

# U-Bahn-Bau in Hamburg

Autor(en): **Mandel, Georg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **77 (1959)**

Heft 43

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84344>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# U-Bahn-Bau in Hamburg

DK 625.42.002

Von Dipl.-Ing. Georg Mandel, Oberingenieur, Hamburg

## Allgemeines

In einer Verkehrsdenkschrift «Neuordnung des Hamburger Stadtverkehrs, Denkschrift des Senats der Freien und Hansestadt Hamburg von 1955» sind die Ergebnisse der vom Tiefbauamt angestellten Untersuchungen über den zukünftigen Verkehrsablauf auf der Strassenoberfläche einschliesslich des nicht strassengebundenen Verkehrs niedergelegt worden.

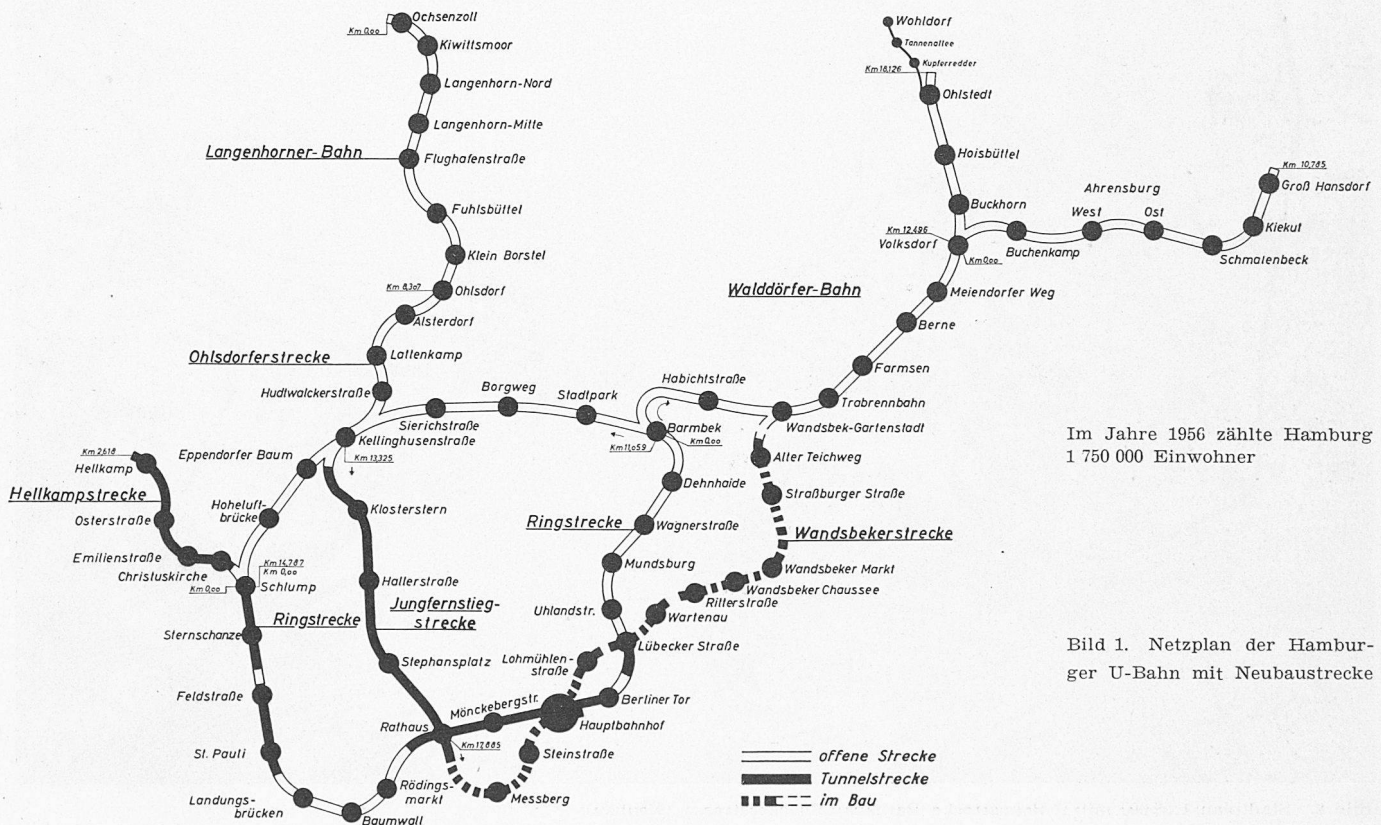
Da in Hamburg bereits ein leistungsfähiges U-Bahnnetz von 68 km Streckenlänge (Bild 1) besteht, wurde die Wiederaufnahme des U-Bahn-Baues empfohlen, um durch Herausnahme von Strassenbahnen aus dem Strassenniveau und Verlegung in die zweite Ebene als U-Bahn die Strassenoberfläche zu entlasten. Der erste Ausbau des U-Bahn-Netzes mit der Ringstrecke und der Hellkamp- und Ohlsdorferstrecke fällt in die Jahre 1906 bis 1915. Zur Erschliessung von hamburgischen Siedlungsgebieten wurden in den Jahren 1917 bis 1923 im Norden des Stadtgebietes die Langenhorner- und die Walddorferbahn als Aussenstrecken, erst 1927 bis 1934 wiederum eine innerstädtische Strecke von Kellinghusenstrasse nach dem Jungfernstieg (neuerdings Rathaus wie in Bild 1) im Herzen der Stadt, gebaut.

Für die Wiederaufnahme des U-Bahn-Baues wurden die ersten Mittel im Juni 1955 bereitgestellt. Der 1. Abschnitt, in einer Länge von 2060 m, umfasst die Strecke Jungfernstieg (neuerdings Rathaus) / Messberg / Hauptbahnhof (Gr. Allee / Pulverteich). Die Freigabe der Mittel für den 2. Bauabschnitt folgte im Juni 1957 bzw. September 1958; er reicht vom Hauptbahnhof (Gr. Allee / Pulverteich) über Steindamm / Lübecker Strasse bis zur Alfredstrasse und ist 1470 m lang

(Bild 2). Der Fortführung des U-Bahnbaues mit der Trasse des 3. Bauabschnittes der neuen U-Bahn-Strecke von Lübecker Strasse / Alfredstrasse über Wandsbek-Markt nach Wandsbek-Gartenstadt mit einer Länge von rund 6100 m stimmten Senat und Bürgerschaft am 18. Februar 1959 zu. Die gesamte Neubaustrecke hat eine Länge von rd. 9650 m; hierfür werden Aufwendungen von etwa 260 Millionen DM erforderlich sein. In diesen Kosten sind enthalten: Grunderwerbs- und Erschliessungskosten, vorbereitende Massnahmen, Strassenbau, Aufwendungen für Verkehrsumleitungen und Verlegung von Versorgungsleitungen, Tunnelrohbau einschl. Unterfahrung und Abfangung von Privatgebäuden, Baumassnahmen für Betriebshöfe, Unterwerke u. a., Ausbau der Haltestellen und Baunebenkosten.

Die U-Bahn in Hamburg ist keine ausgesprochene Untergrundbahn, da bei einer Streckenlänge von 68 km nur 11,7 km im Tunnel verlaufen. 9,6 km Strecke entfallen auf Viaduktstrecken, die übrigen sind Einschnitt-, bzw. Dammstrecken. Da der U-Bahn-Neubau in Hamburg vornehmlich der Entlastung des Oberflächenverkehrs im Stadtgebiet dienen soll, wird für den Neubau weitgehend eine unterirdische Lage gewählt. Das Lichtraumprofil der U-Bahn ist kleiner als das der Bundesbahn. Engste Kurven haben 70 m Halbmesser, die stärkste Steigung beträgt 1:20. Jedes Fahrzeug hat motorischen Antrieb und ein Betriebsgewicht von 32 t. Die Züge setzen sich aus Einheiten von zwei Wagen zusammen. Die Länge der Bahnsteige beträgt für Sechswagen-Züge 90 m, für Achtwagen-Züge 125 m. Die U-Bahn wird elektrisch mit 800 Volt Gleichstrom betrieben<sup>1)</sup>. Die

1) Einzelheiten hierüber siehe SBZ 1958, Heft 51, S. 780.



Stromabnahme erfolgt über Stromabnehmer am Fahrzeug von einer seitlich angeordneten dritten Schiene (Stromschiene), die von unten bestrichen wird. Der Zugabstand ist im allgemeinen 5 und 10 Minuten, in der Hauptverkehrszeit 2½ Minuten. Die selbsttätigen elektrischen Signalanlagen lassen einen Zugabstand von 90 s zu.

Das bestehende U-Bahn-Netz einschliesslich der Walddörfer-Bahn hat 60 Haltestellen bei einem mittleren Abstand auf den Strecken im eigentlichen Stadtgebiet von 917 m und im Aussengebiet bei der Walddörfer-Bahn von 1817 m. Da in Zukunft die U-Bahn weitgehend Funktionen der Strassenbahn zu übernehmen hat, werden die Haltestellenabstände kürzer sein und etwa 450 bis 600 m betragen; die Lage der Haltestellen passt sich selbstverständlich den Schwerpunkten des Verkehrs an.

Die Kosten für den Rohbau des U-Bahn-Verkehrsweges, dessen Baudurchführung in den Händen des Tiefbauamtes liegt, trägt die Freie und Hansestadt Hamburg. Die Kosten für die Beschaffung und den Einbau der Betriebseinrichtungen, wie Gleise, Stromversorgung, Signalanlagen und Fahrzeuge usw. übernimmt die Betriebsgesellschaft, die Hamburger Hochbahn AG., die in Hamburg die Strassenbahnen, die U-Bahn, die Buslinien und die Alsterschiffahrt betreibt.

Im Oktober 1955 wurde mit dem Neubau des ersten Abschnittes der neuen Strecke begonnen, die am Jungfernstieg an die bestehende Strecke Kellinghusenstrasse / Jungfernstieg anschliesst.

