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

Artikel: Das hydraulische Vorpressverfahren
Autor: Schaub, Max
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-69972

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: 15.07.2025

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

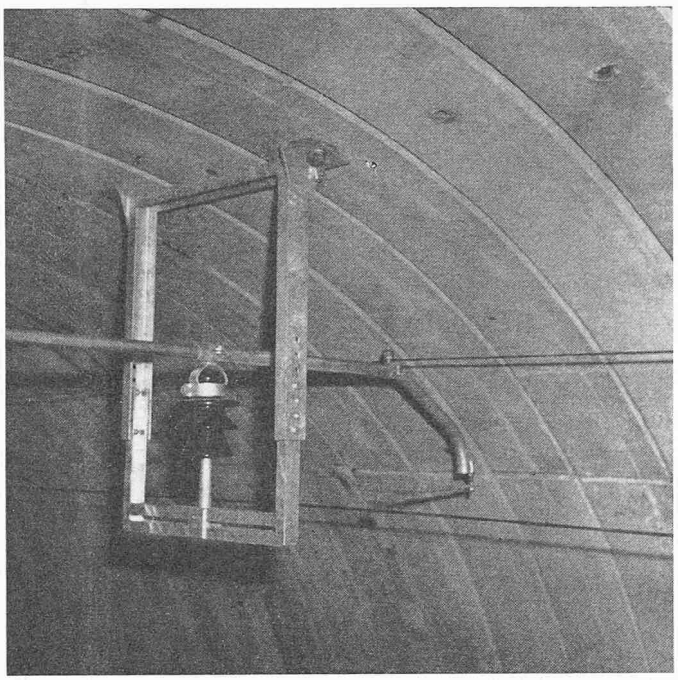


Bild 18. Beispiel Bern, Einzelheit der Tübbing-Verkleidung

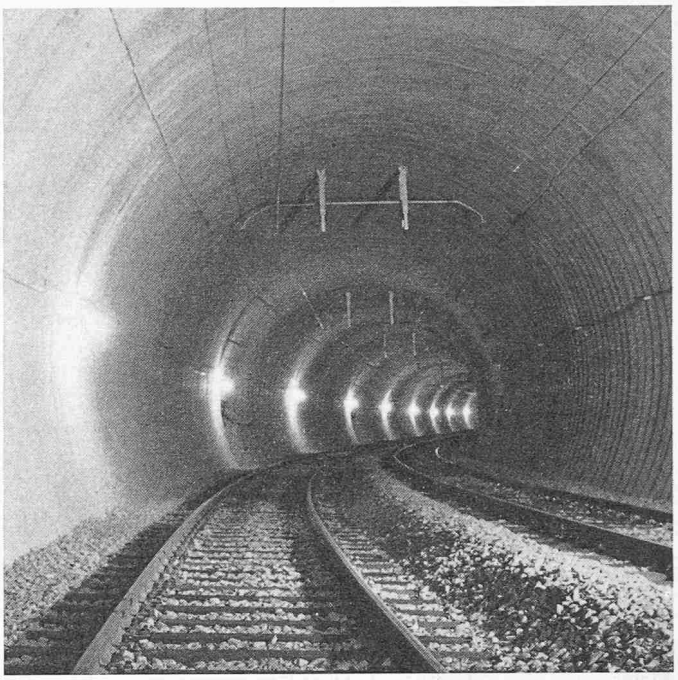


Bild 19. Beispiel Bern, fertiger Tunnel

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 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 Zumikon, Maiacker 10.

Das hydraulische Vorpressverfahren

DK 621.643.2.002:624.15

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 anderseits 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 konventionellen 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 Vorpressen 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

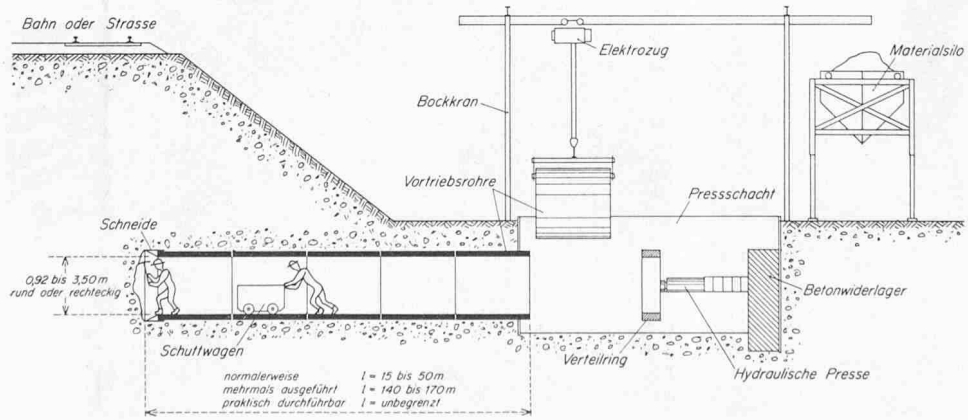
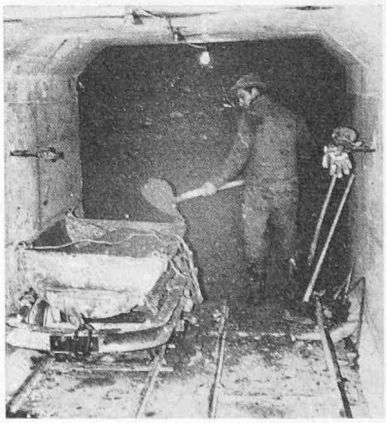


Bild 4 (rechts). Rechteck-Querschnitt 2,0 × 2,4 m, Länge 35 m (Gemeinde Emmenbrücke)



brust bauen 1 bis 2 Arbeiter das Erdreich ab und befördern es wie beim normalen Stollenbau mittels Rollwagen nach hinten. Ähnlich dem Schildvortrieb werden nun parallel zum Lösen des Erdreichs an der Brust die Rohre nach vorne getrieben. Nachdem man die Rohrleitung als ganzes um die Länge eines Rohrelementes nach vorne gestossen hat, wird hinten im Stosschacht ein neues angesetzt und der Vorgang beginnt von neuem (Bild 1).

