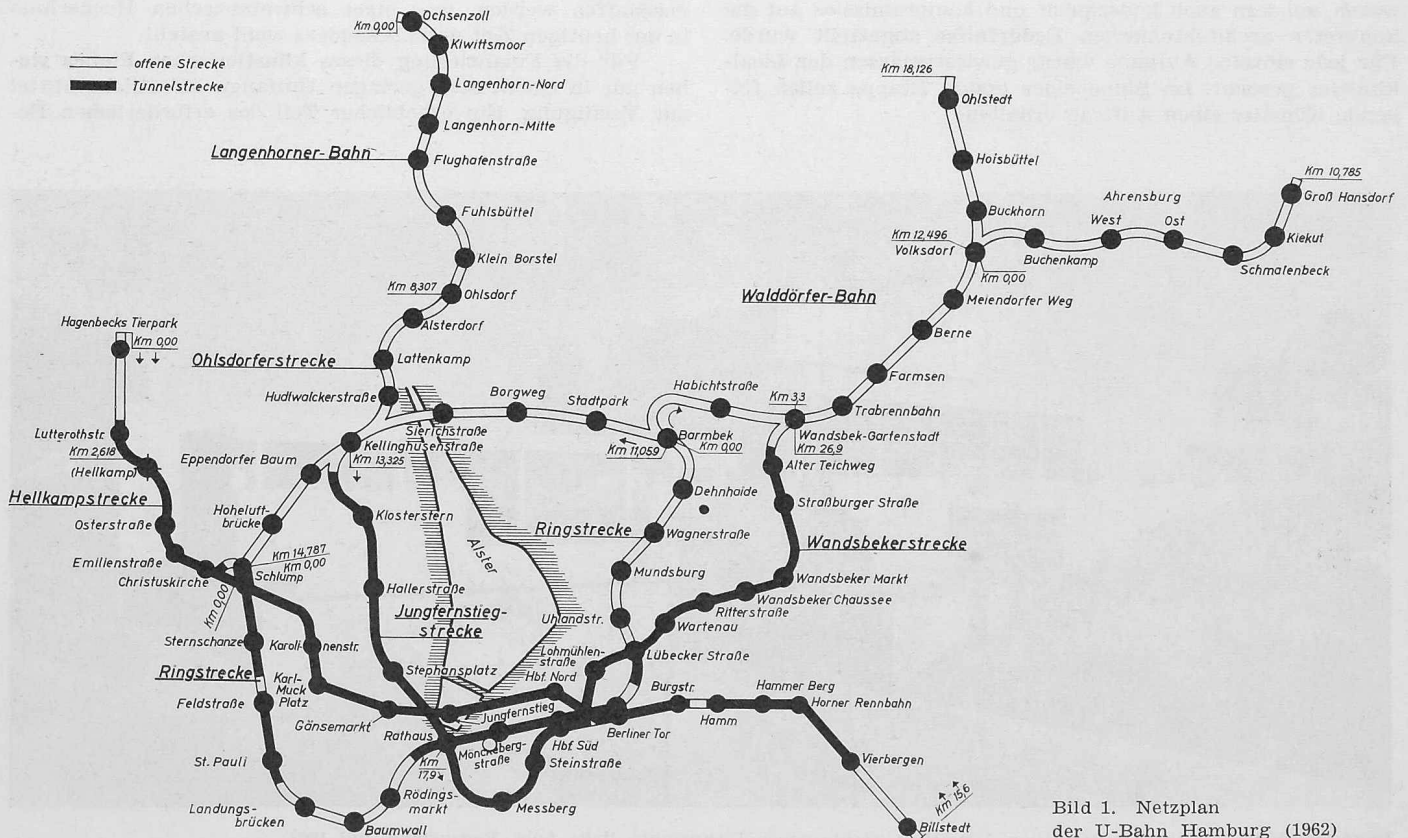
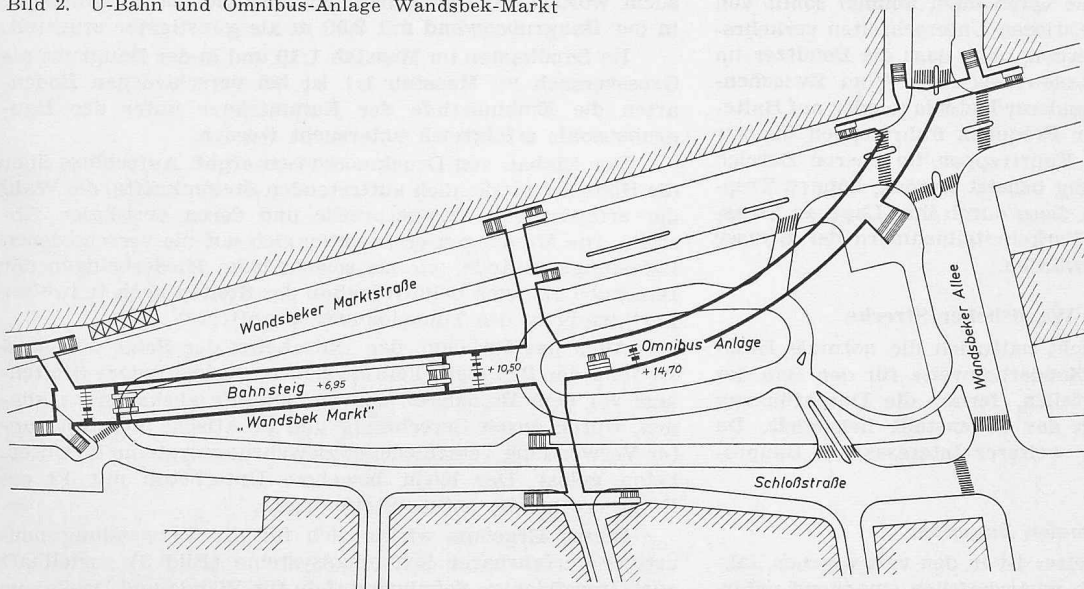


Bild 1. Netzplan der U-Bahn Hamburg (1962)

Bild 2. U-Bahn und Omnibus-Anlage Wandsbek-Markt



anlage hat einen Bahnsteig in Ellipsenform mit einer Länge von 106 m und einer Breite von 29 m und lässt bei einer Busfolge von 30 Sekunden einen ebenerdigen Zugang nicht zu. Die Busfahrgäste können sämtliche Treppenanlagen zur U-Bahn am Wandsbeker Markt, ausgenommen die westlichen, benutzen und erreichen über ausgedehnte Fussgängertunnel im Zwischengeschoss ohne Gefährdung oder Behinderung durch den Strassenverkehr den sperren gesicherten Bussteig. Die Umsteigewege zwischen dem Bus und der U-Bahn und zur Strassenoberfläche werden durch eine Anzahl von Fahrtreppen bequem gemacht. Diese moderne Umsteigeanlage ist bisher einmalig in Europa. Ein formschönes Faltdach in Spannbeton bietet den wartenden Busfahrgästen Regenschutz. Die Gesamtanlage Wandsbek-Markt entstand in gemeinsamer Arbeit zwischen der Hamburger Hochbahn AG, als Betriebsführerin der U-Bahn und der Busse und dem Tiefbauamt der Baubehörde der Hansestadt Hamburg.