### Führung der neuen U-Bahn-Strecke

Die neue Strecke verläuft vom Jungfernstieg unter der Bergstrasse und dem Fischmarkt zur Haltestelle Messberg und durch die Klosterstrasse zum Klosterwall mit der Haltestelle Steinstrasse (Bild 2). Mit dieser Streckenführung wird das bekannte Bürohausviertel mit Chilehaus, Sprinkenhof usw. und der Zugang zum Freihafen an das U-Bahn-Netz angeschlossen. Im Anschluss an die Haltestelle Stein-

strasse werden die Anlagen der Deutschen Bundesbahn in Hamburg-Hauptbahnhof bis zur Haltestelle Hauptbahnhof unterfahren. Die U-Bahn erhält hier einen dritten Bahnsteig. Nach Verlauf in der Gr. Allee wird die Haltestelle Lohmühlenstrasse im Steindamm nach teilweiser Unterfahrung von Häusergruppen erreicht. Weiter verläuft die neue Linie durch den Lübeckertordamm, die Lübecker Strasse, die Wandsbeker Chaussee bis zum Wandsbeker Marktplatz, wo sie nach Norden abbiegend das Gebiet des «Dulsberg» im Zuge der Nord-Schleswiger-Strasse erreicht. In einer Kurve geht die bis hier unterirdisch geführte Strecke in eine Einschnitt- und Dammstrecke über und mündet bei der Haltestelle Wandsbek-Gartenstadt (Bild 1) kreuzungsfrei in die Walddörfer-Bahn ein. Ein neuer Betriebsbahnhof wird bei der Haltestelle Farmsen der Walddörfer-Bahn, der zweiten Haltestelle hinter Wandsbek-Gartenstadt, errichtet.

Da die Trasse zum grössten Teil in Hauptverkehrsstrassen verläuft, lassen sich Umlegung von Versorgungsleitungen, vorübergehende Strassensperrungen und Umleitungen des Oberflächenverkehrs nicht vermeiden, jedoch müssen Vorfahrt und Zugänglichkeit zu den Grundstücken und Geschäften gewahrt bleiben.

### Kreuzungen mit schienengebundenen Verkehrswegen

Kreuzungen mit bestehenden U-Bahn-Strecken ergeben sich auf dem Strassenkreuz Bergstrasse / Mönckebergstrasse, in der Gr. Allee beim Pulverteich und bei der Haltestelle Lübecker Strasse, ausserdem bei der Einmündung in die Walddörfer-Bahn bei der Haltestelle Wandsbek-Gartenstadt. An allen Punkten unterfährt die neue Strecke die bestehenden Anlagen der U-Bahn.

Die Anlagen der Deutschen Bundesbahn werden zweimal unterfahren, und zwar im Gleisgebiet des Hamburger Hauptbahnhofes südlich der Bahnhofhalle zwischen der Steintordamm- und Altmannstrassenbrücke und die Anlagen

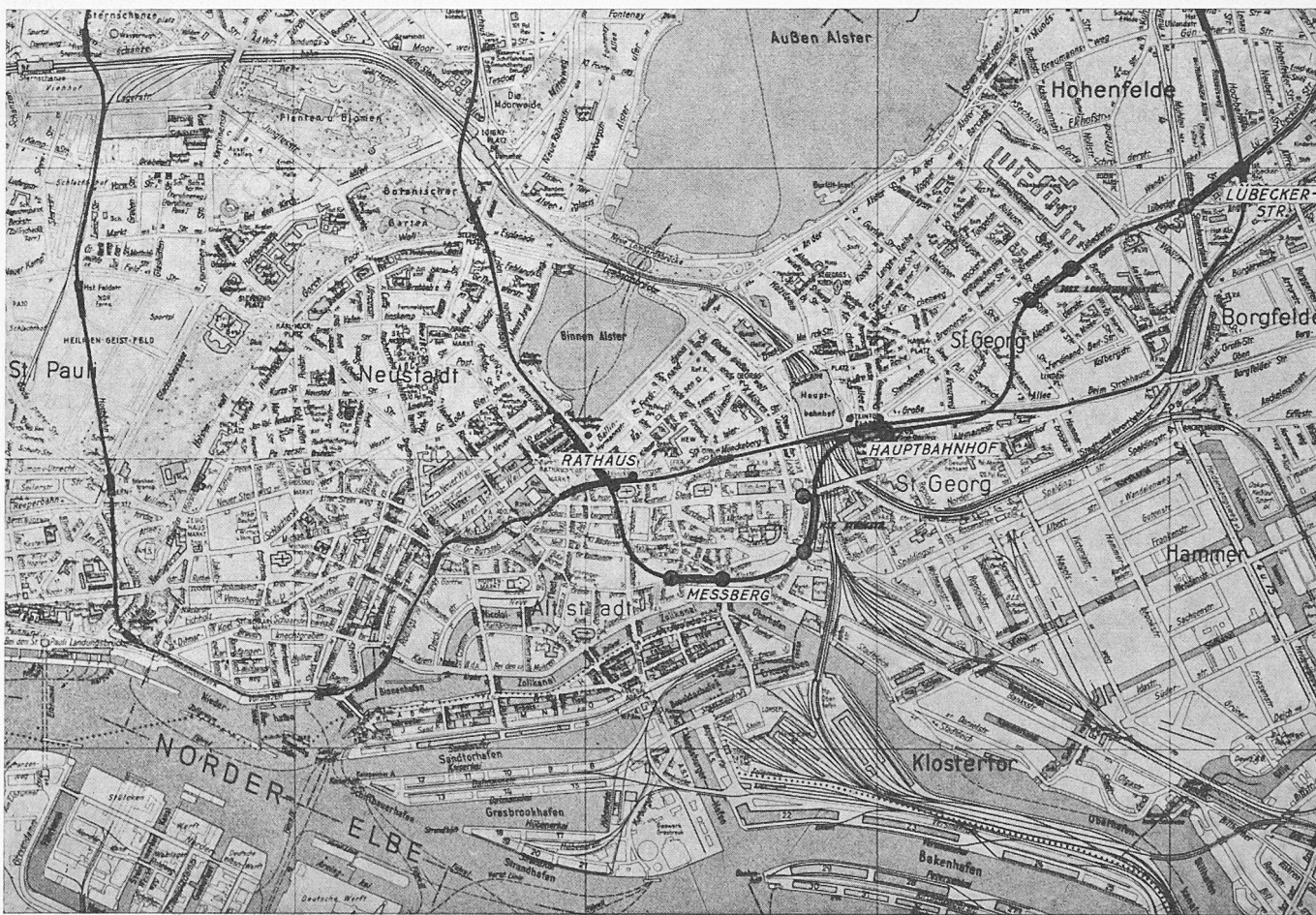


Bild 2. Stadtplan 1:25 000 mit U-Bahnstrecke Rathaus/Lübeckerstrasse (Neubau)

der Güterumgehungsbahn und der S-Bahn bei der Haltestelle «Wandsbeker Chaussee».

Strassenbahnanlagen, die die Trasse der U-Bahnstrecke kreuzen, werden auf Brücken, die auch für den übrigen Oberflächenverkehr erforderlich sind, über die Baugrube geführt. Liegen Strassenbahnanlagen im gleichen Strassenzug wie die neue U-Bahnstrecke, so können diese, wenn der Strassenzug breit genug ist, seitlich neben der Baugrube herausgelegt werden (Bild 3). Sind die Strassenzüge sehr eng, lässt sich eine teilweise Verlegung über der Baugrube nicht vermeiden, jedoch werden die Tunnelbauarbeiten hierdurch erschwert. Es kann auch zweckmässig sein, die Strassenbahnanlagen in einen etwa parallel laufenden Strassenzug zu verlegen oder den Strassenbahndurch Busbetrieb zu ersetzen.

### Untergrundverhältnisse

Die Untergrundverhältnisse sind besonders in dem Gebiet zwischen Alster und Elbe, in dem der Bau des ersten Abschnittes der Strecke durchgeführt werden muss, sehr ungünstig. Das Tunnelbauwerk der neuen Strecke taucht fast überall in das Grundwasser ein. An einigen Stellen steht das Grundwasser bis zu 2 m Höhe über der Tunneldecke. Auch gespanntes Grundwasser unter Mergelschichten wird angeschnitten. Die Bodenschichten wechseln zwischen aufgefülltem Boden, Sand-, Klei-, Ton-, Mergel- und Faulschlammsschichten. Da der angetroffene ausgeschachtete Boden für die Verfüllung der Baugruben mit Rücksicht auf eine gute Strassenlage im allgemeinen nicht geeignet ist, muss er bis auf verhältnismässig geringe Mengen abgefahren werden. Geeigneter Verfüllboden wird gekauft.

### Tunnelbauweise

Das Tunnelbauwerk wird — wie auch in Berlin — in offener Baugrube erstellt (Bild 4). Die Baugrubenwand wird im allgemeinen als Berliner Wand (Trägerrammungen, Ausbohlung mit Holzbohlen, die verkeilt werden) ausgeführt. Beide Baugrubenwände werden gegeneinander z. B. durch Stahlsteifen ausgesteift, die an besonders gefährdeten Stellen unter Vorspannung und nachträglicher Verkeilung eingebaut werden, um ein Nachgeben der Baugrubenwand sowie des anstehenden Erdreiches und somit eine Gefährdung der Standsicherheit der anliegenden Bebauung zu verhüten. Das Grundwasser wird abgesenkt, so dass das Tunnelbauwerk in trockener Baugrube hergestellt werden kann. Um den Einbau von Brunnentöpfen in die Sohlenisolierung zu vermeiden, werden die Brunnen für die Grundwasserabsenkung ausserhalb der Baugrube angeordnet.

