

# Die einschalige Spritzbetonbauweise aus der Sicht des Auftraggebers

THE SINGLE PERMANENT SHOTCRETE LINING METHOD FROM THE EMPLOYER'S POINT OF VIEW

## Stadtdirektor Dipl.-Ing. Joseph Weber, U-Bahn-Referat München

Beim Münchner U-Bahn-Bau wurden die Querschnitte der untertägig erstellten Tunnel anfangs nur zweischalig ausgeführt. Während bei den Schildbauweisen eine einschalige Betontübbingauskleidung entwickelt wurde, ist es bei den Spritzbetonbauweisen bei der zweischaligen Ausbildung geblieben.

Die bezüglich der Wasserundurchlässigkeit der Spritzbetonaußenschale gemachten Erfahrungen und die Ergebnisse von andernorts durchgeführten Versuchen haben bisher noch nicht zu einer einschaligen Bauweise ermutigt. Die zu erwartenden Kostensenkungen lassen sie aber nach wie vor erstrebenswert und vor dem Hintergrund verbesserter Spritzbetontechniken und verbesserter Spritzbetonqualität auch als möglich erscheinen.

Ein Firmenvorschlag, eine 60 m lange Versuchsstrecke bei einem eingleisigen Tunnelquerschnitt einschalig auszubilden, wurde deshalb aufgegriffen. Vorgesehen ist eine 2-schichtige Ergänzung der beim Vortrieb unter Grundwasserabsenkung erstellten, 15 cm dicken Spritzbetonschale zu einem 35 cm dicken Gesamtquerschnitt. Erwartet wird, daß sich aus den Erfahrungen dieser Probestrecke Einsatzmöglichkeiten ergeben und weitere Erkenntnisse für die einschalige Spritzbetonbauweise gewonnen werden.

*All tunnel sections of the Munich Subway were originally executed with two linings. In the case of shield tunneling, a single concrete segment lining was developed later on, whereas with the shotcrete method an inner and an outer lining continued to be applied.*

*Our experience with regard to the watertightness of the shotcrete outer lining as well as the results of tests carried out in other places have so far not encouraged us to execute subway tunnels with a single permanent shotcrete lining. However, in view of the expected cost savings and the improvements in shotcrete technology and quality, this method appears to be both desirable and feasible.*

*That is why a contractor's proposal was taken up to execute a 60-m-long test section of a single-track tunnel with a single permanent shotcrete lining. It is planned to complete the 15-cm-thick shotcrete layer placed during tunnel driving and simultaneous ground-water lowering by two additional layers to form a 35-cm-thick shotcrete lining. It is expected to extend the field of application of this method based on the experience gained from the construction of the test section.*

Die einschalige Spritzbetonbauweise ist seit vielen Jahren ein angestrebtes, aber noch nicht erreichtes Ziel der Tunnelbauer. Beim Forschungsvorhaben "Wirtschaftliche und konstruktive Mög-

lichkeiten zur Herstellung von Tunneln in einschaliger Bauweise" kam die STUVA zu dem Ergebnis, daß einschalige Tunnel aus Spritzbeton aus Qualitäts- und Kostengründen bei vorhandenem Druck-

wasser eine spezielle Abdichtung erfordern /1/.

Dies bedeutet, daß wasserundurchlässiger Spritzbeton nicht hergestellt werden konnte.

**1. Die Entwicklung und der Stand der Tunnelauskleidungen beim U-Bahn-Bau in München**

In dem am 1. Februar 1990 25 Jahre alt gewordenen Münchner U-Bahn-Bau haben sich wirtschaftliche, an die speziellen Umstände angepaßte und nunmehr seit Jahren bewährte Bauweisen herausgebildet /2/. Nach einer anfänglichen stürmischen Entwicklungsphase ist es schwer geworden, den erreichten technischen Standard durch spektakuläre Verbesserungen oder durch neue Bautechniken zu übertreffen. Trotzdem bleiben nicht erreichte Ziele und denkbare Verbesserungen.

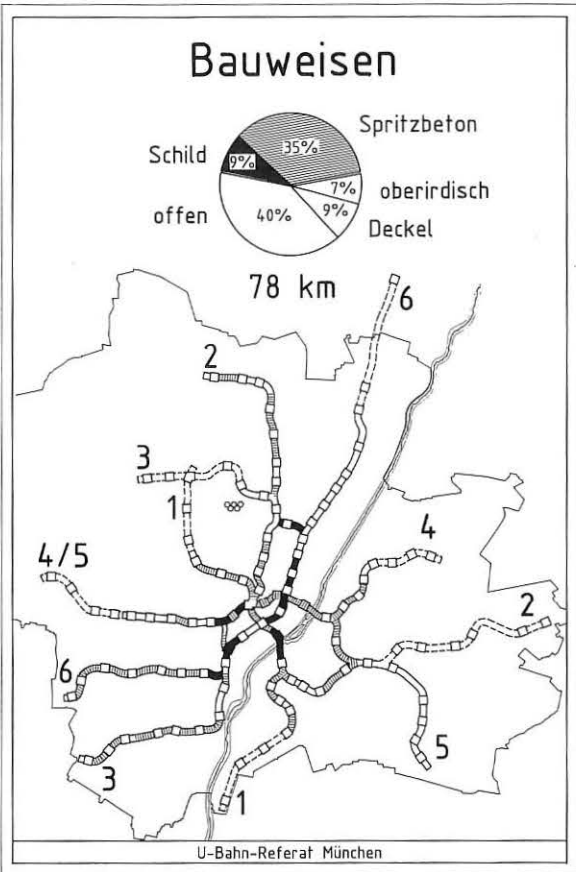


Bild 1: Streckenübersicht

Von dem geplanten über 100 km langen U-Bahn-Netz sind derzeit 63 km mit 68 Bahnhöfen in Betrieb und 15 km mit 16 Bahnhöfen sind im Bau. Von den zusammen 78 km entfallen 44 % auf die geschlossene Bauweise, und zwar 9 % auf die Schild- und 35 % auf die Spritzbetonbauweise. Bei den im Bau befindlichen 15 km beträgt der Anteil der Spritzbetonbauweise 51 %. Zum Vergleich: Bei

