

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 100 (1982)  
**Heft:** 50

**Artikel:** Unterirdisches Bauen: Bericht von der Stuva-Tagung in Berlin  
**Autor:** Brandenburg, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74909>

### **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:** 17.03.2025

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

# Unterirdisches Bauen

## Bericht von der Stuva-Tagung in Berlin

An der Tagung «Unterirdisches Bauen – Gegenwart und Zukunft», veranstaltet von der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (Stuva), nahmen über 1000 Fachleute aus zwölf Ländern teil. Sie fand vom 23. bis 26. Nov. 1981 im Internationalen Kongresszentrum (ICC) in Berlin statt. Sie bot neben Baustellen- und Projektbesichtigungen 27 Fachvorträge, in denen Fragen des unterirdischen Bauens einschliesslich der Ergebnisse staatlicher und privater Forschung behandelt wurden. Der folgende Beitrag basiert auf einem Bericht von W. Brandenburg, Stuva, Köln, und auf Ergänzungen von G. Brux, Frankfurt.

Vor den offiziellen Begrüssungsansprachen eröffnete *Günter Girnau* (Vorstandsvorsitzender der Stuva und Präsident der International Tunnelling Association, ITA) die Tagung. Er betonte die Notwendigkeit des Ausbaus der Verkehrswege unter Nutzung des unterirdischen Raumes auch in Zeiten wirtschaftlicher Restriktionen und regte u. a. an, über die *Möglichkeiten einer Verringerung der Anforderungen im unterirdischen Bauen* nachzudenken und gab dazu einige Beispiele:

- Die im Laufe der Jahre entwickelten und immer mehr verfeinerten Gesetze, Normen, Richtlinien usw. sollten einmal kritisch auf ihre Kosten und Folgekosten (!) hin überprüft werden und nicht nur auf den Grad ihrer Vollkommenheit.
- Nicht jede Strassenbahnlinie mit täglich 5000 bis 10 000 Fahrgästen muss unter die Erde gelegt und stadtbahn-mässig ausgebaut werden. Das dort verbrauchte Geld wird unter Umständen an anderer Stelle des U- oder Stadtbahnbaues dringender benötigt.
- Muss wirklich für alle unterirdischen Bahnen Kreuzungsfreiheit gefordert werden? Linien geringer Zugdichte liessen auch andere Regelungen zu.
- Muss ein Tunnel für Fahrzeuge unterschiedlicher Abmessungen ausgelegt und gebaut werden, wenn eines davon erst im Jahr 2000 fahren wird?
- Das Ausland beweist, dass Tunnel nicht unbedingt «staubtrocken» zu sein brauchen; müssen sie es bei uns in allen Nutzungsfällen sein?
- Könnten die Bahnsteige der Bahnhöfe verhältnismässig schwach belasteter Linien nicht kürzer sein als zur Zeit 80 m oder 120 m?
- Sind geringere Höhenunterschiede immer durch Rolltreppen und Aufzüge zu überwinden? Deren Betriebskosten betragen nämlich je nach Einsatzbedingungen und Einrichtung jährlich 10 000 bis 20 000 Mark.
- Müssen aus der «Sorge vor nachträglichem Ärger» wirklich 6000 DM/m Doppelgleis für einen aufwendigen Oberbau für Schall- und Erschütterungsschutz investiert werden? Das ist viermal so viel wie für den üblichen Oberbau.

Die Reihe der Fachvorträge eröffnete *E. Broch* (TH Trondheim) mit seinem Beitrag über «*Unkonventionelle Nutzung des unterirdischen Bauraumes, dargestellt an Beispielen aus Skandinavien*». In den letzten Jahrzehnten wird der Raum unter Tage ausser für Bauten, wie *Wasserkraftwerke* und *Luftschutzanlagen*, in Skandinavien auch zum *Lagern von Gütern* genutzt. Es entstanden Trinkwasserbehälter, Streusandbunker, Melassesilos, Lager für Wein, Bier und Branntwein sowie Tiefkühlager; auch staatliche Archive wurden unterirdisch angelegt. Kostenuntersuchungen zeigen wirtschaftliche Vorteile; in einigen Fällen waren sogar die Baukosten geringer. Weitere *Vorteile* sind

### Nutzung des unterirdischen Raumes

- Sicherheit gegen Einwirkungen von aussen (Verunreinigungen, Sabotage, Krieg),  
 - gute Erweiterungsmöglichkeiten,  
 - Landschaftsschutz,  
 - geringe Betriebs- und Unterhaltungskosten,  
 - gute Wärmeisolierung und  
 - gleichbleibende Temperaturen.

- gute Wärmedämmung und
- gleichbleibende Temperaturen.

Bei den unterirdischen *Wasserkraftwerken*, von denen über die Hälfte aller derartigen Anlagen der Welt in Norwegen liegt, lässt man die Wände jetzt unverkleidet und gestaltet die Innenausstattung zunehmend einfacher; in einigen Fällen verzichtet man sogar auf das *Wasserschloss* und ersetzt es durch eine Kammer mit Druckluft bis zu 75 bar, die wie eine Feder wirkt (Bild 1). – Andere Anwendungen sind Zivilschutzanlagen, die zum Parken, als Lager oder für den Sport (Handball, Eishockey, Schwimmen) genutzt werden, sowie Fabriken, Aufbereitungsanlagen für Frisch- und Abwasser, Fernsprech- und Stromverteilungsanlagen.

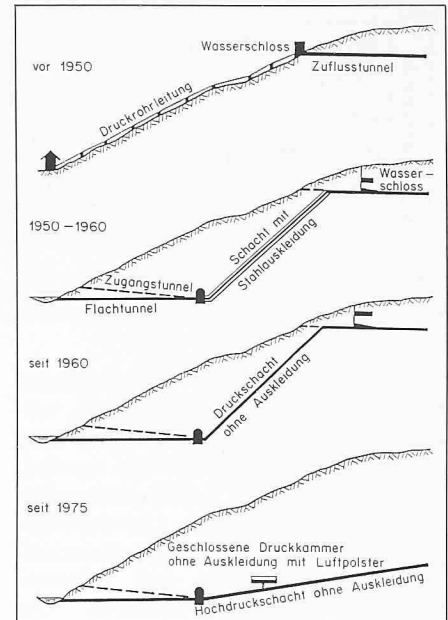
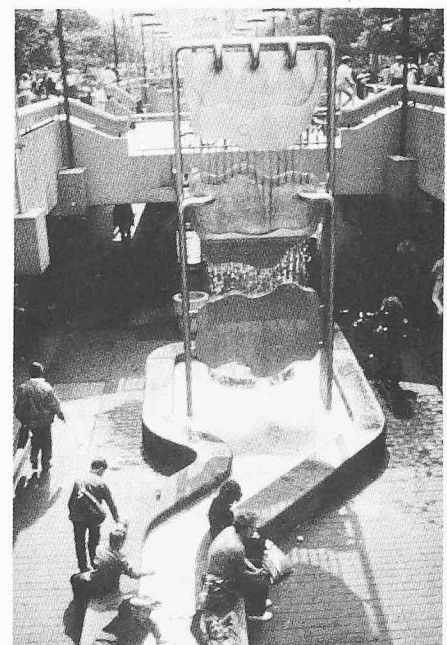


Bild 1. Entwicklung der Gestaltung von Wasserkraftanlagen in Norwegen

Anschliessend sprach *K. Scheelhaase* (U-Bahn-Bauamt Hannover) über die «*Abgesenkte Fussgängerstrasse in Hannover – Erfahrungen und kritische Wertung*». Ein Ingenieurbauwerk hat meist nur eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen, die den Entwurf bestimmt. Bei der *Passerelle*, die zusammen mit einem U-Bahn-Tunnel gebaut wurde (Bild 2), mussten jedoch erst die Ziele, die man erreichen wollte, erarbeitet werden. Sie umfassen neben technischen, städtebaulichen, verkehrstechnischen und wirtschaftlichen auch gesellschaftspolitische, künstlerisch-gestalterische sowie organisatorische und juristische Gesichtspunkte. Nach jetzt etwa sechsjäh-

Bild 2. Abgesenkte Fussgängerstrasse in Hannover (Passerelle)



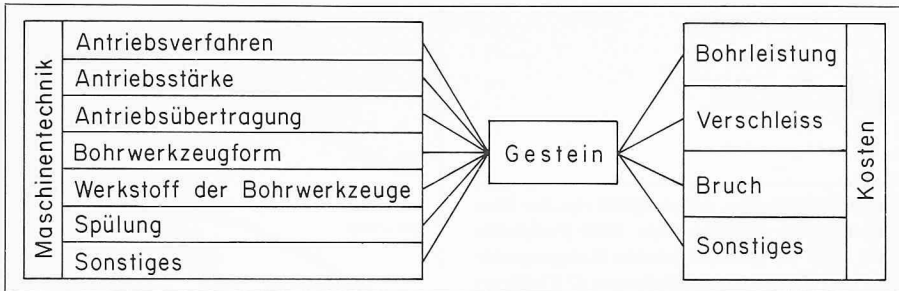


Bild 3. Einfluss des Gesteins auf Maschinentechnik und Kosten im Tunnel- und Bergbau

riger Nutzung ergibt eine kritische Wertung, dass die städtebaulichen, verkehrstechnischen, gestalterischen und wirtschaftlichen Ziele erreicht wurden, nicht jedoch alle gesellschaftspolitischen Vorstellungen (Anziehungspunkt auch abends, nicht-kommerzielle Nutzung, Aktions- und Informationsmöglichkeiten), wodurch der Nutzwert dieser Anlage erheblich gemindert wird. Es werden Möglichkeiten gezeigt, wie derartige Fehler schon bei Planung und Entwurf vermieden werden.

Der folgende Vortrag von W. Anselment (Ingenieurbüro Anselment, Karlsruhe) behandelte die «Zivilschutznutzung von Tiefgaragen». In Schweden bestehen für 65 Prozent und in der Schweiz für 80 Prozent der Zivilbevölkerung im Ernstfall Schutzplätze, in der Bundesrepublik Deutschland dagegen für weniger als 4 Prozent. Die «Bautechnischen Grundsätze für Grossschutzräume in Verbindung mit Tiefgaragen als Mehrzweckbauten

(März 1979)» bieten die Möglichkeit, Versäumtes nachzuholen. Das Bauprogramm weist ein ausgeglichenes Verhältnis von Kosten und Schutzwirkung auf und bietet weitgehenden Überlebensschutz gegen radioaktive Reststrahlungen, biologische und chemische Kampfmittel sowie gegen Trümmerbelastung und Brandeinwirkung. Unter normalen Planungsbedingungen reichen die Mittel des Programms für die zivilschutzbedingten Mehrkosten aus. In den Wohngebieten mit dem grössten Nachholbedarf sollen Hausschutzräume gebaut werden und in den Stadtzentren mit fehlenden Tiefgaragen öffentliche Schutzplätze. Die Lastannahmen berücksichtigen Eigen-gewicht, Verkehrslast und Ersatzlasten für einstürzende Bauwerke. Es werden biegesteife Anschlüsse zwischen Wand und Decke sowie eine Mindestbewehrung gefordert. Solche Schutzräume werden dann einem Druck von 0,2 bis 0,3 bar standhalten. Das zusätzliche Bauvolumen wird etwa 8 Prozent bei kleinen und 4 Prozent bei grossen Anlagen je nach Grundrissgestaltung betragen.

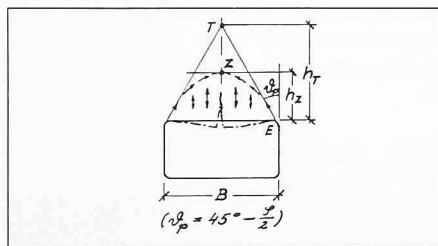
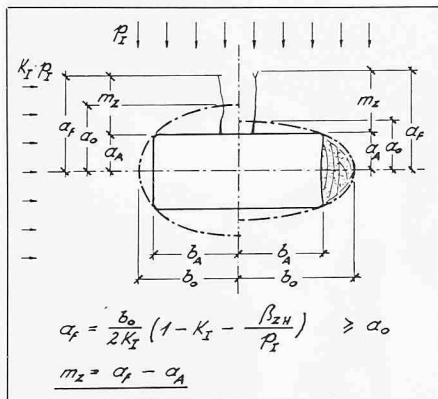


Bild 4. Grundsatzschema eines domartigen Niederbruchs

Bild 5. Aufreissen der Firste (und der Sohle) bei horizontaler Zugbeanspruchung; Zustand nach Quetschbrüchen am Ulm (rechts)



schnittmaschinen im Tunnel- und Bergbau». Auf den Verschleiss und die Löseleistung haben Anteil und Korngrösse der schleissenden Minerale, Kornbindungsart, Zug- und Druckfestigkeit, Zähigkeit und Durchtrennungsgrad (Schichtflächen, Klüfte) sowie maschinentechnische Kennwerte, wie Andruck, Drehmoment, Meisselstellung und -material, installierte Leistung und Randbedingungen, Einfluss (Bild 3). Da das von den meisten Herstellern und Betreibern von Tunnelvortriebsmaschinen für die Verschleissbestimmung benutzte Indexverfahren keine sicheren Angaben für einen wirtschaftlichen Maschineneinsatz liefert, wurden in den letzten Jahren Grundlagenuntersuchungen über das Verhältnis Werkzeugverschleiss - Gestein durchgeführt und zunächst für Rohstoffuntersuchungen im Steinkohlenbergbau ein Normvorschlag erarbeitet; dabei unterteilte man die Karbongesteine nicht nach Korngrössen, sondern aufgrund mikroskopischer Untersuchungen nach dem Mineralbestand. Der Verschleiss der Werkzeuge lässt sich mit Angaben über die petrographischen und physikalischen Eigenschaften des Gesteins errechnen.

