

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 86 (1968)
Heft: 4

Artikel: Aktuelle Methoden im Städtischen Tiefbau: Schildvortrieb in Lockergesteinen
Autor: Prader, Duri
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69971>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 31.01.2026

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

Aktuelle Methoden im Städtischen Tiefbau

Kurs des Basler Ingenieur- und Architekten-Vereins (BIA) vom 7. bis 9. Juni 1967, viertes Heft (vgl. Schweiz. Bauzeitung 1967, Hefte 47, 50 und 51)

Schildvortrieb in Lockergestein

Von Duri Prader, dipl. Ing. ETH, Zürich

1. Einleitung

Die Schildbauweise für den Bau von Stollen und Tunneln im Lockermaterial ist in den letzten zehn Jahren im Rahmen städtischer Tiefbauaufgaben sowohl in Europa als auch in der Schweiz ins Blickfeld der Aktualität gerückt. In der Skala aller denkbaren verschiedenartigen Tunnelbauaufgaben ist die Schildbauweise mit den schwierigeren und heikleren Fällen verbunden. Ihre Anwendung erstreckt sich auf kleine und grosse Querschnitte, etwa im Bereich von 10 bis 80 m² Aushubquerschnitt, und betrifft Abwasserstollen, Leitungs- und Verkehrsstollen, Tunnel von U-Bahnen sowie Strassen- und Bahntunnel.

In den vorliegenden Ausführungen wird die Bezeichnung Tunnel auch als Sammelbegriff für Tunnel und Stollen verwendet. Außerdem ist im nachstehenden die sporadische Anwendung des Schildprinzips beim Bau von Unterführungen, d. h. bei Kreuzungen von Verkehrswegen, ausser Betracht gelassen. Ferner sind jene selten angewendeten sogenannten Schilde übergangen, welche nicht eine geschlossene Rohrkonstruktion darstellen, also keinen geschlossenen Mantel haben, sondern in der Sohle offen sind.

Die Idee der Schildbauweise stammt aus England und ist gegenwärtig 150 Jahre alt. Aus früherer Zeit sind in der Schweiz namentlich zwei Anwendungen der Schildbauweise bekannt, nämlich aus dem Jahre 1894 im Emmersberg-Bahntunnel in Schaffhausen und aus dem Jahre 1925 im Sulgenbach-Abwasserstollen in Bern. Die neuere, aber grundsätzlich immer noch gleichartige Anwendung der Schildbauweise im Lockermaterial begann in der Schweiz im Jahre 1959 mit dem Bau des Donnerbühlstunnels der SBB im Bahnhof Bern und fand die Weiterführung bei Signalstollen im Bahnhof Zürich, bei Wasserstollen der Bleniokraftwerke in zuckerkörnigem Dolomit, bei den Posttunneln im Bahnhof Lausanne und bei Abwasserstollen in Solothurn und Muri.

Die nachfolgenden Darlegungen können selbstverständlich nicht umfassend sein. Sie sollen Grundsätzliches beleuchten sowie drei Beispiele und Hinweise bringen.

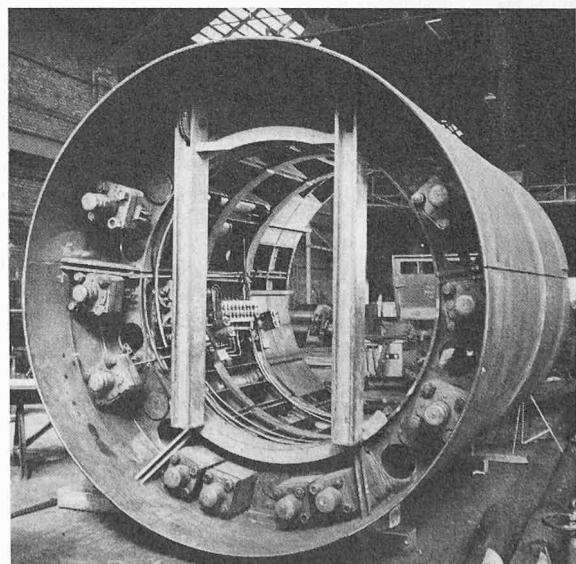
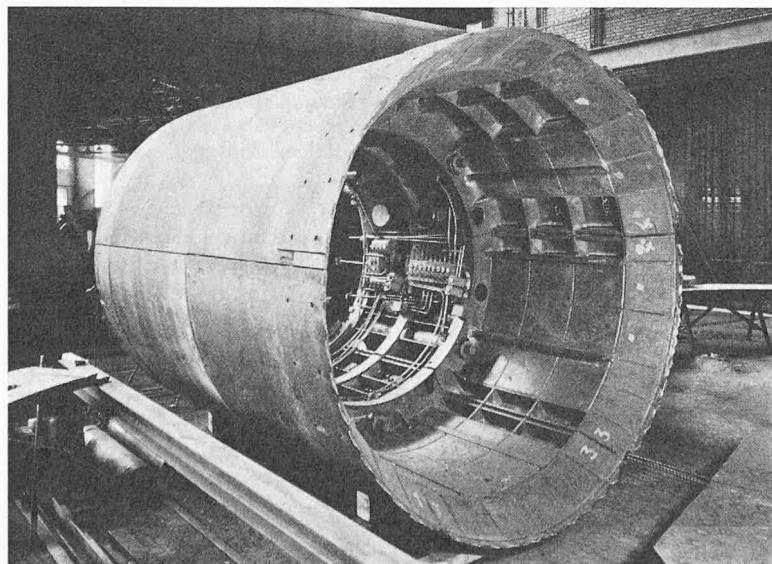
2. Der Schild

Die Bilder 1 und 2 zeigen einen Tunnelschild. Ein Tunnel-schild ist ein äusserst massives und starkes Stahlrohr in ge-

schweisster Konstruktion, dessen Gewicht je nach Grösse etwa zwischen 20 und 200 t liegt. Bild 3 zeigt einen Schild während der Montage im Anfahrtschacht, Bild 4 den gleichen Schild bei beginnender Demontage. Im Längsschnitt, Bild 5, sind dargestellt:

- der *Schildkörper* (Kreuzschräffiert), welcher beim Tunnelvortrieb schubweise über die Tunnelstrecke wandert. Der vordere Teil des Schildes besteht aus dem Schildmantel, kräftigen Spannen und einem inneren Ringblech. Er ist eine Kastenkonstruktion. Der hintere Teil wird *Schildschwanz* genannt und besteht lediglich aus dem Schildmantel, welcher nach hinten über die Stirne der bereits montierten Tunnelverkleidung hinausgreift. Mit t₁ ist der Zeitpunkt vor dem Vorschieben des Schildes, mit t₂ der Zeitpunkt nach erfolgtem Vorschub bezeichnet. Der Vorschubweg misst je nach Schildkonstruktion 0,50 bis 1,00 m.
- die eingebauten hydraulischen *Vorschubpressen*, welche über den Schildumfang verteilt im vorderen Teil des Schildkörpers eingebaut sind. Jede dieser Pressen kann beim Ausschieben des Pressenstempels eine Kraft von beispielsweise 50 bis 120 t ausüben. Diese Pressenstempel wirken auf einen gemeinsamen stählernen Druckring (Schnitt des Druckringes durch Diagonalkreuz markiert). In gewissen Anwendungsfällen wird auf diesen Druckring verzichtet. Durch die Gesamtkraft der Vorschubpressen, welche je nach Anwendungsfall etwa zwischen 500 und 5000 t liegen mag, wird der Schild vorgeschoben.
- die vorfabrizierte *Tunnelverkleidung*, welche aus den einzelnen Verkleidungsringen N — I, N, N + 1 usw. besteht. Als Elemente dieser Ringe werden entweder gusseiserne Tübbinge, solche geschweisster Stahlkonstruktion oder solche aus Stahlbeton verwendet. In konstruktiver Hinsicht kann ein solcher Verkleidungsring im Extremfall eine geschlossene Gelenk-Kette (sog. nachgiebige Verkleidung) oder einen biegesteifen Ring (sog. starre Verkleidung) bilden. Beim gezeichneten Vorschieben (Zeitspanne von t₁ bis t₂) wirken die Pressenstempel über den Druckring gegen den Verkleidungsring N. Im etwas späteren Zeitpunkt t₃ sind die Pressenstempel nach beendigtem Schildvorschub bereits wieder eingezogen. Sie geben so genügend