Das verblüffend Elegante am System besteht in der Umgehung praktisch jeder Arbeit an der Stollenbrust ausser dem Abbau des Erdreiches, welches allein für den Gesamtfortschritt massgebend ist. Vortrieb- und Ausbauarbeit behindern sich nicht gegenseitig an der Brust, wobei gegenläufige Transporte in engen Stollen entfallen. Als Folge ergibt sich ein wirtschaftlicher kontinuierlicher Vortrieb und die Möglichkeit, Stollenprofile von geringeren Dimensionen als bis anhin auszuführen.

Anwendungen

Wenn man bedenkt, dass vor 5 Jahren das Vorpressverfahren sozusagen unbekannt war, und dass seither die fünf bekanntesten Firmen in der Schweiz bis Ende 1966 etwa 200 Arbeiten von total 7500 m ausgeführt haben, so muss man sicher von einer erfolgreichen Entwicklung des Vorpressverfahrens reden.

Obwohl in den Anfängen Unterstossungen sozusagen ausschliesslich für die Unterfahrung von Gleisanlagen Verwendung fanden, welche bei offener Baugrube teure provisorische Dienstbrücken benötigt hätten, findet man heute bei vielen Kanalisations-Ausschreibungen die Unterstossungs-Varianten schon im Devis vorgemerkt. Der Grund hiefür liegt nicht nur im allmählich Bekanntwerden einer neuen Bauart, sondern hauptsächlich in der technischen Entwicklung, welche den Übergang von den primitiven, 10 bis 20 m langen Arbeiten unter den Bahndämmen (Bild 2) zu kilometerlangen Kanalisationen mit Einzelstosstrecken von 100 bis 200 m erlaubt hat (Bild 3). Die selben technischen Fortschritte führten dann auch zur Ausführung von grösseren Dimensionen, so dass bis jetzt auch vereinzelt Durchmesser von z. B. 3 bis 4 m sowie rechteckige, ovale und Stützlinien-Profile ausgeführt wurden (Bilder 4, 5 und 6).

Die technische Entwicklung

Seit den ersten Arbeiten dieser Art vor etwa 7 Jahren, als Stossungen von 10 bis 15 m langen Stahlrohren hie und da versucht wurden, haben die folgenden Schritte hauptsächlichen Einfluss auf die Weiterentwicklung des Verfahrens gehabt:

a) Die Verwendung von Eisenbetonprofilen statt Stahlrohren.
b) Die Schmierung der äusseren Flächen der Profile zur Verminderung der Reibung.
c) Die Zwischenpressanlagen zwecks Verminderung der Stosskräfte.
d) Die hydraulisch steuerbare Richtschneide zwecks Einhaltung der Richtung beim Stossen.

Auf die soeben genannten Punkte im einzelnen eingehend, sind folgende Bemerkungen zu machen:

a) Eisenbetonprofile

Die sehr grossen Beanspruchungen der Rohre beim Stossen verlangen bestmögliche Betonqualität. Sehr oft beträgt die Stosskraft 500 bis 600 t. Bei Röhren von 1,30 m Innendurchmesser und 13 cm Wanddicke z. B., eine sehr viel verwendete Dimension, ergeben sich

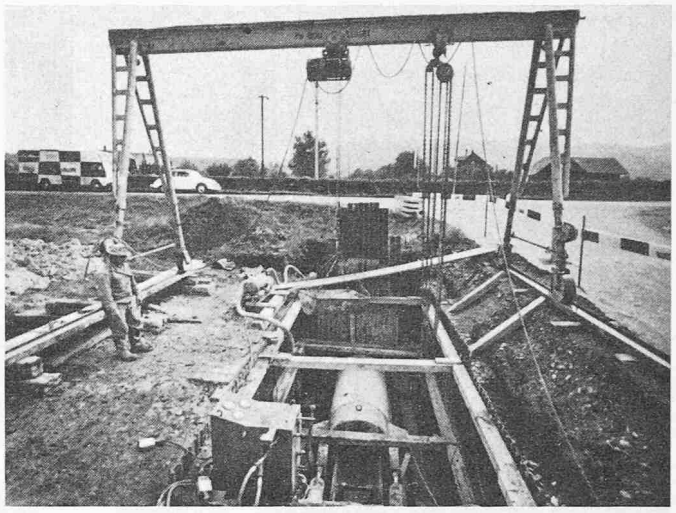
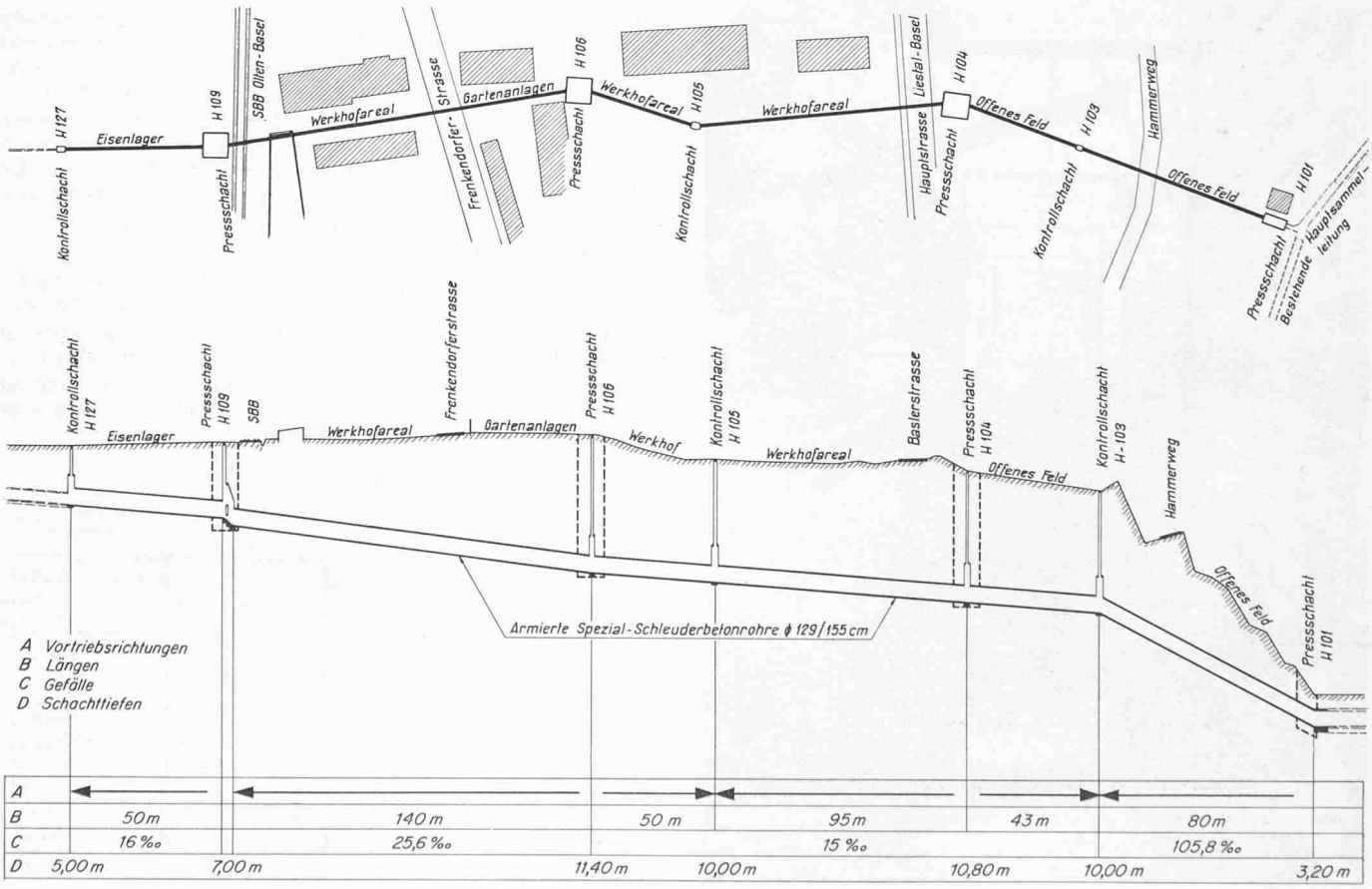