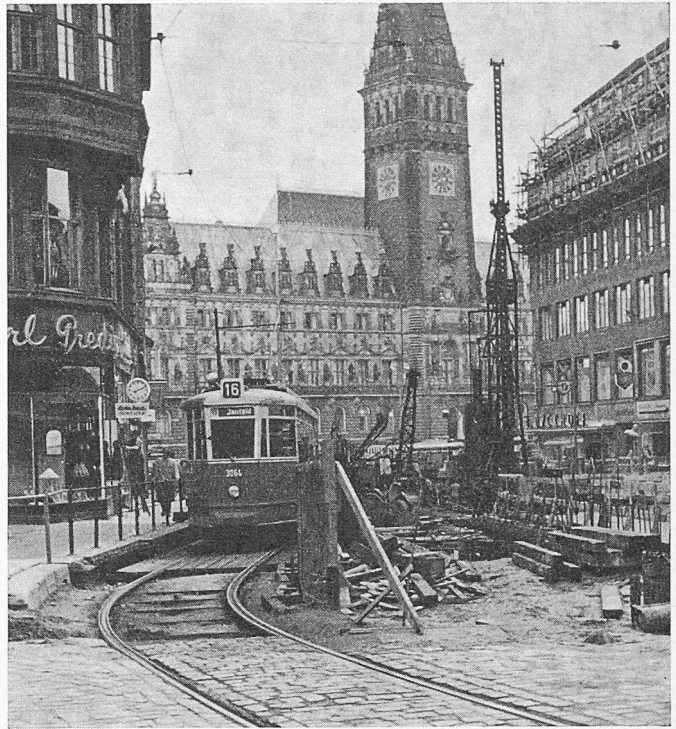


Bild 3. Seitliche Herauslegung der Strassenbahngleise in der Mönckebergstrasse

In Hamburg wurden bis zum Jahre 1955 Baugruben und Tunnelbauwerke nach der klassischen Berliner Bauweise hergestellt. Bei dieser wird zur Aufnahme der Isolierung die Wandschutzschicht als Putzschicht auf der Ausbohlung der Baugrubenwand ausgeführt, nachdem vorher ein Drahtgewebe an der Bohlwand befestigt worden ist. Von dieser Bauweise wird nun abgewichen. Der Unterschied zwischen der klassischen Berliner Bauweise und der jetzt angewandten besteht darin, dass man zwischen der Aussenkante der Tunnelwand und der Innenkante der Rammträger einen Arbeitsraum von 0,80 m Breite freilässt. Er hat den Vorteil, dass die Träger während des Rammens bei Ablenkung durch Findlinge und grobes Geröll aller Wahrscheinlichkeit nach nicht in den Querschnitt des Tunnels einschneiden. Die Rammträger und Bohlen lassen sich zur

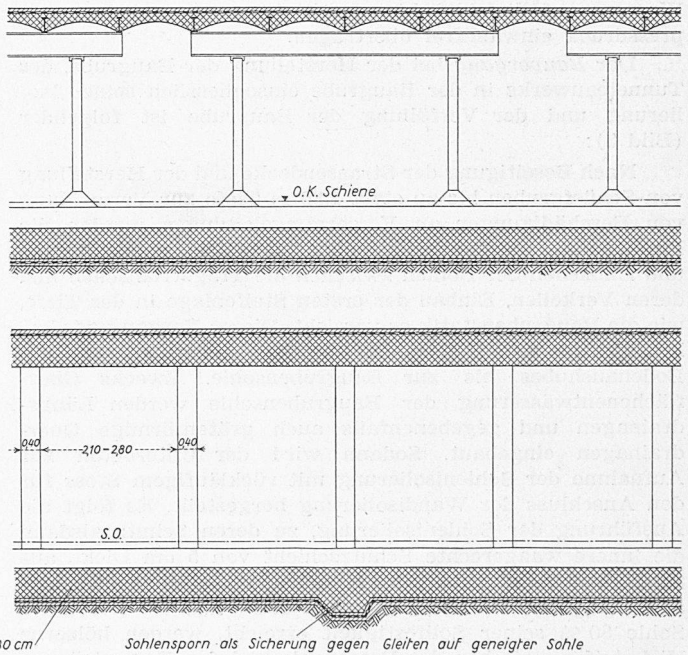
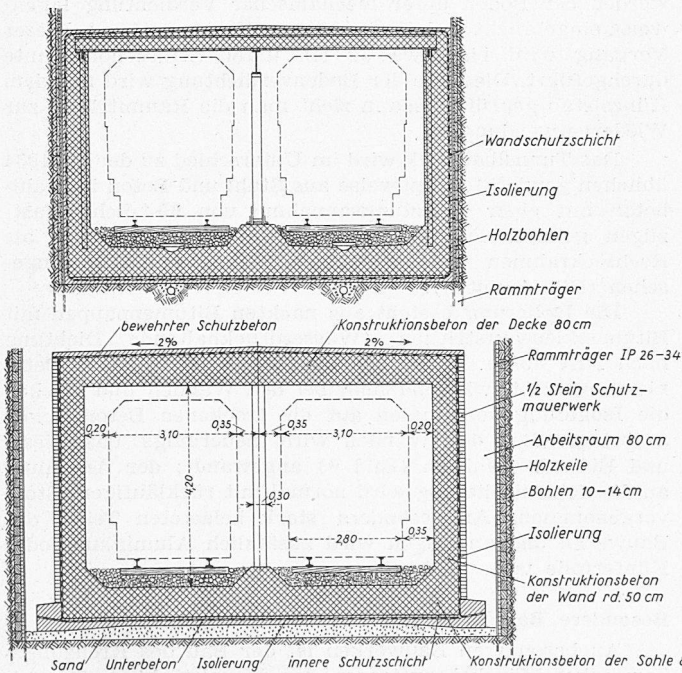


Bild 4. U-Bahn-Tunnelbau in offener Bauweise, Masstab 1:160, Oben Berliner, unten Hamburger Bauweise

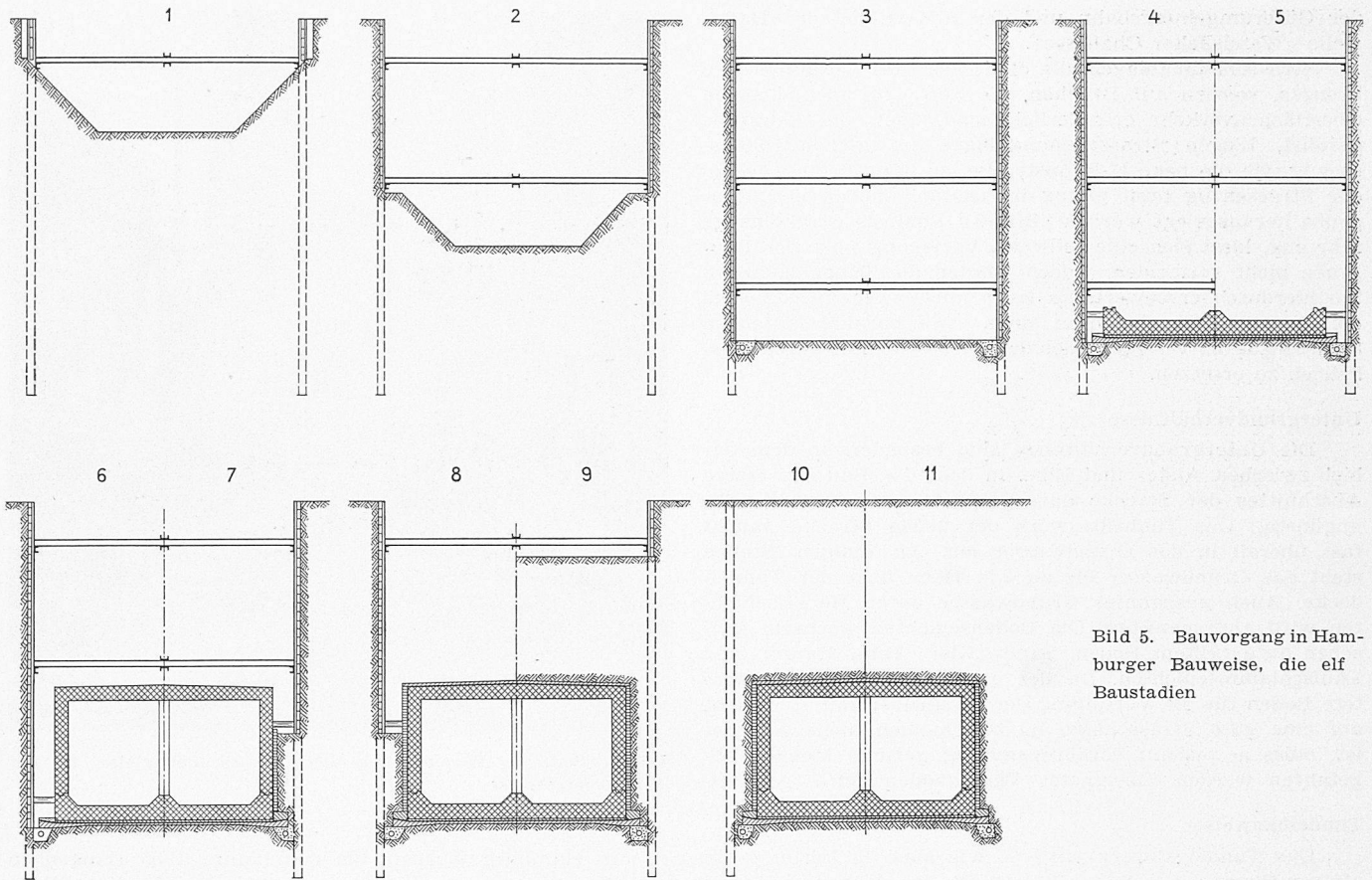


Bild 5. Bauvorgang in Hamburger Bauweise, die elf Baustadien

Wiederverwendung gewinnen, wodurch wirtschaftliche Vorteile erzielt werden. Durch Entfernen der Baugrubenwand wird die gewünschte Einpressung der Abdichtung der Tunnelwände durch den aktiven Erddruck mit Sicherheit erreicht. Der Arbeitsraum wird mit Sandboden verfüllt, der mechanisch verdichtet wird. Die Abdichtung der Tunnelwände kann nach Beseitigung von Kiesnestern und Unebenheiten in der Aussenfläche der trockenen Tunnelwand direkt aufgeklebt werden. Die äussere Wandschutzschicht — nach vorheriger Untersuchung der Abdichtung auf Fehlstellen — als  $\frac{1}{2}$  Stein starkes Mauerwerk mit 4 cm Stampfuge in Sandbeton ausgeführt, kann nach Beseitigung der Bauhilfsmassnahmen den Druck des Erdbodens und des Wassers auf die Abdichtung mit dem erforderlichen Anpressdruck einwandfrei übertragen.

Der *Bauvorgang* bei der Herstellung der Baugrube, des Tunnelbauwerkes in der Baugrube einschliesslich seiner Isolierung und der Verfüllung der Baugrube ist folgender (Bild 5):

Nach Beseitigung der Strassendecke und der Herstellung von Schürfruben bis zu etwa 1,80 m Tiefe zur Vermeidung von Beschädigungen an Versorgungsleitungen werden die Rammträger gerammt. Es folgt Ausschachten des Bodens und Einziehen der Bohlen zwischen die Trägerflanschen und deren Verkeilen, Einbau der ersten Steifenlage in der Tiefe, wie die Baugrubenstatik es vorsieht. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zum Einbau der untersten Steifenlage und des Bodenaushubes bis zur Baugrubensohle. Zwecks Oberflächenentwässerung der Baugrubensohle werden Längsdrainagen und gegebenenfalls auch grätenförmige Querdrainagen eingebaut. Sodann wird der Unterbeton zur Aufnahme der Sohlenisolierung mit rückläufigem Stoss für den Anschluss der Wandisolierung hergestellt. Es folgt die Ausführung der Sohlenisolierung, zu deren Schutz alsdann die innere waagerechte Schutzschicht von 5 cm Dicke aus Sandbeton eingebracht wird. Nunmehr verlegt man die Stahlarmierung der Sohle und betoniert diese. Hat der Beton der Sohle 80 % seiner Sollfestigkeit erreicht, werden hölzerne Hilfssteifen zwischen der Betonsohle und den Rammträgern eingebaut. Die untere Steifenlage kann ausgebaut werden.