Bilder 1 und 2. Schild, Durchmesser 3,07 m, links von vorn, rechts von hinten. Gesamtkraft der Vorschubpressen 1100 t



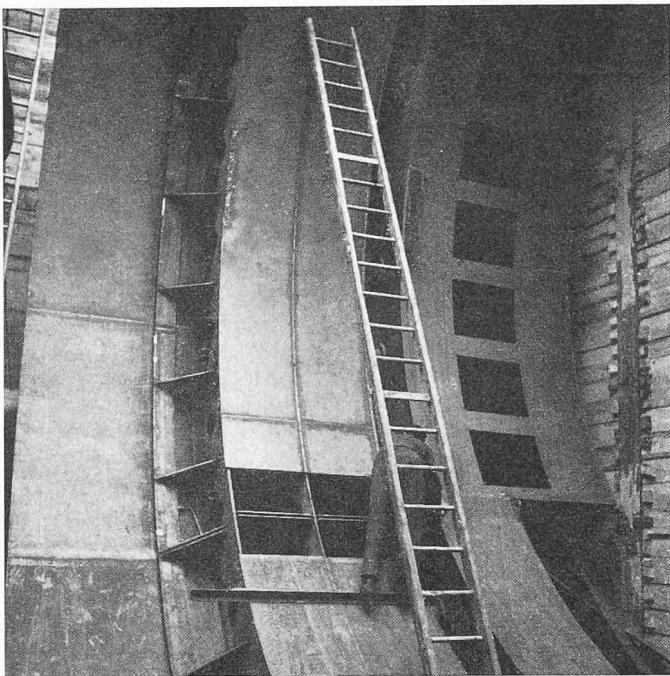


Bild 3. Donnerbühlertunnel in Bern, Schild in Montage, Durchmesser 10,08 m

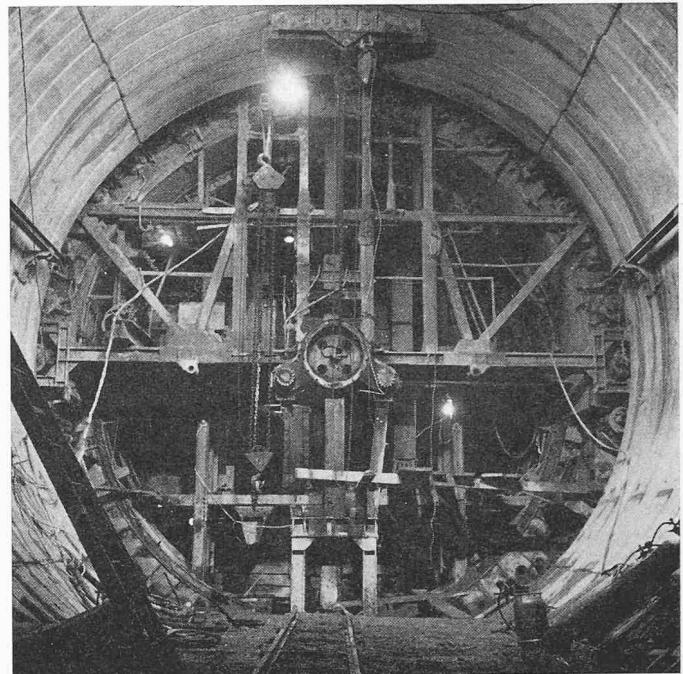


Bild 4. Donnerbühlertunnel in Bern, Schild am Ende der Vortriebsstrecke, Versetzarm bereits demontiert, Gesamtkraft der Vorschubpressen 4000 t

Platz frei, um innerhalb des Schildschwanzes den Verkleidungsring N + 1 montieren zu können. Die Verkleidung ist somit eine Folge von Ringen, welche laufend im Schutze des Schildschwanzes durch das Montieren weiterer Verkleidungsringe verlängert wird. Es gibt unterschiedliche Ausbildungen bezüglich der Verbindung der Verkleidungsringe in den Ringfugen, indem irgendwelche Verzahnungen und Verschraubungen in Anwendung kommen können.

— die *Hinterpressung* auf der Aussenseite der vorfabrizierten Verkleidung. Diese Hinterpressung besteht aus Injektionsgut von spezieller Zusammensetzung. Die Injektionen werden zur Stützung des Gebirges während der ganzen Dauer eines Schildvorschubes vorgenommen. Sie müssen laufend jenen Raum füllen, der während der Schildbewegung am hintern Rand des Schildmantels, also am Schildschwanz, sukzessive frei wird.

3. Die Aufgabe des Schildes

Dem Schild sind eigentlich vier Aufgaben zugeschrieben, welche er je nach den Umständen mehr oder weniger vollkommen zu erfüllen vermag. Sie lassen sich etwa folgendermassen umschreiben:

1. Die scharf auf das theoretische Aushubprofil beschränkte Wegnahme des Bodenmaterials. Mit der vordringenden Schneide soll der Schild an der Brust profilgerecht, sauber und glatt nur gerade jenen Boden abschneiden oder abdrücken, welcher innerhalb des Schilddurchmessers liegt. Darüber hinaus soll kein Boden weggenommen werden. Der Schild mit seiner Schneide spielt gewissermassen die Rolle einer kalibrierten Stechschafel. Aus dieser Grundidee geht hervor, dass die Konzeption des Schildprinzips aus der Vorstellung hervorgegangen ist, es mit einem feinkörnigen Boden zu tun zu haben.

2. Unter der Voraussetzung des sauberen Abschneidens bildet der Schildmantel einen ausgezeichneten, sofort wirkenden ersten Stützmantel, weil er am ganzen Tunnelumfang das Lockermaterial von Anfang an und schon bei der Schneide berührt, also dem Gebirge theoretisch keine Bewegungsfreiheit lässt, und so den möglichst ungestörten Zustand sichert. Der Schild soll also ein starker, steifer Stützmantel mit Pass-Sitz gegen das umliegende Gebirge sein. Vom Baugrund aus ist er als eine präzis angepasste Stützprothese für das Lockermaterial gedacht, als ein volumenrichtiger Ersatz, welcher dem Baugrund sowohl nach oben, nach den Seiten als auch nach unten (Weitergabe der Kräfte aus den Auflasten) möglichst vortäuschen soll, es habe sich im Gebirge nichts geändert.

Dieses Ziel wird dann mehr oder weniger verfehlt, wenn die Schildschneide auf Hindernisse stösst und wenn aus diesem Grunde vor der Schneide örtliche Überprofile entstehen. Dieser Fall tritt

beispielsweise beim Wegkommen grösserer Steine ein, oder wenn harte Partien weggespitzt werden müssen, um der Schneide für das Vorrücken Platz zu schaffen. Die Schildschneide verliert an solchen Stellen die Schneidenfunktion; sie stösst in einen freien Raum. Damit kommt der Stützmantel nicht mehr überall in satten Kontakt mit dem Baugrund, die Stützung ist unvollkommen und die Baugrundstörung grösser. Im Extremfall, beispielsweise in einer relativ harten Moräne, könnte vor der Schneide ringsherum ein etwas zu grosses Profil freigemacht werden. Der Stützeffekt des Schildmantels ginge dann ganz verloren. Diese Vorstellung eines Grenzfalles zeigt, dass dann trotz der Anwendung eines Schildes Niederbrüche und Auflockerungsdruck auftreten werden, und natürlich je nach Örtlichkeit auch entsprechend grosse Oberflächensetzungen. Einzig der Einsturz im Sinne einer Katastrophe wird durch den Schild auch in einem solchen Grenzfall verhindert.