Bild 2. Typische Installation eines kleinen Vortriebes unter einer Kantonsstrasse (Gemeinde Münchenbuchsee)

Bild 3. Beispiel einer 458 m langen Durchstoss-Strecke. Masstäbe: Längen 1:3000, Höhen 1:600



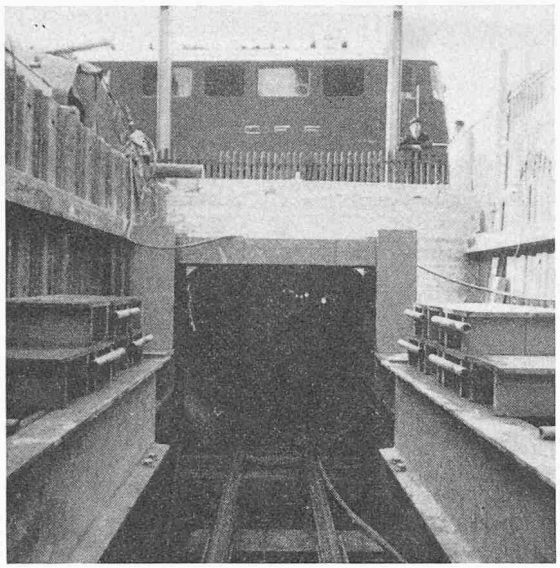


Bild 5. Bei einer Überlagerung von nur 1,3 m wurden 40 Gleise des Bahnhofs Grenchen mit einem 2,20-m-Rohr unterfahren

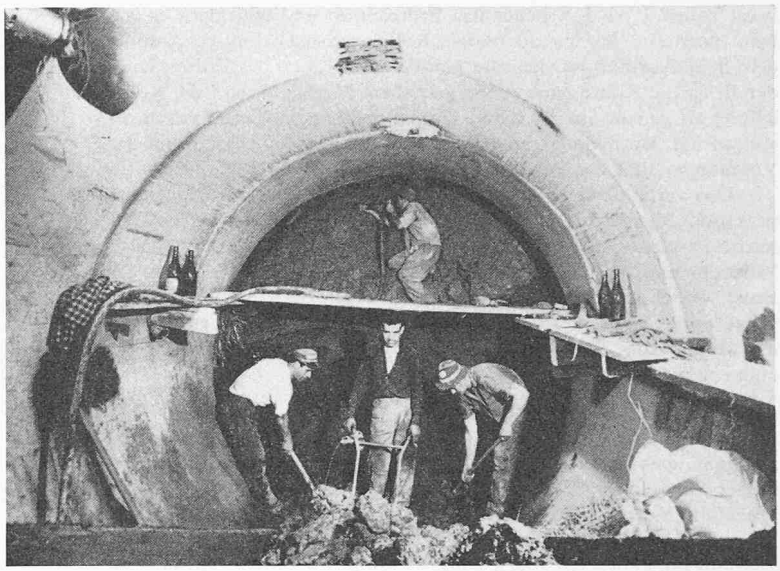
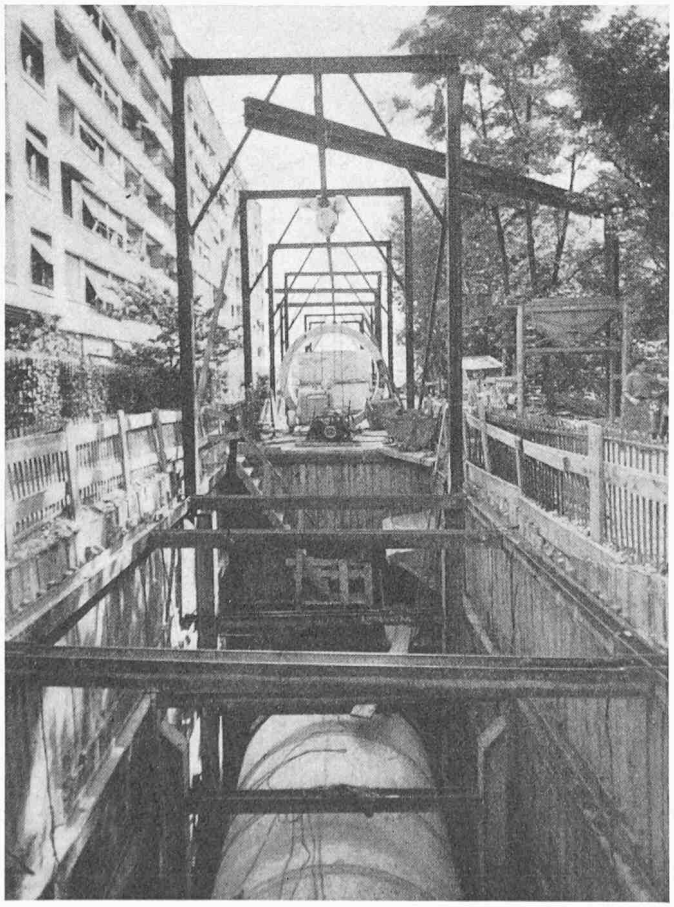