den ersten bis 1972 gebauten 15 km betrug der Anteil der geschlossenen Bauweise knapp 20 %.

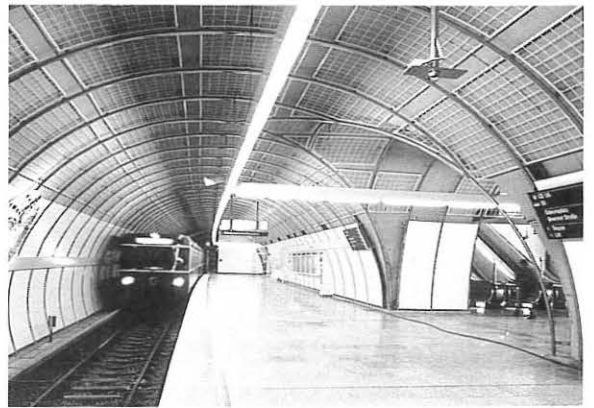


Bild 2: U-Bahn-Hof Odeonsplatz

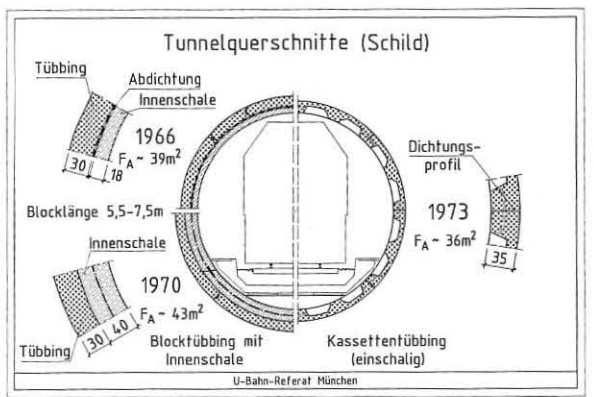


Bild 3: Auskleidung der Schildtunnel

Diese Zahlen zeigen deutlich die gestiegene Anwendung und die große Bedeutung, welche die geschlossenen Bauweisen während des Ausbaus des U-Bahn-Netzes insbesondere durch die Spritzbetonvortriebe erhalten haben /3, 4/. Schon deshalb wird es sich lohnen, weiter auf sie zu setzen und in diesem Zusammenhang auch die Anstrengungen zur Entwicklung einer kostengünstigen und materialsparenden einschaligen Spritzbetonbauweise zu unterstützen.

Bezüglich des Grundwassers ist anzumerken, daß alle mit Schildvortrieb hergestellten Tunnel im Grundwasser liegen, während 1/5 der in Spritzbetonbauweise erstellten Tunnel über dem Grundwasser liegen. Trotzdem ist es bei der Spritzbetonbauweise bei der zweischaligen Auskleidung geblieben, während 1/3 der Schildtunnel einschalig ausgeführt worden sind.

Zu Beginn des U-Bahn-Baus wurde zum eingeleigten Tunnel ein vollmechanischer Schild mit offenem Schneidrad verwendet. Der Vortrieb er-

folgte im Schutze einer Grundwasserabsenkung. Die Tunnelauskleidung bestand aus 30 cm dicken Blocktübblingen, einer Abdichtung aus Bitumenschweißbahnen und einer 18 cm dicken Stahlbetoninnenschale.

Wegen Undichtigkeiten und zweier schwerer Brandunfälle wurde ab 1970 auf die Abdichtung verzichtet und statt dessen eine 40 cm dicke Innenschale aus wasserundurchlässigem Beton eingebaut. Die Innenschalen wurden anfangs in Blöcken von 5,5 m Länge und später von 7,5 m Länge ausgeführt. Mit dieser Auskleidung wurden gute Erfahrungen gemacht. Als besonders günstig erwies sich die dabei mögliche einfache Behebung von Undichtigkeiten, weil hier die Wasseraustrittsstelle und die Schadstelle im Beton übereinstimmen.

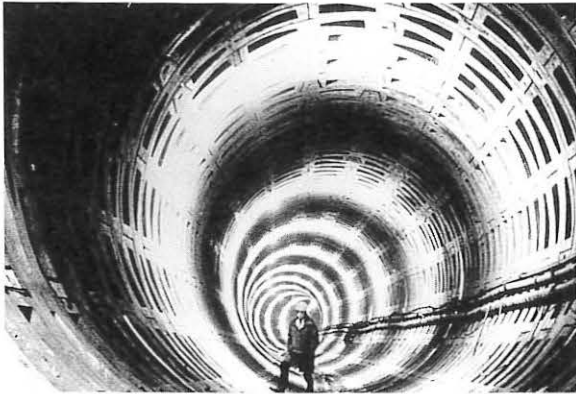


Bild 4: Einschaliger Schildtunnel mit einschaligem Stahlbetonkassettentübbling

1973 kam dann beim Schildvortrieb der Schritt zum einschaligen Ausbau. Verwendet wurden Stahlbetonkassettentübblinge aus wasserundurchlässigem Beton. Die Abdichtung der Stoßfugen erfolgte mit umlaufenden Neoprenebändern. In dieser Bauart wurde vor 1980 noch ein weiteres Baulos ausgeführt.