3. Der Schild hat ferner die Funktion eines soliden und praktischen Montagesockels für Einrichtungen zur Stützung der Tunnelbrust und gegebenenfalls zum maschinellen Abbau des Baugrundes. Das deutsche Wort «Schild» ist eine nicht sehr zutreffende bildliche Bezeichnung. Sie entstand gewiss aus der wörtlichen Übersetzung des englischen Wortes «shield», durch welche die ausgedehntere Bedeutung des englischen Wortes verlorengangen ist. Jedenfalls kommt dem Tunnelschild ja nur bezüglich des Schildmantels die Bedeutung eines Abwehrschildes zu, und nicht in Richtung der Tunnelbrust. Gegen die Tunnelbrust braucht es zusätzliche Einrichtungen, ähnlich wie bei anderen Vortriebsmethoden. Hingegen erleichtert der Schild deren Einbau und unabhängig von deren Kompliziertheit und Gewicht auch das laufende Mitnehmen in voller Bereitschaft; es kann sich beispielsweise ohne weiteres um eine erhebliche Zahl hydraulischer Brustpressen handeln.

4. Als Minimalaufgabe schützt schliesslich der Schild die Vortriebsmannschaft vor Gefahren, welche im Vortrieb vom Tunnelmantel herkommen könnten. Ob der Schild seine Stützfunktion gut, schlecht oder gar nicht erfüllt, ob er in einem gegebenen Fall sogar Niederbrüche und bedenkliche Oberflächensetzungen zulassen mag, so stellt er wenigstens noch für die Mannschaft im Vortrieb eine kollektive Schutzhülle dar.

Die Punkte 1 und 2 betreffen die Stützung des Gebirges, der Punkt 3 gilt der Stützung der Tunnelbrust. Die Punkte 1 bis 3 betreffen also neben der Sicherheit der Mannschaft vor allem die wichtigen bautechnischen Gesichtspunkte, nämlich die Sicherheit gegen Auflockerung und Auflockerungsdruck, gegen Niederbrüche und Terrainbewegungen. Der Punkt 4 hat einzig für die Sicherheit der Tunnelmannschaft Bedeutung.

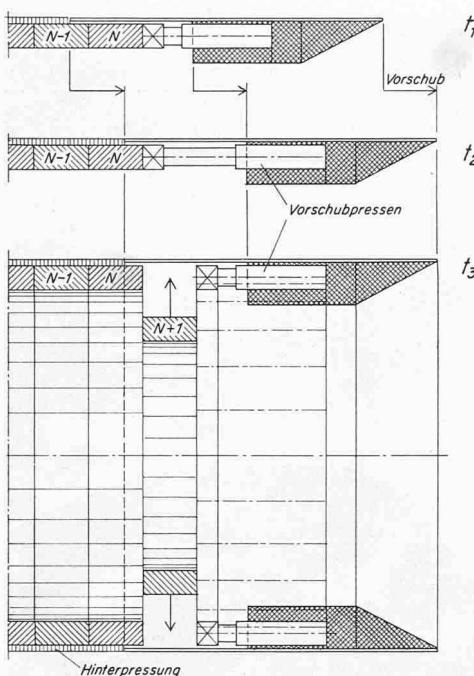


Bild 5. Zeitlicher Ablauf eines Vorschubes

Hier sei in diesem Zusammenhang der Aktualität wegen eine Bemerkung über die Verwendung von Schilden in Felstunneln eingefügt.

Im Lichte der vorstehenden Ausführungen erkennt man einen ausgesprochenen Mangel, welcher der hie und da vorgeschlagenen Anwendung der Schildbauweise beim Sprengvortrieb im Felstunnel anhaftet. Das vor der Schildschneide ausgesprengte Profil muss für das Vorschieben des Schildes genügend Platz bieten, es weist also ein Überprofil auf, so dass von einem Pass-Sitz oder auch nur von verteilter stellenweiser Berührung zwischen Schild und Fels, also von irgendeiner Stützwirkung des Schildes, nicht die Rede sein kann. Vielmehr werden gerade die vordersten 4 bis 7 Meter des ausgesprengten Tunnelraumes durch den Schildmantel eingenommen. Die entsprechenden Felsoberflächen sind durch den Schildmantel abgedeckt und absolut unzugänglich gemacht. Sie bleiben auch während der Sprengerschüttung des nächstfolgenden Abschlags ungestützt. Die Felsbeobachtung und jede Vornahme von Stützarbeiten (Felsanker, Spritzbeton, Stahleinbau) ist gerade in dieser vordersten Strecke zum vornherein unmöglich.

Diese Anwendung eines Schildes im Fels zwingt somit selbst in nicht sicher standfestem Gestein dazu, die in der Felsmechanik anerkannte Regel zu vernachlässigen, dass niederbrüchiges Gestein möglichst rasch nach dem Aufschluss wirksam gestützt werden soll. Durch die Befolgung dieser Regel wird die ungestützte Spannweite zur Tunnelbrust kleingedehalten, also wird bei niederbrüchigem Gestein die praktische Standzeit erhöht. Im Felstunnel ist somit die freie Stützweite bei Verwendung eines Schildes um einige Meter grösser als bei den normalen Bauweisen ohne Schild. Bei sicher standfestem Gestein ist dies unbedenklich, bei schlechterem Gestein werden die Niederbrüche sowohl häufiger als auch grösser.

4. Vergleich mit anderen Bauweisen für Lockermaterial

Die Schildbauweise kann hinsichtlich der Art des ersten Stützmantels als der eine von vier grundsätzlich unterschiedlichen Fällen betrachtet werden, welche bei der Durchörterung von Lockermaterial verhältnismässig häufig vorkommen (Bild 6).

Bei der *Marciaanti-Bauweise*, d. h. beim Vorpäfen, besteht der erste Stützmantel aus einer Anzahl loser *Marciaanti*, sog. Bergmannspfähle, welche schuppenartig übereinandergreifen. Für jeden Tunnelmeter werden neue *Marciaanti* verwendet, und sie verbleiben in der Regel im Bauwerk. Deformationen, Schäden oder Störungen der Soll-Lage, welche die *Marciaanti* beim Einbau erleiden, haben deshalb keine weitere Bedeutung. Die Einzellemente, welche den Stützmantel bilden, werden beispielsweise durch die Einbaubogen gestützt. Durch die Wahl anderer Zwischenkeile oder auch durch den Übergang auf anders geformte Einbaubogen können nötigenfalls jederzeit für den weiteren Vor-

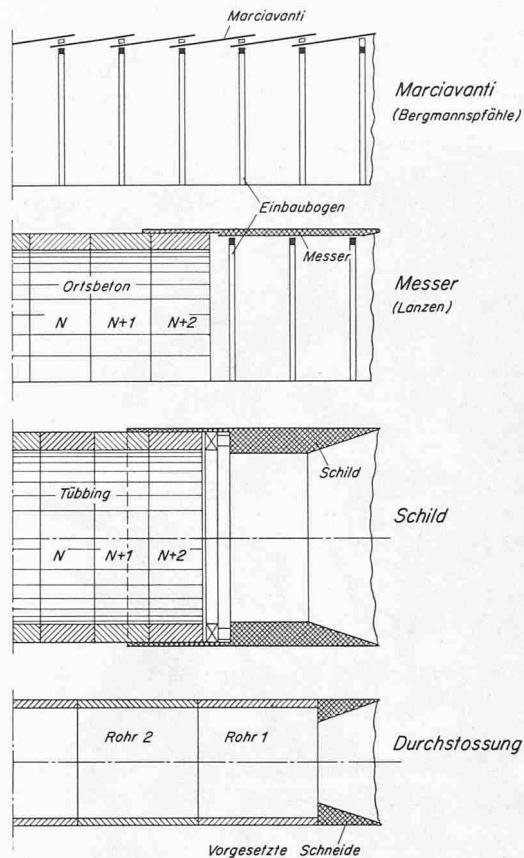


Bild 6. Vergleich verschiedener Bauweisen im Lockermaterial

trieb die Weite und die Krümmung des Stützmantels anders gewählt werden. Der Stützeinbau ist an sich vielgliedrig. Er wandert nicht im Tunnel vorwärts, sondern verbleibt am Ort, wo er eingebaut wird. Die Betonverkleidung folgt rückwärtig in beliebig langen Betonringen oder oft noch wirtschaftlicher erst nach dem Durchschlag des Tunnels.