Der Rest des Bauwerkes wird eingeschalt, armiert und nach Aufstellen der mittleren Stahlbetonfertigteilstützen betoniert. Die Anordnung der Steifenlagen ist so vorgesehen, dass, wenn die Sohle betoniert ist, weiter keine Arbeitsfugen im Rest des Bauwerkes entstehen. Nach Ausschalen der Tunnelwände werden Isolierung und Mauern der Wandschutzschicht stoffelweise vorgenommen. Parallel dazu läuft der Ausbau der Bohlen der Baugrubenwand unter gleichzeitigem Verfüllen und Verdichten des seitlichen Arbeitsraumes mit Sand bis etwa Oberkante Tunneldecke. Nunmehr werden Deckenisolierung und Deckenschutzschicht hergestellt.

Unter gleichzeitigem Rückbau der Baugrubenbohlen werden der Boden unter mechanischer Verdichtung lagenweise eingebracht und die jeweiligen Steifen entfernt. Dieser Vorgang wird bis etwa 30 cm unter Strassenoberkante durchgeführt. Die Güte der Bodenverdichtung wird mit dem Künzelstab geprüft. Sodann zieht man die Rammträger zur Wiederverwendung.

Das Tunnelbauwerk wird im Unterschied zu der bis 1934 üblichen gemischten Bauweise aus Stahl und Beton in Stahlbeton mit einer Belastungsannahme von 60-t-Schwerlastzügen gebaut. Der Tunnelquerschnitt wird statisch als Rechteckrahmen mit gelenkiger Mittelaussteifung angesehen (Bild 4, unten).

Die Isolierung besteht aus nackten Bitumenpappen mit Bitumenklebeaufstrichen (Wasserdruckhaltende Dichtung nach DIN 4031). Die Sohlendichtung wird vor dem Betonieren geklebt, während man bei den Wänden und Decken die Isolierung von aussen auf die trockenen Betonflächen aufbringt. Bei den Wänden wird neuerdings das Giess- und Einwalzverfahren (Bild 6) angewandt; der Anschluss an die Sohlenisolierung wird normal mit rückläufigem Stoss vorgenommen. An besonders stark belasteten Teilen der Bauwerke und an Fugen wird zusätzlich Aluminium- oder Kupferfolie verwendet.

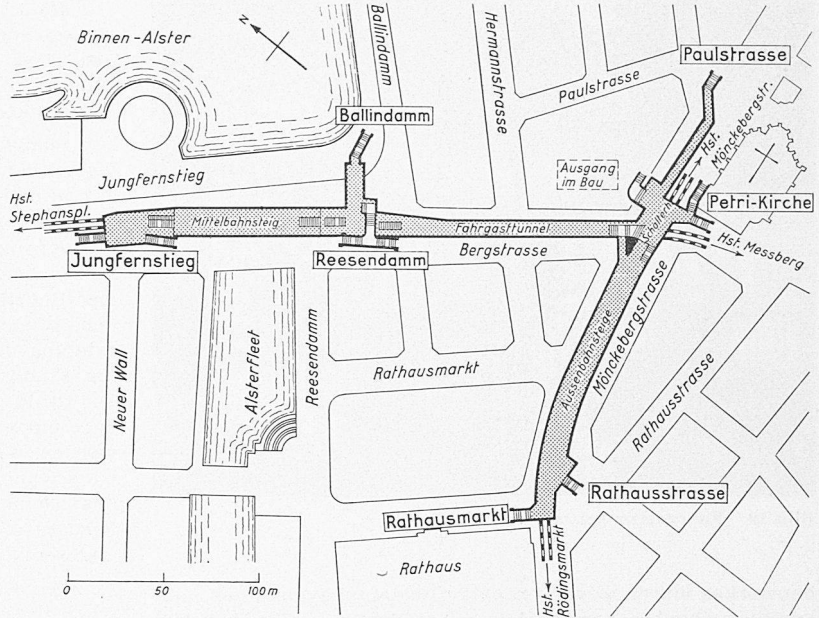
#### Besondere Bauwerke und Bauausführungen

An besonderen Bauwerken ist der Bau des Kreuzungsbauwerkes Mönckebergstrasse, des doppelstöckigen Tunnelbauwerkes in der Bergstrasse zwischen Ballindamm und



Bild 6. Aussenisolierung im Giess- und Einwalzverfahren

Bild 7 (rechts). Plan 1:4000 der U-Bahn-Haltestelle Rathaus



Mönckebergstrasse und des Tunnelstückes am Fusse der St. Petri-Hauptkirche zu erwähnen. Bei Hochbauten wurden z. B. die Frontfundamente zweier Geschäftshäuser gegenüber der Petri-Kirche tiefer geführt und ein altes Speichergebäude bei der neuen Haltestelle Messberg teilweise unterfahren. Nach einer besonders interessanten Bauweise ist die Herstellung des U-Bahn-Tunnels unter einem Hotel ohne Störung seines Betriebes in Angriff genommen worden. Der Reparaturbetrieb eines Kraftwagenwerkes wird vorübergehend abschnittsweise verlagert, um die Voraussetzungen für den Tunnelbau unter der Halle zu schaffen. Die Schildbauweise wurde für die Herstellung von zwei eingleisigen Tunneln unter den Anlagen der Deutschen Bundesbahn in Hamburg-Hauptbahnhof mit Erfolg angewendet.

Soweit die Arbeiten an diesen besonderen Bauwerken beendet sind, ist über die Baumassnahmen folgendes zu berichten:

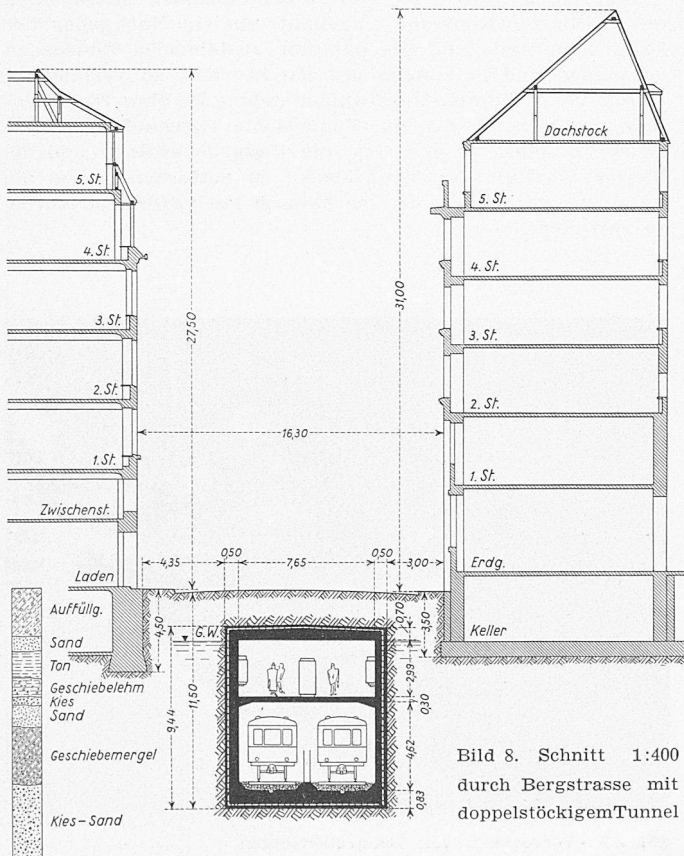


Bild 8. Schnitt 1:400 durch Bergstrasse mit doppelstöckigem Tunnel

Ein wichtiges und umfangreiches Bauwerk ist das Kreuzungsbauwerk Mönckebergstrasse (Bild 7). Es kreuzen sich hier unter einem Winkel von 60° die Tunnel der neuen Strecke und der alten Ringlinie. Der neue Tunnel, der von der Haltestelle Jungfernstieg bis zum Kreuzungsbauwerk zweistöckig ist, hat im unteren Stockwerk den Fahrtunnel und im oberen einen Fahrgasttunnel (Bild 8), der den Fahrgästen der U-Bahn die Möglichkeit gibt, unterirdisch von der Haltestelle Jungfernstieg zur Haltestelle Rathausmarkt, die seit kurzem zu einer Tarifhaltestelle Rathaus zusammengefasst sind, zu gehen und neue Zu- und Abgänge an der Kreuzung Mönckebergstrasse/Bergstrasse zu benutzen. Diese Planung erforderte den Umbau des südlichen Endes der Haltestelle Jungfernstieg. Ein Fahrtreppenpaar und eine feste Treppe benutzen die Fahrgäste, die die Haltestelle am Reesendamm und Ballindamm verlassen wollen, ein weiteres Fahrtreppenpaar am Ende des Bahnsteiges befördert die Fahrgäste in den mit zahlreichen Wand- und Mittelvitruen ausgestatteten Fahrgasttunnel (Bild 10) und zu den Ausgängen in der Mönckebergstrasse (Bild 7).