Bild 6. Für dieses 6 m tief unter der Erdoberfläche liegende Rohr von 3,5 m Durchmesser benötigte man die Presskraft von bis zu rund 800 t für einen 20-m-Abschnitt (Collecteur de l'Arve, Genève)

bei Annahme von gleichmässiger Verteilung Spannungen von 100 kg/cm². Wesentliche Vergrösserung dieser Spannung erfolgt durch elastische Verformungen des Stosskopfes, welcher die Kräftekonzentrationen der hydraulischen Pressen auf den Gesamtquerschnitt des Rohres verteilt. Noch grösser ist der Einfluss von Exzentrizität. Obwohl die ausgleichende Wirkung von 10 mm Sperrholz als Druckübertragung zwischen den Rohrelementen recht ansehnlich ist, verursachen die Abweichungen während des Stossvorganges und deren periodische Korrekturen doch ein geschlängeltes Endprodukt mit Amplituden von bis zu 10 cm je nach Bodenverhältnissen. Den jeweiligen Radien der Wellenform entsprechend entstehen sehr grosse örtliche Beanspruchungen des Betons, wobei diese während des Stossvorganges periodisch von einer Seite des Rohres zur anderen verlagert werden. Aus diesen Gründen verwendet man heute fast ausschliesslich qualitativ hochstehende, im Fabrikbetrieb vorfabrizierte Rohre mit abnormal grosser Wandstärke und Armierung.

Bei sehr grossen Rohrdimensionen wird ausnahmsweise zu einer Rohrherstellung an Ort und Stelle geschritten. Dies hat sich wegen den enormen Transportkosten solcher bis zu 12 t schwerer Rohre gut bewährt; nur muss man bedenken, dass nicht die gleiche Betonqualität wie in einem Fabrikbetrieb erreicht werden kann, und dass Fabrikation und vor allem Lagerung sehr viel Platz benötigen (Bild 7).

Bild 7. Rohr-Fabrikation an Ort und Stelle von Stossrohren vom Durchmesser 3,5 m. Mit Mono-Rail werden die 10 t schweren Einheiten mittels fahrbarem Elektrozug direkt vom Abhärteplatz zum Presschacht transportiert (Collecteur de l'Arve, Genève)



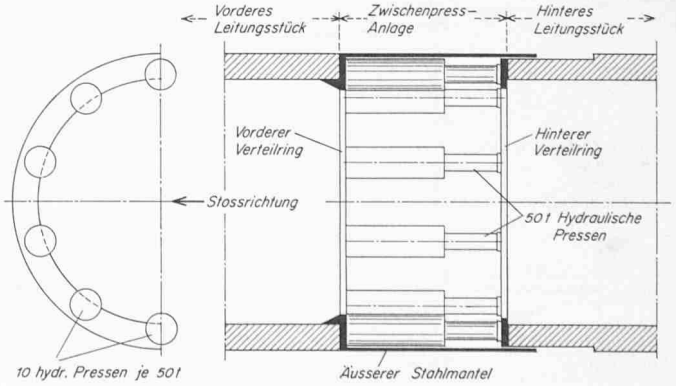
b) Schmierung

Durch Injektion von Schmiermitteln in das Erdreich um die äussere Wandung herum erreicht man je nachdem eine Verminderung der Reibung von 30 bis 100 %. Bewährt hat sich die Verwendung von thixotropen Flüssigkeiten wie z. B. Bentonit-Gel, welches sich während dem Pumpen dünnflüssig verhält, um nachher um das Rohr herum eine Konsistenz von weichem bis festem Ton anzunehmen. Neben der eigentlichen Schmierwirkung, indem die Körner des Erdreichs durch die weiche plastische Masse an einem unmittelbaren Kontakt mit der Rohroberfläche gehindert werden, werden beim Abbau allfällig entstehende Hohlräume aufgefüllt und Setzungen vermindert.

c) Zwischenpressanlagen (Bild 8)

Die Vorpresskräfte richten sich nach Bodenbeschaffenheit, Profildimensionen und nach dem Erfolg der Richtkorrekturen. Die Reibungskräfte variieren zwischen 0,5 t/m² bei sehr standfestem Material und 5 t/m² bei locker gelagerten, nicht bindigen Böden. Bei einer mittleren Reibung von rund 2 t/m² erreicht die Presskraft somit für ein Rohr von einem Durchmesser von 1,5 m rund 10 t/m. Nach 50 m ist

Bild 8. 500-t-Zwischenpress-Station



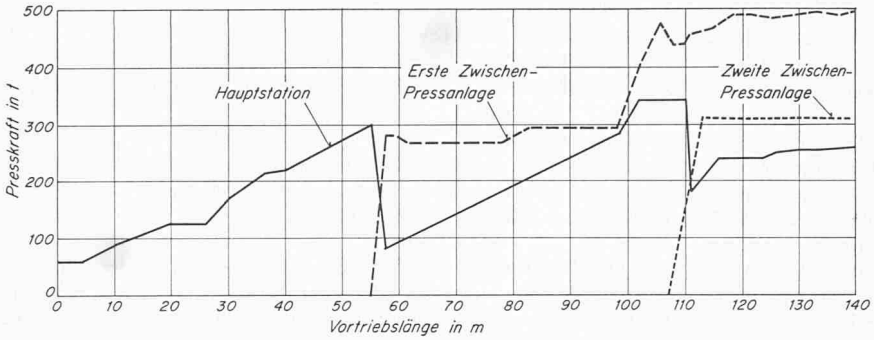


Bild 9. Graphisch dargestellte Wirkungsweise von zwei Zwischenpress-Stationen bei einer totalen Stosslänge von 140 m