Beim *Messervortrieb* wird der erste Stützmantel durch einen Satz von Vortriebsmessern gebildet, die parallel zur Tunnelachse liegen und etwa 4 bis 4,50 m lang sind. Der Stützmantel besteht somit aus einer Garnitur lauter einzelner, nebeneinanderliegender Mantelstreifen, welche beim Vortrieb als Gruppe schubweise bis ans Ende der Tunnelstrecke wandern und dieser vielfältigen Beanspruchung standhalten müssen. Sie verbleiben nicht im Bau. Streifen um Streifen wird mit einer auf die Einbaubogen abgestützten Presse vorgetrieben. Alle diese Streifen müssen aber den plangemässen Weg nach Richtung und Höhe einhalten. Abweichungen, Deformationen oder Schäden dieser Messer verursachen ernstliche betriebliche Störungen. Einbaubogen stützen diese Einzelstreifen und werden sukzessive mit dem Nachführen der Betonverkleidung rückgewonnen. Die Einbaubogen wandern also nicht, vielmehr werden immer die gleichen, wenigen Bogen umgesetzt. Die Betonverkleidung muss entsprechend der Bewegung der Vortriebsmesser mit dem Vortrieb schritthalten. Sie kann aus Ortsbeton bestehen. Die Länge der Betonieretappe ist kurz und zwangsläufig gegeben.

Bei der *Schildbauweise* wird auf die Vielgliedrigkeit loser Einzellemente im Aufbau des Stützmantels verzichtet. Die Gefahr nachteiliger, gegenseitiger Verschiebungen der Einzellemente ist ausgeschaltet. Gegenüber dem Messervortrieb ist die Gefahr störender Deformationen erheblich verringert. Der Mantel und die Stützpanthen des Schildes bilden eine einzige, schwere, steife, monolythische Stahlkonstruktion, welche als ein Ganzes schubweise wandert. Die entsprechende grosse Vorschubkraft kann nur durch Abstützen der Pressen auf die vorfabrizierte Tunnelverkleidung aufgebracht werden. Die Tunnelverkleidung besteht daher aus vorfabrizierten Elementen, und die Montage neuer Verkleidungsringe im Schildschwanz muss mit dem Vorwärtsgehen des Schildes Schritt halten.

Es ist bemerkenswert, dass bei der Schildbauweise (wie auch beim Rohrdurchpressen) die Gesamtheit der vertikalen Auflasten



Bild 7. Blockiges Lockermaterial an der Brust

über dem Schild auf die grösstmögliche Fläche verteilt nach unten weitergegeben wird, d. h. mit erheblich kleineren spezifischen Bodenpressungen als bei den beiden vorgängig erwähnten Methoden.

Beim Durchstossen von Röhren, welches bis heute bis zu Durchmessern von etwa 3,50 m angewendet worden ist, stellt die vorgesetzte Schneide eine Art Schild dar. Die Verkleidung wird vom Tunnelportal her nachgeschoben. Es wandern also sowohl die Schneide als auch die gesamte bereits eingebrachte Tunnelverkleidung.

Jede dieser unterschiedlichen Grundausführungen hat ihre Vor- und Nachteile, und das Gleiche gilt für die etwa vorkommenden modifizierten Anwendungen. Entsprechend sorgfältig ist in jedem gegebenen Fall die Wahl der Bauweise abzuwagen. Die sorgfältigen Vorausüberlegungen sollten sich auf die kombinierten Kenntnisse und Erfahrungen des projektierenden Ingenieurs, des Erdbaumechanikers und des Tunnelpraktikers stützen.

Der Praktiker ist zwar nach der Sentenz eines namhaften britischen Kollegen ein Mann, der auf Grund falscher theoretischer Überlegungen automatisch das Richtige trifft. Ob dies nun für den Praktiker eine Anerkennung sei oder nicht, bei der Arbeit im Lockermaterial liegt dennoch sicher ein erhebliches Gewicht auf der Erfahrung, wie sie aus «trial and error» entsprungen ist, auf wiederholt empirisch gewonnenen Einsichten und beobachteten Einzelheiten. Bei der Schildbauweise betrifft dies vor allem die Konstruktion des Schildes, die Gestaltung der Tunnelverkleidung, die Steuerung des Schildes, die Überwindung von Hindernissen im Baugrund und die Hinterpressung.

5. Charakteristische Nebenzüge bei der Anwendung der Schildbauweise

Nach diesem Seitenblick auf andere Methoden soll nun ein Blick darauf geworfen werden, welche verschiedenen charakteristischen Nebenzüge die Schildbauweise in konkreten Anwendungsfällen aufweisen kann. Zur Charakterisierung des Einzelfalles werden nachstehend fünf Kriterien aufgeführt:

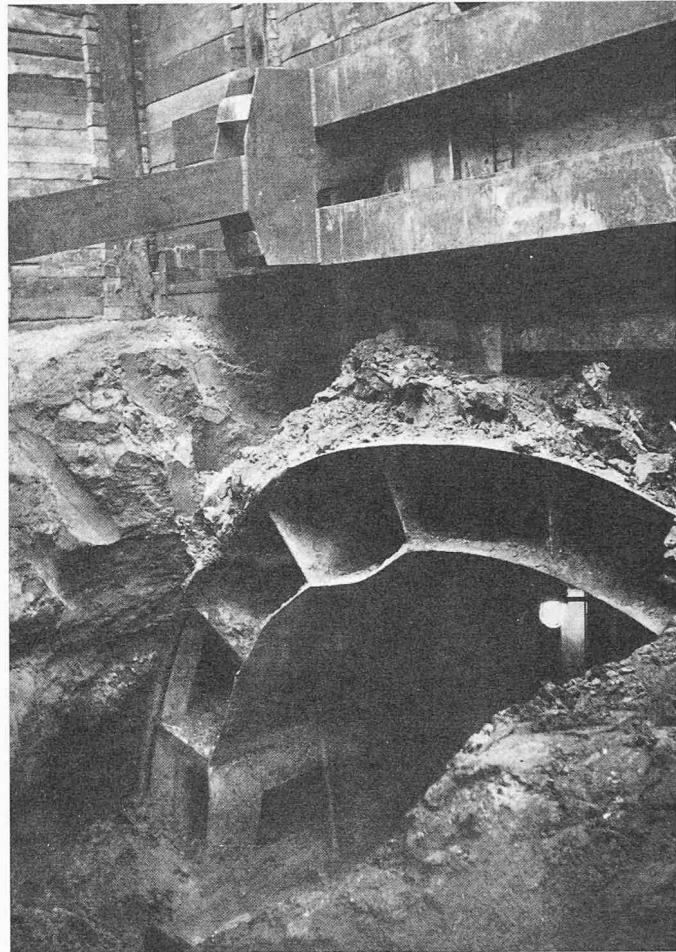


Bild 8. Durch Überbeanspruchung an Hindernissen verursachte Schilddeformation

1. Verursachen allfällige Bodenbewegungen Schäden?

Je nach der Lage des Tunnels können Bodenbewegungen, falls solche eintreten, Schäden an Werkleitungen, Bahnen, Straßen, Stützmauern oder Gebäuden verursachen. In solchen Fällen wird sich die Arbeitsdurchführung selbst unter Inkaufnahme betrieblicher Nachteile ganz darauf ausrichten, die Bodenbewegungen möglichst gering zu halten. Es kommen aber auch immer wieder Anwendungen der Schildbauweise vor, bei denen Bodenbewegungen nicht zu Schäden führen können.

2. Enthält der Baugrund Hindernisse?

Die Schildbauweise ist ursprünglich für die Durchörterung feinkörniger Böden gedacht gewesen. Unangenehm und störend wirken sich Hindernisse aus, welche etwa wie folgt gruppiert werden können:

Steine (nach USCS, 60 bis 200 mm Durchmesser)

Blöcke (nach USCS, über 200 mm Durchmesser)

Fremdkörper: Mauerwerk, Pfähle, Leitungen usw.