Der folgende Vortrag von H. Hanke (Torkret GmbH, Mannheim) schilderte «Erfahrungen mit Ausbaumassnahmen an Eisenbahntunneln unter Verkehr». - Darüber wird in diesem Heft (vgl. Seiten 1107-1108) ausführlich berichtet.

### Tunnelbau und Vortriebstechnik in Lockerböden

Prof. G. Feder (Montanuniversität Leoben) begann diese Themengruppe mit seinem Vortrag über «Firstniederbrüche im Tunnelbau - Massgebende Einflüsse, mögliche Bruchmechanismen, bergsmechanische Erfassung». Nach einfachen analytischen Ansätzen mit Erfassung der im Modellversuch und in situ beobachteten Bruchmechanismen hängen domartige Niederbrüche bei freitragenden Firsten von der Zugfestigkeit in vertikaler Richtung und kaminartige Niederbrüche von der Kohäsion ab (Bilder 4 und 5). Dabei haben Kerbwirkungen und bei Durchfeuchtung entstandene Kohäsionsverluste grossen Einfluss. Nach Gleichungen zur Bemessung des Firstverbaus wurden die Bruchmechanismen behandelt, die im Bereich einer Ortsbrust mit geringer Standfestigkeit und knapp folgender Stosse auftreten können. Es wird gezeigt, wie man dem beim Vortrieb durch Porenwasserüberdruck gelegentlich entstehenden Festigkeitsabfall am First schräg über der Ortsbrust

### Tunnelbau und Vortriebstechnik in Festgestein

Diese Themengruppe leitete K. Riehnössl (Trauernkraftwerke AG, Salzburg) mit einem Vortrag über «Auffahren eines Schrägschachtes im Felsbohrvortrieb; Druckschacht Häusling-Zillertal» ein. Für ein Hochdruck-Pumpspeicherwerk im Zillertal wurden ein 42° geneigter, 950 m langer Schrägschacht und ein 350 m langer Flachstollen mit einer Robbins-Tunnelbohrmaschine mit 4,20 m Bohrkopfdurchmesser ausgebrochen. Dabei betrug die Tagesleistung bis zu 30 m und im Mittel 14 m. Im Schrägschacht wurde das Personal und Material mit einer Einschienen-Hängebahn befördert und das Schuttergut in der Schachtsohle abwärts gespült.

Anschliessend sprach J. Schimazek (Bergbau-Forschung GmbH, Essen) über den «Verschleiss der Abbauwerkzeuge beim Einsatz von Teil- und Voll-

und am Ulm nahe der Strosse durch konstruktive Massnahmen vorbeugen kann.

H. Paproth (Dr.-Ing. Paproth, Krefeld) und G. Paproth (Grundbau Paproth GmbH, Hamburg) sprachen über «Sonderprobleme und deren Lösungen bei neuen Druckluftprojekten». Absenkungen mit Druckluft seit 140 Jahren bewährt, sind umweltfreundlich hinsichtlich Grundwasser, Lärm, geringen Ausbaus und des benachbarten Erdreichs. Besonderheiten bedeuten das hydraulische Spülverfahren (Lösen des Erdreichs mit Spritzkanonen, Fördern mit Spülpumpen und Trennen des Spülwassers vom Erdreich in Absatzbecken), das Trockenfördern mit Senkkastensbaggern und Grossraumkübeln mit bis zu 2 m<sup>3</sup> Inhalt, wofür neue Materialschleusen erforderlich sind, und in Containern fertig eingerichtete Kompressorstationen. – Ein Beispiel für Druckluftabsenkung bei bestehenden Bauwerken ist die «Beseitigung» eines alten Luftschutzhochbunkers (33×28×14 m) in enger Innenstadt, wo Abbruch und Sprengen Schwierigkeiten bereiten und zu aufwendig sind. Nach Herstellen der Arbeitsraumwände und Sohlverstärkung wurde das Bauwerk bei Bentonitschmierung zur Reibungsminderung 14 m abgesenkt, der Arbeitsraum zur anderweitigen Nutzung ausgebaut, Zugangsbauwerke errichtet und die früher vom Bunker beanspruchte Fläche wieder genutzt.

Über «Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet des Unterwassertunnelbaus» berichtete P. Kieft (Rijkswaterstaat, Utrecht). – Darüber wird in diesem Heft (vgl. Seiten 1109–1111) ausführlich berichtet.

Die «Problematik bei Grundwasserversickerungen in hohlraumarmen Böden» behandelte Prof. H. Knippenberg (Senator für Bau- und Wohnungswesen, Berlin). Der hohlraumarme Sand der norddeutschen Tiefebene ist für Grundwasserabsenkungen wegen seines geringen Porengehaltes gut geeignet; es treten kaum Folgeschäden auf. Zunehmend wird jedoch gefordert, die Bauvorhaben statt mit Absenkungen mit Grundwasserversickerungen durchzuführen. Das erfordert zusätzliche Massnahmen, wenn der Boden dafür weniger geeignet ist. In einem Bauabschnitt mit gröberem Sand in Siemensstadt wurden die Negativbrunnen in den Absenktrichter eines städtischen Wasserwerks gebohrt (Bild 6). Die Rückgabe des geförderten Grundwassers war zufriedenstellend und die Leistung des Wasserwerkes erhöhte sich. Am Rathaus Spandau ergab diese Arbeitsweise u. a. wegen anstehenden Schluffs und Faulschlammes unbefriedigende Ergebnisse. Das beim

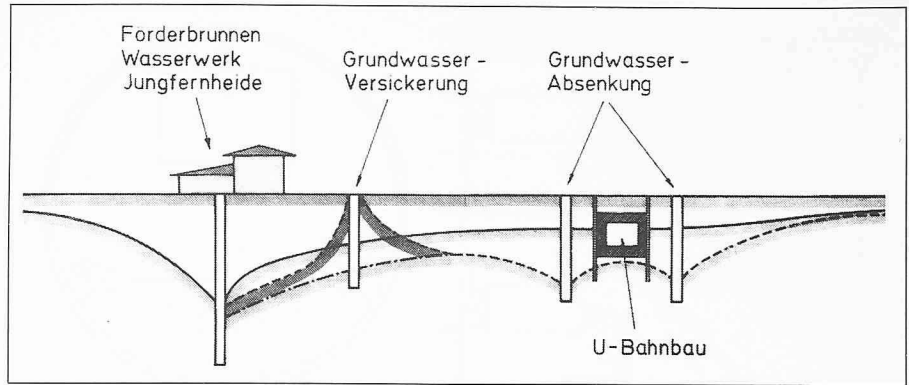


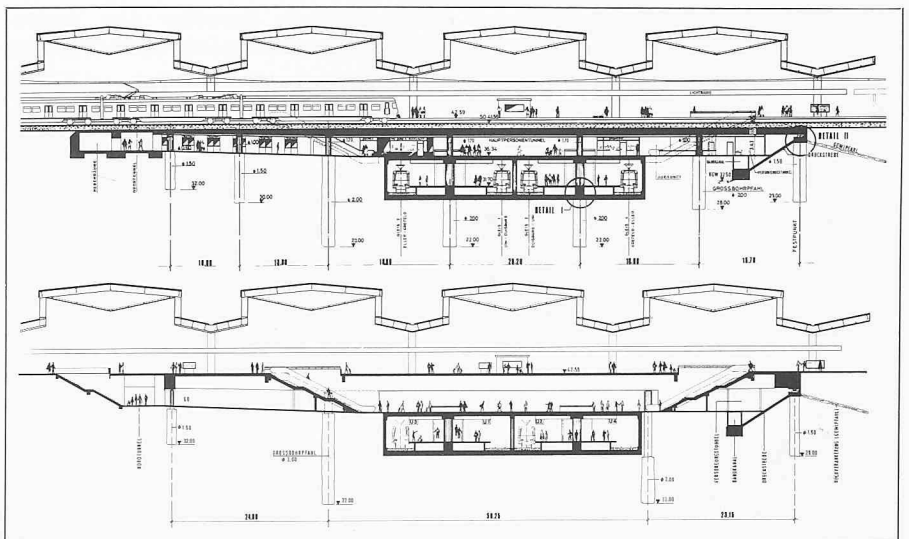
Bild 6. Anordnung der Versickerungsbrunnen im Absenktrichter der Wasserwerke

Bau der U-Bahn-Linie in das Märkische Viertel in Berliner Bauweise bei der Grundwasserabsenkung anfallende Wasser wurde zunächst in den Hohenzollernkanal geleitet, seit kurzem jedoch über eine 6,5 km lange Leitung in eine offene Sandgrube und von dort über eine Baggergrube durch natürliche Versickerung in den Flughafensee. Durch das Vorschalten dieser Versickerungsstrecke sollen ungünstige Einflüsse aus dem Verwenden von Auftausalzen vermieden werden, da der See die

Vorflut für die Start- und Landebahn des Flughafens bildet. – Die Grundwasserversickerung bei hohlraumarmen Böden verursacht also erhebliche Kosten. Darauf sprach K. Endmann (Bundesbahndirektion Köln) über den «U-Bahn-Bau im Bereich des Bahnhof Düsseldorf unter schwierigen eisenbahnbetrieblichen Bedingungen». Für die Unterquerung des Düsseldorfer Hauptbahnhofs durch eine viergleisige U-Bahn-Strecke mit zwei Bahnsteigen



Bild 7. U-Bahn im Bereich Bahnhof Düsseldorf. Oben: Blick auf Baustelle. Unten: Schnitt längs einer Gleisbrücke (oben); Schnitt längs einer Bahnsteigbrücke (unten)





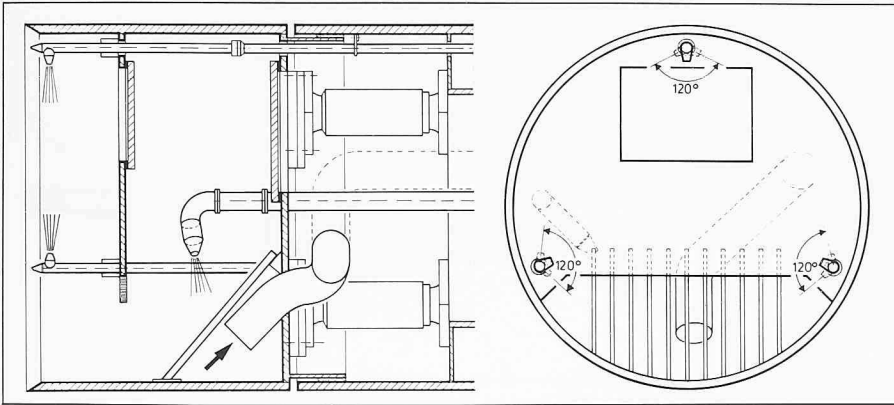
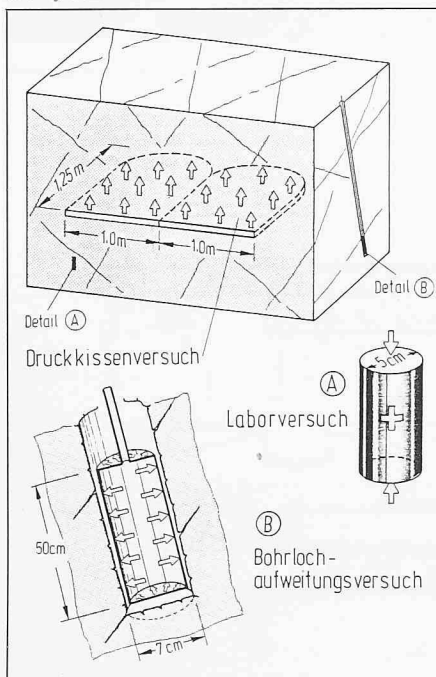


Bild 8. Aufbau des in Hamburg verwendeten Hydrojetschildes

wird jetzt mitten durch den Bahnhof eine 100 m breite offene Baugrube eingerichtet und darin im Zeittakt jeweils zwei Bahngleise stillgelegt (Bild 7). Zu den auf insgesamt sechs Jahre zeitlich genau festgelegten Bauarbeiten gehören Pfahlgründungen (200 Grossbohrpfähle mit 1,50 und 2,00 m Ø), 98 m lange Gleis- und Bahnsteigbrücken in jeweils nur bis vier Monaten Bauzeit, Erneuerung des Bahnhofhallendachs und eine neue Bahnsteighalle sowie Neugestaltung und Bebauung des rund 0,25 km<sup>2</sup> grossen Bahnhofumfeldes. Insgesamt werden einschliesslich der U-Bahn-Baulose vor und hinter dem Bahnhof etwa 600 Mio. Mark investiert.