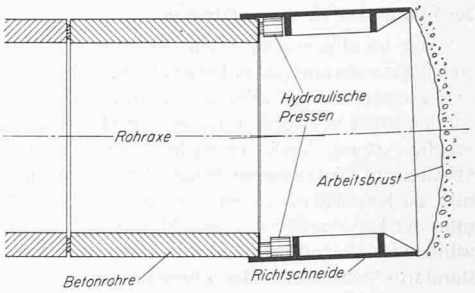


Bild 10. Steuerung des vorderen Rohrelementes durch Richtungsänderung des vorderen Stahlschildes (Richtschneide) mittels hydraulischen Pressen

man mit 500 t Stosskraft an der Grenze der Leistung einer üblichen Installation. Da zudem den Rohrbeanspruchungen einerseits und den Reaktionskräften am Widerlager hinter der Stossinstallation anderseits ebenfalls praktische Grenzen gesetzt sind, kann dem Problem nicht einfach durch den Bau von kräftigeren Stossinstallationen beigekommen werden. Um ohne Überschreitung dieser Grenzen trotzdem grössere Längen als z. B. 50 m wie bei unserem Beispiel stossen zu können, wurden sog. Zwischenpressanlagen entwickelt. Dies sind eigentlich unterirdische Stossinstallationen, welche zweckentsprechend abgewandelt innerhalb eines bereits teilweise vorgepressten Leitungsstückes eingesetzt werden. Durch alternierendes Pressen eines Leitungsstückes von rund 50 m aufs Mal, während man die anderen Leitungsstücke in Ruhe lässt, begrenzt man die totale Stosskraft auf die, welche nötig ist, um das Teilstück zu bewegen. Diese Fortbewegung der Leitung lässt sich mit der eines Wurmes vergleichen, indem immer wieder ein anderer Abschnitt in Bewegung gerät (Bild 9).

Die Anwendung von Zwischenpressanlagen war der weitaus wichtigste Einzelfaktor in der Entwicklung des hydraulischen Vorpressverfahrens. Die erste Zwischenpressanlage wurde im Jahre 1961 bei der Unterstossung von 170 m Länge des Rangierbahnhofes in Renens eingesetzt, wo meines Wissens zum ersten Mal in der Schweiz über 50 m gestossen wurde. Seither sind Dutzende von Arbeiten ausgeführt worden mit Längen von 100 bis 200 m, wo jeweils 1 bis 3 Zwischenpressanlagen eingesetzt waren. Es ist selbstverständlich technisch ohne weiteres möglich, durch Vermehrung der Anzahl Zwischenpressanlagen die Stosslängen beliebig zu verlängern. Die Grenzen sind nur durch die eingeschränkte Wirtschaftlichkeit infolge des langen Abfuhrweges gegenüber Zwischenschächten gesetzt (Bild 12).

Die auffallendste Folge dieser Entwicklung war die nun einsetzende Anwendung des Verfahrens für ganze Kanalisationsstrecken längs verkehrsreichen Adern auf städtischem Gebiet. So sind in den letzten zwei Jahren allein im Zuge der grossangelegten Abwassersanierungsarbeiten folgende Arbeiten fertig geworden, im Gange oder vergeben: in Genf 500 m, Pratteln und Muttenz 1600 m, Olten 1400 m, Solothurn 500 m, Thun 2900 m, Aarwangen 300 m, Bern und Umgebung 1000 m, Basel 500 m.

d) Richtschneide

Da es unmöglich ist, die Elemente eines zu stossenden Leitungsstranges unendlich starr zu verbinden, oder von allen äusseren Einflüssen des Bodens unabhängig zu machen, ist man darauf angewiesen, am vordersten Rohr während der Vorpressarbeit Richtkorrekturen anzubringen. Diese erfolgen durch Richtungsänderungen eines mit hydraulischen Pressen versehenen und somit in seiner Richtung veränderbaren Schildes.

Tägliche Messungen vom Stosschacht aus mit dem Theodoliten, begleitet von sorgfältigem Kontrollieren der relativen Lage der Richtschneide und der ersten 2 bis 3 Betonrohre mit Wasserwaagen, geben dem Bohrmeister die Informationen, welche ihn je nachdem zu mehrmaligen Korrekturen pro Tag an der Richtung der Schneide veranlassen. Nur erfahrene Bohrmeister, welche mit der Zeit ein Einschätzungsvermögen für das Reagieren ihrer Steuervorrichtung bei wechselnden Bodenverhältnissen entwickelt haben, geben Gewähr für genügende Genauigkeit. Bei trockenem, absolut standfestem Boden ist eine maximale Abweichung von der theoretischen Achse von ± 2 cm eine Spitzenleistung. Bei kohäsionslosen Böden wie etwa Rollkies oder gar Silt im Grundwasser, wird das Einhalten der Richtung sehr schwierig, so dass durch Abweichungen von ± 30 cm schon vorgekommen sind. Es ist im allgemeinen eher mit ± 5 cm zu rechnen, so dass es üblich geworden ist, bei Kanalisation von schwachem Gefälle wie 1 bis 2‰ eine nachträglich einbetonierte Korrektursohle von 0 bis 10 cm Dicke einzubauen.

In dieser Hinsicht ist es recht interessant festzustellen, dass die Entwicklungsarbeit, welche zu den obgenannten Verbesserungen führte, von 2 bis 3 Schweizer Unternehmungen geleistet wurde; allerdings parallel zu einer ähnlichen Entwicklung in Deutschland. Das Bestreben zur Eigenkonstruktion geht weiter, so dass jede Firma ihre eigenen Geräte noch selbst baut, wobei allerdings in letzter Zeit einige Fabrikanten in diesen Markt einzusteigen beginnen.

Bild 11. Vergleich der verschiedenen Vortriebsmethoden, nach Bohrdurchmessern geordnet

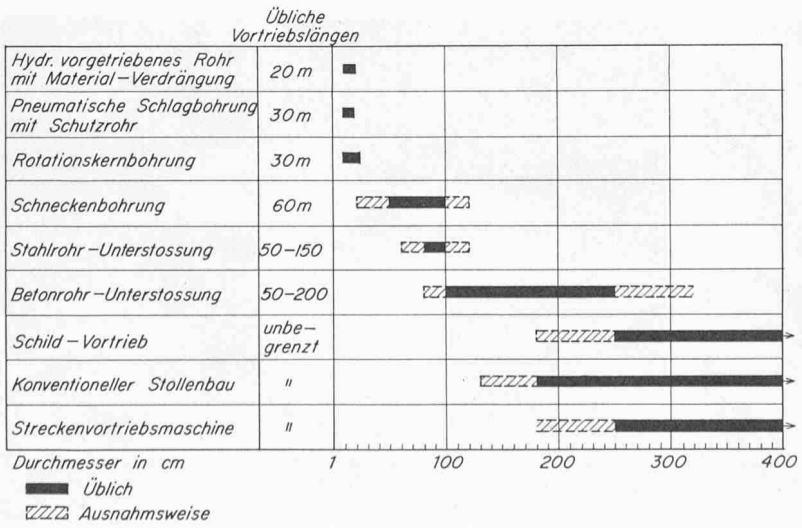


Bild 12. Die Wirtschaftlichkeit sehr langer Unterstossungen ist durch die niedrigen Abfuhrleistungen begrenzt