Obwohl andernorts die einschalige Schildbauweise mit Betontübblingen seither vielfach und erfolgreich angewendet und fortentwickelt worden ist, kam es in München durch die Konkurrenz der kostengünstigeren und flexibleren Spritzbetonbauweise zu keinem weiteren Einsatz.

Die ersten in bergmännischer Bauart erstellten Tunnel waren die Bahnsteigtunnel unter dem Rathaus, die 1967 mit einem Messervortrieb in Kernbauweise hergestellt wurden. Die Auskleidung war ebenfalls zweischalig: Sie bestand aus einem auf volle Auflast bemessenen meterdicken Außengewölbe, einer Abdichtung aus Bitumenschweißbahnen und einer 40 cm dicken Stahlbetoninnenschale.

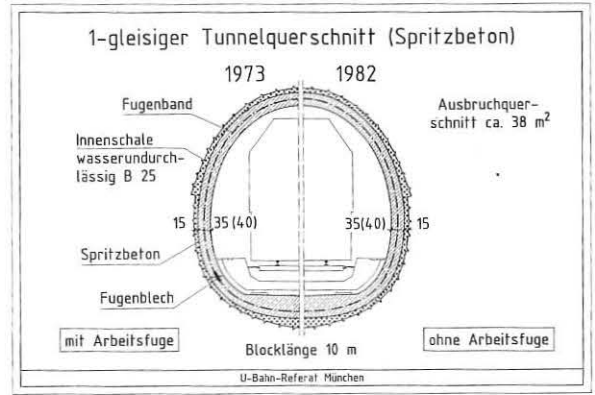


Bild 5: Zweischalige Auskleidung bei eingleisigen Spritzbetontunneln

Im Jahre 1973 wurden die ersten zwei Baulose mit Tunneln in Spritzbetonbauweise beauftragt. Ausgeführt wurden eingleisige und zweigleisige Streckentunnel und zwei eingleisige Bahnsteigtunnel. Die Beauftragung erfolgte aufgrund von Sondervorschlägen. Die Vorschläge sahen jeweils eine zweischalige Auskleidung vor, eine Spritzbetonaußenschale und eine Innenschale aus wasserundurchlässigem Beton. Die Innenschalen wurden in 10 m langen Blöcken hergestellt und direkt gegen die Spritzbetonaußenschale betoniert. Sie wurden in zwei Abschnitten, Sohle und Gewölbe, hergestellt.

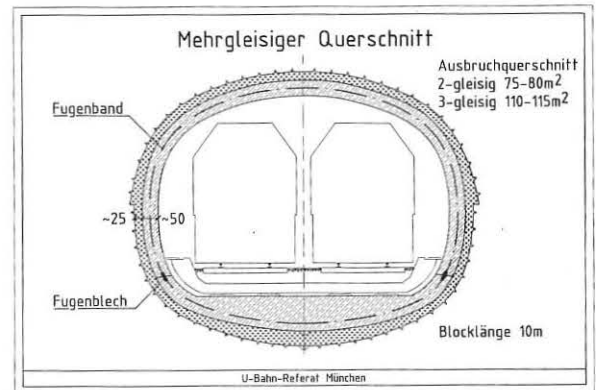


Bild 6: Zweischalige Auskleidung bei mehrgleisigen Spritzbetontunneln

Damit hatte man auf die guten Erfahrungen der zweischaligen Auskleidung der mit Schild aufgebauten Tunnel aufgebaut, war aber bezüglich der Blocklängen und des Betonierens gegen eine Spritzbetonschale einen Schritt weitergegangen. Dieses Konstruktionsprinzip wurde, trotz nicht immer voll befriedigender Ergebnisse, bis heute beibehalten. Nur bei den eingleisigen Tunneln werden die Innenschalen seit 1982 in einem Arbeitsgang ohne Arbeitsfuge mit einem Fullroundschalwagen erstellt. Die Dicke der Außenschale

beträgt bei den eingleisigen Tunneln im allgemeinen 15 cm, die der Innenschale 35 cm /5/.

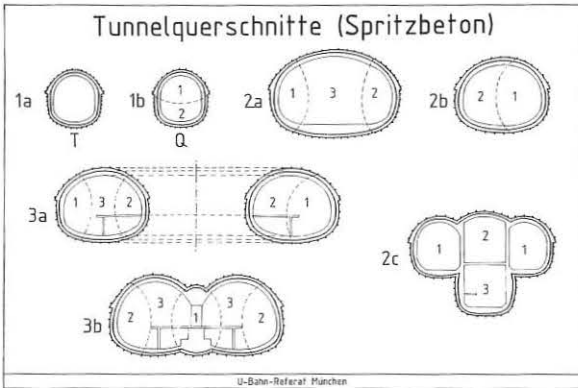


Bild 7: Querschnittsformen bei Spritzbetontunneln

Bald wurden auch Weichenstraßen, mehrzellige Tunnel und zweigleisige Bahnsteigtunnel in Spritzbetonbauweise und mit Innenschalen aus wasserundurchlässigem Beton ausgeführt. Bei mehrzelligen Querschnitten wurden die Innenschalen auch zum schrittweisen Aufbau des Gesamtquerschnittes mit herangezogen. Die Schwerpunkte der Entwicklung lagen bei sicheren und kostengünstigen sowie setzungsarmen und den unterschiedlichen Bodenverhältnissen angepaßten Vortriebsmethoden.