P. Schulze (Stadtbahnbauamt Bochum) berichtete über «Sonderlösungen bei der Unterfahrung des Hauptbahnhofes Bochum durch die Stadtbahn». Das Bauwerk dafür unter den Gleisanlagen, den Bahnsteigen und dem Empfangsgebäude enthält vier Gleise und die Bahnsteige mit Zu- und Abgängen. Es ist 42 m

Bild 9. In felsmechanischen Versuchen erfasste Bereiche im Verhältnis zu den Abmessungen von Trennflächen



breit und wurde beim anstehenden Geschiebelehm, Kies und harten Mergel in der Bochumer Bahnhofsbauweise, einer Verbindung zwischen der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise und konstruktivem Ingenieurbau in Stahlbeton, gebaut. Jeweils nach dem Auffahren der einzelnen Querschnitte mit vorläufiger Spritzbetonsicherung wurden in diese wegen der benachbarten Tunnel voll tragfähige Stahlbetoninnenschalen eingebaut. Der Bemessung liegt eine Stabwerksberechnung und zum Vergleich eine nach der Finite-Element-Methode zugrunde. Die vier unter 27° und 30° geneigten und bis zu 31 m langen Treppenstollen wurden als Schrägschächte von unten nach oben aufgeföhren, davon zwei mit tragender Schale aus Nassspritzbeton (Dünnschichtförderung). – Die Kosten für das Bauwerk betragen rund 12,5 Mio. Mark, das sind weniger als die Hälfte der für die veranschlagte offene Baugrube mit Abfangkonstruktionen.

### Messungen und Berechnungsansätze

L. Anheuser (Wayss & Freytag AG, Frankfurt) berichtete über «Gemessene Setzungen über mit dem Hydroschild aufgeföhrenen Tunneln». Der Vortragende erläuterte die folgenden Objekte:

- *Hauptsammler Hamburg-Wilhelmsburg* mit Tübbingsausbau, 4,34 m Aussendurchmesser und 17 m Überdeckung sind Setzungen häufig nicht nachweisbar (örtlich bis zu 9 mm),
- *Pre Metro Antwerpen*, Baulos 2 der Linie 2, mit Tübbingsausbau, 6,30 m Aussendurchmesser, 9 bis 18 m Überdeckung und über 4 km Vortrieb im Feinsand – weniger als 20 mm Oberflächensetzungen bei zwei übereinander liegenden Tunnelröhren,
- *U-Bahn Berlin*, Los H 110, mit Tübbingsausbau, 6,30 m Aussendurchmesser, 7,50 bis 12 m Überdeckung und Grundwasserstand zwischen

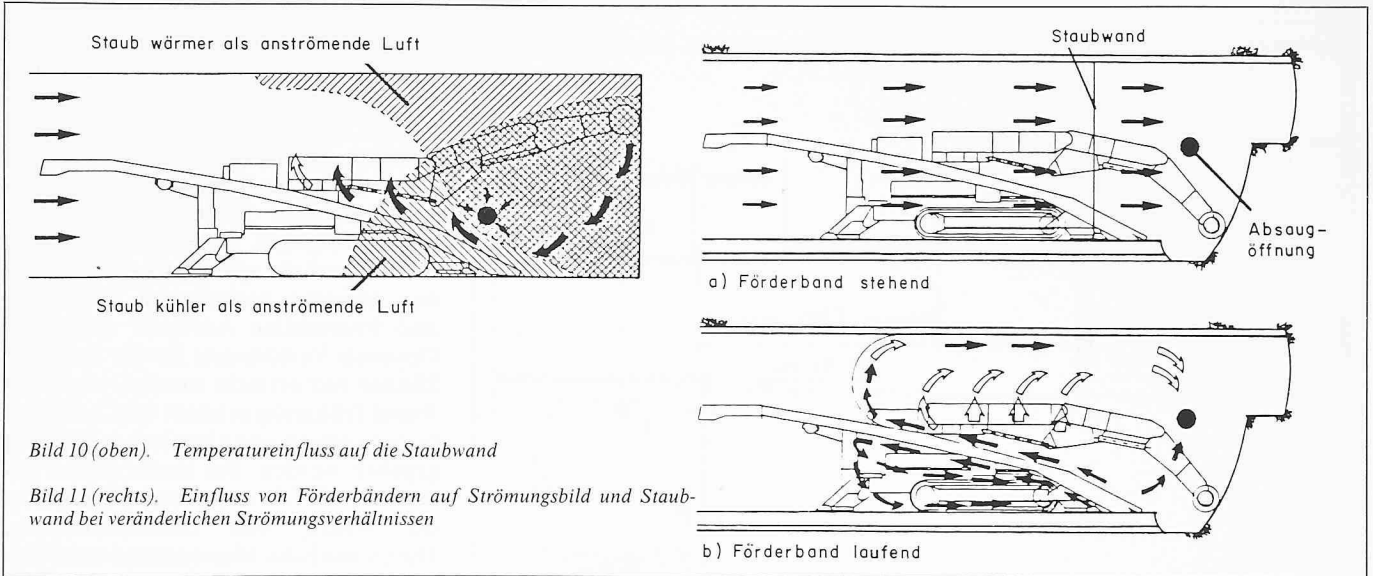
7,50 m über Scheitel bis unter Tunnelsohle – bis zu 4 mm Setzungen (vgl. auch vorletzten Vortrag) und den

- *Sielbau Blohmstrasse in Hamburg* mit Rohrdurchmesser von 1,96 und 3,00 m mit *Hydrojetschild* mit Schneidkopf für Rohrvortrieb mit hydraulischem Abbau, Stützung und Förderung (Bild 8) und Vortrieb durch Mittelsand unter organischen Schichten – sind Setzungen nicht nachweisbar.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei hydroschildvorgetriebenen Tunneln nur sehr kleine Setzungen auftreten. Schäden an Gebäuden und Leitungen werden vermieden und so auch häufig kostspielige Massnahmen zur Sicherung.

Im nächsten Vortrag von J. Heilbrunner, W.-H. Gais und M. Herg (Alfred Kunz GmbH, München) wurden «Neue Messergebnisse zum Tragverhalten von Verbaubögen und Spitzbeton bei der Hohlraumsicherung im U-Bahn-Bau» erörtert. Im Tunnelbau nach der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NATM) mit Spritzbeton, Ankern, Stahlbögen und Verzugsblechen muss der ausgebrochene Hohlraum um so eher gesichert werden, je kürzer die Standzeit des Bodens ist, da der Spritzbeton seine Tragwirkung erst nach dem Erhärten erreicht. Da für die Bemessung der vorläufigen Tunnelsicherung im städtischen U-Bahn-Bau häufig die Berechnungsverfahren und Lastannahmen vorgeschrieben werden, interessiert der Ablauf der Beanspruchungen und ihre Verteilung auf Spritzbeton und Bögen. Bei der U-Bahn München wurden in einer in Rampenbauweise in Lockergestein aufgeföhrenen Einzerröhre mit Kalottensicherung nur aus Stahlbögen und Verzugsblechen dafür Messungen ohne die Störeinflüsse des Spritzbetons (Abbinde-temperatur, Schwinden, Kriechen, Verbundwirkung) durchgeführt und die Ergebnisse einschliesslich Oberflächensetzungen und Konvergenzen früherer Messungen an verschiedenen Münchener U-Bahn-Baulosen gegenübergestellt. Die grösste Scheitelbelastung bei einem mit Stahlbögen und Spritzbeton gesicherten Tunnel wurde bestimmt und bedeutet einen Beitrag zur Verbesserung von Berechnungsverfahren.

G. Brem (Hochtief AG, Frankfurt) beschäftigte sich in seinem Vortrag mit dem «U-Bahnhof Schweizer Platz in Frankfurt/Main: Berechnungs- und Messergebnisse für die dreischiffig unterirdisch aufgeföhrene Bahnhofhalle». – Darüber wird in diesem Heft (vgl. Seiten 1111-1113) ausführlich berichtet. Prof. W. Wittke (RWTH Aachen)



beschloss die Themengruppe mit dem Vortrag «*Interpretation von Verformungsmessungen im Felstunnelbau*». Messungen von ausbruchsbedingten Verformungen im Felsbau und der Spannungen in Spritzbetonschalen, Ausbaubögen und an Ankern stellen eine kostengünstige Ergänzung zu grossmassstäblichen Feldversuchen dar. Die Messergebnisse werden jedoch häufig nicht hinsichtlich der felsmechanischen Eigenschaften des Gebirges und des vor Baubeginn herrschenden Primär-Spannungszustandes ausgewertet oder nur in Form grober Abschätzungen. Dabei könnten mit nur geringem Mehraufwand weitere Aussagen über die Gebirgsverhältnisse abgeleitet werden. Sollen mit den Messergebnissen Berechnungen durchgeführt werden, setzt dies ein Stoffgesetz voraus, das die Festigkeit und Verformbarkeit von klüftigem Fels ausreichend genau beschreibt. Für das Rechenverfahren zum Berücksichtigen der geschilderten Einflüsse eignet sich die räumliche Finite-Element-Methode. Abschliessend wurde gezeigt, wie die zahlreichen Kennwerte ermittelt werden (Bild 9).

**Arbeitsorganisation, Arbeitssicherheit, Umweltschutz**

Im ersten Beitrag hierzu behandelte H. Zydek (Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn) «*Das neue Bundesberggesetz und seine Auswirkungen auf Ausschreibung und Vergabe im Tunnelbau*». Das Gesetz enthält keine besonderen Regeln für den Tunnelbau, auch befasst es sich nicht mit der Ausschreibung und Vergabe von unterirdischen Hohlraumbauten, wohl aber mit den für die Betriebsplanzulassung zu erfüllenden Gesichtspunkte (Schutz der Oberfläche, Vorsorge zur Wiederbenutzbarkeit, Vermeidung gemeinschädlicher

Einwirkungen); der Unternehmer hat bei Erfüllung der Voraussetzungen einen Rechtsanspruch auf Zulassung. Neben Verantwortlichkeit, Zuverlässigkeit und Fachkunde werden Arbeits- und Gesundheitsschutz, Unfallverhütung und Betriebssicherheit angesprochen. Weiter veranlasst das Gesetz Überlegungen zum Verhältnis Auftraggeber - Unternehmer und zu Möglichkeiten des Informationsaustausches zwischen der zuständigen Behörde und tatkräftigen Unternehmern.

Der Vortrag von N. Klawa, W. Meyeroltmanns und J. Schreyer (Stuva, Köln) befasste sich mit der «*Lösung von Staubproblemen beim Vortrieb mit Teilschnittmaschinen und bei Spritzbetonarbeiten*». Damit beschäftigten sich zwei Forschungsvorhaben der Stuva. Danach kann bei Beachtung bestimmter Voraussetzungen die *Staubkonzentration* an den Arbeitsplätzen unter die MAK-Werte gesenkt werden, wobei Lüftungssysteme zur Anwendung gelangen, die denen bei kleinen Tunnelquerschnitten (< 20 m<sup>2</sup>) ähnlich sind und auf der Erzeugung einer *Staubwand* durch eine blasende und saugende Belüftung beruhen. Einfluss haben dabei Anordnung und Anzahl der Lutten, der Versperrungsgrad durch die Teilschnittmaschine, die Aussentemperatur und die vom abzubauenen Gestein abhängigen erforderlichen Absaugluftmengen (Bilder 10 und 11).

Die Untersuchungen zum *Betonspritzen* für ein möglichst staubarmes Verfahren und enge abgeschlossene Tunnelräume unter Druckluft, die sich auf das übliche Trockenspritzverfahren und das Nassspritzverfahren im Dünnstrom erstreckten, erlauben Aussagen über

- die Wirkung der einzelnen Spritzbetonbestandteile und -verfahrensweisen auf die Feinstaubkonzentration an der Spritzdüse und

- die Einflüsse der Art der Wasserzugabe, der Eigenfeuchte der Ausgangsmischung und des Luftdrucks im Arbeitsraum sowie
- die Staubverringerung durch Zugabe eines *Klebers* (in Verbindung mit Vorbenetzung um 90 Prozent) und seine unterschiedlichen Einflüsse auf die Spritzbetoneigenschaften.