Der Einfluss der Bodenverhältnisse

Wie im allgemeinen Stollenbau mit Verbau oder beim Schildvortrieb muss man auch beim Pressrohrverfahren einen standfesten Boden voraussetzen, um gut arbeiten zu können. Schwierigkeiten infolge unstabiler Brust bei kohäsionsarmen Böden begegnet man auf konventionelle Art mit Verfestigungsinjektionen oder mit Brustverzug. Bei Arbeiten im Grundwasser bringt die Grundwasserabsenkung oft Abhilfe, da Kanalisationen und Leitungen im allgemeinen nicht sehr tief unter der Erdoberfläche liegen. Material für die Ausführung von Wellpoints oder kleinen Brunnen mit Unterwasserpumpen gehört fast zur Standard-Ausrüstung. Bei Flussunterfahrungen wurde schon mehrmals das Druckluftverfahren mit Erfolg angewandt. Das besondere hierbei ist, dass der unter Druck gehaltene Raum von der Brust bis zur Schleuse klein gehalten werden kann, da die Schleuse mit dem Vortrieb nach vorne wandert. Luftverluste können somit trotz der grossen Anzahl Fugen klein gehalten werden.

Obwohl bei ungünstigen Bodenverhältnissen das Pressrohrverfahren grundsätzlich mit den selben Schwierigkeiten zu kämpfen hat wie andere Methoden, kann doch behauptet werden, dass bei gewissen Fällen einzelne Eigenschaften vorteilhaft ausgenützt werden können. So kann z. B. ähnlich dem Schildvortrieb die Schneide mit grosser Kraft in das Erdreich eingedrückt werden, um Materialverluste bei unstabiler Brust zu vermindern. Eine weitere vorteilhafte Eigenschaft ist, dass alle Arbeiter, auch die an der Brust, sich ständig innerhalb und im Schutze von armierten Betonrohren befinden. Beim Vortrieb von 7500 m Pressrohren, welche seit 1959 zur Ausführung kamen, verzeichnete man meines Wissens keinen einzigen tödlichen Unfall. Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist dieses erfreuliche Resultat eine Folge der obgenannten Eigenschaft.

Ganz allgemein muss gesagt werden, dass der Erfolg des Pressrohrvortriebes in sehr starkem Masse von den übrigen Massnahmen abhängt, welche nötig sind, um schwierige Bodenverhältnisse zu meistern. Nur der erfahrene Grundbauer, welcher die Methoden der Stabilisation durch Injektionen oder Entwässerung beherrscht, hat Aussicht, schwierigen Bodenverhältnissen mit Erfolg zu begegnen.

Vergleich mit anderen Verfahren

Die heute zur Verfügung stehenden Verfahren zur Erstellung von horizontalen Leitungen untertag sind die folgenden:

Schlagbohrung
Drehbohrung
Schneckenbohrung
Unterstossung, Stahl und Beton
Schildvortrieb
Konventioneller Stollenbau
Mechanischer Streckenvortrieb

Ein Vergleich der verschiedenen Methoden und Grenzen würde viel zu weit führen. Bei einem sehr summarischen Vergleich kann man an dieser Stelle aber vielleicht doch folgende Merkmale festhalten:

a) Pneumatische Schlagbohrung und Rotationsbohrung
Durchmesser 100 ÷ 250 mm
Maximale Bohrlänge 30 ÷ 40 m
Preis 100 bis 200 Fr./m ohne Rohrkosten
Fortschritt 5 bis 30 m/Tag

Beide Verfahren bohren ohne Schwierigkeiten durch Blöcke oder Fels. Die Einhaltung der Richtung gibt manchmal Anlass zu Schwierigkeiten.

b) Schneckenbohrung
Durchmesser 20 ÷ 120 cm, aber hauptsächlich 50 ÷ 80 cm
Maximale Bohrlänge 40 ÷ 60 cm je nach Durchmesser
Preis 500 bis 700 Fr./m ohne Stahlrohrkosten
Fortschritt 20 ÷ 40 m/Tag

Der Hauptvorteil der Schneckenbohrung liegt in der schnellen Ausführung. So kann, nachdem der Stosschacht erstellt ist, die Installation der Anlage in einem Tage und die Bohrung von z. B. 50 m in 1 bis 3 Tagen geschehen.

Nachteilig ist einerseits der Verlust des 5 bis 10 mm dicken Stahlrohres, welches im Boden bleibt, und anderseits die Empfindlichkeit auf gewisse Bodenverhältnisse. Grundsätzlich ist die Schneckenbohrung in blockigem Material oder Grobkies mit Steinen nicht über dem halben Durchmesser des Rohres zu gebrauchen, es sei denn, man beschränke sich auf Bohrungen, welche mehr als 50 cm Durchmesser haben, um bei vereinzelten Hindernissen von Hand im Rohr arbeiten zu können. Aber auch dies wird bei zu vielen Blöcken unwirtschaftlich.

c) Hydraulisches Vorpressverfahren
Durchmesser 80 ÷ 350 cm
Länge beliebig

Preis:	100 cm Durchmesser	700 Fr./m
	200 cm Durchmesser	1800 Fr./m
	300 cm Durchmesser	3000 Fr./m einschliesslich Rohr

Fortschritt 1 bis 2,5 m/Tag

Im Bereiche von *80* bis *180 cm* ist das Vorpressverfahren im allgemeinen unangefochtener Meister. Von etwa 180 cm an kommt die Konkurrenz zum konventionellen Vortrieb mit Einbau und von etwa 250 cm an die des Schildvortriebes und der Streckenvortriebsmaschine dazu. Obwohl sie vereinzelt ausgeführt wurden, scheinen Vorpressungen von über 300 cm Durchmesser wirtschaftlich den übrigen Verfahren unterlegen zu sein.