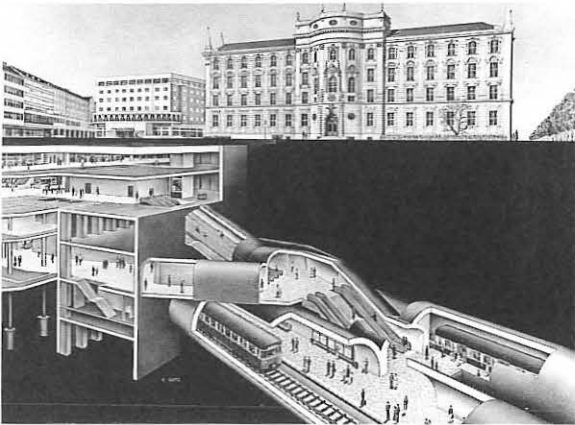


Bild 8: U-Bahnhof Karlsplatz-Stachus und Stachusbauwerk

Das Aufbringen des Spritzbetons erfolgt bis heute aus baubetrieblichen Gründen ausschließlich mit dem Trockenspritzverfahren.

38 Baulose mit Spritzbetonvortrieben wurden seit 1973 in Auftrag gegeben, 8 davon sind noch im Bau. Bei diesen Baulosen wurden 44 km eingleisige Tunnel und 4 km mehrgleisige Tunnel bzw. Bahnsteigtunnel vorgetrieben.

Die Baulos für Baulos gemachten Erfahrungen

schlugen sich in zahlreichen Verbesserungen nieder. Am Prinzip der Zweischaligkeit wurde aber festgehalten. Dafür gibt es gute Gründe:

Die Spritzbetonaußenschale wird meterweise, in viele Abschnitte unterteilt und oft unter großen Schwierigkeiten, z. B. bei Wasserandrang oder Rollkieslagen, von der Vortriebsmannschaft eingebaut. Es kann nicht ohne weiteres erwartet werden, daß unter diesen Umständen die Qualität der Spritzbetonschale der einer aus geschaltem Rüttelbeton gleichwertig ist.

Dies hat sich auch in der statischen Betrachtungsweise niedergeschlagen:

Die Außenschale wird nicht in die Bemessung des endgültigen Ausbaus einbezogen. Die Innenschale übernimmt alle im Endausbau auftretenden Lasten.

Die Mitwirkung der Außenschale und die Wirkung des Gesamtsystems Innen- und Außenschale durch den in Wirklichkeit vorhandenen Reibungsverbund wird als Sicherheitsreserve betrachtet.

Vor allem aber zeigen alle bisherigen Erfahrungen, daß die Spritzbetonaußenschale wasserundurchlässig ist. Vor dem Einbau der Innenschale müssen vielfach Abschlauchungen von zutretendem Restwasser bei unvollständiger Grundwasserabsenkung vorgenommen werden, um die Innenschale gegen eine einwandfrei drainierte Spritzbeton-Rücklage betonieren zu können.

## 2. Die Kosten der zweischaligen Auskleidung und mögliche Einsparungen bei einschaligem Ausbau

Auch der erforderliche Aufwand für die Erstellung einer mit hohen Tragreserven ausgestatteten, dauerhaften Auskleidung erscheint angemessen.

Betrachten wir dazu die Preise für die Innenschalen von 20 Baulosen, die zwischen 1982 und 1989 angeboten worden sind. Bei 14 dieser Baulose lagen die Tunnel im Grundwasser, bei 6 über dem Grundwasser. Bei den im Grundwasser liegenden Tunneln betrug der Nettogesamtpreis pro lfd. m Tunnel im Mittel der Lose DM 18.700,-. Der mittlere Innenschalenpreis einschließlich Bewehrung betrug DM 3.700,-. Damit ergibt sich für die Innenschalen, ohne die anteilige Baustelleneinrichtung, ein Anteil von ca. 20 % an den Gesamtkosten.

Bei den nicht im Grundwasser gelegenen Tun-

neln betrug der Nettogesamtpreis pro lfd. m Tunnel im Mittel DM 11.300,--. Der Preis der Innenschalen einschließlich Bewehrung betrug im Mittel DM 3.100,--. Dies entspricht einem Kostenanteil von ca. 27 %.