D. Gönner und H. Ramisch (Tiefbauberufsgenossenschaft, München) sprachen über «*Sicherheitsanforderungen bei Anwendung der Spritzbetonbauweise im Tunnelbau*». Die aus dem Felstunnelbau entwickelte Neue Österreichische Tunnelbauweise (NATM) wird zunehmend im Lockergestein und damit in Bereichen verwendet, wo die vorübergehende Standfestigkeit des Gebirges zwischen Ausbruch und Sicherung nicht mehr ohne Zusatzmassnahmen gewährleistet ist. Bei der Spritzbetonbauweise unterscheidet man die *Unfallschwerpunkte*

- Spritzbetonarbeiten,
- Steinfall, Materialniederbrüche und
- innerbetrieblicher Transport.

Die Möglichkeiten zu ihrer Verhütung lassen sich aus den Unfallverhütungsvorschriften (UVV) der Tiefbauberufsgenossenschaft (TBG) für den unterirdischen Hohlraumbau ableiten. Sie werden ständig der Entwicklung neuer Arbeitsverfahren angepasst. Zusätzlich betriebene oder geförderte Forschung dient der Sicherung und Gesunderhaltung der unter Tage Beschäftigten.

Der Vortrag von F. Blennemann und F. Krüger (Stuva, Köln) beschäftigte sich mit einem «*Vergleich verschiedener Oberbauformen für unterirdische Schienenbahnen im Hinblick auf den Körperschall- und Erschütterungsschutz*» als Ergebnis einer Untersuchung der Stuva in einem *Stadtbahntunnel in Dortmund*. Darin wurden in einer Geraden und einem Bogen nacheinander auf je-

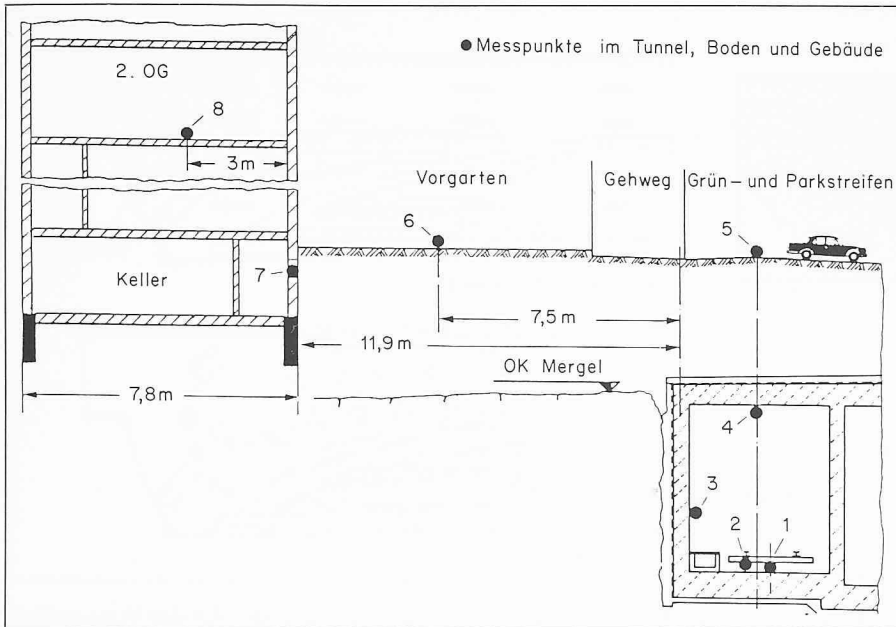


Bild 12. Anordnung der Messpunkte für Körperschall- und Erschütterungsmessungen

weils 100 m langen Abschnitten sechs verschiedene Oberbauformen (Holzschwellen im Schotterbett ohne und mit zwei verschiedenen Unterschottermatten, Oberbau auf Betonbalken und Holzschwellen in Schotter und ein Masse-Feder-System nach Eisenmann) eingebaut. Gemessen wurden Körperschall, Luftschall und Erschütterungen bei Betrieb mit verschiedenen Stadtbahnwagen und unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten an verschiedenen Punkten im Tunnel, ausserhalb des Tunnels im Boden und auch in nahe liegenden Gebäuden (Bild 12). Die einzelnen Oberbausysteme zeigen deutliche Unterschiede in der Wirksamkeit ihrer Schwingungsdämpfung (Bild 13); auch die Auswirkungen auf den Luftschall im Fahrzeug und im Tunnel sind unterschiedlich. Mit den vorliegenden Ergebnissen lassen sich künftig Massnahmen

zur Körperschall- und Erschütterungsminderung in Bahntunneln wirtschaftlicher planen.

### Sonderfragen bei Planung und Betrieb

J. Handke (Stadtbahngesellschaft Rhein-Ruhr mbH, Gelsenkirchen) sprach über die «Einflüsse geschlossener Bauweisen auf Gestaltung und Betrieb von U-Bahn-Anlagen». Tunnel in geschlossener Bauweise lassen sich planerisch meist leichter durchsetzen. Gegenüber der offenen Bauweise liegen die Bahnhöfe hier tiefer, und Mittelbahnsteige lassen sich nicht freizügig herstellen. Grössere Treppenanlagen mit Nachteilen für die Fahrgäste durch längere Zu- und Abgangszeiten, mehr Rolltreppen und dadurch höhere Investitions- und vor allem Betriebskosten sind die Folge. Für Technik und Betrieb erforderliche Räume, die meist in der Bahnsteigebene angeordnet sind, müssen unter höherem Aufwand erstellt werden, während sie bei offener Bauweise oft von selbst anfallen. Bei Streckenverzweigungen, Abstellanlagen und Notausstiegen ergeben sich häufig erhebliche Schwierigkeiten. Wegen der zunehmenden Verbreitung der geschlossenen Bauweise sollten künftig auch deren ungünstige Auswirkungen untersucht und möglichst vermieden werden.

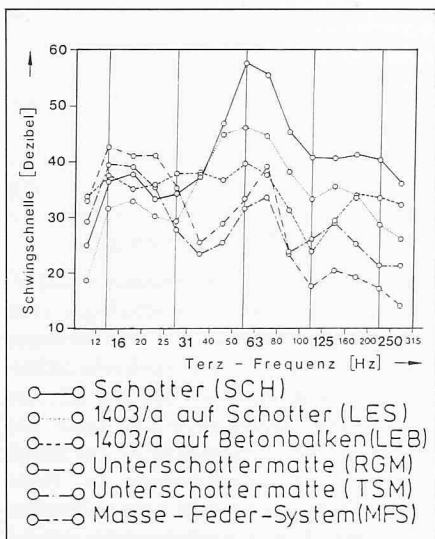
Die Ausführungen von K. Röder (Dorsch Consult Ing.-GmbH, München) betrafen «Brandschutzanforderungen an Strassentunnel», für die entsprechende Empfehlungen oder Richtlinien für einheitliche und optimale Einrichtungen fehlen. Es bestehen be-

reits Kenntnisse über Brandursachen, Brandabläufe, Branddauer und auch Abschätzungen des Verhaltens der Tunnelbenutzer, gewonnen aus Brandversuchen und tatsächlich aufgetretenen Bränden. Durch den baulichen Brandschutz sollen der Tunnel und seine Versorgungs- und Sicherheitseinrichtungen ausreichend lange funktionsfähig bleiben und die spätere Instandsetzung nur geringen technischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand erfordern. Optimale Verhältnisse für die Benutzer können nur erreicht werden, wenn der Brand frühzeitig erkannt und Informationen optisch und akustisch rechtzeitig gegeben werden. Bei einem Brand besteht die Gefährdung hauptsächlich in der Rauch- und Hitzeentwicklung. Durch bauliche Massnahmen zur Wärmedämmung und entsprechende Lüftungssysteme kann hierauf Einfluss genommen werden.

W. Beier (U-Bahn-Referat München) berichtete über «Erfahrungen im Bau und Betrieb von behindertenfreundlichen Anlagen bei der Münchener U-Bahn». Behindertengerechte Fernsprecher und WCs in der Nähe von Aufzügen und Rampen sind hier die Regel. Fahrstühle in den Bahnhöfen haben sich gut bewährt; 15 sind in Betrieb und weitere 22 im Bau. An neun Stellen wurden feste Fussgängerrampen gebaut. In drei Bahnhöfen erstrecken sie sich vom Bahnsteig über die Schalterhalle bis in Strassenhöhe. Die Mehrkosten für Fahrstühle oder Rampen eines U-Bahnhof-Kopfes betragen bis zu 7 Prozent der Kosten für vergleichbare Anlagen, die nur mit Fahr- und festen Treppen ausgestattet sind. Rampen sind hinsichtlich Unterhaltungs- und Betriebskosten besonders günstig; sie lassen sich jedoch nicht überall verwirklichen. Das nachträgliche Ausrüsten von Anlagen mit stufenlosen Zu- und Abgängen ist technisch und finanziell äusserst aufwendig. Die bisher eingebauten behindertenfreundlichen Anlagen stellen für die U-Bahn München eine wesentliche Attraktivitätssteigerung dar. Wie die Praxis zeigt, dienen sie nicht nur einem begrenzten Personenkreis, sondern allen Verkehrsteilnehmern.

Traditionsgemäss ist die letzte Gruppe von Vorträgen auf Stuva-Tagungen stets dem unterirdischen Bauen der gastgebenden Stadt gewidmet, und zwar zunächst D. von Scheibner (Senator für Bau- und Wohnungswesen, Berlin) über den «Bau der U-Bahn-Linie 7 in Berlin-Spandau im Bereich setzungsempfindlicher Böden - Problemlösungen durch situationsorientierte Sonderbauweisen». Auf über 2,7 km durfte beim Durchfahren eines mit Faulschlamm bis zu 17 m Mächtigkeit und

Bild 13. Schwingungen der Tunnelwand für einen Messpunkt in der Kurve,  $v = 60 \text{ km/h}$  (Terspektren)





Torf verlandeten Gebietes das Grundwasser nicht abgesenkt werden. Das führte zur Verwendung des Wand-Sohle-Verfahrens, der ein- und zweischaligen Senkkastenbauweise (Bild 14) und eines Schildvortriebes. Im Nachbarbereich (U-Bahnhof Rathaus Spandau) wurde auch die Deckelbauweise angewandt, jedoch mit einer Grundwasserabsenkung. Die benutzten Verfahren wurden hinsichtlich der Kosten mit der herkömmlichen Berliner Bauweise verglichen. Das «U-Bahn-Baulos H 110 - Unterfahrung der Spandauer Altstadt: Bahnhofbauwerke in Senkkastenbauweise» behandelte W. Rennow (Philipp Holzmann AG, Berlin). Das Baulos besteht aus einem 195 m langen Tunnelabschnitt für den Bahnhof (Bild 15) und zwei 570 m langen, eingleisigen Streckentunneln. Für den Bahnhofabschnitt wurden bei Aufrechterhaltung des öffentlichen Strassenverkehrs quer zur Tunnelstrasse fünf Senkkästen mit 35 bis 41 m Länge, 12 bis 26 m Breite und 10 bis 18 m Höhe aus wasserdichtem Beton hergestellt und im Spülverfahren abgesenkt. Ein Senkkasten diente gleichzeitig als Startschacht für den Vortrieb mit dem Hydroschild in den anschließenden Streckentunnel und ermöglichte das Einbringen der Vortriebsmaschine.

E. Engelmann (Wayss & Freytag AG, Berlin) sprach anschliessend über das «U-Bahn-Baulos H 110 - Unterfahrung Spandauer Altstadt: Streckentunnel mit Hydroschild». Die zwei im Bogen verlaufenden eingleisigen Tunnelröhren, die einschalig mit Stahlbetonkassetten-Tübbing ausgekleidet 5,70 m Innendurchmesser haben, durchdrörten Boden der letzten Eiszeit: eine Tonmergelschicht in etwa 9,00 m Tiefe hat darüber und darunter Mittel- und Feinsand; Schutt und Auffüllungen waren vorhanden und Steine mit bis zu 1,50 m Kantenlänge. Das Fräsräder für den Bodenabbau beim verwendeten Hydroschild arbeitet in der als Stützflüssigkeit wirkenden Bentonitsuspension. Das ergibt

- Eine bessere Verteilung und Regelung des Stützdruckes der Ortsbrust,
- geringeren Platzbedarf und Überschnittmöglichkeit, damit eine bessere Steuerbarkeit des Schildes und
- mechanischen Sofort-Verschluss sowie gleichmässigeren Abbau auch unterschiedlicher Bodenarten, wie sie hier angetroffen wurden.