Die Busanlage wird ebenfalls am 25. Oktober 1962 in Betrieb genommen.

Weitere U-Bahn-Strecke im Bau

Aus den Ausführungen ist zu entnehmen, dass die Bauarbeiten an den Ingenieurwerken der Strecke Rathaus - Wandsbek Gartenstadt fast beendet sind. Damit dem U-Bahn-Neubau die Kapazität der bewährten Bauunternehmungen nicht verloren geht, ist vom Senat der Hansestadt Hamburg bereits Mitte des Jahres 1961 beschlossen worden, zum gegebenen Zeitpunkt eine weitere U-Bahn-Strecke in Bau zu nehmen. Die Hamburgische Landesregierung sieht im Bau neuer U-Bahn-Strecken eines der wichtigsten und wirksamsten Mittel zur Behebung des Verkehrsnotstandes auf der Oberfläche von Strassen in Grosstädten. Der Betrieb von U-Bahnen gewährleistet eine

schnelle, pünktliche, sichere und bequeme Beförderung der Fahrgäste.

Im Mai 1962 ist nun in feierlicher Form mit dem «ersten Ramm-schlag» eine weitere U-Bahn-Strecke in Bau genommen worden. Sie verbindet den Stadtteil Billstedt im Osten der Stadt über Horn, Berliner Tor und Hauptbahnhof-Nord mit der Innenstadt und führt über Eimsbüttel nach Hagenbecks Tierpark im Nordwesten der Stadt (Bild 1). Sie ist 15,6 km lang, wobei 2,3 km der Hellkamp-Strecke in die neue Trasse einbezogen werden.

Auf einer Länge von mindestens 2,5 km wird in der Innenstadt der Tunnel in einer Tiefe von 20 bis 25 m unter Gelände liegen, ohne Strassenzüge zu folgen. Der Tunnel wird in bergmännischer Bauweise erstellt werden. An drei Baulosen der neuen Strecke wird bereits gearbeitet.

Haltestellen und Fussgängertunnel

Anschliessend soll über einige Grundsätze für die Gestaltung von U-Bahn-Haltestellen berichtet werden. Die Bahnsteige der neuen Strecke sind bis auf eine Ausnahme Mittelbahnsteige; sie haben eine Länge von 125 m zum Halten von Acht-Wagen-Zügen. Die normale Breite der Bahnsteige beträgt 7,50 bis 8,50 m, auf Haltestellen mit besonderer Frequenz 9,50 bis 10,50 m. Die Bahnsteige erhalten an beiden Enden Treppenanlagen mit einer festen und mindestens einer Fahrtreppe zum Zwischengeschoss, in dem die Schalterhalle mit Sperrenanlage liegt. Quergänge führen zu Treppenanlagen, die auf den Gehwegen der Strassen ausmünden. Die Quergänge sind so angeordnet, dass sie ausser-

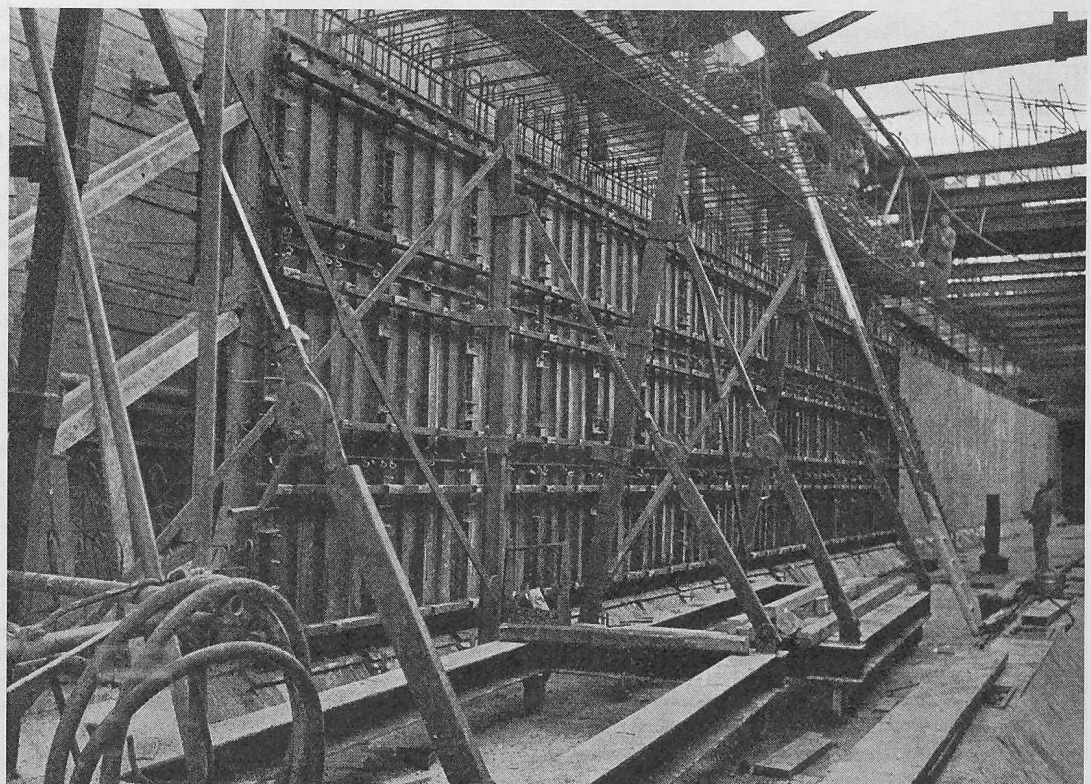


Bild 3. Grossflächige, stählerne, verfahrbare Schalttafeln für Tunnelwände

halb der Sperren liegen. Die Quertunnel können somit von Strassenpassanten zum gefahrlosen Unterschreiten verkehrsreicher Strassen benutzt werden, ohne dass die Benutzer im Besitz eines U-Bahn-Fahrtausweises sind. Vom Zwischengeschoss führen nur bei besonderer Tiefenlage oder auf Haltestellen mit besonders hoher Frequenz Fahrtreppen bis zur Strassenoberfläche. Da die Fahrtreppen im oberen Bereich gegen Schnee- und Eisbildung beheizt werden, können Treppeüberbauten entfallen, da diese durch ihre Lage an Strasseneinmündungen anderen Verkehrsteilnehmern der Strasse die Uebersicht erschweren würden.