Solche Hindernisse kann die Schildschneide nicht abscheren und nur selten aus dem Wege drängen. Sie müssen daher von

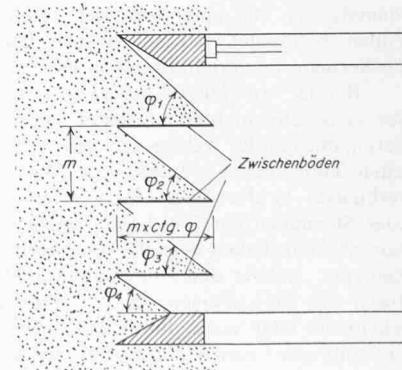


Bild 9. Stützung der Tunnelbrust durch Schaffung kurzer Böschungen.

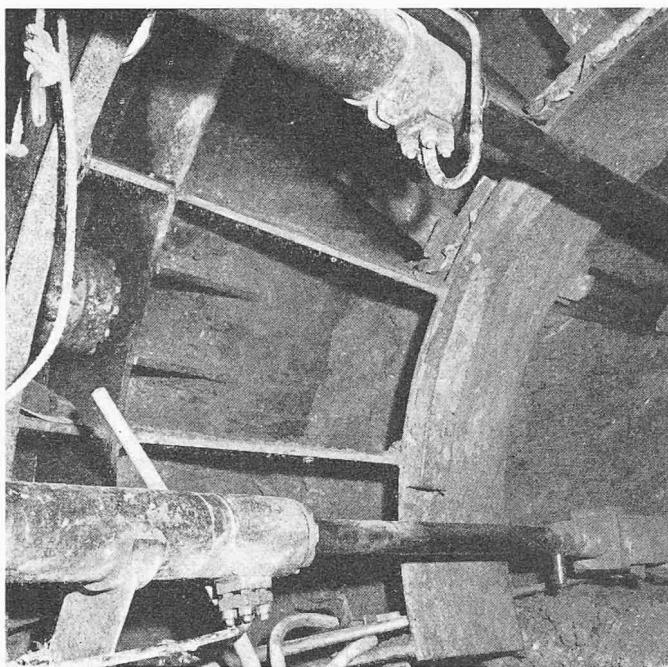


Bild 10. Hydraulische Brust-Pressen im Schild

Hand entfernt werden, um der Schneide den Weg freizugeben. Das ist besonders umständlich, wo die Tunnelbrust an sich schon wegen ungenügender Standfestigkeit gestützt werden muss. Zu gewissen Auflockerungen in der Tunnelbrust führt die Entfernung von Hindernissen fast immer. Bild 7 zeigt zur Veranschaulichung eine Häufung von Blöcken an einer Tunnelbrust.

Falls man Hindernisse antrifft, deren Vorhandensein man nicht im voraus kannte, oder die man im gegebenen Zeitpunkt an der Brust nicht sehen kann, fährt der Schild auf diese möglicherweise mit grosser Kraft auf. Das führt zu konzentrierten Reaktionskräften am Berührungsrand von Schildschneide und Hindernis mit entsprechender Beanspruchung und ungünstigenfalls zu bleibender Deformation des Schildes (Bild 8). Ausserdem erfährt der Schild hiebei meistens Ablenkungs Kräfte, welche zu einer Ablenkung von seiner Soll-Lage führen. In solchen Situationen kommt es weitgehend auf die Erfahrung des Schildführers und auf die Konstruktion des Schildes an, welchen Kosten- und Zeitaufwand die Hindernisse verursachen.

3. Ist die Stützung der Tunnelbrust notwendig?

Wo sich der Baugrund an der Brust nicht standfest zeigt, muss er gestützt werden. Die Bilder 9 und 10 zeigen Beispiele von Stützeinrichtungen, wie sie in Schilden eingebaut werden.

4. Wird das Lockermaterial an der Brust von Hand oder maschinell abgebaut?

Bis heute wurde in der überwiegenden Zahl der Schildtunnel die Brust selbstverständlich von Hand abgebaut. Die Entfernung von Hindernissen fügt sich in diesen Arbeitsablauf auch am besten ein. Der mechanische Abbau hat zuerst da Fuss gefasst, wo spezifisch günstige Baugrundverhältnisse vorliegen, also namentlich im standfesten, dichten Ton, und wo ausserdem fast keine Hindernisse vorkommen (siehe z. B. Bild 11). Zwei bemerkenswerte Beispiele des maschinellen Abbaus zeigen die Baustelle der U-Bahn in Paris unter der Avenue de la Grande Armée und die Baustelle St. Georg der U-Bahn Hamburg. An beiden Orten haben sich diese Maschinen im dortigen Baugrund nach gewissen Anlaufschwierigkeiten bewährt.

5. Muss der Arbeitsraum im Schild unter Druckluft stehen?

Falls der projektierte Tunnel im Grundwasser liegt, stellt sich die Frage, ob der Baugrund eine vorübergehende Grundwassersenkung ohne Setzungsgefahr erlaubt, und ob das Gelände über dem Tunnel das Niederbringen der Brunnen am richtigen Ort sowie das Verlegen der zugehörigen Leitungen zulässt. Andernfalls wird der Arbeitsraum im Schild unter Druckluft gesetzt werden, wobei allerdings die Überdeckung in statischer Hinsicht und bezüglich die Dämmung gegen Luftverluste den entsprechenden Anforderungen genügen muss.

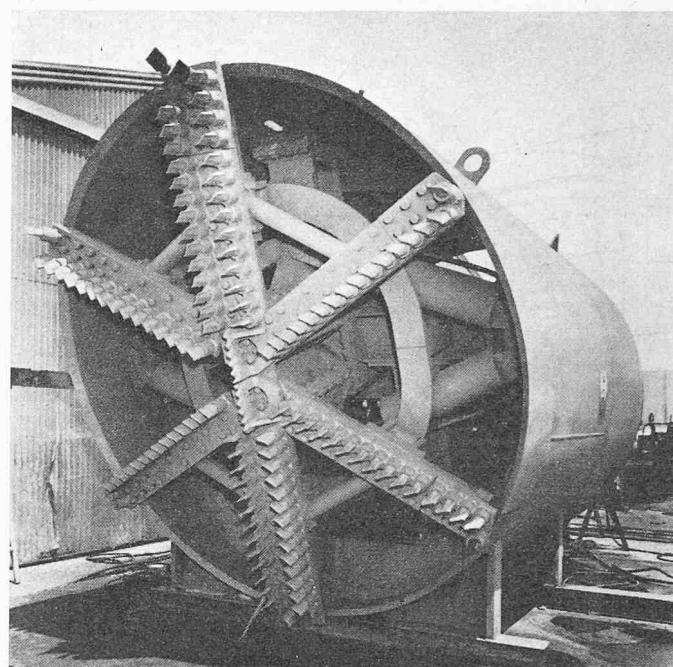


Bild 11. Calweld-Schild für mechanischen Abbau

6. Schildsteuerung und Beanspruchungen

Die Aufgabe, einen Schild so zu steuern, dass er mit möglichst geringen Abweichungen in Höhe und Richtung der Tunnelachse folgt, ist nicht einfach. Es gibt eine Reihe von Kräften und Asymmetrien, welche von der gewollten Richtung abdrängen. Jede Massnahme zur Steuerung hat eine Lageänderung der Schildachse zum Ziel, was nicht ohne Zwängungen möglich ist, weil ja das Lockermaterial überall dem Schildmantel anliegt. Solche Zwängungen teilen sich dem Baugrund mit, und man muss sich namentlich immer wieder vor Augen halten, wie rasch der passive Erddruck bei relativ geringen Bewegungen gegen den Baugrund hin ansteigt.

Die Belastung des Schildes in seinem Ruhezustand durch den Ruhedruck oder den aktiven Erddruck des Baugrundes ist für die Konstruktion des Schildes von sekundärer Bedeutung. Viel wichtiger sind jene Beanspruchungszustände, welche beim Vorrücken und auch als Folge der Steuerungsmassnahmen auftreten, also die nichtstationären Zustände.