In dem Bereich von 180 bis rund 250 cm, wo sich die verschiedenen Systeme gegenüberstehen, entscheidet meistens der Preis. Die fertigen Produkte unterscheiden sich lediglich in der Fugenanordnung und Betonqualität. Während der konventionelle Stollen wenig Fugen, eine durchgehende Ringarmierung und Ortsbeton aufweist, hat ein nach dem Vorpressverfahren ausgeführter Stollen ebenfalls eine durchgehende Ringarmierung, jedoch weit mehr Fugen, aber dafür qualitativ hochstehenden, vorfabrizierten Beton. Der Schildvortrieb muss die Nachteile von zahlreichen Längs- und Querfugen auf sich nehmen unter gleichzeitigem Verzicht auf durchgehende Ringarmierung (es sei denn, es werde nachträglich ein durchgehendes inneres Rohr verlegt oder eingespritzt).

Der Kampf der Systeme im Bereich zwischen 1,8 und 2,8 m Durchmesser entscheidet sich aber manchmal aus ganz anderen Gründen: Zum Beispiel wagt sich im allgemeinen bei unstabilen und

Bild 13. Doppelanlage, gleichzeitig in zwei Richtungen stossend, in einem 21 m tiefen Schacht (Le Lignon, Genève)

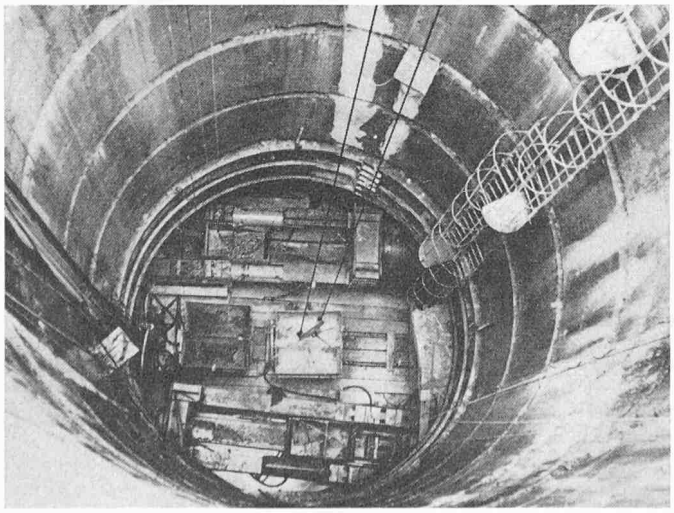
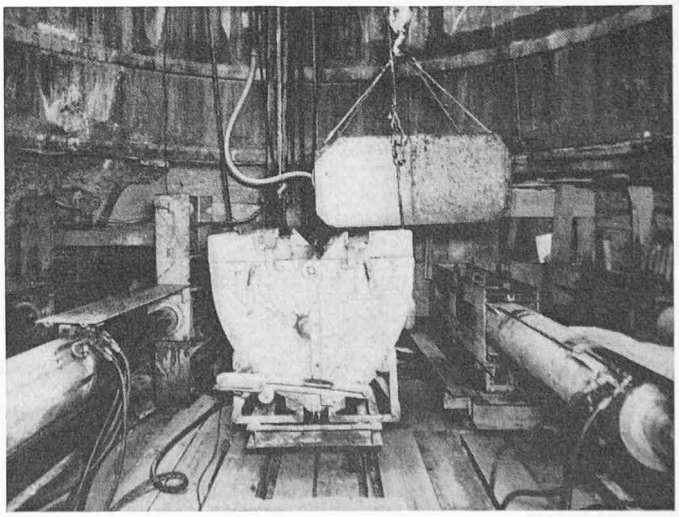


Bild 14. Doppelanlage Bild 13. Der kleine Förderwagen, welcher im Stossrohr auf Schienen läuft, wird hier in einen Zwischenbunker entleert, welcher seinerseits nach oben geht



wenig tragfähigen Bodenarten wie Silt oder Feinsand im Grundwasser kein konventioneller Stollenbauer an die Aufgabe. Der Schild des Vorpressverfahrens oder des Schildvortriebes gibt hier den Ausschlag. Bei kurzen Leitungsstücken hingegen oder bei ungewöhnlichen Profilen hat meistens der Stollenbauer nach alter Methode den Vorteil, wegen der hohen Kosten der nötigen Spezialanfertigungen bei den anderen Verfahren. Bei Arbeiten, wo Kurven vorkommen, wird das Pressrohrverfahren von vornherein eliminiert, da nur gerade Strecken ausgeführt werden können. Ähnlich ausgeschlossen ist zum Beispiel die Anwendung von Streckenvortriebsmaschinen bei Böden mit grossen Steinen oder Nagelfluhbänken. Diese ganz moderne Methode hat sich in Fels und Lehm bewährt; bei unregelmässigen Alluvionen, wie wir sie in der Schweiz haben, wird wahrscheinlich die Anwendung beschränkt sein müssen.

Zukünftige Entwicklung

Diesbezüglich zeichnet sich folgendes ab:

1. Der Hauptanwendungsbereich wird ungefähr zwischen 1 bis 2,5 m Durchmesser bleiben; grössere Durchmesser von zum Beispiel 2,5 bis 4 m werden wahrscheinlich durch vermehrte Anwendung des Schildvortriebverfahrens verdrängt werden.

2. Die Strecke zwischen Stoss- und Zielschacht wird noch erheblich vergrössert werden können. In dieser Hinsicht sind heute schon alle Probleme gelöst, so dass nur noch der Bedarfsfall nötig ist, um mehrere hundert Meter in einem Stück durchzuführen.

3. Die Weiterentwicklung der Mechanisierung wird zur Anwendung von speziellen Lade- und Lösemaschinen führen, so dass die schwere Handarbeit an der Brust weitgehend ausgeschaltet werden kann. Bei günstigen Verhältnissen wird es zur Kombination des Pressrohrverfahrens mit einer Streckenvortriebsmaschine kommen.