Der Fahrtunnel der neuen Strecke liegt unter dem alten Ringtunnel. Zwischen beiden Bauwerken ist kein Hohlraum oder Erdpolster vorhanden, d. h. die Decke des neuen Tunnels ist zugleich Sohle des Ringtunnels (Bild 9). Ueber der Decke des alten Ringtunnels ist bis zur Strassenoberkante noch gerade soviel an Höhe gegeben, dass eine unterirdische Verkehrs- und Schalterhalle von 2,20 m lichter Höhe geschaffen werden konnte. Hier ist das Bauwerk dreistöckig. Dies wurde nur dadurch erreicht, dass die Sohle der Halle zugleich als Decke des alten Tunnels in der sehr geringen konstruktiven Dicke von nur 13 cm aus Stahlbeton-Fertigteilen hergestellt wurde. Ausserdem konnte die Decke der Schalterhalle direkt unter der Strassenoberfläche nur durch Verwendung von Beton B 450 dünn gehalten werden. Sie musste darüber hinaus zur Aufnahme der Strassenbahngleise im Zuge der Mönckebergstrasse trogförmig ausgespart werden. Der Ringtunnel im Bereich des Kreuzungs-

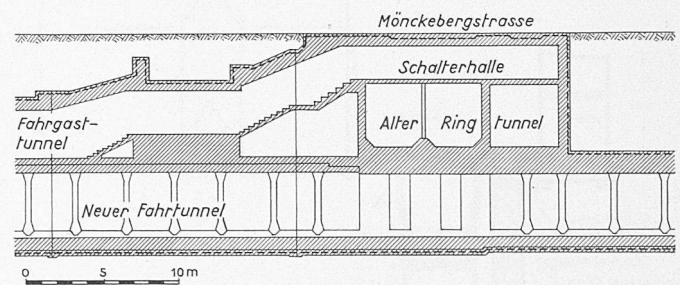


Bild 9. Kreuzungsbauwerk Mönckebergstrasse, Schnitt 1:500

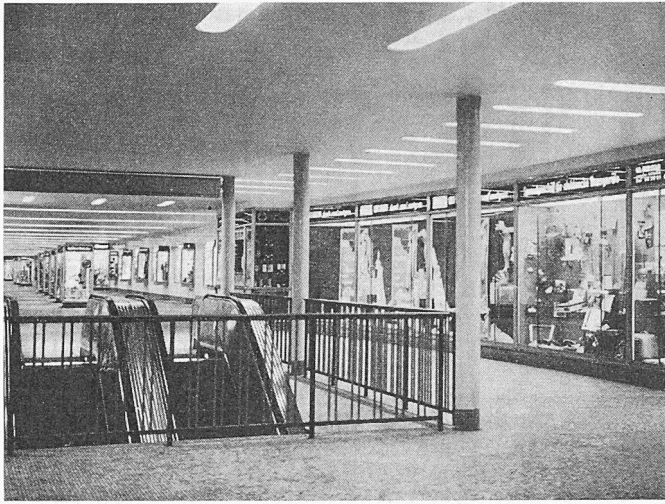
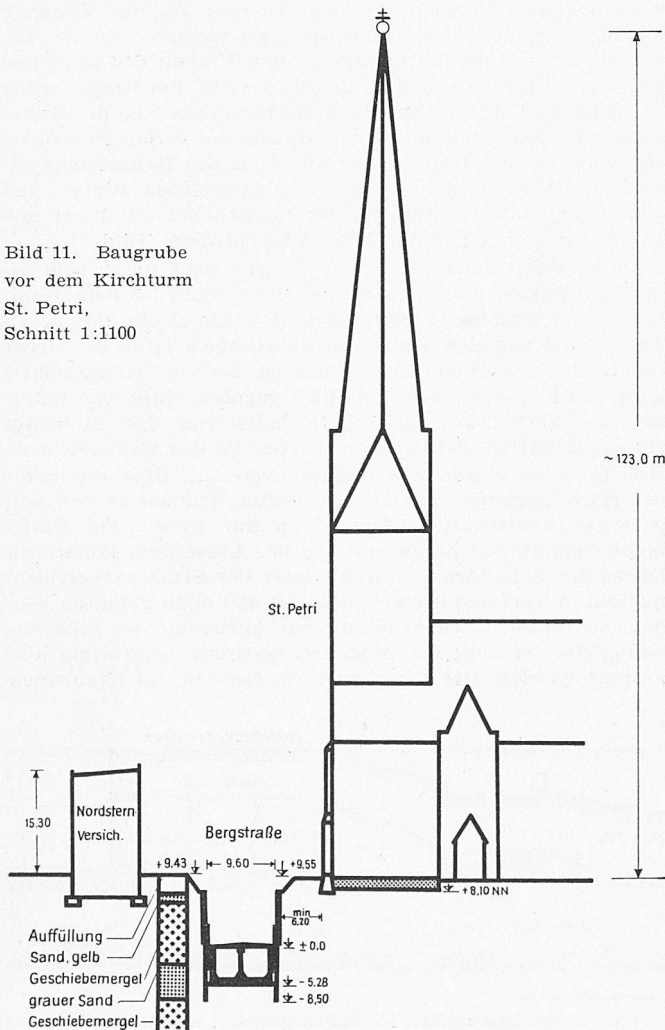


Bild 10. Fahrgasttunnel mit Vitrinen

bauwerkes wurde wegen erhöhter Belastungsannahmen vollkommen abgebrochen, nachdem die Gleise auf Gleisbrücken verlegt waren, die auf Rammträgern der Baugrubenwand und einzelnen Mittelrammträgern auflagern. Der Betrieb der U-Bahn auf der Ringlinie durfte nicht unterbrochen werden. Nur in Ausnahmefällen konnte die normale nächtliche Betriebsruhe von etwa vier Stunden durch eingeleisigen Betrieb auf rd. sieben Stunden erhöht werden. Vor Beginn der Bauarbeiten wurde die Baugrube von Versorgungsleitungen weitgehend freigemacht. Für den Oberflächenverkehr einschl. Strassenbahn wurden Behelfsbrücken eingebaut.

Bild 11. Baugrube vor dem Kirchturm St. Petri, Schnitt 1:1100



Im Bereich des Kreuzungsbauwerkes stand das Grundwasser vor Inangriffnahme der Bauarbeiten auf + 3,10 NN, also etwa bis 2,60 m über der Sohle des vorhandenen Ringtunnels, und es wurde auf - 6,50 NN, das heisst um 9,60 m abgesenkt.

Schwierig ist die Niederbringung der Baugrube vor dem Turm der St. Petri-Kirche (Bild 11), der eine Höhe von 117 m und ein Gewicht von 11 500 t hat. Nach Ermittlungen aus den Jahren 1865/66 und 1934/36 besteht das Grundwerk des Turmes aus Findlingen, deren Zwischenräume mit Ziegelbrocken und Ziegelmehl, also ohne Mörtel, ausgefüllt sind. Der Boden unterhalb des Turmes kann nicht verfestigt werden, da hauptsächlich tonige Schichten anstehen. Eine Unterfangung des Turmes durch Bohrpfähle ist nicht möglich, da die Findlinge das Durchbringen der Bohrrohre verhindern. Die rd. 15 m tiefe Baugrube, die von der südwestlichen Turmecke nur einen Abstand von 7 m hat, muss so niedergebracht werden, dass es weder zu Setzungen des Kirchturmes noch zu seitlichen Verschiebungen des Bodens kommt. Ausserdem ist zu vermeiden, dass ein in Sandschichten unter dem Kirchturmfundament anstehender oberer Grundwasserspiegel abgesenkt wird.

Die Baugrube wurde folgendermassen hergestellt: Von einer etwa 2 m unter Strassenoberfläche durch Bodenaushub geschaffenen Arbeitsebene aus werden rd. 15 m lange breitflansche Profilträger als Stützpunkte im Abstand von 2 m eingerammt. Hinter den der Baugrube abgewandten äusseren Flanschen der Rammträger wird eine Larssen-Spundwand Profil II von 7,50 m Länge als obere Staffel geschlagen. Nach Ausschachten des Bodens bis zu einer Tiefe von rd. 6 m und Einbau der oberen Aussteifungen zwischen den beiden Baugrubenwänden wird eine zweite Spundwand gleichen Profils von rd. 6 m Länge hinter dem inneren Flansch der Rammträger niedergebracht. Sie wird mit einem besonders hierfür konstruierten Pressenwagen in den Boden eingepresst, um Erschütterungen der anliegenden Bauwerke so weit wie möglich zu vermeiden. Die Aussteifung der Baugrubenwände gegeneinander erfolgt mittels stählerner Steifen aus Breitflanschprofilen, die zwischen den sich gegenüberliegenden Rammträgern eingebaut werden. Diese Steifen werden hydraulisch vorgepresst und mit Stahlkeilen gespannt (Bild 12). Nach den theoretisch ermittelten Vorspanngrössen werden die Steifen der einzelnen Steifenlagen unter scharfer Kontrolle eingebaut, um ein Nachgeben der Baugrubenwände und des dahinter anstehenden Bodens zu vermeiden und Setzungen des Kirchturmes zu verhindern. Durch die erwähnten Massnahmen gelang es, ohne Zwischenfälle den Aushub bis zur Tunnelsohle durchzuführen, das Bauwerk selbst zu erstellen, die Baugrubenwände und die Steifen oberhalb der Tunneldecke zu entfernen, sowie die Baugrube mit Boden, der mechanisch gut verdichtet wurde, zu verfüllen.

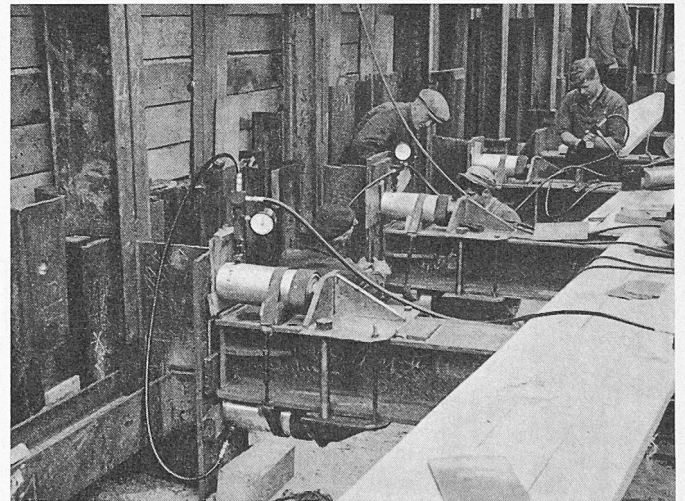


Bild 12. Vorspannen von Baugrubensteifen

Neben den Fundamenten eines Hauses gegenüber der St. Petri-Kirche verläuft die Baugrube des Tunnels in sehr geringem Abstand. Beim Aushub der Baugrube wären die Fundamente des Hauses freigelegt worden. Da die Baugrubensohle rd. 12 m unterhalb des Hausfundamentes liegt, muss das Fundament tiefer geführt werden. Bohrpfähle von 15 m Länge werden vom Keller des Hauses aus und gleichzeitig auch ausserhalb des Hauses hergestellt. Auf die Köpfe der Bohrpfähle werden Stahlbetonholme betoniert, die etwa parallel zu den Fundamenten des Hauses verlaufen. Durch die Hausfundamente werden an einigen Stellen schwere Peinerträger gezogen, die auf den Holmen aufliegen. Eine Probelastung lässt erkennen, dass die Pfähle die Fundamentlasten auf den Baugrund übertragen. Nunmehr werden die Träger in den Fundamenten verkeilt und mit Beton verpresst, so dass die Lasten von den Pfählen innen und aussen abgetragen werden. Im Schutze dieser Brücke wird mit Ausbohlungen und Aussteifungen bei Grundwassersenkung ein Schacht bis rd. 1,5 m unter Tunnelsohle niedergebracht, in dem das Haus ein neues, tieferes Fundament erhält. Nunmehr kann der Tunnel gebaut werden.