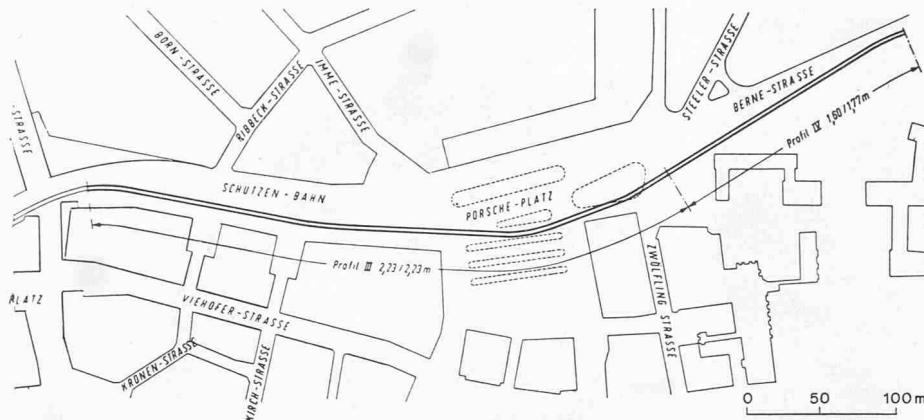
Auch was die vorfabrizierte Verkleidung des Tunnels betrifft, ist neben der stationären Belastung durch das Lockermaterial, gegebenenfalls auch durch Wasser und Druckluft, die temporäre Belastung durch die Vorschubpressen des Schildes ganz erheblich. In diesem Belastungsfall können kleine Ungenauigkeiten in den Abmessungen oder im Versetzen der vorfabrizierten Elemente zu zusätzlicher Biegung und zu Torsion in den Verkleidungselementen führen. Bei nicht zugfesten Längsfugen lassen ausserdem die Kräfte der Vorschubpressen eine Tendenz der Tübbinge entstehen, nach aussen, also von der Tunnelachse weg, auszuweichen.

So alt auch die Schildbauweise ist, soviel auch international gesehen über die Zusammenhänge von Ursache und Wirkung beobachtet und nachgedacht worden sein muss, so sehr auch in neuerer Zeit die Bodenmechanik als Wissenschaft das Verständnis erleichtert, so kann man doch bezüglich die Wechselwirkung zwischen Schild und Baugrund sehr zutreffend die Formulierung des Vorsitzenden eines kürzlich abgehaltenen wissenschaftlichen Kongresses benützen, welcher das Tagungsergebnis so zusammenfasste: «We are still confused, but on a higher level.»

7. Drei Beispiele ausgeführter Bauten

1. In der Stadt Essen (Bild 12), Abwasser-Stollen unter einer Hauptverkehrs-Strasse mit Trambahn; Schilddurchmesser 3,60 m. Die Überdeckung entspricht dem 1,1- bis 1,7fachen Schilddurchmesser. Kleinster Kurvenradius im Grundriss 80 m. Kornaufbau einer typischen Bodenprobe Bild 13, Kurve Nr. 1. Gewisse Setzungen in der Strasse, aber ohne nennenswerte Störungen oder Schäden. Sozusagen keine Hindernisse im Baugrund. Stollenbrust teilweise und zeitweise gestützt. Abbau von Hand. Der Stollen liegt

Bild 12. Beispiel Essen, Lageplan



voll im Grundwasser, daher Arbeit unter Druckluft. Stollenlänge des Bauloses 650 m. Gesamtbauzeit 15 Monate.

2. In Berlin (Bilder 14 bis 17). Zwei einspurige U-Bahn-Tunnel, Ecke eines sechsstöckigen Hauses über dem einen Tunnel, S-Bahn mit Bahnhof über beiden Tunneln, Schilddurchmesser 6,75 m. Die Überdeckung bis Bodenoberfläche entspricht dem 1,1fachen Schilddurchmesser. Kleinster Kurvenradius im Grundriss 215 m. Kornaufbau typischer Bodenproben Bild 13, Kurven Nr. 2. Gewisse Setzungen und gewisse Schäden, jedoch nicht erheblich. Findlinge im Baugrund, Tunnelbrust gestützt, Abbau von Hand. Die Tunnel liegen voll im Grundwasser. Durch vorübergehende Grundwasserasenkung wurde die Arbeit unter Druckluft vermieden. Länge der beiden Tunnel zusammen 572 m. Gesamtbauzeit 27 Monate.

3. In Bern (Bilder 18 und 19). Donnerbühlertunnel der Schweiz. Bundesbahnen, zweispuriger Bahntunnel im Bahnhof Bern, Häuser direkt oder seitlich über dem Tunnel. Schilddurchmesser 10,1 m. Die Überdeckung bis Bodenoberfläche entspricht dem 0,2- bis 1,3fachen Schilddurchmesser. Kleinster Kurvenradius im Grundriss 285 m. Kornaufbau typischer Bodenproben Bild 13, Kurven Nr. 3. Gewisse Setzungen und gewisse Schäden, jedoch verhältnismässig unbedeutend; Wiederinstandstellungskosten rund 2,5 % der Bausumme. Findlinge und einzelne verkitte, nagelfluhartige Kieshorizonte. Tunnelbrust dauernd eingebaut. Abbau von Hand. Sozusagen kein Wasserandrang. Der Grundwasserspiegel sank beim Abteufen des Anfangsschachtes ein wenig, so dass er ganz unter die Tunnelsohle zu liegen kam. Länge des Tunnels 251 m. Gesamtbauzeit 27 Monate. (Näheres siehe R. Desponds, D. Bonnard, E. Recordon, F. Panchaud, O.-J. Rescher, P. Kipfer, H. Wanzenried und H. Ruppaner: Der Donnerbühlertunnel in Bern, «Schweiz. Bauzeitung» 1960, Heft 10 bis 13, S. 165, 191, 206 und 215; auch als Sonderdruck erhältlich.)

8. Hinweise bezüglich Arbeiten in Schildbauweise

Wo das Risiko schadenbringender Oberflächenbewegungen besteht, ist im einzelnen Fall vorab zu prüfen, ob und wie weit der Weg der Bodenqualitätsänderung durch Injektionen oder durch andere konsolidierende Mittel beschritten werden soll.

Unter den möglichen bergmännischen Bauweisen ist die Schildbauweise in vielen Fällen die beste und ungefährlichste, obwohl es in setzungsempfindlichen Böden selbst bei der Anwendung der Schildbauweise nicht ganz ohne Oberflächenbewegungen ab-

gehen kann. Auf die Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung bei der Entstehung von Oberflächenbewegungen kann im Rahmen dieses Aufsatzes leider nicht näher eingegangen werden. Auch auf diesem Gebiet hat man sich vorwiegend auf Beobachtungen an ausgeführten Bauten zu stützen.

Der Ausgangspunkt für die Schildarbeit muss in einem Schacht (Anfahrtschacht) oder in einer unterirdischen Montagekammer liegen. Die Rückwand dieses Raumes hat beim Anfahren des Schildes die Pressenkräfte aufzunehmen.

Mit dem Schild kann nur ein gleichbleibender Querschnitt aufgefahren werden. Bei trompetenartigen oder sprunghaften Querschnittsveränderungen hört der Schildvortrieb auf.

Man sollte im Stadium der Planung von einem kreisrunden Schild ausgehen. Unrunde oder gar eckige Schilder sind eine äußerste Notlösung, namentlich auch bezüglich der Spannungszustände im Schild und bezüglich die Steuerbarkeit. Ihre Anwendung ist aus diesem Grunde selten.

Soll der Schild am Ende einer aufgefahrenen Strecke wieder ausgebaut werden, muss auch dort die Erstellung eines Schachtes möglich sein.

Von den Kosten aus gesehen ist es vorteilhaft, wenn der für das gegebene Profil gebaute Schild eine möglichst lange Strecke auffahren kann, weil sich die festen Kosten des Schildes auf eine grössere Anzahl Stollenmeter verteilen.

Der Schild ist eine geschweißte Stahlkonstruktion. Es ist also in städtischen Verhältnissen je nach Schildgrösse und je nach der Lage des Ausbauschachtes denkbar, dass die Dislokation des Schildes, z. B. an einen zweiten Einsatzort innerhalb der gleichen Bauaufgabe, wegen der überbauten Umgebung gar nicht möglich ist.