Bauliche Probleme auf der Wandsbeker Strecke

In meinem ersten Bericht hatte ich die normale Hamburger Bauweise und eine Sonderbauweise für den Bau der U-Bahn-Tunnel mit Fertigteilen, ferner die Durchführung schwieriger Bauarbeiten in der Innenstadt behandelt. Im folgenden wird die Lösung weiterer interessanter Bauprobleme beschrieben.

Weiterentwicklung der normalen Bauweise

Die «Hamburger Bauweise» ist in den vergangenen Jahren sowohl statisch als auch wirtschaftlich eingehend unter-

sucht worden. Hierbei wurde der Abstand der Rammträger in der Baugrubenwand mit 2,50 m als günstigster ermittelt.

Im Sandkasten im Masstab 1:10 und in der Baugrube als Grossversuch im Masstab 1:1 ist bei verschiedenen Bodenarten die Einbindetiefe der Rammträger unter der Baugrubensohle erfolgreich untersucht worden.

Der Einbau von Druckmessdosen ergab Aufschluss über die Höhe der tatsächlich auftretenden Steifenkräfte, die Wahl der erforderlichen Trägerprofile und deren vertikalen Abstand. Die Messungen erstreckten sich auf die verschiedenen Belastungszustände, wie sie sowohl beim Niederbringen der Baugrube als auch beim Rückbau der Steifen nach teilweiser Fertigstellung des Tunnelbauwerks auftreten.

Auch das Problem, den Unterbeton der Sohle zur Aussteifung der Baugrube heranzuziehen, um die untere Steifenlage vor dem Betonieren der Tunnelsohle ausbauen zu können, wurde durch Berechnung und praktische Versuche unter Verwendung verschiedener Bewehrungssysteme im Unterbeton gelöst. Der leicht bewehrte Unterbeton mit 12 cm Dicke ersetzt die untere Steifenlage.

Dieses Ergebnis wirkte sich für die Verwendung neuer verfahrbarer Schalungssysteme (Bild 3) vorteilhaft aus. Grossflächige Schalungstafeln für Wände und Decke aus

Holz oder Stahl konnten eingesetzt werden. Die äusseren Tafeln der Wandschalung werden mit Laufkatzen, deren Träger an der oberen Steifenlage befestigt sind, verzogen. Die inneren Tafeln werden mit gummibereiften Wagen, wie sie etwa beim Transport von Schaufensterscheiben üblich sind, auf der Tunnelsohle zum Wiedereinbau verfahren. Die Deckenschalung besteht aus Holz- oder Stahlplatten auf verfahrbaren Holz- oder Stahlrohrgerüsten. Diese Massnahmen förderten den zeitlichen Ablauf der Arbeiten, ermöglichten ein Taktverfahren für die Herstellung des Tunnels und ergaben eine spürbare Kostensenkung.

Zugleich wurden hiermit Voraussetzungen für eine weitere Vervollkommnung des Baues von U-Bahn-Tunneln in offener Baugrube geschaffen. Hierzu ist folgendes zu berichten:

Die Kosten für die Herstellung der Abdichtung des Tunnelbauwerkes in herkömmlicher Art mit Bitumenanstrichen auf nackten Bitumenpappen betragen einschliesslich der Herstellung der erforderlichen Schutzschichten etwa 5 Prozent der Gesamtruhbaukosten bei Anwendung der Hamburger Bauweise. Um diesen Kostenanteil und auch an Bauzeit einzusparen, ist in einem grösseren Versuchsabschnitt auf die Abdichtung des Tunnels und auf die seitlichen Arbeitsräume verzichtet worden. Der Beton des Tunnels wird nach den Ergebnissen einer Versuchsreihe wasserdicht hergestellt. Ein einheitliches monolithisches Gefüge des ganzen Betonquerschnittes (Bild 4) wird dadurch erreicht, dass Sohle, Wände und Decke einschliesslich der Mittelstützen in einem Guss hergestellt werden. Arbeitsfugen jeglicher Art werden somit vermieden. Die einzelnen Betonierblocks, zwischen deren Fugen Kunststoff-Fugenbänder eingebaut sind, werden zur Vermeidung von Schwindrissen auf 11 m Länge beschränkt. Besondere Massnahmen an der Baugrubenwand durch Einbau einer Trennschicht vermeiden eine Verbindung des Bauwerkbetons mit der Baugrubenwand und Zwängungen, die zu Rissen im Beton führen können. Eine für diesen Zweck besonders konstruierte verfahrbare Schalung verhilft diesen Massnahmen zum Erfolg.