Die gemachten Erfahrungen beim Arbeitsablauf, den Sicherungen und Setzungen zeigen, dass sich diese Bauweise bewährt hat.

Den letzten Vortrag der Veranstaltung hielt M. Günther (H. Klamm AG, Berlin) über das «U-Bahn-Baulos H 111 -

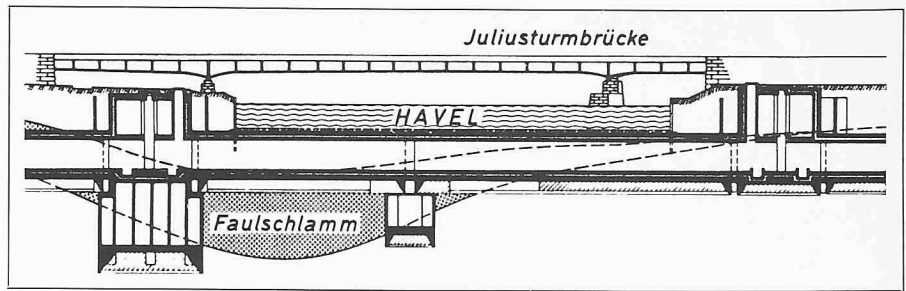


Bild 14. Senkkastenbauweise bei der Havelunterfahrung

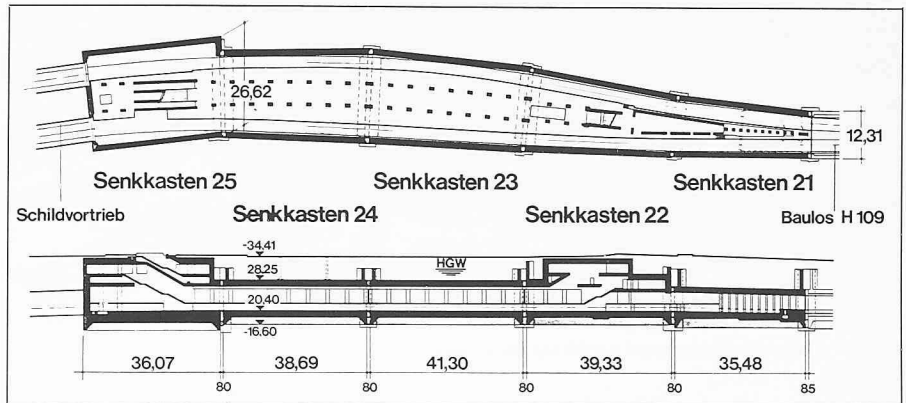


Bild 15. Senkkastenstrecke im Bahnhof Altstadt Spandau. Oben: Grundriss. Unten: Längsschnitt

Deckelbauweise: Erfahrungen bei der weitgespannten Bahnhofsoberfläche und ihrer Hilfsstützung sowie Überwachung des verformungsempfindlichen Durchlaufsystems im Bauzustand». Für den Bahnhof Rathaus Spandau, dem Endpunkt der U-Bahn-Linie 7, war eine über 43 m spannende Tunneldecke als bis zu 1,60 m dicke Dreifelddurchlaufplatte herzustellen. Kritisch war die Umstüzung der Tunneldecke von der Durchlaufplatte im Bauzustand in eine Vierfeld-Pilzdecke im Endzustand, wobei sich die Decke nur wenig verformen durfte. Sie wurde zunächst auf Bohrpfehlwänden, die Baugrubensicherung und zwei Reihen stählerner Hilfsstützen mit Bohrpfehlfüssen abgestützt. Die Stahlstützen unterwarf man einer Vorbelastung aus einem Pilotstollen unter der Tunneldecke. Während des

Aushubs und der Herstellung des restlichen Tunnelrahmens wurde die Tunneldecke genau auf Setzungen beobachtet. Die Deckenverformungen sowie die Belastung und Setzung bei den Hilfsstützen in den Bohrpfehlfüssen wurden laufend gemessen. Durch Vergleich mit den statischen Berechnungen konnten neue Erkenntnisse über das Verhalten derartiger Decken und deren Abstützungen gewonnen werden.

Am letzten Tag wurden U-Bahn-Baustellen (U-Bahn-Linie 7 in Spandau, Havelunterquerung, Rathaus Spandau) und fertiggestellte Verkehrstunnel und deren Betriebseinrichtungen (Strassentunnel Tegel, Überbauung Schlangensbader Strasse, U-Bahn-Haltestelle Siemensdamm mit Zivilschutzanlagen) besichtigt.

### Ausbaumassnahmen an Eisenbahntunneln im Betrieb

Die Mehrzahl unserer Eisenbahntunnel sind in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gebaut worden und zeigen heute als Folge langjähriger und zum Teil gesteigerter Betriebsbeanspruchung, Witterungs- und Gebirgeinflüssen entsprechende Alterungs- und Zerfallserscheinungen (Bild 1). Dazu kommt, dass im Zuge der Elektrifizierung zahlreicher Eisenbahnstrecken andere und höhere Anforderungen besonders an die Dichtigkeit und den Tunnelquerschnitt gestellt werden. Die

dafür notwendigen umfangreichen Baumaassnahmen in Eisenbahntunneln sind in der Regel bei voller Aufrechterhaltung des Betriebs durchzuführen [1].

#### Bautechnische Anforderungen

Je nach Zustand des Tunnelbauwerks sind bei den Umbaumaassnahmen ein tragfähiges und dichtes Tunnelgewölbe und eine gut arbeitende Entwässerung herzustellen und das Lichtraumprofil entsprechend den Forderungen des





Bild 1. Älterer Eisenbahntunnel vor der Instandsetzung

elektrischen Zugbetriebs zu vergrößern. Dafür und zum Berücksichtigen der Auflagen des Eisenbahnbetriebs werden besonders entwickelte Bauverfahren und Spezialmaschinen und -geräte eingesetzt.

#### Bauverfahren

Der teilweise oder vollständige Ersatz eines schadhaften Gewölbes aus Natursteinen ist wegen des Fehlens von Fachkräften, der Schwierigkeiten bei der Materialbeschaffung und starker Betriebsbeeinträchtigung beim Arbeitsablauf (gegebenenfalls längere Bauzeit) nicht mehr vertretbar – auch aus wirtschaftlichen Gründen. Hier hat sich die *Spritzbetonbauweise* [2, 3, 4, 5] auch bei vollständiger Gewölbeerneuerung als besonders geeignet erwiesen und durchgesetzt (Bild 2). Beim Ausplomben von

Gewölbeteilen im kurzzeitig gesperrten Betriebsgleis wird Spritzbeton unter Verwendung von Abbindebeschleunigern wegen seiner sofort einsetzenden Sicherungsfunktion und seines frühzeitigen Tragvermögens fast ausschliesslich verwendet. Spritzbeton lässt sich nach DIN 18 551 ohne Schwierigkeiten als Beton B I und B II herstellen und damit in jeder bei Tunnelbauarbeiten geforderten Güte. Für einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Spritzbeton und Mauerwerk oder Gebirge ist ein sauberer und porenoffener Untergrund erforderlich. Das *Sandstrahlverfahren* unter Zugabe von Wasser zur Staubbindung hat sich hier als die wirksamste und wirtschaftlichste Reinigungsart erwiesen.

Abbrucharbeiten an Tunnelgewölben bei Aufrechterhaltung des Eisenbahn-

betriebs sind einem *besonderen Sicherheitsrisiko* unterworfen. Der Eingriff in eine bestehende und darüber hinaus meist angegriffene Bausubstanz hat Auswirkungen auf das Tragverhalten und die Standsicherheit des Gewölbes. Es kann zu plötzlichen und unkontrollierbaren Ausbrüchen von Mauerwerk mit Gefährdung des Eisenbahnbetriebs kommen. Zum *Verringern* vorgenannter Risiken werden für Stemm- und Ausbruchsarbeiten gebirgs- und bauwerksschonende Arbeitsweisen angewandt, wie z. B. das *Sägeschnittverfahren* und *hydraulische Sprengverfahren*.

Zum *Absenken der Tunnelsohle*, um ein höheres Lichtraumprofil für den elektrischen Eisenbahnbetrieb zu erlangen, werden die Tunnelfundamente (Gewölbewiderlager) abschnittsweise mit rückverankerten Betonschürzen unterfangen und so jegliches Risiko von Setzungen des Tunnelgewölbes ausgeschaltet.

#### Baustelleneinrichtung

Zur Durchführung von Sanierungs- und Umbauarbeiten an Eisenbahntunneln im Betrieb sind Maschinen geeignet, die entweder ausserhalb des Tunnels aufgestellt werden oder aber solche Abmessungen haben, dass sie ohne Beeinträchtigung des Zugbetriebs im Tunnel selbst eingesetzt werden können. Ihre Leistung sollte je nach Bedarf und Arbeitsumfang von sehr kleinen auf grosse Mengen gesteigert werden können; auch sollten sie möglichst wenig Abgase verursachen.

#### Anforderungen des Bahnbetriebs

Für den Eisenbahnbetrieb während Sanierungs- und Umbaumassnahmen im Tunnel wird gefordert, dass im Baubereich der fahrplanmässige Zugbetrieb in der Regel mindestens im *eingleisigen Betrieb* aufrechterhalten wird (Bild 3)

Bild 2. Gewölbeerneuerung eines Eisenbahntunnels mit baustahlgewebe-bewehrtem Spritzbeton. Arbeiten vom Eisenbahnwagen aus in Zugpausen

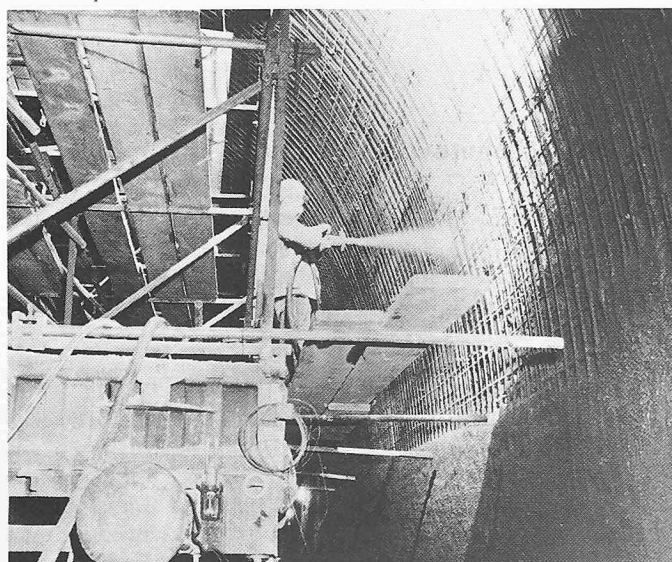
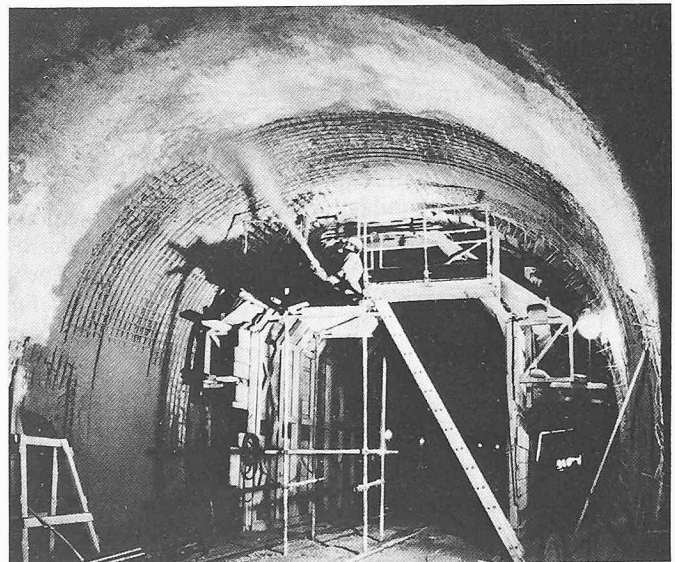


Bild 3. Gewölbeerneuerung eines Eisenbahntunnels bei eingleisigem Betrieb. Spritzbetonarbeiten vom Gerüst aus



und die Sicherheit sowohl für den Bahn- als auch Baubetrieb in seiner wechselseitigen Abhängigkeit voll gewährleistet ist. Tunnelbaumassnahmen im Betrieb stellen daher hinsichtlich der Bau- und Betriebssicherheit höchste Anforderungen an alle, die beteiligten Dienststellen der Eisenbahnverwaltung, die Bauunternehmen und ihrer Mitarbeiter. So muss das Langsamfahrgebot für die Züge im Bereich der Tunnelbaustelle wegen des sich bei höheren Fahrgeschwindigkeiten bildenden *Luftstaubs und -sogs vor und hinter dem durchfahrenden Zug* unbedingt eingehalten werden (Einbau von Geschwindigkeitsüberwachungskontakten im Gleis). Seit einiger Zeit werden zugesteuerte optische Rottenwarnanlagen für die Bauarbeiter im Tunnel mit Er-

folg verwendet: Auch ist beim Absenken der Tunnelsohle darauf zu achten, dass sich die Gleislage nicht unzulässig verändert, was bei stärkerer dynamischer Beanspruchung betriebsgefährdende Folgen haben kann.