Die Aufgabe, einen Schild so zu steuern, dass er genau der projektierten Tunnelachse — in Höhe und Richtung — folgt, ist unlösbar. Den unvermeidlichen Abweichungen ist bei der Projektierung im voraus Rechnung zu tragen, falls bei Bauende dem Bauherrn ein vorgeschriebener Lichtraum um die plangemässen Tunnelachse herum übergeben werden muss. Der Projektdurchmesser des Tunnel-Lichtraumes ist also um ein bestimmtes Mass grösser zu wählen, so dass die Unternehmung sicher ist, auch die grössten Steuerungsabweichungen in jeder Richtung innerhalb der Durchmesservergrösserung halten zu können.

Bezüglich die Kurvengängigkeit des Schildes kann man sich im Entwurf stadium an kleinste Radien von etwa dem 30fachen des Schilddurchmessers halten.

Bei der Baugrunderkundung sollten speziell folgende Punkte nicht fehlen:

- Granulometriekurven
- Information über das mögliche Vorkommen von Steinen, Blöcken, eventuell von Fremdkörpern
- Lagerungsdichte bei Sanden
- Scherfestigkeit bei unverändertem Wassergehalt, soweit feinkörnige, bindige Böden vorliegen
- Zustandsaufnahme von Bauten, Fundationsstiefen und Fundationsart längs eines genügend breiten Geländestreifens über dem Tunnel
- Lage von Werkleitungen

Bezüglich der Sondierbohrungen ist zu empfehlen, längs des Bauwerkes verteilt eine gewisse Anzahl der Bohrungen bis einige

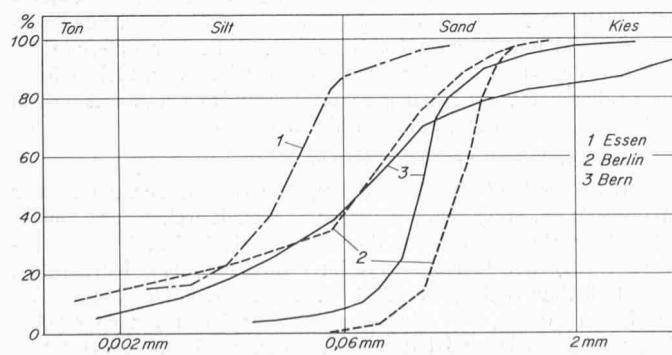


Bild 13. Kornverteilung von Bodenproben zu den drei Beispielen

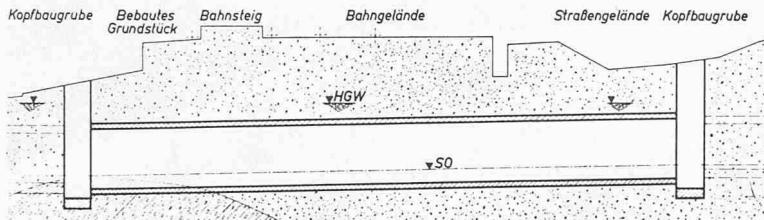
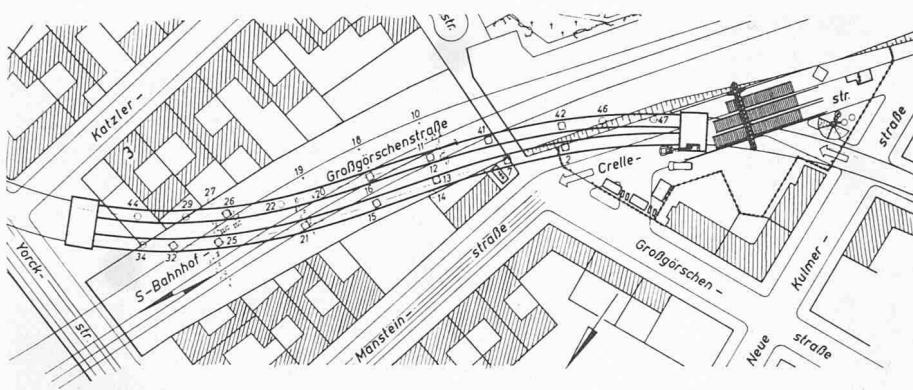


Bild 15. Beispiel Berlin, Tunnelquerschnitt

Meter unter die zukünftige Tunnelsohle reichen zu lassen, während die übrigen Bohrungen weniger tief gehen können.

Die Bohrungen sind mit Überlegung so zu plazieren, dass sie nicht in zukünftige Tunnelräume stossen; Bohrlöcher, welche dennoch in den späteren Tunnelraum reichen, müssen beim Ausbauen der Verrohrung ganz besonders sorgfältig wieder aufgefüllt und dichtgemacht werden. Sonst kann bei solchen Löchern während der Bauausführung Wasser an die Tunnelbrust gelangen, welches den Tunnelbau sonst nicht behelligen würde. Bei Arbeit unter Druckluft können nicht dichtgemachte Bohrlöcher, selbst wenn sie seitlich des Tunnels liegen, zu kostensteigernden oder auch gefährlichen Luftverlusten führen.

9. Ausblick

Die Entwicklung des Tunnelbaus ist im Vergleich zur übrigen industriellen Entwicklung in ganz besonderer Art eingeschränkt, indem sie nicht mit guten Aussichten auf die Schaffung der qualitativ geeigneten zu verarbeitenden Stoffe ausgehen kann. Der Tunnelbauer steht mit den besten heutigen Maschinen im Normalfall immer noch vor dem gleichen Baugrund wie die ältesten historischen Tunnelbauer. Es steht der Entwicklung weitgehend nur die Verbesserung und Neuschaffung der Arbeitsmaschinen offen. Und dieser Weg führt fast selbstverständlich dazu, dass der Einsatz neu entwickelter Spezialmaschinen häufig mit bestimmten einschränkenden Voraussetzungen betreffend die Baugrund-

qualität verbunden sein wird, oder dazu auch noch betreffend die Eigenschaften des Bauobjektes.

Werden nun in den nächsten Jahren Bauwerke, wie sie hier an den drei Beispielen gezeigt sind, mit wesentlich verbesserten Baumethoden gebaut werden, die einen erheblichen praktischen Fortschritt bedeuten? Bei dieser Fragestellung sei unter einem praktischen Fortschritt eine grössere Wirtschaftlichkeit, eine wesentlich kürzere Bauzeit oder eine erheblich grössere Sicherheit gegen Bodenbewegungen verstanden.

Die praktisch nutzbare Entwicklung wird wie bisher allgemein im Tunnelbau mit Bedacht weitergehen, in vielen kleinen Schritten, weder überraschend noch spektakulär und keinesfalls sprunghaft. Die Geschichte des Tunnelbaus zeigt dies bei allen früheren Ideen, welche sich schliesslich fortschrittsbringend ausgewirkt haben. Die Idee an sich bedeutete wohl einen gedanklichen Sprung und Fortschritt. Man denke beispielsweise an den Nitroglycerin-Sprengstoff, an die Bohrmaschine von Brandt, oder aus neuerer Zeit an die langjährige Entwicklung und langwierige Verbesserung der Stollenlademaschinen, des Bohrstahls mit Hartmetalleinsatz oder der Tunnelvortriebsmaschinen für Gesteinvortrieb. Die Realisierung, der praktische Einsatz, brachten immer unerkannte Nachteile der Neuerung zum Vorschein sowie Anfangsschwierigkeiten im praktischen Einsatz, welche dann erst über Jahre hinaus Schritt um Schritt überwunden werden konnten.