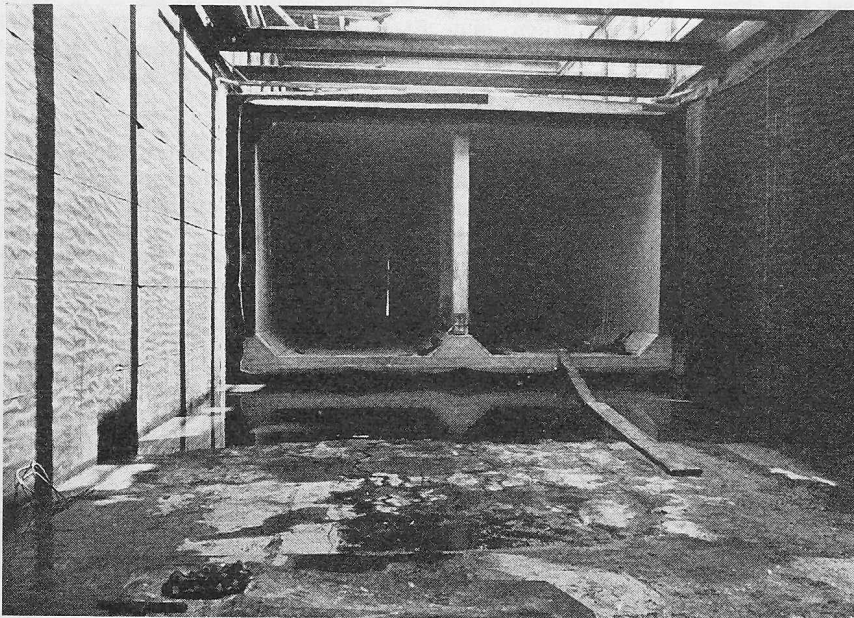


Bild 4. U-Bahn-Tunnel in wasserdichtem Beton

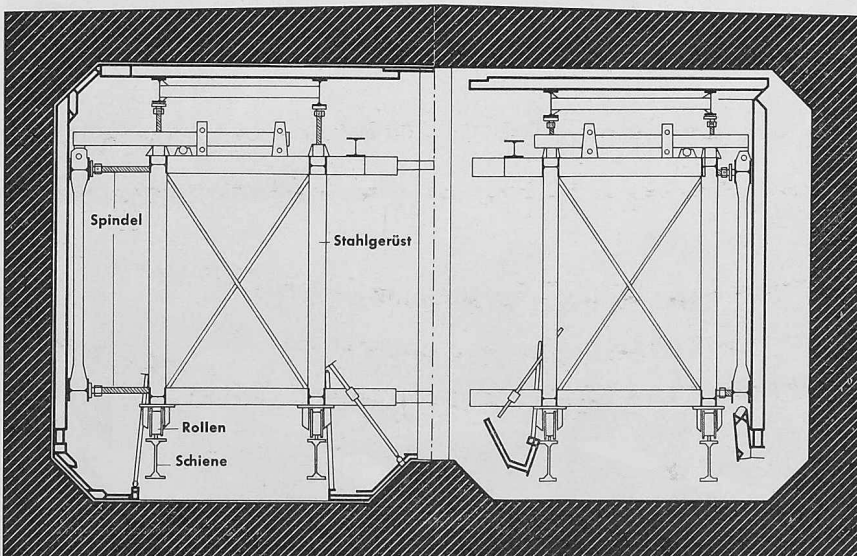


Bild 5. Verfahrbare Stahlschalung für Herstellung des Tunnels in wasserdichtem Beton. Masstab 1:75

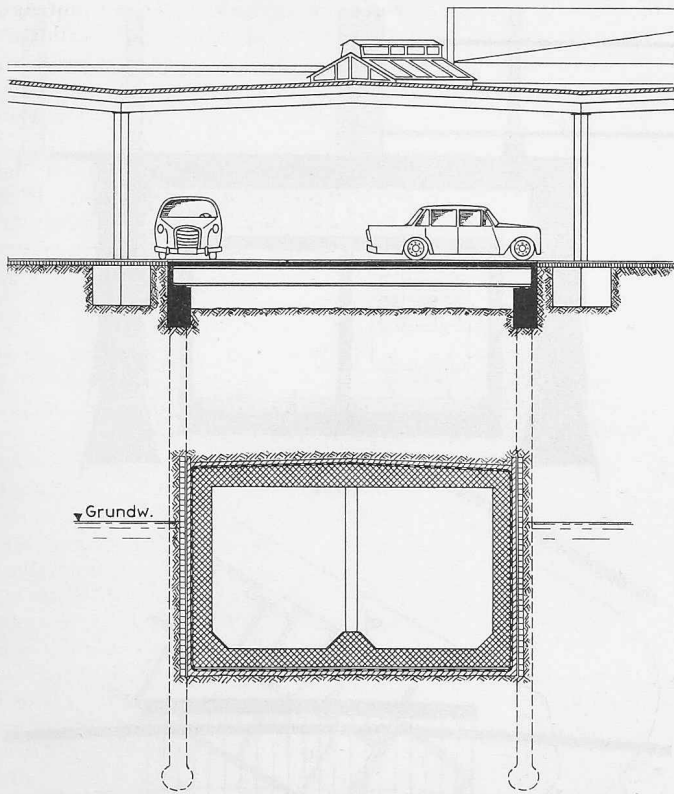


Bild 6. Unterfahrung einer Kraftfahrzeughalle, Schnitt 1:200

Die Stahlschalung (Bild 5) ist über die ganze Länge des Betonierblocks freitragend. Haupttragelemente sind vier Fachwerkträger über eine Spannweite von rd. 11 bis 12 m, deren Auflager einerseits die fertig betonierte Sohle eines Blockes, andererseits eine besondere Pallung auf dem Unterbeton des nachfolgenden Blockes bilden. Zum Verfahren kann die Schalung in der Mitte, dem Bereich der Tunnelstützen, getrennt werden. Mit diesem Gerüst werden sonst übliche Schalungstoleranzen praktisch vermieden. Nach dem Betonieren wird die Blechschalung vom fertigen Beton gelöst. Die Betonsichtflächen sind ausgezeichnet. Der Arbeitsfortschritt erfolgt in wöchentlich regelmässigen Takt. Die Rammträger werden wie beim normalen Bauverfahren, allerdings im Schutze eines besonderen Bleches, gezogen. Jedoch verbleiben die Bohlen der Baugrubenwand in Höhe der Tunnelwände im Boden; die Bohlen oberhalb der Tunneldecke werden zur Wiederverwendung gewonnen. Die rd. 10 m tiefe Baugrube hat neben der bewehrten Unterbetonschicht bei normalen Verhältnissen nur eine obere Steifenlage. Das ist das Ergebnis der erwähnten statischen Untersuchungen, von Grossversuchen (Beulversuchen) an der Unterbetonschicht als Steifenersatz und der Auswertung von Messungen der Steifenkräfte mit Druckmessdosen.

Durch Verwendung von Baustahlgewebematten an Stelle von Stahl III b und IV b konnte beim Rohbau auf einem etwa 2590 m langen Tunnelabschnitt

eine wesentliche Einsparung der Kosten, und zwar von 986 000 DM = 2,6 % der Gesamtkosten des Abschnittes erzielt werden.

Hausunterfahrungen

Bei der Trassierung von U-Bahn-Strecken lassen sich Unterfahrungen von Häusern nicht vermeiden, wenn durch Kurven mit nicht kleinerem Halbmesser als 180 m gefahren werden soll. Ohne Räumung sind unter Einschaltung von Hilfskonstruktionen die Lasten der Häuser umzulagern und ihre Gründungen tiefer als die Tunnelsohle zu führen. Hierbei sind in Hamburg häufig Bohrpfähle verwendet worden.

Zum Beispiel schneidet die Trasse der U-Bahn in spitzem Winkel eine *Kraftfahrzeughalle*, deren Betrieb möglichst wenig zu stören ist. Die Oberkante des Tunnelbauwerkes liegt etwa 5 m unter dem Hallenfußboden. Die für die Durchführung des Baues erforderlichen Flächen dürfen nur kurzfristig in Anspruch genommen werden. Die Baudurchführung ging folgendermassen (Bild 6) vor sich: In der Halle werden Bohrpfähle von 45 cm \varnothing mit einer Länge von etwa 13 m in kurzen Schüssen niedergebracht. Die Mantelrohre der Bohrpfähle verbleiben im Boden. Der Hallenfußboden wird entfernt, auf den Pfahlköpfen werden Stahlbetonholme betoniert, auf die sich eine tragende Decke in Höhe des Hallenbodens auflegt. Nach Abbinden des Deckenbetons wird im jeweiligen Bauabschnitt der Betrieb in der Halle wieder aufgenommen. Im Schutze der tragenden Decke wird nunmehr in Richtung Tunnelaxe der Boden im oberen Schnitt teilweise von Hand, in der übrigen Aushubtiefe mit Schaufel-ladern und Planiertrauben bis zur Gründungssohle des Tunnels entfernt. Auf den stählernen Mantelrohren der Bohrpfähle, die im Boden verbleiben, werden in der Länge aufgeschnittene Peiner Träger 30 zur Aufnahme der hölzernen Verbohlung der Baugrubenwand aufgeschweisst. Der Einbau der Steifenlagen erfolgt gemäss Baugrubenstatik. Der Bau des Tunnels wird hier wegen örtlicher Verhältnisse ohne seitlichen Arbeitsraum neben den Tunnelwänden durchgeführt. In der Halle werden zum Schutz der Maschinen- und Motorteile staubdichte Holzwände errichtet.