**Preisermittlung**

Bedingt durch die Sicherheitsanforderungen sind bei der Durchfahrt eines Zuges die Bauarbeiten kurzzeitig einzustellen. Die sich hieraus ergebenden Ausfallzeiten betragen je nach Zugzahl und Zugfolge 20 Prozent und mehr der Gesamtarbeitszeit. Darüber hinaus sind viele Teilleistungen sowie Materialtransporte über die Schiene nur in kurzen Betriebspausen möglich. Eine kostengerechte Preisfindung ist hier nur über eine genaue Betriebsplanung

**Schrifttum**

- [1] Neuhaus J.; Teichert P.: «Sanierung des Loppertunnels der Luzern-Stans-Engelberg-Bahn». Schweizer Baublatt, Nr. 10, 1979, S. 2-9
- [2] Teichert P.: «Spritzbeton als Auskleidung von Kavernen». Schweizerische Bauzeitung Heft 50, 1978, S. 975-982
- [3] Teichert P.: «Die Geschichte des Spritzbetons. Schweizerische Bauzeitung, Heft 47, 1979, S. 949-960]
- [4] Teichert P.: «Spritzbeton». E. Laich SA, Avegno/TI, 1980
- [5] Brux G., Linder R., Ruffert G.: «Spritzbeton, Spritzmörtel, Spritzputz - Herstellung, Prüfung und Ausführung». Verlagsges. Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, 1981 (vgl. Besprechung in dieser Zeitschrift, Heft 38, 1981, S. 827)

sowie die Erfahrung aus mehreren Baustellen möglich.

**Entwicklungen auf dem Gebiet des Unterwassertunnelbaus**

Unterwassertunnelbau bedeutet in den *Niederlanden* fast immer Anwendung der *Einschwimm- und Absenkbauweise*. In den vergangenen 20 Jahren wurden hier 14 Tunnel in dieser Bauweise erstellt, zwei sind noch im Bau und weitere geplant. Abgesehen von einer etwa 1,5 km langen innerstädtischen Teilstrecke der Rotterdamer U-Bahn handelt es sich um *Unterquerungen von Gewässern*.

Diese Bauweise ist das Ergebnis jahrzehntelanger Erfahrungen (Tabelle 1), die mit dem Bau des Rotterdamer Maas-tunnels im Jahre 1937 begann, wo man die *Sandunterspülung*, eine Erfindung der dänischen Bauunternehmung Christiani & Nielsen, anwandte. Dadurch konnte der unwirtschaftliche runde Tunnelquerschnitt durch einen rechteckigen (Bild 1) ersetzt werden. Heute kann man Sandfundierungsbetten für grossflächige flache Tunnelböden sicher und unabhängig von Wellen und

Strömung und ohne Störung der Schifffahrt ausführen. Die Einschwimm- und Absenkbauweise kann jetzt auch in *Meeresarmen* und sogar auf *offener See* angewendet werden.

Dank der Weiterentwicklung der Absenk- und Messtechnik kann heute in vielen Fällen mit sehr einfachen Absenkvorrichtungen ohne feste Richttürme auf den abzusenkenden Tunnelteilen gearbeitet werden. Auch konnte die Breite auf etwa 50 m und ihre Länge auf etwa 270 m erhöht werden (Bild 2). Da die Transport- und Einschwimmarbeiten einen hohen Personal- und Materialaufwand verursachen und die Baukosten nur zum Teil von der Grösse der Tunnelstücke abhängen, sind dadurch *Kosteneinsparungen*

Bild 1 (rechts). Querschnitte niederländischer Unterwassertunnel mit Abmessungen der Fahrbahnen und der Aussenflächen sowie der Tunnelängen unter Wasser (A) und insgesamt einschliesslich der Rampen (B) (vgl. auch Tabelle 1)

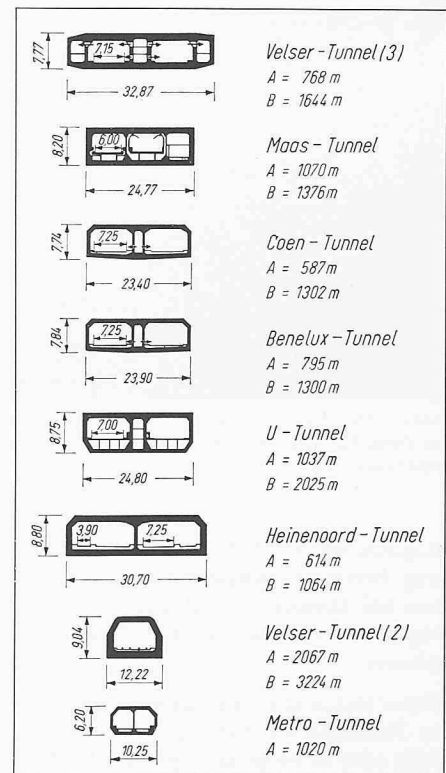


Tabelle 1. Einige Unterwassertunnel in den Niederlanden mit technischen Einzelheiten über die Bauausführung (vgl. Bild 4)

Tunnelbezeichnung	Örtlichkeit	gekreuztes Gewässer	Verkehrsarten	vorgefertigte Teillängen	Anzahl Fahrspuren/Gleise
Velsler-Tunnel	in Velsen, westlich Rotterdam	Nordseekanal	Schnellstrasse	1)	vierspurig
Maas-Tunnel	in Rotterdam	Maas	Stadtschnellstrasse 2)	9x61,30 m	vierspurig
Coen-Tunnel	in Amsterdam	Nordseekanal	Europastrasse (E 10)	6x90 m	vierspurig
Benelux-Tunnel	westlich von Rotterdam	Neue Maas	Autobahn	8x93 m	vierspurig
IJ-Tunnel	in Amsterdam	IJ	Stadtschnellstrasse	9x68,50 bis 91,50 m	vierspurig
Heinoord-Tunnel	in Heinoord südl. Rotterdam	Alte Maas	Autobahn <sup>2</sup>	1x111 m und 4x115 m	vierspurig
Velsler-Tunnel	in Velsen, westlich Rotterdam	Nordseekanal	Eisenbahn (NS)	1)	zweigleisig
Metro-Tunnel	in Rotterdam	Neue Maas	Strassenbahn, U-Bahn	12x90 m 3)	zweigleisig

1) Bauausführung in offener Baugrube; übriger Unterwassertunnel im Baudock in Teilstücken vorgefertigt und eingeschwommen sowie nach dem Absenken unter Wasser zusammengebaut

2) mit besonderer Spur für Radfahrer und Motorräder sowie Fussgänger

3) auch im nicht unter der Maas gelegenen Teil im Einschwimmverfahren erstellt, d.h. mit Teilstücken von je 90 m Länge



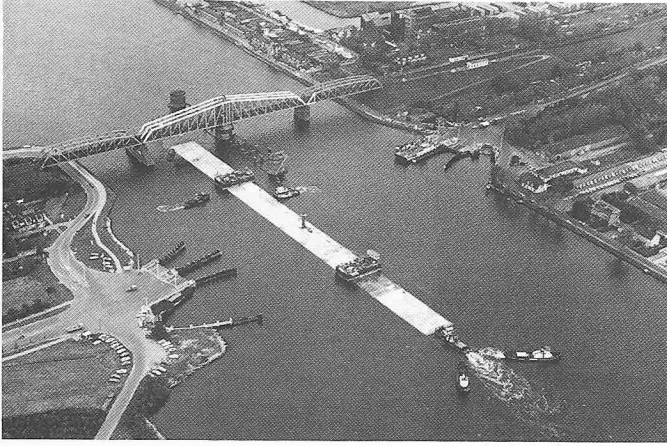


Bild 2. Einschwimmen eines 268 m langen Tunnelstücks (50 000 t) für den Hemspoor-Tunnel in den Niederlanden

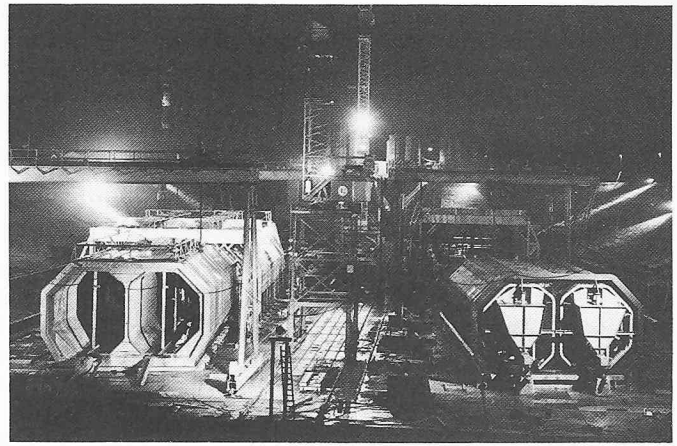


Bild 3. Herstellen von Tunnelteilstücken im Trockendock (Metro, Rotterdam)

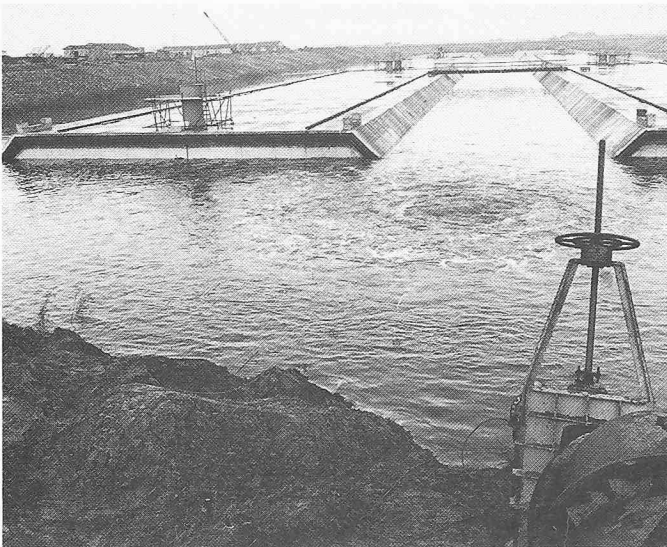


Bild 4. Fluten eines Trockendocks und Ausschwimmen der Tunnelteilstücke zur Tunnelbaustelle und dort Absenken auf die vorbereitete Kanal- oder Flusssohle (Coen-Tunnel, Amsterdam)

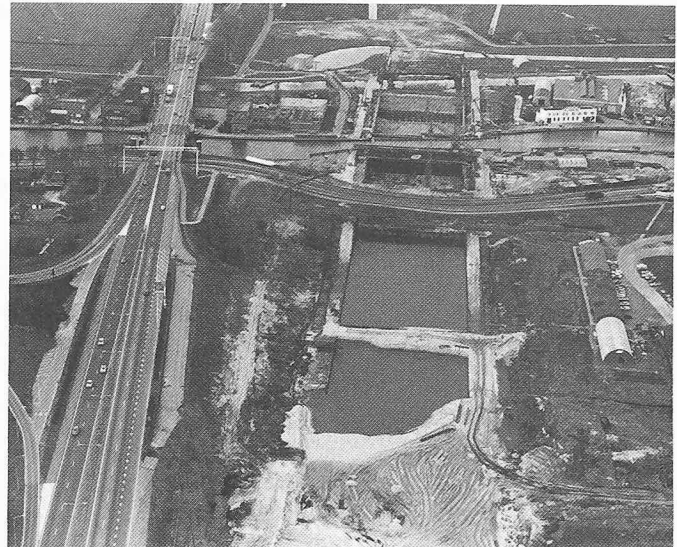


Bild 5. Unterquerung einer Wasserstrasse in den Niederlanden (Qouve-«Aquädukt») (beton 1/81)

möglich, vor allem bei der Untertunnelung breiter Gewässer. Dazu kommt, dass bei längeren Teilstücken weniger Fugen unter Wasser hergestellt werden müssen.

Bisher stellte man die Tunnelabschnitte im Trockendock nahe der Tunnelbaustelle oder in nicht allzu grosser Entfernung her (Bild 3), flutete das Trockendock (Bild 4) und schwamm das fertige Tunnelstück zur Einbaustelle (Bild 2).