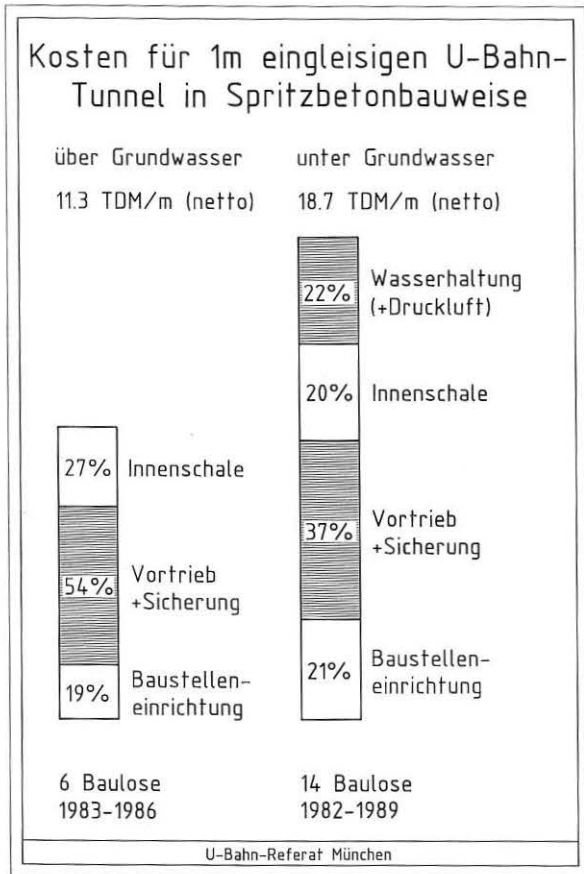


Bild 9: Kosten eingleisiger Tunnel

Der Bewehrungsgehalt der Innenschalen lag im Mittel bei  $60 \text{ kg/m}^3$ , die Kosten hierfür betragen etwa 30 % der Gesamtkosten der Innenschale. Diese Bewehrung ist zu einem guten Teil durch die Beanspruchungen aus einer eventuellen späteren Bebauung bzw. eines späteren Baugrubenaushubs bedingt.

Für die Herstellung von 100 m Innenschale werden zwei Wochen benötigt, d. h. arbeitstäglich wird ein Block von 10 m Länge betoniert. Bei Einsatz eines Schalwagens beträgt, einschließlich der Auf- und Abbauphase des Schalwagens, der Zeitanteil der Innenschalen an der Tunnelherstellung ca. 40 %.

Geht man bei einer einschaligen Auskleidung von 35 cm Dicke aus, einschließlich der Aktivierung der 15 cm dicken Spritzbetonaußenschale, so beträgt die Einsparung an Querschnittsdicke ca. 30 %, die an Ausbruchfläche ca. 8 %. Damit wären, wenn man den Spritzbetonpreis um nur etwa 25 % höher als den Innenschalenbetonpreis ansetzt, Kosteneinsparungen um ca. 10 % zu erzielen.



Bild 10: Innenschale eines zweigleisigen Tunnels

### 3. Einsatzbereiche für erste Anwendungen

Für eine Überlegung, welche Einsatzbereiche sich bei einem einschaligen Spritzbetonausbau besonders oder als erstes anbieten würden, sind drei Fälle anzuführen:

- Tunnel, die nicht oder nur teilweise im Grundwasser liegen:

Hier entfällt weitgehend das Hauptproblem, nämlich die erforderliche Wasserundurchlässigkeit der Auskleidung. Es bestehen keine Bedenken, daß eine qualitativ einwandfreie Auskleidung hergestellt werden kann. Hinzu kommt, daß diese Tunnel im allgemeinen sehr oberflächennah in den quartären Kiesen liegen und deshalb mit Hilfe einer Vorpfindung aufgeföhren werden, die beim Vortrieb über dem Grundwasser im Ulmenbereich auch durch eine Zement-Bentonit-Verfüll-Injektion ersetzt werden kann. Dadurch entfällt in diesen Bereichen für den Spritzbeton die Aufgabe der Sofort-sicherung. Die äußerste Schicht des einschaligen Spritzbetonausbaus könnte dann bei Verwendung von Gitterträgern über größere arbeitsfugfreie Abschnitte und damit in einer verbesserten Qualität aufgebracht werden.



Bild 11: Handschalung bei einem Querschlag

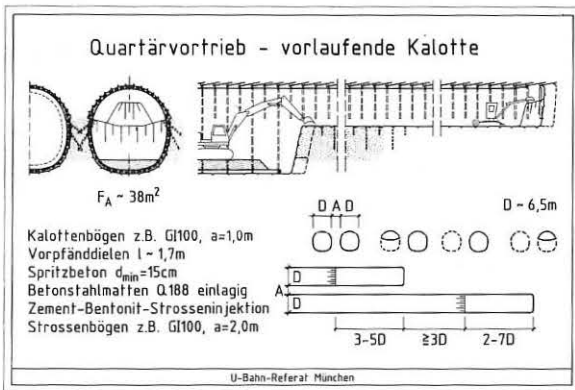


Bild 12: Quartärvortrieb

- Kurze Tunnelabschnitte:

Bei den Tunneln unter Grundwasser könnten kurze Abschnitte, z. B. Querschläge, Tunnelaufweitungen und Treppenschächte, welche heute noch von Hand geschalt werden, als erstes einschalig hergestellt werden. Der Entfall der aufwendigen Schalung und die auf die kurze Streckenlänge mögliche intensivierte Überwachung der Spritzarbeiten machen diese Bereiche interessant. Bereits bei der Erstellung des Bahnhofs Lehel in Spritzbeton unter Druckluft im Jahre 1983 gab es Überlegungen, einen Querschlag für

erforderliche betriebliche Einbauten in einschaligem Spritzbetonausbau zu erstellen.

Wegen der befürchteten Wasserdurchlässigkeit einer Spritzbetonschale blieb es aber bei der aus-geschriebenen zweischaligen Auskleidung.