Eine Sonderlösung kam für die *Unterfahrung eines Hotels* zur Durchführung (Bild 7). Das Gebäude, auf Streifenfundamenten flach gegründet, ist ein sechsgeschossiger Mauerwerksbau mit durchgehenden Stahlbetondecken. Die Gründung ist gegen Setzungen sehr empfindlich. Die Kellerräume dürfen für die Durchführung der Baumassnahmen nicht in Anspruch genommen werden. Der Betrieb des Hotels

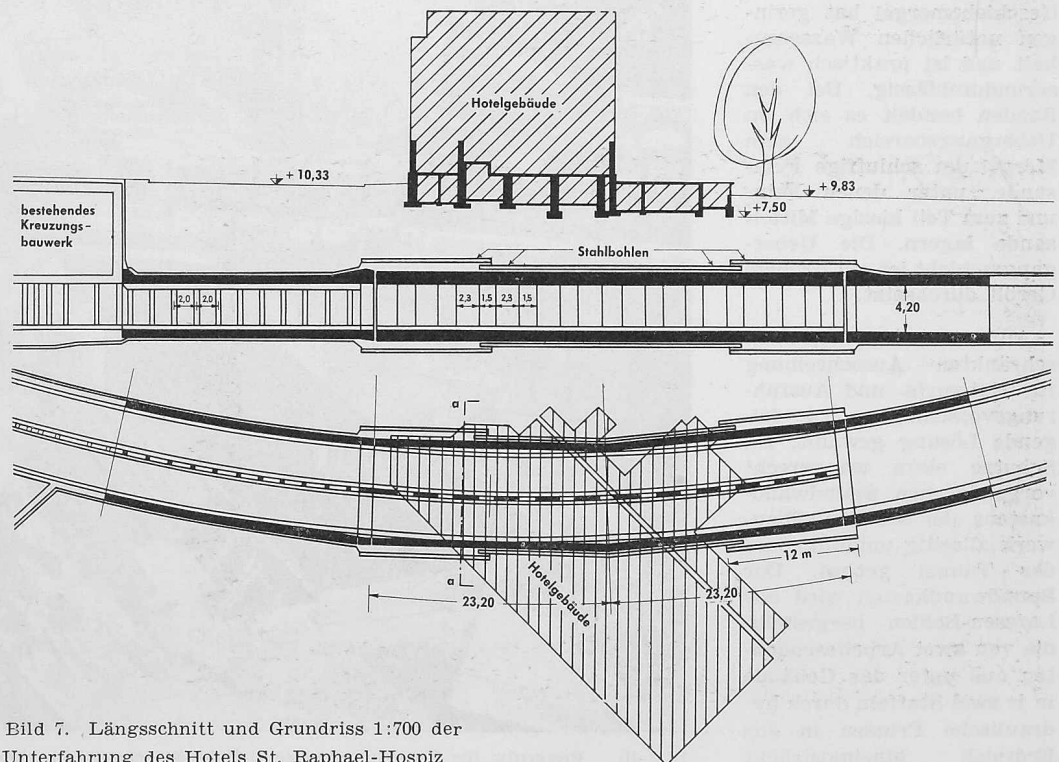


Bild 7. Längsschnitt und Grundriss 1:700 der Unterfahrung des Hotels St. Raphael-Hospiz

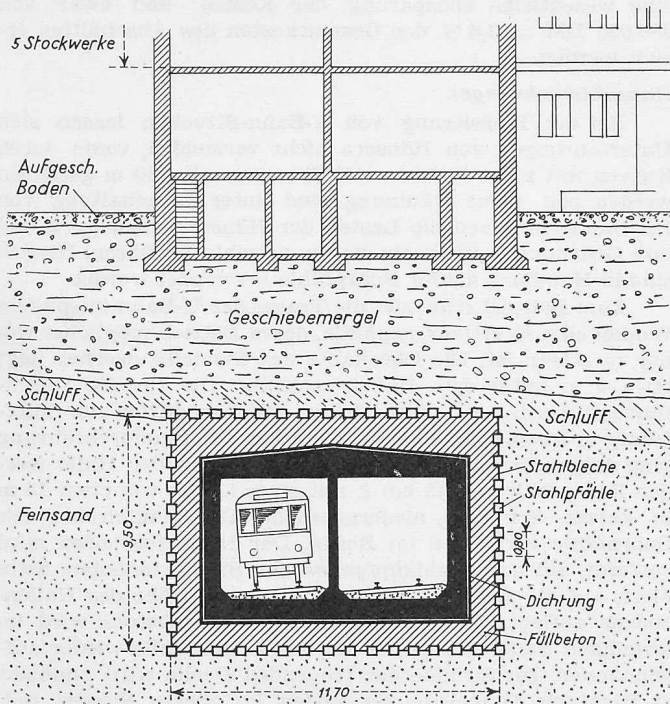


Bild 8. Tunnelquerschnitt im Schutz eines Stollens aus Stahlpfählen. Masstab 1:250

ist während der Bauzeit in vollem Umfange aufrechtzuerhalten und so wenig wie möglich zu stören. Starke Geräusche verursachende Arbeiten sind auf die Tageszeiten zwischen 9 und 18 h zu beschränken. Setzungen, die zu Rissebildungen im Gebäude führen können, sind weitgehend zu vermeiden. Das Mass zwischen der Oberkante des Lichtraumprofils der U-Bahn und der Unterkante der Hausfundamente liegt zwischen 5,80 und 6,80 m.

Die Fundamente des Gebäudes stehen in einer 3 bis 7 m mächtigen Geschiebemergelschicht, die stark nach Osten einfällt. Darunter befindet sich Fein- und Mittelsand von grösserer Mächtigkeit. Der Grundwasserspiegel liegt etwa auf der Mitte der Tunnelhöhe und wird während der Bauzeit gesenkt. Der Geschiebemergel hat geringen natürlichen Wassergehalt und ist praktisch wasserundurchlässig. Bei den Sanden handelt es sich im Uebergangsbereich zum Mergel um schluffige Feinsande, unter denen Fein- und zum Teil kiesige Mittelsande lagern. Die Uebergangsschicht ist mit grobem Geröll durchsetzt.