Die Einschwimmbauweise konnte bisher nicht angewandt werden, wo kein Trockendock sich einrichten liess oder das zu untunnelnde Gewässer für das Einschwimmen der Einzelstücke zu seicht ist. Neuerdings werden in derartigen Fällen die Tunnelstücke bei nicht zu breitem Gewässer auf *Rampenstrecken* (Bild 5) hergestellt, wo sie nach Fluten der Rampen ausgefahren und abgesenkt werden.

Die Unterwassertunnel haben zwischen den Teilstücken wasserdichte Bewegungsfugen. Die neueste Entwicklung auf diesem Gebiet ist das *Injek-*

*tionsfugenband*, das erstmals bei einem im Jahre 1980 fertiggestellten Eisenbahntunnel unter dem Nordseekanal (*Hemspoor-tunnel*) verwendet wurde. Dabei injiziert man in den Beton um die Metallstreifen wasserverdrängendes Epoxydharz.

Auch die Betonwandungen des Unterwassertunnels dürfen kein Wasser durchlassen. Ausser bei verhältnismässig kleinen Querschnitten wird zuerst immer der Tunnelboden betoniert, erst einige Zeit später die Wände und die Decke. Durch die Temperaturdehnungen des Betons beim Abbinden entstehen in den Wänden Schwindrisse; deshalb erhielt der Tunnel eine *bituminöse Abdichtung*. Um dies zu vermeiden, arbeitet man neuerdings mit einem *einbetonierten Rohrsystem zum Kühlen des erhärtenden Betons* und vermeidet so das Entstehen von Schwindrissen. Ausserdem wird der *Frischbeton gekühlt* eingebaut. Es wurden umfangreiche Untersuchungen über das Verhalten des erhärtenden Betons durchgeführt.

Für den Bau der Rampen oder Landabschnitte von Unterwassertunneln sind *Baugruben* erforderlich, die man früher trockenpumpte, was bei der Bodenbeschaffenheit in den Niederlanden zur *Grundwasserabsenkung, zu Bodensetzungen und landwirtschaftlicher Ertragsminderung* führte. Heute wird keine Grundwasserabsenkung mehr gestattet. Dies hat zur Entwicklung der *Grundwasserversickerung mittels Rohrburgen* [1, 2] geführt. – Auch werden zunehmend mit Hilfe von Spundwänden in Verbindung mit vorhandenen wasserundurchlässigen Lehm- oder Tonschichten, durch *Injektionsverfahren* oder unter Verwendung von *Unterwasserbeton* wasserundurchlässige Baugruben geschaffen. Früher wurde Unterwasserbeton nur für unbewehrte, auf mehrere Meter dicke Schwergewichtsböden und in kleinen Baugruben verwendet. Heute baut man 1,20 bis 1,50 m dicke Böden, die durch zuvor eingearbeitete Zugpfähle aus Spannbeton oder Stahl gegen Auftrieb gesichert werden. Dies war der Beginn der Bau-

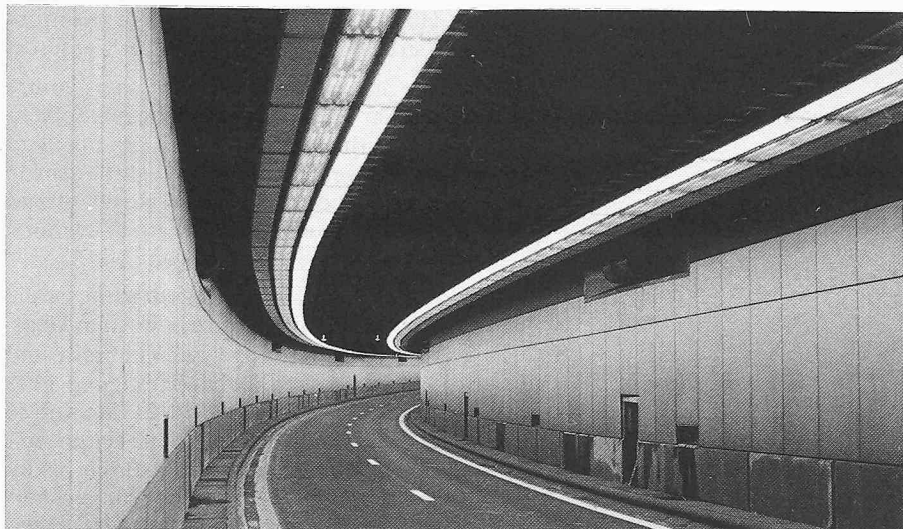


Bild 7. Unterwassertunnel in den Niederlanden mit Wärmedämm-Spritzputz an der Tunneldecke zum Feuerschutz

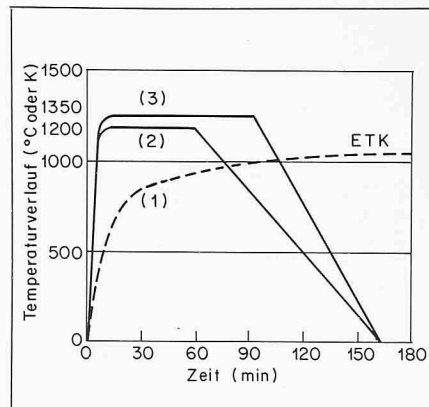


Bild 6. Temperaturverläufe bei verschiedenen Brandbelastungen im Strassentunnel. (1) Einheitstemperaturkurve (ETK) nach DIN 4102, Teil 2, (2) angenommene Brandbelastung in Strassentunneln bei Bränden von Gütern mit hohem Heizwert und (3) Brandbelastung, der ein Wärmedämm-Spritzputz (Pyrok) standhielt

**Schrifttum**

- [1] *Abbenhuis, H.*: «Grundwasserversickerung mittels Bohrbrunnen». Vortrag STUVA-Tagung 1979, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 42, 1980, S. 1030-1031; Forschung + Praxis, Band 23, S. 123-125
- [2] *Knippenberg, H.*: «Problematik bei der Grundwasserversickerung in hohlraumarmen Böden». Vortrag STUVA-Tagung 1981 (Bericht darüber in diesem Heft)
- [3] *Bewehrter Unterwasserbeton* (Gewapend Onderwaterbeton). CUR-Rapport Nr. 102, Betonvereniging, Zoetermeer, 1981
- [4] *Kordina, K.*: «Baulicher Brandschutz in Strassen- und U-Bahn-Tunneln. Bauingenieur 56 (1981) Nr. 5, S. 189-191
- [5] *Röder, K.*: «Brandschutzanforderungen an Strassentunnel. Vortrag STUVA-Tagung 1981 (Bericht darüber in diesem Heft)
- [6] *Metzler, H.*: «Brand im Strassentunnel - Katastrophe oder beherrschbares Ereignis?» Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 50, 1980 S. 1301-1303
- [7] *Peissard, G.*: «Probleme der Brandsicherung in Strassentunneln». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 29, 1981, S. 648-650
- [8] *Baulicher Brandschutz mit Beton*. Arbeitstagung des DBV, 3.3.1982 in Frankfurt. Vgl. Bericht in diesem Heft.
- [9] *Brux, G., Linder, R., Ruffert, G.*: «Spritzbeton, Spritzmörtel, Spritzputz-Herstellung, Prüfung und Ausführung. Verlagsges. Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, 1981

konstruktionen aus bewehrtem Unterwasserbeton [3].

Da Unterwassertunnel, die Wasserstrassen kreuzen, häufig Teilstücke wichtiger Verkehrsverbindungen sind,

ist es in den Niederlanden bisher noch verboten, gefährliche Stoffe durch Tunnel zu transportieren. Es soll vermieden werden, dass der Tunnel durch einen Unfall längere Zeit unbrauchbar oder

gar zerstört wird. Weil die Unfallgefahr auf den Umgehungsstrecken, die häufig durch Wohngebiete führen, oft grösser ist, will man diese Unterwassertunnel für diese Art von Transporten nun doch freigeben. Es wurde deshalb untersucht, wie bei solchen Unfällen nicht wieder zu beseitigende Schäden verhindert werden können. Brandversuche an der Technischen Hochschule Delft haben gezeigt, dass die Anbringung einer 30 bis 35 mm dicken Wärmedämmschicht an der Tunneldecke (Bild 6) [4, 5] und andere Vorkehrungen [6, 7, 8] es erlauben würden, die Tunnel für eine grosse Zahl von bisher verbotenen Transporten freizugeben. Eine entsprechende Gesetzesänderung wird in den Niederlanden vorbereitet. Einige im Bau befindliche Tunnel erhalten bereits an der Tunneldecke eine Spritzputzschicht für den Feuerschutz (Bild 7) [9].

**U-Bahnhof Schweizer Platz in Frankfurt/Main**

Die rasche Zunahme des innerstädtischen Individualverkehrs führte in der zurückliegenden Zeit in der Bundesrepublik Deutschland zu einem verstärkten Trend, die Verkehrswege für U- und S-Bahnen im Stadtgebiet so weit als möglich bergmännisch herzustellen. Nachdem zunächst vorwiegend eingleisige Streckentunnel mit Querschnitten um 35 m<sup>2</sup> ausgeführt wurden, entstanden auch Verzweigungsstrecken und ganze Bahnhöfe in bergmännischer Bauweise. Einer dieser Bahnhöfe ist die Station Schweizer Platz im mittleren Abschnitt des Bauloses 82 (Bild 1) der U-Bahn Frankfurt/Main, das sich vom Südufer des Mains bis kurz vor den Bahnhof Frankfurt-Süd der Deutschen Bundesbahn erstreckt. Vom Main bis zur Station Schweizer Platz führen eingleisige Streckenröhren mit einem Aus-

bruchquerschnitt von rund 36 m<sup>2</sup>, die in der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NATM) aufgeföhren werden. Der Bahnhof Schweizer Platz besteht aus dem dreischiffigen, in bergmännischer Bauweise hergestellten Tunnelabschnitt und dem Anfahrschacht mit Ausgängen und Betriebsräumen. Von dort schliessen sich nach Süden eingleisige Tunnel an, die wieder nach der NATM hergestellt wurden. Kernstück des Bauloses 82 ist die «bergmännische» Bahnhofshalle. Der Bau dieses Bahnhofs mit einem Ausbruchquerschnitt von rund 230 m<sup>2</sup> zeigt deutlich den Fortschritt in der nunmehr zehnjährigen Anwendung der NATM beim Verkehrstunnelbau in Deutschland. Querschnitte dieser Grösse waren bei Beginn der Bauarbeiten am Schweizer Platz noch nicht unter vergleichba-

ren Bedingungen bergmännisch hergestellt worden. Die Überdeckung bis zu den Kellersohlen der Häuser ist stellenweise nur 5,00 m; der Abstand von Tunnelfirst bis Geländeoberkante beträgt etwa 11 m.

**Geologie und Hydrologie**

Die geologischen Verhältnisse im Baubereich der Station Schweizer Platz sind gekennzeichnet durch sandige und kiesige Deckschichten des Quartärs, die von Geländeoberkante bis rund 2,50 m über Tunnelfirste reichen. Sie werden unterlagert von tertiären Formationen aus Ton und Tonmergel mit sandigen bis schluffigen Zwischenlagen und Einlagerungen von harten Kalksteinbänken unterschiedlicher Mächtigkeit. Die Grenze zwischen Tertiär und Quartär verläuft uneinheitlich und reicht gelegentlich bis an die Tunnelfirste heran. Das wenige Meter unter Gelände anstehende Grundwasser wird während der Bau-



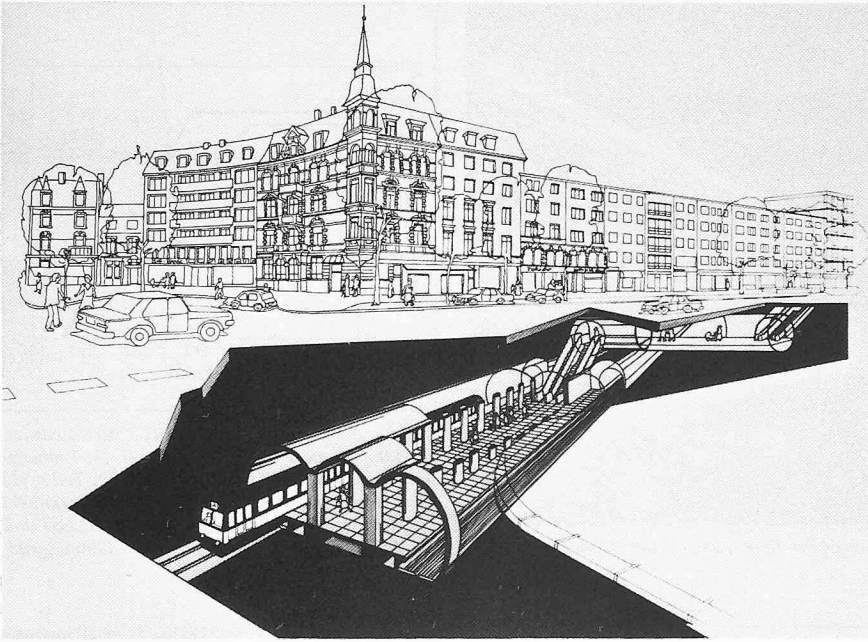


Bild 1. U-Bahnhof Schweizer Platz in Frankfurt/Main

zeit durch *Gravitationsbrunnen* bis unter Tunnelsohle abgesenkt.