Diese Befürchtung bestätigte sich auch bei Ver-suchen, die auf dieser Baustelle im Frühjahr 1983 durchgeführt wurden, um die Verbundqualität zwischen dem Spritzbeton und den dort einge-setzten Gitterträgern festzustellen. Es wurden Probeplatten hergestellt, die am Materialprü-fungsamt der Technischen Universität München auf Spritzschatten, Festigkeit und Wasserdichtig-keit geprüft wurden. Die Ergebnisse wurden von Herrn Professor Eber begutachtet. Er kam zu der Feststellung, daß die Festigkeit und die Ver-bundwirkung befriedigten, daß die Versuche bezüglich der Wasserdichtigkeit aber gezeigt haben, daß noch kein wasserundurchlässiger Spritzbeton hergestellt werden kann /6/.

- Spritzbetonvortriebe unter Druckluft:

Bei den Vortrieben unter Druckluft werden schon heute hohe Anforderungen an die Spritz-betonaußenschale gestellt.

Schon während des Vortriebs wird eine möglichst dichte Spritzbetonschale zur Verminderung der Luftverluste angestrebt, namentlich in sandigen und kiesigen Böden. Nach der Beendigung des Vortriebs und dem Abschalten der Druckluft hat die nicht mehr vom Luftdruck gestützte Außenschale den gesamten Erddruck und den gesamten Wasserdruck aufzunehmen oder zumindest einen reduzierten Wasserdruck, wenn eine Teilabsenkung oder Entspannung des Grundwassers weiter betrieben wird /7/.

Diese Anforderungen führen gegenüber den Vortrieben mit Grundwasserabsenkung vielfach auch zu einer dickeren und stärker bewehrten Außenschale.

Bisher ist es aber nicht gelungen, die Außenschale genügend wasserdicht auszubilden. Vor dem Einbau der Innenschale müssen bereichs-weise noch Abschlauchungen und Dichtungsputze oder Versiegelungen eingebaut werden, um die Innenschale betonieren zu können.

Wenn es gelingt, einen wasserundurchlässigen Spritzbeton herzustellen, wäre der einschalige Ausbau nicht nur wirtschaftlich interessant. Es ergäbe sich beim Einbau der gesamten Schale unter Druckluft auch ein zusätzlicher Sicher-

heitsgewinn beim Ablassen der Druckluft.

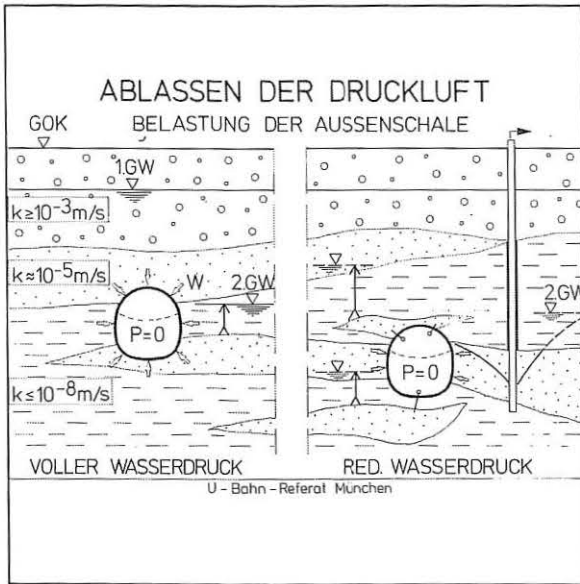


Bild 13: Beanspruchung der Außenschale nach Ablassen der Druckluft

Aber auch bei den Vortrieben ohne Druckluft haben sich im Laufe der Zeit die Anforderungen an die Spritzbetonschale erhöht. In vielen Fällen wird, um die Wasserhaltung möglichst frühzeitig beenden oder zumindest einschränken zu können, die Außenschale so bemessen, daß sie zumindest einen Teil des vollen Wasserdrucks aufnehmen kann. Zusätzlich wird selbstverständlich eine für das Betonieren der Innenschale ausreichende Dichtigkeit angestrebt.

#### 4. In der Praxis erzielte Spritzbetonqualität

Auch die Spritzbetontechnologie hat sich fortentwickelt und laufend verbessert. In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, ob sich die Verbesserungen auf die in der Baustellenpraxis erzielte Spritzbetonqualität ausgewirkt haben.

Wir vergleichen hierzu eine Auswertung des Verlaufs der Spritzbetondruckfestigkeiten der Jahre 1982 bis 1986 mit dem der Jahre 1987 bis 1989.

Die gestellten Anforderungen waren in beiden Zeiträumen gleich: B 25 und eine Frühfestigkeit von  $5 \text{ N/mm}^2$  nach 6 Stunden. Die Festigkeitsentwicklung der ersten Stunden wurde mit dem Kaindl-Meyco-Prüfgerät ermittelt. Bei den Werten über 3 Tagen handelt es sich um Prüfungen an Bohrkernen. Der statistischen Auswertung des ersten Zeitraums liegen 2.870 Meßwerte aus 5 Baulosen zugrunde, der des zweiten Zeitraums 966 Meßwerte aus 8 Baulosen.