Wie sich die Baugrube des 530 m langen *Bauloses* «Messberg» durch die Bebauung, die teilweise entfernt werden musste, zieht, zeigt Bild 13. Dieses Los liegt im ältesten Stadtteil Hamburgs, der früher von einer grossen Anzahl von Kanälen (Fleete) durchzogen war, die mit der Elbe, also unter dem Einfluss von Ebbe und Flut, in Verbindung standen und in früheren Jahren mit Abbruch-, bzw. Trümmerschutt aufgefüllt worden sind. Unter der allgemeinen Auffüllung des Geländes um 3 bis 5 m Höhe stehen 5 bis 7 m Kleiboden an. Es folgt eine Sandschicht, auf der das Tunnelbauwerk gegründet wird. Da eine Verbindung des Grundwassers mit der Elbe über den Zollkanal zu befürchten war, wurden eingehende Ueberlegungen wegen der Absenkung des hohen Grundwasserstandes angestellt. Diese Befürchtungen stellten sich als unbegründet heraus, da die Sohle des Zollkanals durch Schlickfall natürlich abgedichtet ist. Nach Abdichtung einiger alter Abwasserkanäle, die durch ihre Einmündung in den Zollkanal noch Wasser in die Baugrube brachten, konnte der Grundwasserstand durch 16 Brunnen langsam aber erfolgreich bis unter Baugrubensohle abgesenkt werden. Einige Monate nach Erreichen des Absenkzieles, das in weiterem Umkreis der Baugrube durch regelmässiges Ablesen von etwa 50 Pegelbrunnen beobachtet wird, sind bereits eine grössere Anzahl Brunnen abgeschaltet werden. In einzelnen Abschnitten dieses Bauloses wurde der tragfähige Sandboden, als Gründungssohle des Tunnels, erst 2 m tief unter der Bauwerksohle angetroffen. Der anstehende Kleiboden wurde ausgeschachtet und durch mit modernen Geräten verdichteten Sand ersetzt.

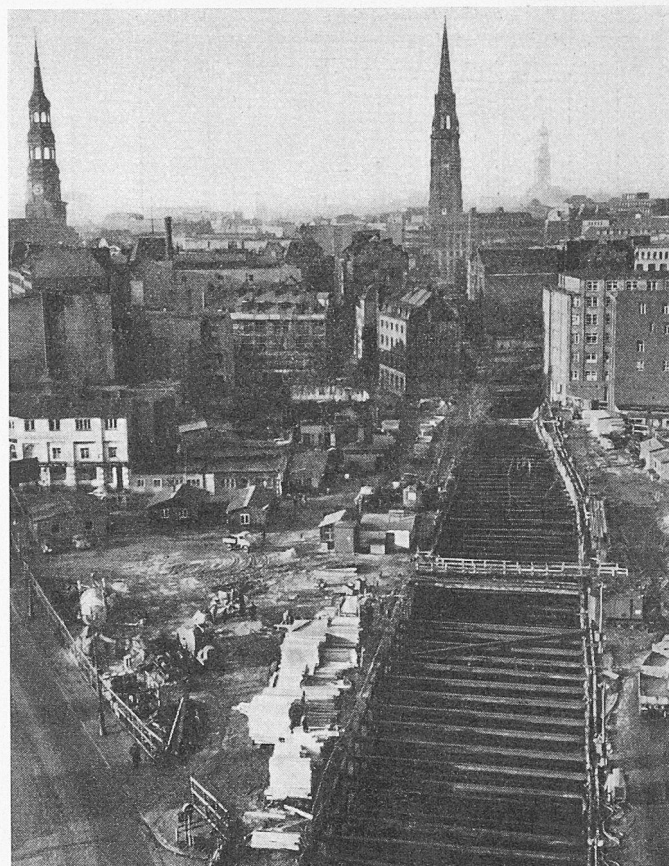


Bild 13. Baugrube Los Messberg

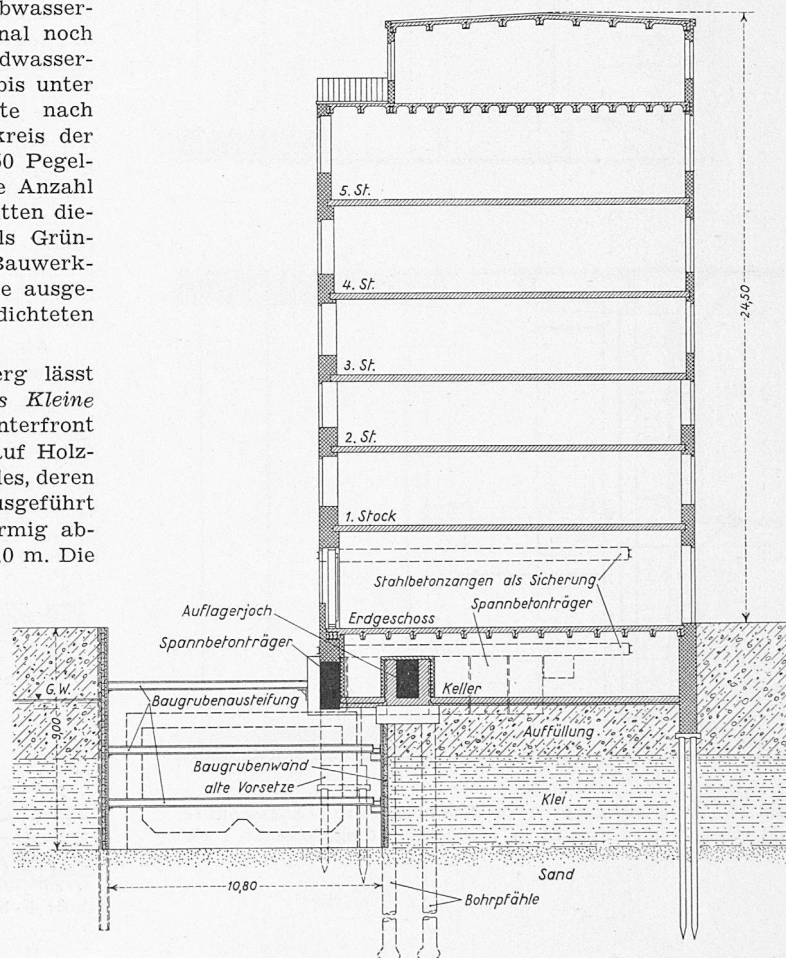


Bild 14. Baugrube im Bereich des Hauses Kleine Reichenstrasse 3, Schnitt 1:300



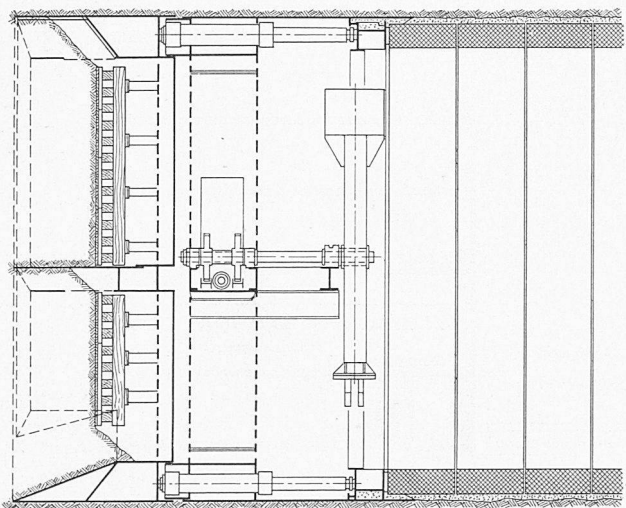
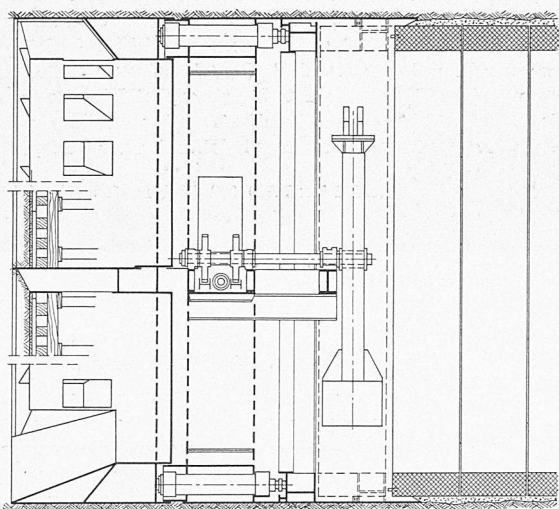
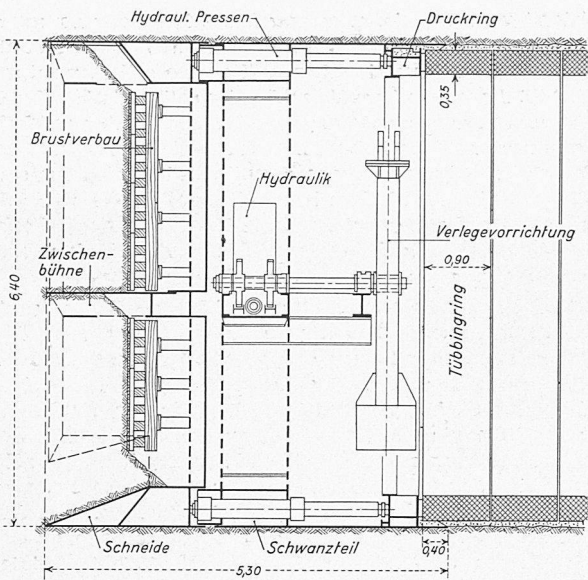
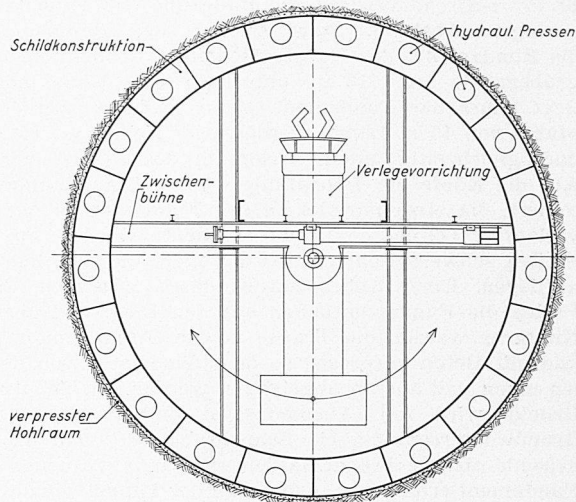


Bild 16. Arbeitsvorgang beim Schildvortrieb, Längsschnitte und (oben rechts) Ansicht in Vortriebsrichtung. Masstab 1:100

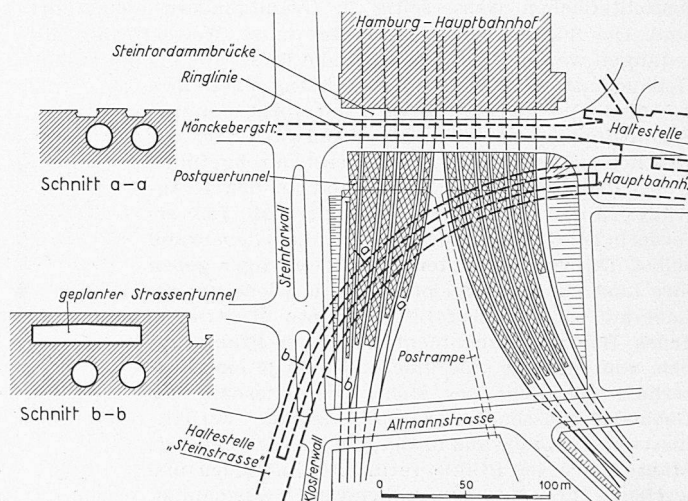


indem auf ihre Aussenfläche Winkel aufgeschweisst werden, hinter deren Schenkel die Bohlen der Baugrubenwand eingebaut sind. Die Bauarbeiten wurden ohne Störungen und, ohne dass Setzungen in dem Gebäude auftraten, programmgemäss durchgeführt.