**Vortriebsverfahren**

Die grosse Spannweite des Hohlrums von 24,50 m in Verbindung mit den geologischen Verhältnissen und dem geringen Abstand zu den Kellern der über dem Bahnhof liegenden Bebauung

führte zu einem Vortriebs- und Sicherheitskonzept, dessen wesentliches Merkmal die *Aufteilung des Gesamtquerschnitts in überschaubare und gut zu beherrschende Teilquerschnitte* (Bild 2) ist. Durch die im ersten Schritt aufzufahrenden Vorstollen konnte eine Stützung der Ortsbrust der Aussenröhren sowie eine der Aufweitung voraus-

laufende Entwässerung und Konsolidierung des Gebirges erreicht werden.

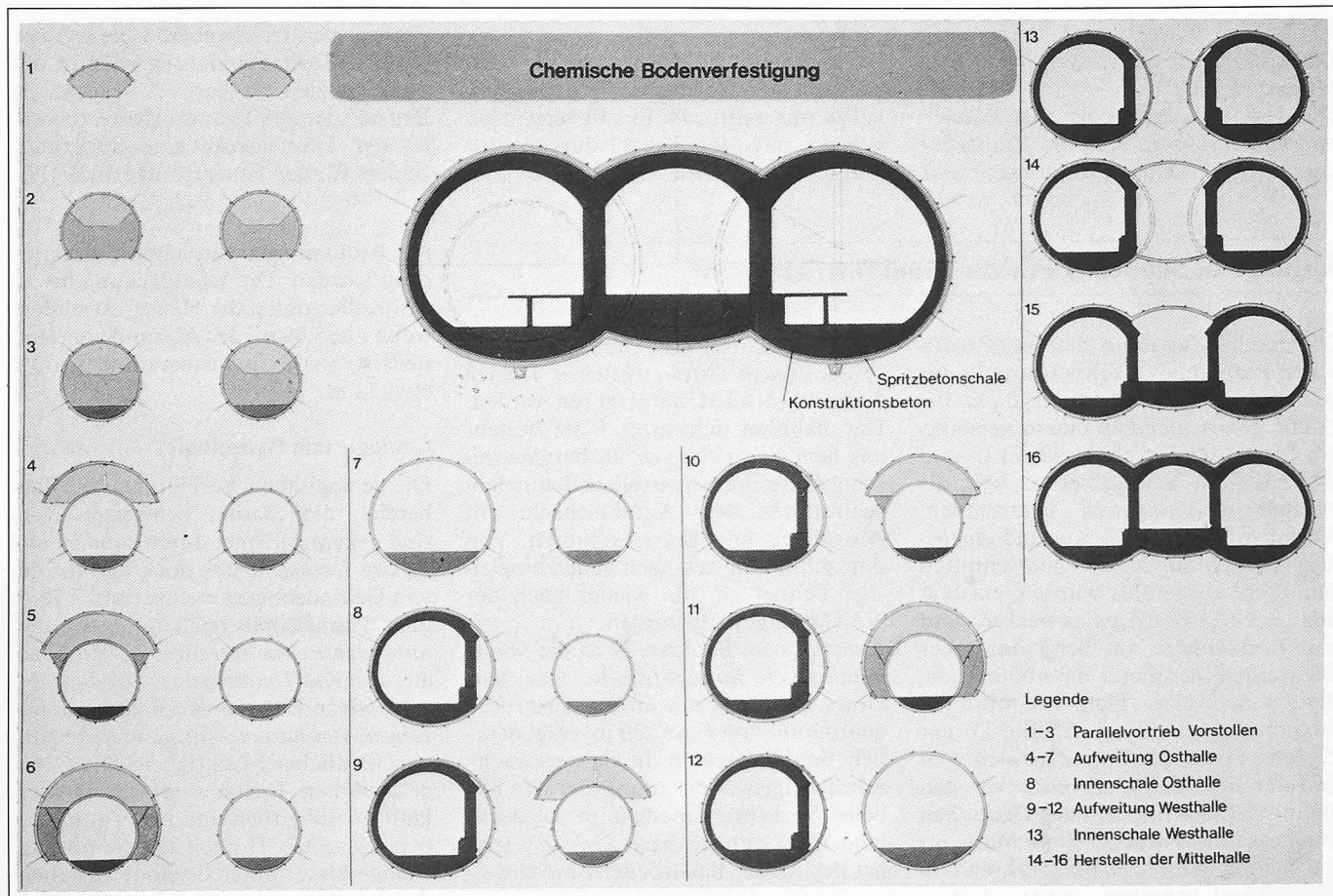
Die Sicherung der grossen Querschnitte besteht aus einer 25 cm dicken Schicht aus Spritzbeton B 25 einlagig mit Baustahlgewebematten bewehrt sowie Streckenbögen TH 16 im Regelabstand von 1,00 m und vier Ankern  $\varnothing 20$  mm,  $l = 3,00$  m je Streckenbogen (Bild 3).

Ein weiteres Sicherungselement ist die über der Schichtgrenze zwischen Quarz- und Tertiär erstellte 30 m breite und 3,00 m dicke *Bodenverfestigung* über der Bahnhofshalle (Bild 2). Sie wurde vor Beginn der Ausbrucharbeiten von drei Angriffspunkten aus durch bis zu 35 m lange Horizontalbohrungen hergestellt. Die Bohransatzpunkte lagen im Anfahrtschacht, in einem quer zum Bahnhof verlaufenden Fussgängertunnel und einem in Bahnhofsmitte von Geländeoberkante abgeteufte Hilfschacht. Die Bodenverfestigung soll einerseits lastverteilend und damit setzungsausgleichend wirken und andererseits die Gefahr von Tagbrüchen beseitigen.

**Messungen und Berechnungen**

Die Bodenverhältnisse am Standort in Verbindung mit der ungewöhnlichen Grösse des Hohlrums liessen eine einfache Extrapolation von bisherigen Er-

Bild 2. Arbeitsablauf bei Bau des U-Bahnhofs Schweizer Platz mit insgesamt über 230 m<sup>2</sup> Ausbruchquerschnitt



fahrungen von kleineren Tunnelquerschnitten und Einschätzungen der Standsicherheiten und zu erwartenden Deformationen nicht zu. Um eventuelle Problemzonen sowie das gesamte Trag- und Verformungsverhalten von Baugrund und Tunnelausbau schon vor Beginn der Bauarbeiten besser erkennen zu können, wurden neben den üblichen statischen Untersuchungen vergleichende Berechnungen nach der Methode der *Finiten Elemente* durchgeführt. Schliesslich wurden im Zuge des Baugeschehens die wirklichen Deformationen von Boden und Tunnelausbau sowie die Beanspruchungen der Spritzbetonsicherung bemessen. Ein Vergleich von gemessenen und berechneten Grössen überprüft die vereinfachenden Annahmen der Berechnung und liefert damit Hinweise für die Anwendbarkeit der Berechnungsannahmen.

In Verbindung mit baubegleitenden Messungen sollten die Untersuchungen gleichzeitig Aufschluss über das Trag- und Verformungsverhalten beim Bau übergrosser Tunnelquerschnitte liefern und damit im Rahmen eines durch den Bundesminister für Forschung und Technologie geförderten Forschungsvorhabens der Weiterentwicklung des bergmännischen Bauens dienen. Die Berechnungen ergaben ein gutes Sicherheitsniveau, was durch die inzwi-



Bild 3. Während der Vortriebsarbeiten und der Sicherung mit Spritzbeton nach der NATM

schen abgeschlossenen Bauarbeiten bestätigt werden konnte.

Adresse der Verfasser: *W. Brandenburg*, dipl. Ing., Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (Stuva), Mathias-Brüggens-Strasse 41, D-5000 Köln 30.  
*G. Brux*, dipl. Ing., Schreyerstr. 13, D-6000 Frankfurt 70.

Alle Vorträge sind in Band 27 der Reihe «Forschung und Praxis, U-Verkehr und unterirdisches Bauen» erschienen. Herausgeber: Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (Stuva). Albatros-Verlag, Postfach 320128, D-4000 Düsseldorf 30.

Die nächste Stuva-Tagung wird vom 28. Nov. bis 1. Dez. 1983 in der Meistersingerhalle in Nürnberg stattfinden.

## Ingenieurschulen

### 60 Jahre Ingenieurschule Zürich

#### Einleitung

Dieses Jahr kann die Ingenieurschule Zürich, eine der Wegbereiterinnen des Zweiten Bildungsweges, auf ihr 60jähriges Bestehen zurückblicken. Der Geburtstag soll Anlass sein, die Schule und ihre Aktivitäten vorzustellen.

Als im Jahre 1922 einige führende Leute der Wirtschaft mit der Schulleitung des Instituts Juventus in Zürich das Abend-Technikum gründeten, ahnten sie wohl kaum, dass sie den Grundstein für den Zweiten Bildungsweg gelegt hatten, eine Institution, die aus unserem heutigen Bildungswesen nicht mehr wegzudenken ist.

Der Anfang war bescheiden, hatten sich doch im Sommersemester 1922 gerade 48 Berufsleute entschlossen, in ihrer Freizeit die Fachschule für Maschinen- und Elektrotechniker zu absolvieren. Nur 12 Studierenden konnte vier Jahre später das «Technikerzeugnis» (so hiess das heutige HTL-Diplom damals) ausgehändigt werden. 1927 wurde eine Bautechnikerfachschule eröffnet, die später in die Abteilungen Hochbautechnik und Tiefbautechnik aufgespalten wurde.

Die staatliche Anerkennung der «Techni-

ker» erfolgte im Rahmen des Berufsbildungsgesetzes von 1968. Erst diese Anerkennung hatte zur Folge, dass die Absolventen des Abend-Technikums heute ermächtigt sind, den gesetzlich geschützten Titel «Ingenieur HTL» bzw. «Architekt HTL» zu führen.

Seit 1978 heisst die Schule nicht mehr «Abend-Technikum Zürich», sondern «Ingenieurschule Zürich», dies als Folge des Berufsbildungsgesetzes vom 19. April 1978, das die Schulbezeichnung «Technikum» in «Ingenieurschule» abänderte.

In den sechzig Jahren ihres Bestehens hat die Ingenieurschule rund 7500 Diplome abgegeben. Die Statistik über die Erfolgsquote nach angefangenem Studium ergibt, je nach Zeitspanne, unterschiedliche Werte. Waren 1965, als die Studentenzahlen mit rund 1800 beim absoluten Maximum lagen, nur rund 35% in der Lage, das Studium mit dem Diplom abzuschliessen, sind es heute rund 55%, wobei zu erwähnen ist, dass die Studentenzahl mit rund 550 nahe beim absoluten Minimum liegt. Ursache für den Rückgang ist u. a. die Tatsache, dass damals jeder Berufsmann im Grossraum Zürich, wollte er sich weiterbilden, zum Abend-Technikum gehen *musste*. Heute kann er nicht nur – dank guter Stipendienmöglichkeiten – an

einer staatlichen Tages-Ingenieurschule, z. B. in Winterthur, Rapperswil oder Windisch, sein Studium ohne die grosse Belastung eines berufsbegleitenden Studiums absolvieren, er kann auch einer HTL-Ausbildung «ausweichen», indem er sich für die Technikerschule entscheidet, die seit 1978 im Berufsbildungsgesetz Aufnahme gefunden hat.

Die Ingenieurschule Zürich wird rein privatwirtschaftlich geführt und gehört dem Institut Juventus Zürich an. Trotz der eidgenössischen Anerkennung bezieht die Schule weder vom Bund noch vom Kanton, noch von der Stadt Subventionen. Sie muss ihren Aufwand mit den Schulgeldern bestreiten und ist bei grösseren Investitionen – wie sie vor allem die Elektronik und die Informatik erfordern – auf die Mithilfe der Industrie angewiesen.

Unter dem Begriff «Ingenieurschule Zürich» ist in erster Linie die «Mutterschule», also die *Höhere Technische Lehranstalt (HTL)* zu verstehen. Sie führt aber auch weitere Ausbildungsgänge: ein *Nachdiplomstudium zum Betriebsingenieur*, *Weiterbildungskurse* für den Ingenieur und den Architekten sowie eine *Technikerschule*. Im folgenden sollen diese Schulen und Weiterbildungsmöglichkeiten näher vorgestellt werden.