Bild 14: Spritzbetontunnel nach Ablassen der Druckluft

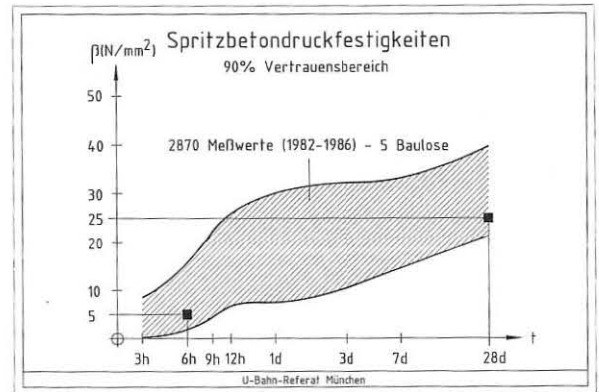


Bild 15: Spritzbetonfestigkeiten 1982 - 1986

Die Gegenüberstellung der 90 % Vertrauensbereiche zeigt, daß im zweiten Zeitraum die Streuung der Festigkeitswerte abgenommen und die 28-Tage-Festigkeit zugenommen hat. Sie liegt im ersten Zeitraum zwischen 21 und  $40 \text{ N/mm}^2$  gegenüber 27 bis  $44 \text{ N/mm}^2$  im zweiten Zeitraum. Die 6-Stunden-Festigkeit liegt im ersten Zeitraum zwischen 2 und  $16 \text{ N/mm}^2$  und zwischen 3 und  $12 \text{ N/mm}^2$  im zweiten Zeitraum. In Anbetracht der Anstrengungen, die für eine Hebung der Spritzbetonqualität unternommen worden sind, sind diese Verbesserungen eher geringer als erwartet werden

konnte. Hier dürfte sich der Einfluß der unterschiedlichen handwerklichen Fertigkeiten der Spritzdüsenführer ausgewirkt haben.

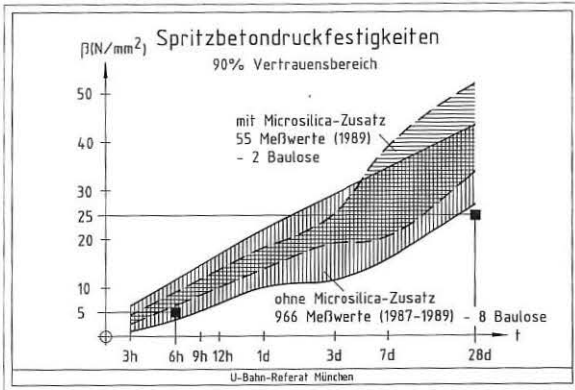


Bild 16: Spritzbetondruckfestigkeiten 1987 - 1989

Im Vergleich dazu ergab eine Auswertung der 28-Tage-Festigkeit von 637 Würfelproben von Innenschalen, welche in 6 Baulosen zwischen 1987 und 1989 hergestellt worden sind, Festigkeiten von 35 bis 55 N/mm<sup>2</sup> im 90 % Vertrauensbereich. Damit wurde anstelle des geforderten B 25 tatsächlich ein B 35 erreicht.

In zwei Baulosen wurde versuchsweise Mikrosilika-Spritzbeton eingebaut. Bei einem der beiden Baulose erfolgt die Verwendung von Mikrosilika, um einen dichteren Spritzbeton zur Verminderung der Luftverluste beim Druckluftvortrieb zu erzielen. Es liegen insgesamt aber erst 55 Meßwerte vor, so daß noch keine gesicherte Aussage vorliegt. In der Tendenz ist mit Werten zwischen 34 und 52 N/mm<sup>2</sup> ein merkliches Ansteigen der 28-Tage-Festigkeit zu erkennen. Die 6-Stunden-Festigkeit liegt zwischen 6 und 9 N/mm<sup>2</sup>.

## 5. Die Probestrecke

Die Verwendung von Mikrosilika-Spritzbeton und der vorgeschlagene schichtenweise Aufbau der Auskleidung für wasserundurchlässigen Beton waren die wichtigsten Gründe dafür, daß wir uns, trotz der bisherigen negativen Erfahrungen mit der Wasserundurchlässigkeit, zur Ausführung der vorgeschlagenen Probestrecke mit einschaliger Spritzbetonauskleidung entschieden haben.

Mikrosilika-Spritzbeton wurde z. B. auch für die einschalige Auskleidung eines Abwasserstollens bei Frasdorf verwendet. Dort wurden auch Vorversuche für die Probestrecke in München gemacht.

Die 60 m lange Versuchsstrecke befindet sich am Ende eines eingleisigen Streckentunnels. In diesem

Bereich wäre wegen einer Querschnittsaufweitung für eine Weichenanlage bei der zweischaligen Auskleidung ohnehin ein ca. 20 m langer Abschnitt besonders zu schalen gewesen.

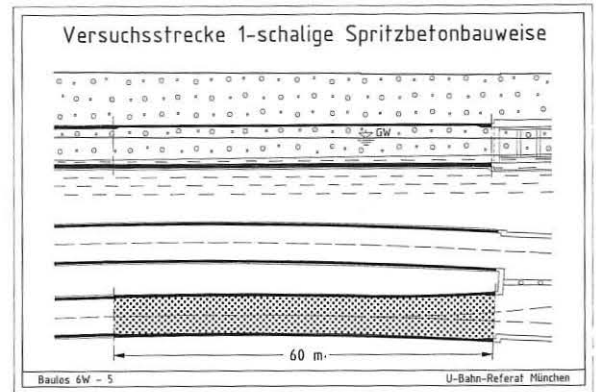


Bild 17: Versuchsstrecke; Grundriß und Längsschnitt

Die Bodenüberdeckung beträgt im Versuchsbereich ca. 7,5 m. Die Kalotten- und Ulmenbereiche liegen im quartären Kies, während der Sohlbereich in den tertiären Mergel eintaucht. Der Grundwasserspiegel liegt etwa 10 m unter der Oberfläche, steht also rund 2,5 m unterhalb der Tunnelfirste an. Der Vortrieb erfolgt im Schutze einer Grundwasserabsenkung. Der einschalige Ausbau erstreckt sich nur auf die Kalotte und die Ulmen. Der Sohlbereich soll in Ortbeton ausgeführt werden. Grund dafür sind Terminzwänge, welche eine spätere Nachdichtung von evtl. Undichtigkeitsstellen im Bereich des zur Körperschalldämmung vorgesehenen Gleistroges nicht zulassen.