Auf Grund einer beschränkten Ausschreibung für Entwurfs- und Ausführungsvorschläge wurde folgende Lösung gewählt: Im Schutze eines waagrecht vorgetriebenen Spundwandkastens, der das Tunnelbauwerk allseitig umhüllt, wird der Tunnel gebaut. Der Spundwandkasten wird aus Larssen-Bohlen hergestellt, die von zwei Arbeitsschächten aus unter das Gebäude in je zwei Staffeln durch hydraulische Pressen in das Erdreich hineingedrückt

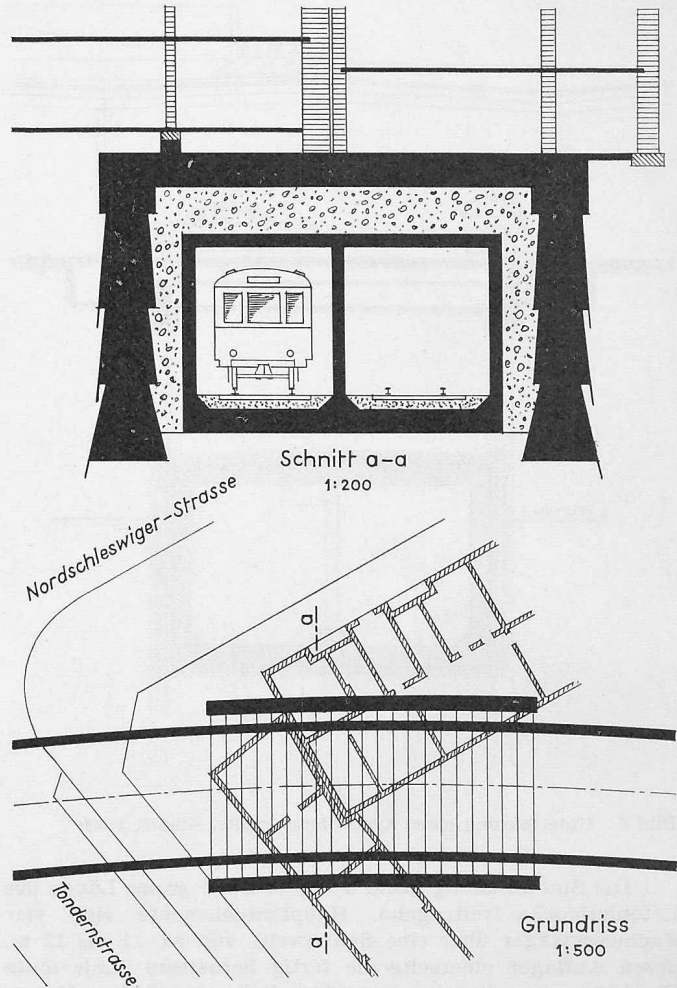
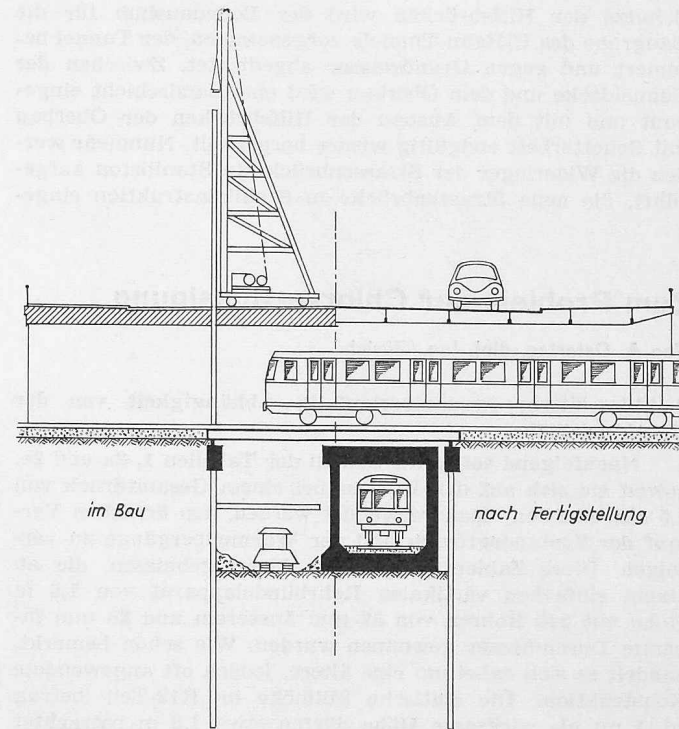
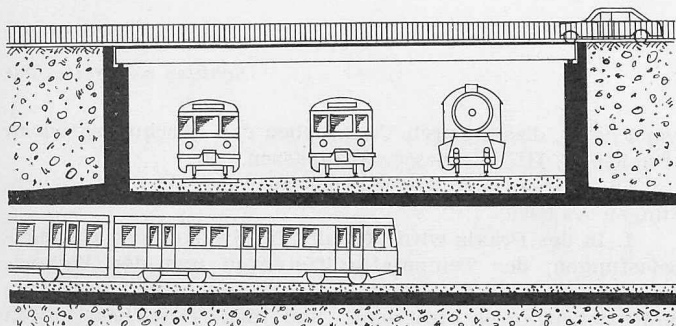


Bild 9. Hausunterführung Alter Teichweg



Bild 10. Baugrube für Kreuzung zweier U-Bahn-Strecken, Lübecker Strasse

Bild 11. Kreuzung zwischen U-Bahn und Bundesbahn unter einer Strassenbrücke, Wandsbeker Chaussee, Schnitte 1:300



werden. Dieser rechteckige Stollen (Bild 8) ist rd. 8,50 m hoch und 11,70 m breit. Der Abbau des Erdreiches geschieht im Vollausschub, wobei die Brust in Abschnitten von etwa 2 m vorgebaut wird. Der Spundwandkasten wird zur Vermeidung von Setzungen des Gebäudes durch Stahljoche mit vorgespannten Stielen ausgesteift. Zwischen den Aussteifungsrahmen wird der Tunnelkörper in 2,30 m breiten Streifen als geschlossener Rechteckrahmen mit Mittelwand hergestellt. Nach Entfernen der Stahljoche werden die Lücken im Tunnelbauwerk geschlossen. Der Raum zwischen dem Stollen aus Spundwänden und dem tragenden Tunnelkörper wird mit Beton ausgefüllt, der auf seinen glatten Innenflächen die bituminöse Abdichtung aufnimmt.

Im Geschiebemergel geht das Einpressen der Spundwände, die zu Tafeln zusammengefügt werden, planmässig vor sich. Im schluffigen Sand dagegen werden schon nach einem Vortrieb von gut 2 m Pressendrucke von 200 t gemessen. Die Ursache hierfür muss in einer ungewöhnlich starken Bodenverspannung innerhalb des Spundbohlenprofils und Erhöhung des damit verbundenen Spitzenwiderstandes gesehen werden.