Im ersten Abschnitt zwischen Jungfernstieg und Hauptbahnhof sind die Anlagen der Deutschen Bundesbahn mit 17 Gleisen zwischen Altmannstrassen- und Steintordammbrücke von der neuen U-Bahnstrecke zu unterfahren (Bild 15). Wegen des sehr starken Verkehrs auf den Bundesbahngleisen muss ein Bauverfahren gewählt werden, das den Verkehr der Bundesbahn möglichst wenig stört. Auch die Posttunnel der Bundespost, wie der Quertunnel, der die Dienstbahnsteige miteinander, und der Tunnel der Postrampe, der den Quertunnel mit dem Bahnpostamt verbindet, werden vom U-Bahn-Bauwerk berührt und sind unter schwierigsten Verhältnissen teilweise umzubauen. Auf Grund eines Wettbewerbes, der unter für derartige Bauaufgaben erfahrenen Firmen beschränkt ausgeschrieben wurde, fiel die Wahl des Bauverfahrens auf die Schildbauweise, die nicht nur den Forderungen von Bundesbahn und Bundespost weitgehend entgegenkommt, sondern hier auch wirtschaftlich ist. Dieses Bauverfahren wird in Deutschland erstmalig beim U-Bahn-Bau angewendet. Um den Durchmesser eines kreisrunden Querschnittes möglichst gering zu halten, wird der normale zweigleisige Tunnel in zwei eingleisige Tunnelröhren aufgelöst, die zusammen eine Länge von etwa 550 m haben.

Als Ausgangspunkt für den Vortrieb der beiden Tunnelröhren wird ein Ansatzschacht von  $20 \times 10$  m auf eine Tiefe von 18 m niedergebracht. Von dem Ansatzschacht aus verlaufen die zwei Tunnelröhren mit einem Aussendurchmesser von 6,35 m unter Strassengelände mit einer Ueberdeckung

Bild 15 (rechts). Lageplan 1:4500 der Unterfahrung Hauptbahnhof



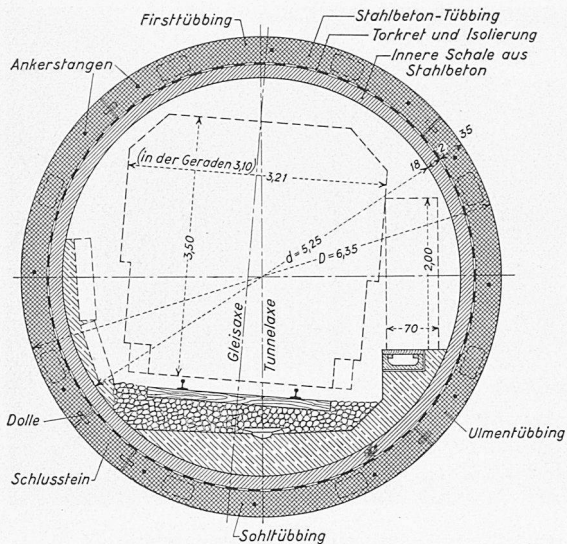


Bild 17. Eingleisige Tunnelröhre aus Stahlbetonfertigteilen, Schnitt 1:100

von rd. 12 m, unter den Gleisen der Bundesbahn mit einer solchen von i. M. nur 3 m. Im Zuge des Vortriebes müssen sehr unterschiedliche Bodenschichten durchörtert werden. Im mittleren Bereich wird der ehemalige Hamburger Stadtgraben angeschnitten, der um die Jahrhundertwende für den Bau des Hamburger Hauptbahnhofes zur Aufnahme des Bahngeländes in Anspruch genommen wurde. Das im gesamten Durchfahrungsbereich anstehende Grundwasser wird während der Bauzeit durch eine Absenkungsanlage unter Tunnelsohle gehalten. Da der Vortrieb unter Druckluft entfällt, wird der Baufortschritt wesentlich gefördert.

Der Schild (Bild 16) ist eine zylindrische Stahlkonstruktion mit einem Aussendurchmesser von rd. 6,40 m und einer Länge von 5,30 m. Er besteht aus Schneide und Schwanzteil mit einer Zwischenbühne und hat ein Gewicht von rd. 70 t. Die Dicke des Stahlbleches des Schildes beträgt 20 mm. Die Zwischenbühne ist im vorderen Teil als Schneide ausgebildet und trägt im Schwanzteil die Hydraulik für die Vorschubpressen und die Verlegevorrichtung für die Stahlbetonfertigteile, die die tragenden Teile der Tunnelröhre sind. Die Vorwärtsbewegung des Schildes wird durch 20 hydraulische Pressen mit je 100 t Druckkraft erzielt, die sich über einen beweglichen Druckring im Schwanzende gegen die bereits fertige Tunnelröhre abstützen. Die Tunnelstrecke liegt zum grösseren Teil in einer Kurve. Die Steuerung des Schildes in der vorgeschriebenen Bahn wird durch unterschiedliche Pressendrucke erreicht; ausserdem kann durch Verstellen der beiden Schildteile gegeneinander eine Korrektur der Fahrtrichtung erzielt werden.

Die Arbeitsvorgänge beim Vortrieb, abgesehen von den Anfahrmassnahmen aus dem Ansatzschacht heraus, sind folgende:

1. *Vordrücken des Schildes.* Mit Hilfe der Pressen wird der Schild um rd. 90 cm in das vor der Schneide anstehende Erdreich vorgedrückt, wobei je nach Bodenart die Brust verbaut oder frei sein kann. Nach Beendigung des Vordrückens überdeckt das Schwanzende des Schildes noch um rd. 40 cm den zuletzt eingebauten Tübbingring, ohne dass der Druckring seine Lage verändert.

2. *Abbau des Bodens vor Ort.* Der Boden an der Brust wird von oben nach unten unter ständigem Umsteifen des Brustverbaues abgebaut und über ein Förderband in Transportwagen verladen, in den Ansatzschacht gefahren, über Aufzüge zutage gefördert und mit Lastwagen abgefahren. Während des Abbaues des Bodens vor Ort verbleibt der Druckring satt an der Stirn des zuletzt eingebauten Tübbingringes.

3. *Zurückziehen der Pressen.* Nach Abschluss der Bodenförderung wird der Druckring durch Einfahren der ausgefahrenen Pressen vom letzten Tübbingring abgezogen und

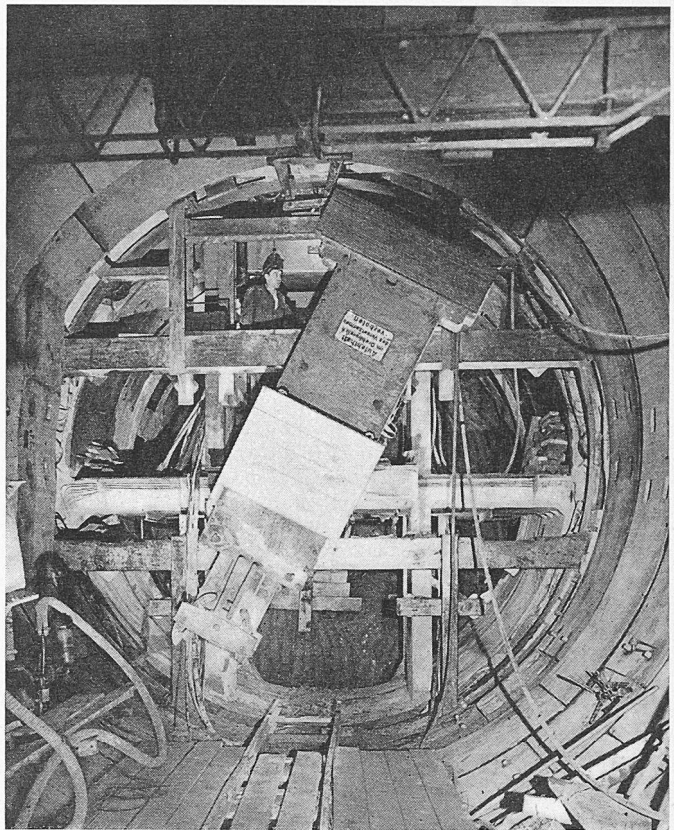


Bild 18. Blick in Vortriebsrichtung in die Tunnelröhre ohne Innenausbau

schafft ausreichenden Platz für den Einbau des nächsten Tübbingringes im Schutze des Schwanzbleches.