Jedenfalls riskiert ein Bauherr mit der Wahl einer neuen

Bild 16. Beispiel Berlin, äussere Verkleidung des Tunnels

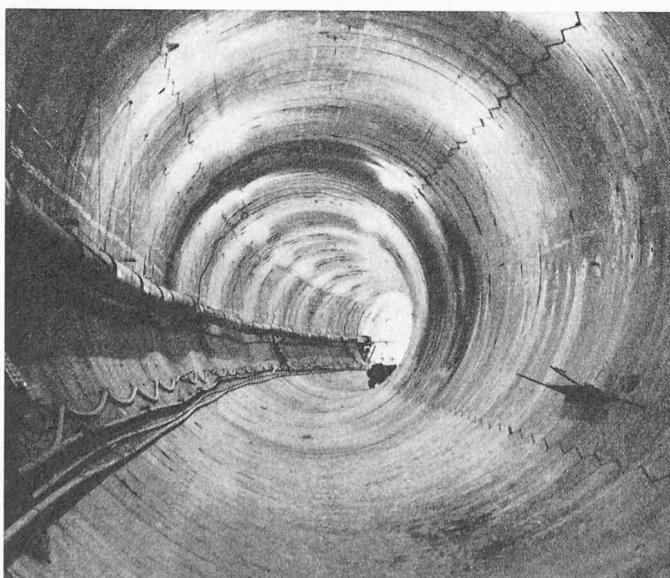
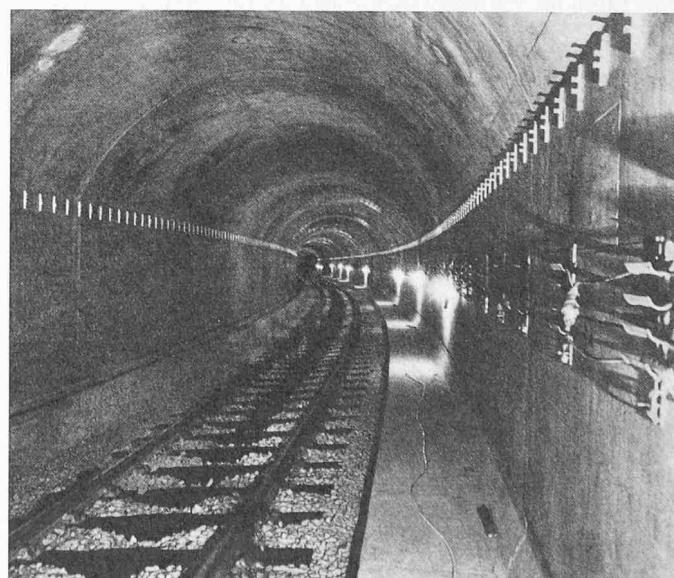


Bild 17. Beispiel Berlin, fertiger Tunnel



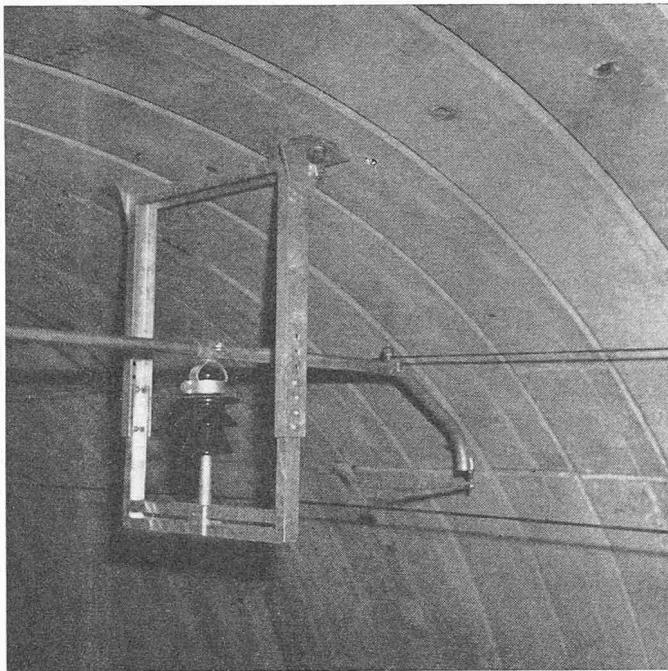


Bild 18. Beispiel Bern, Einzelheit der Tübbing-Verkleidung

Die Photographien wurden freundlichst zur Verfügung gestellt von Calweld, Hallinger KG, Lais AG, Prader AG und Wayss & Freytag KG

oder abgewandelten Baumethode, falls sie stark über das Erprobte und Bewährte hinaus extrapoliert, mehr als er nach aller Erfahrung zu gewinnen hoffen kann.

Für das gute Gelingen städtischer Tunnelbauten in Lockermaterial werden, wie allgemein bekannt, vor allem drei Dinge wichtig sein:

- die gute rechtzeitige Erkundung der örtlichen Baugrund- und Überbauungsverhältnisse
- das gute Zusammenspiel zwischen den projektierenden und



Bild 19. Beispiel Bern, fertiger Tunnel

ausführenden Ingenieuren bei der Auswahl unter den möglichen Baumethoden

- die Beachtung der Tatsache, dass es sich oft lohnt, bei der Projektierung jede bestehende Variationsfreiheit daraufhin zu prüfen, ob sie die Wahl einer Baumethode begünstigen kann, welche fürs Ganze am zweckmässigsten ist.

Adresse des Verfassers: *Duri Prader, dipl. Ing. ETH, 8126 Zürich, Maiacker 10.*

DK 621.643.2.002 : 624.15

Das hydraulische Vorpressverfahren

Von Max Schaub, dipl. Ing. ETH, Bern

Einleitung

Als hydraulisches Vorpressverfahren, hydraulischer Pressrohrvortrieb oder einfach Rohrunterstossung benannt, hat diese neuartige Stollenbaumethode in den letzten Jahren besonders in der Schweiz eine sehr starke Entwicklung erlebt. Die erweiterte Tätigkeit im Kanalisations- und Leitungsbau einerseits und der immer grösser werdende Verkehr und dessen unangenehme Folgen bei Behinderungen andererseits haben die Nachfrage nach unterirdischen Verbindungen im allgemeinen vergrössert. Da aber der weitaus grössere Teil der auszuführenden Leitungen und Kanäle Dimensionen unterhalb 1,8 m aufweist, das heisst Durchmesser, welche sich schlecht für den kon-

ventionellen Stollenbau eignen, wurden sehr rasch einige Spezialfirmen in der Schweiz auf die Möglichkeiten einer Methode aufmerksam, welche durch Anwendung von vorfabrizierten Rohrelementen imstande ist, Rohrleitungen untertags mit wesentlich kleineren Dimensionen als die im konventionellen Stollenbau möglichen auszuführen.

Prinzip des Verfahrens

Wie der Name schon sagt, besteht das Verfahren aus dem Vorpresen von Rohren mit hydraulischen Pressen. Die Stossrohre sind speziell hergestellte, vorfabrizierte Elemente von 2 bis 3 m Länge mit grösserer Wanddicke und Armierung als normale Betonrohre, um den grossen Stosskräften zu genügen. Im vordersten Rohr an der Stollen-

Bild 1 (links). Schema einer Bohrpressanlage

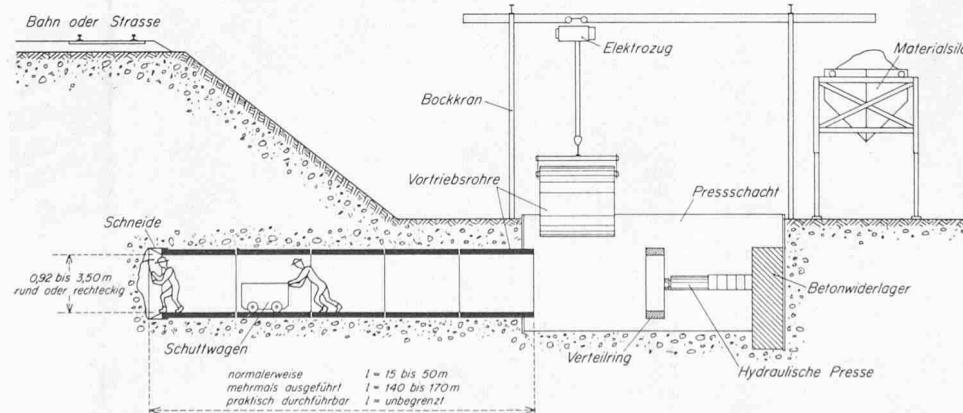


Bild 4 (rechts). Rechteck-Querschnitt 2,0 × 2,4 m, Länge 35 m (Gemeinde Emmenbrücke)