Die Schwierigkeiten werden so gross, dass eine Aenderung des Verfahrens vorgenommen werden muss. Zwei Bohlen aus Larssen-Profilen werden zu einem Hohlpfahl verschweisst und im Abstand von 80 cm in den Boden eingepresst. Sie bilden mit den durch Füllbleche geschlossenen Abständen zwischen den Stahlpfählen nunmehr den Stollen. Pfropfenbildung beim Einpressen der Hohlpfähle vor deren Spitze wird mittels des Press-Spül-Verfahrens verhindert. In einen Pfahl werden vier Spüllanzen eingeführt. Eine löst den Sand, während die drei anderen durch besondere Anordnung der Wasseraustrittsöffnungen den Boden nach rückwärts aus dem dem Profil heraustransportieren. Die Löselanze, etwa 8 bis 12 cm hinter der Pfahlspitze angeordnet, sorgt dafür, dass vor der Spitze des Pfahles der Boden nicht kolkartig ausgespült wird. Durchfährt ein Hohlpfahl sowohl Mergel als auch Sand, lässt sich das mühsame Ausbohren des Mergelkernes mittels Erdbohrgerät nicht vermeiden. Die Hohlpfähle werden zur Vermeidung von Setzungen mit Beton ausgefüllt. Die Stollenwand, teils aus Stahlpfählen mit Füllblechen, teils aus Spundwandtafeln bestehend, wurde im Zuge des Bodenabbaus planmässig durch stählerne Joche ausgesteift.

Das Einschalen der Tunnelrahmen mit Mittelwand und das Einbringen des konstruktiven Betons zwischen den Aussteifungsjochen war mühsam. Das Schliessen der Lücken zwischen den Rahmen erfolgte bei der Decke mit Betonfertigteilen, bei der Sohle und den Wänden mit Ortbeton.

Leider hat die Bauzeit durch die nicht erwarteten Schwierigkeiten beim Einpressen der Spundwände in den Sand eine nicht unwesentliche Verlängerung erfahren.

Bei der Haltestelle Alter Teichweg lässt sich eine zügige Trasse nur durch *Unterfahrung eines Wohnhauses* mit anschließender Ladenzeile (Bild 9) erreichen. Zur Vorbereitung der Unterfahrung wird in die tragenden Fundamente und Zwischenwände des Hauses in Höhe des Kellerfussbodens ein Trägerrost eingebaut. In zwei durch leichte Kanaldielen gesicherten Schlitzten werden Stahlbetonwände hergestellt, auf die sich eine schwere Stahlbetondecke auflegt. Auf das entstandene Portal werden die Lasten des Hauses abgesetzt. Im Schutze dieses Portales entsteht unter dem Haus nach erfolgtem Bodenaushub ein Hohlraum, in dem das Tunnelbauwerk für die U-Bahn in normaler Bauweise sicher hergestellt wird. Vorgesehene Hohlräume werden mit schalldämmenden Stoffen ausgefüllt.

Kreuzungen mit U-Bahn-Strecken und der Bundesbahn

An drei Stellen werden Tunnelbauwerke des U-Bahn-Ringes von der neuen U-Bahn-Strecke gekreuzt. An allen drei Punkten unterfahren die neuen Gleise die bestehenden Gleise des Ringes. Die bestehenden Tunnel-Bauwerke werden abgebrochen. Die Gleise werden auf Gleisbrücken, die auf Trägersammungen ruhen, durch die Baugrube geführt und im Schutze dieser Abfangungen werden die neuen Kreuzungsbauwerke hergestellt.

Nicht nur in der Mönckebergstrasse (s. Schweizerische Bauzeitung Heft 43, Seite 709, vom 22.10.1959), sondern auch in der Grossen Allee, wo ein sehr spitzes Kreuzungsbauwerk von 46 m Länge gebaut werden musste, hat sich diese Bauweise bestens bewährt. Ein Kreuzungsbauwerk in der *Lübecker Strasse* (Bild 10) ist ebenfalls nach gleichen Gesichtspunkten errichtet worden. In allen Fällen konnte der U-Bahn-Betrieb auf der alten Strecke mit nur geringen Einschränkungen durch eingleisiges Fahren aufrechterhalten werden.

Eine ähnliche technische Lösung fand Anwendung bei der Unterfahrung von drei Gleisen der Bundesbahn, einem Gütergleis und zwei Stadtbahngleisen mit elektrischem Betrieb in der *Wandsbeker Chaussee* (Bild 11). Hier kreuzt die Trasse der neuen U-Bahn-Strecke in der unteren Ebene die Bundesbahn in der mittleren Ebene unter einer Strassenbrücke in der oberen Verkehrsebene in Strassenniveau. Die bestehende Brücke aus Spannbeton und ihre Widerlager werden im Schutz von starken Gerüsten abgebrochen, teilweise sogar gesprengt. Die Gleise der Bundesbahn werden während der Baudurchführung auf Hilfsbrücken gelagert, deren Auflager Stahlbetonbalken auf stählernen Rammträgern bilden, die zugleich Träger der Baugrubenwand sind. Im

Schutze der Hilfsbrücken wird der Bodenaushub für die Baugrube des U-Bahn-Tunnels vorgenommen, der Tunnel betoniert und gegen Grundwasser abgedichtet. Zwischen der Tunneldecke und dem Oberbau wird eine Sandschicht eingebaut und mit dem Ausbau der Hilfsbrücken der Oberbau mit Schotterbett endgültig wieder hergestellt. Nunmehr werden die Widerlager der Strassenbrücke in Stahlbeton aufgeführt, die neue Strassenbrücke in Stahlkonstruktion eingele-

schoben und mit einer Gussasphaltdecke versehen. Auch bei diesem schwierigen Bauwerk mit schluffigen Bodenschichten in Sohlentiefe der Baugrube traten bei Aufrechterhaltung des Bundesbahnverkehrs weder Störungen noch Unfälle ein.

Adresse des Verfassers: Dipl.-Ing. Georg Mandel, Gustav-Leo-Strasse 7, 2 Hamburg 20, Deutschland.