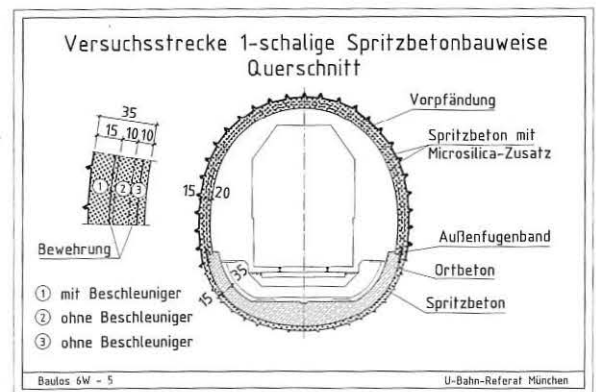


Bild 18: Versuchsstrecke; Querschnitt

Die einschalige Auskleidung soll aus 3 Schichten Mikrosilika-Spritzbeton zusammengesetzt werden. Die erste, 15 cm dicke Schicht soll während des Vortriebs in zwei Arbeitsgängen zunächst mit, dann ohne Beschleuniger hergestellt werden. Sie wird mit Gitterträgern und einer Betonstahlmatte bewehrt.



Die zweite Schicht ist 10 cm dick und unbewehrt geplant. Ihr kommt die hauptsächliche Dichtungsfunktion zu.

Die dritte Schicht soll ebenfalls 10 cm dick und mit zwei Betonstahlmatten bewehrt ausgeführt werden.

Die nachfolgenden Vorträge gehen speziell auf die Spritzbetontechnologie und die Bauabwicklung ein.

Die Erzielung einer satten Betonumhüllung der Bewehrung durch die Vermeidung von Spritzschatten ist eine Voraussetzung für den Erfolg dieser Probestrecke. Diese Bewehrung ergibt sich aus der rechnerischen Biegebeanspruchung von Innenschalen hochliegender Tunnel in bebautem Gebiet. Sie wurde bewußt nicht im Sinne einer vereinfachten Versuchsdurchführung zu reduzieren versucht.

Ein Ausführungsrisiko ist aus der Sicht des Auftraggebers sicherlich vorhanden, insbesondere weil aus Termingründen auf die Möglichkeit eines späteren Nachbaus einer Innenschale für den Fall etwaiger Undichtigkeiten verzichtet werden mußte. Andererseits erscheint uns dieses Risiko vertretbar, weil die einschalige Auskleidung nur bis zu 3 m tief im Grundwasser liegt und erforderlichenfalls noch Platz für eine 15 cm dicke Abdichtungskonstruktion vorhanden ist.

Wir erwarten von der Probestrecke weiterführende Erkenntnisse, die eine unmittelbare Anwendung der einschaligen Auskleidung für kurze Tunnelstrecken erlauben und die zumindest auch zur Entwicklung und schrittweisen Einführung einer generell anwendbaren einschaligen Spritzbetonbauweise beitragen.

Zum Erfolg dieser einschaligen Spritzbetonbauweise gehört es sicherlich auch, daß die Voraussetzungen für zumutbare Arbeitsbedingungen und für

eine gesicherte Ausführungsqualität geschaffen werden. Dies bedeutet die Anwendung von Spritzverfahren mit geringer Staubeentwicklung und das maschinelle Aufbringen des Spritzbetons mit Hilfe von Robotern.

## **6. Literatur:**

- /1/ Schreyer (1990):**  
Abdichtung einschaliger Tunnel (Tunnelbautaschenbuch 1990, S. 237-261).
- /2/ Hochmuth; Krischke; Weber (1985):**  
Die Bauverfahren beim Münchner U-Bahn-Bau, Überblick über eine 20-jährige Entwicklung (Tunnel 4/1985, S. 206-218).
- /3/ Lessmann (ed.), (1978):**  
Moderner Tunnelbau bei der Münchner U-Bahn (Springer Verlag, Wien - New York).
- /4/ Hochmuth; Krischke; Weber (1987):**  
Subway Construction in Munich, Developments in Tunnelling with Shotcrete Support (Rock Mechanics and Rock Engineering 20, p. 1-38).
- /5/ Weber (1987):**  
Erfahrungen mit wasserundurchlässigem Beton beim Münchner U-Bahn-Bau (Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Heft 115, S. 9-18).
- /6/ Eber (1983):**  
Gutachterliche Stellungnahme über Qualitätsuntersuchungen der Verbundbauweise Spritzbeton-Gitterträger (unveröffentlicht).
- /7/ Lessmann; Gstir; Jelinek; Schiele (1986):**  
Subway Tunnelling in Munich Using Shotcrete with Compressed Air (Rock Mechanics and Rock Engineering 19, p. 57-69).