4. *Versetzen der Tübbings.* Die Tübbings bestehen aus Stahlbeton; sie haben eine Breite von 90 cm und eine Dicke von 35 cm, werden in einem Betonwerk in Stahlschalung ringweise hergestellt, zur Baustelle transportiert, mit einem Kran in den Ansatzschacht herabgelassen und von dort mit Spezialwagen auf Feldbahngleis vor Ort gefahren. Ein Tübbingring hat ein Gewicht von 15 t und besteht aus fünf Teilen, nämlich dem Sohlen- und Firrstübbing, den beiden Ulmentübbings und einem Schlusstein (Bild 17). Die einzelnen Tübbingsteine werden mit dem hydraulisch betätigten, im Schild eingebauten Versetzarm (Bild 16) in der Reihenfolge Sohlentübbing, Ulmentübbing, Firrstübbing (der durch eine besondere Abfangkonstruktion in seiner Lage gehalten wird) und Ulmentübbing verlegt. Letzterer wird für den Einbau des Schlussteines gegen den Sohlentübbing abgestützt. Die fünf Teile eines Tübbingringes sind durch Dollen miteinander verbunden, zwölf Längsanker verbinden die einzelnen Tübbingringe miteinander. Beim nächsten Vordrücken des Schildes wird das Schwanzblech mit vorwärts gezogen. Der zwischen dem eingebauten Tübbingring und dem Gebirge entstandene Hohlraum wird zur Vermeidung von Setzungen des überlagernden Gebirges mit einem Gemisch von Mergel, Zement und Wasser verpresst.

Nach Beendigung des Vortriebes beginnt der Innenausbau. Da die Tunnelröhren im Grundwasser liegen, werden sie von innen isoliert; sie erhalten vorher zum Ausgleich von Unebenheiten der Tübbingsteine einen Torkretputz. Der Wasserdruck selbst wird durch eine innere, aus Ortbeton hergestellte Stahlbetonauskleidung aufgenommen, die zugleich für die Einspannung der Isolierung sorgt.

Der Vortrieb der Schilde, der Tunnelrohbau aus Tübbingringen (Bild 18) und die Umbauten an den Posttunneln sind reibungslos und ohne Störung des Betriebes der Bundesbahn und Bundespost zeitplanmässig verlaufen.

Im Lübeckertordamm wurde im Jahre 1957 eine neue Tunnelbauweise an einem Baulos von 150 m Länge ausprobiert. Es handelt sich hierbei um die Konstruktion eines

2 m langen vorgefertigten Spannbetonteiles des zweigleisigen U-Bahnprofils, das in eine in verbesserter Berliner Bauweise hergestellte offene Baugrube eingesetzt wird. Das Gewicht des Fertigteiltes mit Mittelstütze beträgt rd. 38 t. Eine Abdichtung der Fertigteilte gegen Grundwasser ausser mit einem äusseren Schwarzanstrich wird nicht vorgenommen, da sie werkstattmässig in Vorspannungstechnik hergestellt sind. Nur an den Stosstellen sind an beiden Enden der Werkstücke herausstehende Dichtungsbänder aus Kunststoff miteinander elektrisch verschweisst worden.

Die in einem Betonwerk angefertigten Teile werden in Stahlformen hergestellt, dampfgehärtet und nach 36 Stunden bereits aus der Schalung herausgenommen. Sie werden auf Culemeyer-Fahrzeuge<sup>2)</sup> verladen und in den späten Abend- oder Nachtstunden, wenn der Strassenverkehr schwach ist, unter Begleitung durch Polizei über 7 km Entfernung zur Baustelle gefahren und auf einer Bühne über der Baugrube abgestellt. Ein Portalkran nimmt die schweren Teile hoch, so dass das Culemeyer-Fahrzeug für die nächste Fahrt frei wird. Das Stück wird gedreht und in der Baugrube an das vorherige Stück bis auf etwa 6÷7 cm herangesetzt (Bild 19). In dieser Fuge von 6÷7 cm findet die Verschweissung der Fugendichtung statt; die Fuge wird abschliessend vermörtelt. In einer Nacht sind bis zu vier Fertigteilte auf der Baustelle angeliefert worden. Da vorerst der Betrieb der U-Bahn auf diesem Streckenteil noch nicht aufgenommen werden kann, hat man unter Nachahmung der Betriebsverhältnisse der U-Bahn durch Schwingversuche eine Ueberprüfung der Fertigteilte vorgenommen. Schäden am Fertigteil oder Undichtigkeiten sind nicht aufgetreten.

<sup>2)</sup> Siehe SBZ Bd. 102, S. 276 (15. Juni 1935).

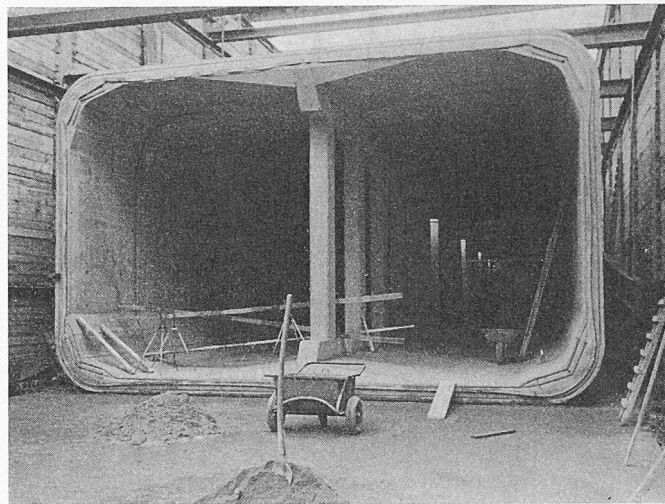


Bild 19. Zweigleisiges Tunnelfertigteil in Spannbeton

#### Stand der Arbeiten

Alle Baulose des ersten und zweiten Bauabschnittes mit einer Gesamtlänge von 3530 m sind in Ausführung begriffen. Am 1. Sept. 1959 waren Teilstücke von ungefähr 2150 m im Rohbau bereits fertiggestellt. Ein Baulos des dritten Bauabschnittes wird im laufenden Etatsjahr in Angriff genommen werden.

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

## Mekydro-Kraftübertragungen in Diesellokomotiven

DK 621.831:625.282—843.6

Die Firma Maybach, Motorenbau, GmbH., Friedrichshafen, die dieses Jahr die Feier ihres fünfzigjährigen Bestehens begehen konnte, hat neben ihren bestbekanntesten schnelllaufenden Dieselmotoren für Fahrzeugantrieb auch ein Getriebe für grosse Leistungen entwickelt, das gegenüber elektrischer Kraftübertragung bemerkenswerte Vorteile aufweist und dessen Anwendung im Lokomotivbau in der «Motortechnischen Zeitschrift» vom Juli 1959, S. 268 bis 275, von F. Koch, Friedrichshafen, beschrieben wird.

Wie Bild 1 erkennen lässt, vereinigt das Mekydro-Getriebe in einem vollkommen geschlossenen, öldichten Graugussgehäuse alle Elemente, einschliesslich der automatischen Steuerung und des Wendetriebs. Das Pumpenrad des Drehmomentwandlers 1 wird vom Motor über ein ins Schnelle übersetztes Räderpaar 2 und eine Hohlwelle angetrieben. Die dadurch erreichte hohe Umlaufgeschwindigkeit des Wandlers wirkt sich in entsprechend geringem Gewicht und Raumbedarf aus. Die Uebersetzung erlaubt eine Anpassung des Wandlers an Leistung und Drehzahl des jeweiligen gewählten Motors. Das Turbinenrad des Wandlers ist ausrückbar und erfüllt damit gleichzeitig die Funktion einer Trennkupplung. Zum Ein- und Ausrücken des sekundären Teiles dient ein durch Oeldruck betätigter Zylinder 3. Vom sekundären Teil aus erfolgt der Antrieb des eigentlichen Vierganggetriebes, das aus drei Räderpaaren a—f besteht, mittels einer Welle 4, die durch die Hohlwelle des Pumpenantriebs hindurchgeführt ist. Die Zahnräder des Getriebes sind stets in Eingriff. Sie sind im Hinblick auf geräuscharmen Betrieb schräg verzahnt und in den Flanken geschliffen. Die Gangschaltung wird durch die bekannten Maybach-Abweisklauenkupplungen 5 vollständig automatisch in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Motorbelastung vorgenommen.

Zur Fahrt in beiden Richtungen dient der unmittelbar an das Getriebe anschliessende Wendetrieb 6, dessen Räder wechselseitig den Kraftfluss in der einen oder anderen Richtung auf ein gemeinsames, darunter angeordnetes Abtriebsrad 7 übertragen. Von hier aus erfolgt schliesslich über Flansch 8 der Antrieb der Achsen durch Kardanwellen. Eine

Zahnradpumpe 9 übernimmt die Oellieferung für die Steuerung, die Speisung des Wandlers und die Schmierung des Getriebes. Zum Abführen der Verlustwärme des Wandlers ist ein besonderer Wärmeaustauscher vorgesehen, in dem das Betriebsöl gekühlt wird.

Der Hauptvorteil dieses Getriebes besteht im geringen Gewicht der ganzen Kraftübertragung. In vielen Fällen kommt man mit geringerer Achszahl der Lokomotiven aus. So wiegt beispielsweise die Lokomotive V 200 der Deutschen Bundesbahn von 2200 PS mit hydraulischer Kraftübertragung nur 80 t, während die gleichstarke Lokomotive 060-DA der SNCF mit elektrischer Uebertragung auf 120 t kommt. Die dieselelektrischen Lokomotiven D 100 und D 200 der Britischen Eisenbahnen sind mit 144 bzw. 134 t noch schwerer. Die hydraulische Kraftübertragung setzt sich aus einfachen, leicht zu übersehenden mechanischen Bestandteilen zusammen, so dass ihre Pflege und Unterhaltung keine besonderen Anforderungen an das Betriebspersonal stellen. Diese Teile können nach aussen luftdicht abgeschlossen werden, verschmutzen daher nicht und sind frei von Witterungseinflüssen, was z. B. in feuchtem, tropischem Klima oder in schneereichen Gegenden bedeutungsvoll ist. Der Wirkungsgrad, bezogen auf die Leistung am Radumfang, ist, mit rd. 80 %, über den ganzen Fahrbereich betrachtet, ungefähr gleich dem einer elektrischen Uebertragung; bezogen auf die Leistung am Zughaken ist er dank geringerem Lokomotivgewicht wesentlich günstiger, besonders im Reisezugeinsatz und bei der Beförderung von Güterzügen auf langen Steigungen. Die Anfahrverhältnisse sind wegen absolut gleichförmigem Drehmoment nach dem Wandler günstig. Es können sämtliche Achsen gekuppelt und so das gesamte Lokomotivgewicht für die Uebertragung der Leistung ausgenützt werden. Bei Entlastung einer Achse erhöht sich die Belastung der andern und so bleibt die volle Reibungszugkraft erhalten.

Die Mekydro-Kraftübertragung wird in drei Grössen für 600 PS (Typ KL 64), 1100 PS (K 104) und 1800 PS (K 184) Eingangsleistung gebaut. Die übliche Antriebsdrehzahl liegt im Bereich von 1200 bis 1600 U/min. Wichtige Bau-