Zum Problem der Chlorverflüssigung

Von A. Ostertag, dipl. Ing., Zürich

DK 621.593

Schluss von Seite 680

6. Chlorseitiger Prozessverlauf in Abhängigkeit von der Rohrbündelhöhe

Nachfolgend sollen die Zahlen der Tabellen 1, 2a und 2b, soweit sie sich auf den Prozess bei einem Gesamtdruck von 2,5 ata beziehen, dazu verwendet werden, den örtlichen Verlauf der Zustandsgrössen und der Wärmeübergänge zu verfolgen. Diese Zahlen entsprechen Messergebnissen, die an einem einfachen vertikalen Rohrbündelapparat von 1,6 m Höhe mit 240 Röhren von 32 mm äusserem und 26 mm innerem Durchmesser gewonnen wurden. Wie schon bemerkt, handelt es sich dabei um eine ältere, jedoch oft angewendete Konstruktion. Die statische Füllhöhe im R12-Teil betrug rd. 1 m; als wirksame Höhe dürfen etwa 1,3 m betrachtet werden. Die obersten 0,3 m sind der Flüssigkeitsabscheidung vorbehalten. Der chlorseitige Vorgang, dessen Anfang und Ende durch die Zustandspunkte $A_I B_I C_I$ bzw. $B_V C_V$, Bild 2, festgelegt sind, verläuft somit innerhalb einer Bündelhöhe von 1,3 m. Festzulegen sind nun noch die Höhenlagen der Zwischenpunkte II, III, IV (Tabelle 2a). Eine vorläufige Schätzung wurde gemäss Tabelle 2c vorgenommen. Mit ihr ist der Verlauf der Zustandsgrössen (t_g, γ, c) festgelegt, Bild 4, und es können nun für jeden Abschnitt die mittleren Flächenbelastungen und die Wärmedurchgangszahlen k berechnet werden. Die R12-seitigen Uebergangszahlen sind aus den Flächenbelastungen zu ermitteln, worauf bereits hingewiesen wurde, so dass sich schliesslich auch die chlorseitigen Uebergangszahlen α_{Cl} in bekannter Weise bestimmen lassen. Die so gefundenen Zahlenwerte sind nun mit anderweitig bestimmten Uebergangszahlen zu vergleichen⁴⁾, und sie sind,

4) Solche Zahlen sind u. a. in [1] Bd. III, Abschnitte E, F und G, zu finden.

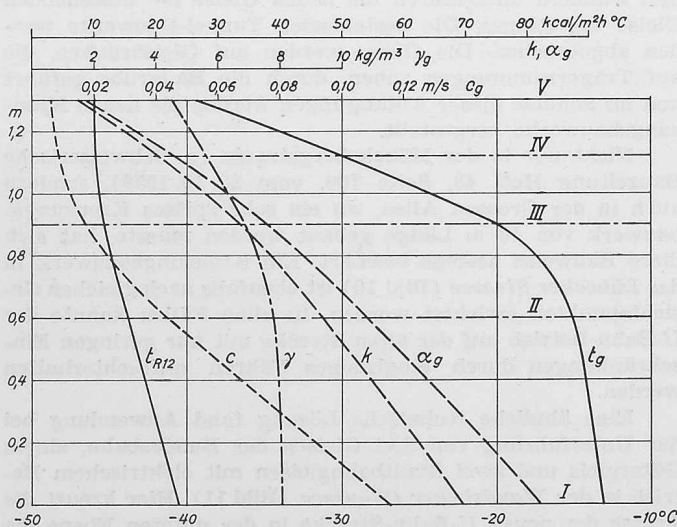


Bild 4. Verlauf der für den Wärmedurchgang massgebenden Grössen in Abhängigkeit von der Rohrbündelhöhe

- t_g Verflüssigungstemperatur des Chlorgases in °C
- t_{R12} Verdampfungstemperatur des R12 in °C
- c Gasgeschwindigkeit in den Röhren in m/s
- γ spezifisches Gewicht des Gases in kg/m³
- k Wärmedurchgangszahl in kcal/m² h °C
- α_g chlorseitige Wärmeübergangszahl in kcal/m² h °C

wenn nötig, diesen durch Verschieben der Abschnittsgrenzen (Punkte II, III, IV) besser anzupassen.

Die Kurven von Bild 4 geben zu folgenden drei Bemerkungen Anlass:

1. In der Praxis wird oft mit Mittelwerten der Flächenbelastungen, der Temperaturdifferenzen und der Wärmedurchgangszahlen gerechnet, um bei Neuanlagen die Hauptdimensionen rasch festlegen und das Betriebsverhalten gleichartiger Ausführungen miteinander vergleichen zu können. Sollen Missverständnisse und Fehler vermieden werden, so müsste dabei genau angegeben sein, wie diese Mittelwerte zu verstehen sind. Bei den Flächenbelastungen ist zu empfehlen, sie auf die innere Rohroberfläche, wo der Uebergangswiderstand bei weitem am grössten ist, und auf die wirksame Höhe zu beziehen. Als Temperaturdifferenzen wird man von den leicht messbaren Unterschieden zwischen der Sättigungstemperatur des Chlorgases und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels je am Eintritt und am Austritt ausgehen. Es wäre nun aber völlig irreführend, daraus einen logarithmischen oder arithmetischen Mittelwert zu bilden, was viel zu kleine Werte ergäbe. Richtig ist der Mittelwert, der durch Planimetrieren der Temperaturkurven in einer Darstellung nach Bild 4 bestimmt wird. Wenn diese Kurven für die verschiedenen in Frage kommenden Betriebsbedingungen einmal aufgezeichnet sind, ist es leicht möglich, aus den Differenzen am Eintritt und am Austritt den jeweiligen zutreffenden Mittelwert zu ermitteln. Das selbe gilt auch für die Wärmedurchgangszahlen. Wenn man sich schon auf Mittelwerte stützen will, so sind sie auf Grund der tatsächlichen Prozessabläufe zu bilden. Es ist jedoch ungleich sicherer und erfordert kaum mehr Arbeit, wenn sowohl bei der Auswertung von Versuchsergebnissen als auch beim Entwurf neuer Anlagen eine stufenweise Berechnung in der hier gezeigten Art durchgeführt wird.

2. Es wurde wiederholt darauf hingewiesen, dass in den Röhren eine geordnete Strömung herrschen soll, bei der sich nicht Gasteile aus verschiedenen Höhenlagen miteinander vermischen. Eine solche Vermischung von Gasteilen verschiedener Konzentration ergäbe geringere wirksame Temperaturdifferenzen sowie einen schlechteren chlorseitigen Wärmeübergang. Sie müsste sich namentlich in den Endphasen nachteilig auswirken. Damit stellt sich die Frage nach der Stabilität der Schichtung innerhalb der Strömung im einzelnen Rohr. Diese ist offensichtlich durch die Abnahme des spezifischen Gewichts γ des Chlor-Gas-Gemisches bestimmt, die sich infolge des Auskondensierens der schwereren Chlorkomponente einstellt. Deshalb wurde γ für die untersuchten Zustandspunkte I bis V berechnet und sein Verlauf in Bild 4 eingezeichnet. Wie ersichtlich, nimmt γ im oberen Teil des Rohrbündels stark ab. Es darf also in dieser wichtigen Phase mit einer stabilen Schichtung gerechnet werden, sofern die Strömung von unten nach oben verläuft. Dagegen besteht bei umgekehrter Strömungsrichtung die Gefahr, dass das oben ins Rohrbündel eintretende schwerere Gas nach unten fällt und dabei die Schichten durcheinander geraten, was die Wirkung beeinträchtigen würde.

3. Die chlorseitigen Wärmeübergangszahlen sind, wie erwartet, viel kleiner als die kältemittelseitigen, was offensichtlich vor allem vom Fremdgas herrührt; demgegenüber scheint der Kondensatfilm von geringerer Bedeutung zu sein. Immerhin ist zu beachten, dass die Abflussverhältnisse an