Abschliessend darf festgestellt werden, dass mit dem hydraulischen Pressrohrvortrieb ein sehr junges Verfahren in wenigen Jahren eine bemerkenswerte Entwicklung durchgemacht hat. Es stellt heute ein ausgereiftes Verfahren dar, das aber noch eine bedeutende Weiterentwicklung vor sich hat. Obwohl auch bei grosser Entwicklung das Verfahren eine bescheidene Spezialmethode mit beschränkter Anwendung bleiben muss, ist es doch im Begriffe, unser Stadtbild sichtlich zu verändern, und zwar indem das ständige Aufreissen unserer Strassen zwecks Kanalisations- und Leitungsbaus endlich etwas abnimmt. In diesem Sinne gehört das Rohrstossverfahren unbedingt zu den interessanteren Entwicklungen des städtischen Tiefbaus.

Adresse des Verfassers: *Max Schaub*, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor der AG für Grundwasserbauten, 3001 Bern, Monbijoustrasse 16.

Mechanischer Tunnelvortrieb im Festgestein

DK 624.19.002.5

Von **W. Rutschmann**, dipl. Ing., Adliswil/Zürich

1. Konventioneller und mechanischer Vortrieb

Der *konventionelle Tunnelvortrieb* im Fels gliedert sich in die drei Hauptoperationen: Bohren, Sprengen und Räumen. Diese gelangen zeitlich nacheinander und unter Einsatz verschiedener Maschinen und Geräte (Bohrwagen, Bohrhämmer, Bagger usw.) zur Ausführung. Der *mechanische Vortrieb* oder *Bohrvortrieb* erfolgt mittels eines Bohrsystemes, d. h. einer Bohrmaschine mit eingebauten Einrichtungen für die Richtungs- und Höhenkontrolle sowie die Steuerung, für die Abfuhr des Bohrgutes und für die Staubbekämpfung und Ventilation. Beim Einsatz eines Bohrsystems erfolgt das Bohren des Stollens oder des Tunnels und die Abfuhr des Bohrgutes gleichzeitig. Die drei funktionellen und konstruktiven Grundelemente einer Bohr- bzw. Vortriebsmaschine sind:

— der Bohrkopf mit den Bohrwerkzeugen

— der Bohrkopfträger

— die Abstützungseinrichtung (Bild 1).

Bohrkopfträger und Abstützungseinrichtung werden gelegentlich zusammengefasst und als Maschinen-Rahmen, -Rumpf oder -Körper bezeichnet.

Im Hinblick auf eventuellen Steinfall während oder nach dem Bohren kann die Bohrmaschine mit einem Schutzdach versehen werden. Unter besonderen Verhältnissen und vor allem, wenn sich der Einbau der Auskleidung unmittelbar hinter der Ortsbrust als zweckmässig oder notwendig erweist, können die Grundelemente in einen Schildmantel eingebaut werden.

2. Bohrtechnische Definition des Begriffes Festgestein

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschliesslich auf den Bohrvortrieb im Festgestein. In bezug auf den mechanischen Abbau ist darunter ein Baugrund zu verstehen, dessen Kohäsion bei seiner Bearbeitung durch die Bohrwerkzeuge die Ausbildung einer standfesten, nicht auf den Kopf der Bohrmaschine drückenden Ortsbrust ermöglicht. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, erstreckt sich der Bereich der sogenannten Festgesteine von gepressten Sanden — z. B. druckluftstabilisiert oder Einlagerungen in einer Grundmoräne — über bindemittelverkittete Böden zum eigentlichen Fels.

3. Verfahren und Werkzeuge des Bohrvortriebes

Bezüglich der Art der Bearbeitung einer Stollen- oder Tunnelbrust mittels Bohrwerkzeugen sind grundsätzlich zwei Verfahren zu unterscheiden: das Bohren durch primär

— in Vortriebsrichtung auf die Brust einwirkende Werkzeuge und

— quer zur Vortriebsrichtung, d. h. parallel zur Brust arbeitende Werkzeuge.

3.1 Primär in Vortriebsrichtung auf die Ortsbrust einwirkende Werkzeuge, nämlich:

— die Kerbmesser oder Schneidezähne sowie Stichel und

— die Rollenmeissel-Varietäten, nämlich Zahn-, Diskus- und Warzenmeissel.

Diese auf dem Bohrkopf montierten Werkzeuge beschreiben bei rotierendem Bohrkopf auf der Ortsbrust konzentrische Kreise, und unter Andruck und je nach der Gesteinsart bilden die Kerbmesser und einzelne Rollenmeissel-Typen konzentrische Furchen aus (Bild 2).

Der Einsatz von *Kerbmessern* führt nur in relativ weichem Baugrund zu einem Abbau der Ortsbrust. Die zwischen den Furchen entstehenden Stege werden durch die beim Eindringen auftretende Keilwirkung der Messer bzw. Stichel oder von zwischen den Messern rollenden Diskusmeisseln radial gegen die benachbarten Furchen abgedrückt.

Zahn- und Diskusmeissel werden in weichem, in mittelhartem und in relativ hartem Baugrund eingesetzt. Unter der statischen Wirkung des Andruckes und der dynamischen der Rotation dringen die Zähne der *Zahnmeissel* mehr oder weniger tief in die Ortsbrust ein. Im weicheren Gestein stemmen die entsprechenden langen, mit steilen Flanken ausgebildeten Zähne in ihrer Bahn liegende Gesteinsteile von der Brust ab. In härterem Gestein entstehen nach dem Überwinden der Materialfestigkeit um die Anpresstellen der kurzen und gedrungenen Zähne Risse und Bruchflächen und es lösen sich Gesteinssplitter längs den zur Ortsbrust austretenden Bruchflächen ab.

Die *Diskusmeissel* penetrieren unter rollendem Spitzendruck mindestens oberflächlich die Ortsbrust. Je nach dem Masse des Eindringens des scharfkantigen Diskusses wirkt seine Schneide als Keil und schert die Stege zwischen zwei Diskuskerben gegen die

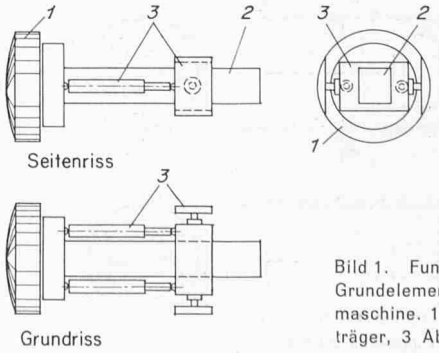


Bild 1. Funktionelle und konstruktive Grundelemente einer Tunnel-Bohrmaschine. 1 Bohrkopf, 2 Bohrkopfträger, 3 Abstützungseinrichtung