

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

Artikel: Mechanischer Tunnelvortrieb im Festgestein
Autor: Rutschmann, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69973>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

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

wenig tragfähigen Bodenarten wie Silt oder Feinsand im Grundwasser kein konventioneller Stollenbauer an die Aufgabe. Der Schild des Vorpessverfahrens 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 er-

heblich 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 Bohrsystemes 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 und 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 gedungenen 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

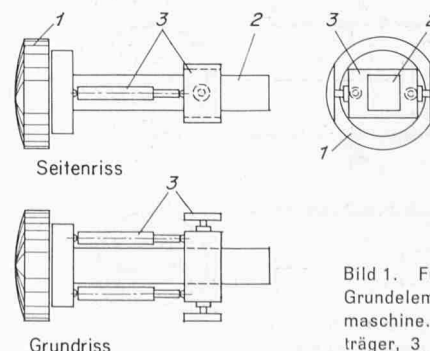


Bild 1. Funktionelle und konstruktive Grundelemente einer Tunnel-Bohrmaschine. 1 Bohrkopf, 2 Bohrkopfträger, 3 Abstützungseinrichtung

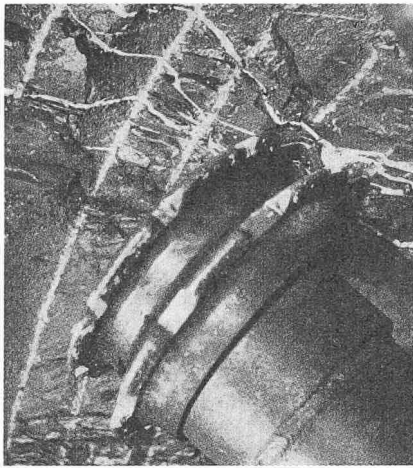


Bild 2. Doppel-Diskusmeissel beim Abrollen auf der Ortsbrust

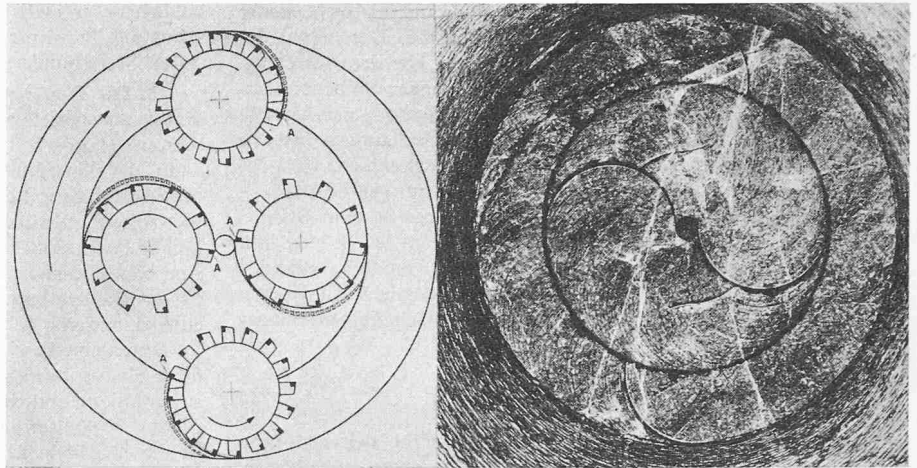


Bild 3. Mit fräserbestücktem Bohrkopf bearbeitete Ortsbrust. Rechts: Photographische Aufnahme der Brust. Links: Der Aufnahme entsprechende Zeichnung. Die von den Messern A zu hinterschneidenden, sichelförmigen Gesteinselemente sind gestrichelt dargestellt

freien Rillen ab, oder sie bewirkt von der Diskusbahn ausgehende Risse und Bruchflächen im Gestein, in deren unmittelbarer Folge das Gestein oberflächlich in bis zu handflächengrossen Scherben abspaltert.

Beim Bohren von eigentlich hartem und sprödem Fels sind bisher ausschliesslich *Warzenmeissel*, auch Knöpfchen- oder Noppenmeissel genannt, mit Erfolg eingesetzt worden. Die Körper dieses Rollenmeissel-Typs sind besetzt mit Hartmetall-Stiften. Werden diese unter hohem Druck und rotierend in das Gestein eingepresst, kann rund um die Ansatzstelle des Hartmetall-Stiftes eine Überbeanspruchung des Gesteines auftreten. Diese äussert sich in der Bildung von Rissen und Bruchflächen. Über den gegen die Ortsbrust führenden Bruchflächen splittern Gesteinselemente bis zum Ausmasse grösserer Münzen ab.

3.2 Primär quer zur Vortriebsrichtung arbeitende Werkzeuge

Es sind dies:

- die Schäl-Messer oder -Zähne und
- die Frässcheiben mit Schneideplättchen.

Die *Schälmesser* sind auf die Speichen bzw. Messerarme eines Bohrkopfes montiert und schliessen mit der Speichenebene einen kleinen Winkel ein. Bei der Drehung des Bohrkopfes und unter Druck stechen die Messer flach in die Stollen- oder Tunnelbrust ein und schälen konzentrische Furchen aus dem Boden. Der Einsatz dieses Werkzeuges bringt nur in relativ weichem Gebirge Erfolg.

Schälmesser können aber auch — wie die *Schneideplättchen* — am Umfange von auf dem Bohrkopf sitzenden Fräsern montiert sein. Während der langsamen Drehbewegung des Bohrkopfes rotieren die Frässcheiben relativ rasch gegenläufig zum Bohr-

kopf. Die Fräser sind auf dem Bohrkopf in der Weise montiert, dass ihre Achsen mit der Bohrfachse kleine Winkel bilden. Beim gleichzeitigen Rotieren des Bohrkopfes und der Fräser sowie beim gleichzeitigen Vorschub der Maschine beschreiben die einzelnen Schneideplättchen auf der Ortsbrust Zykloiden, und die Fräser haben infolge der Divergenz ihrer Achsen mit der Bohrfachse das Bestreben, in die Ortsbrust einzuschneiden (Bild 3). Diese Art der Gefügezerstörung ist prinzipiell gleich wie bei der spanabhebenden Metallbearbeitung. Infolge der mechanischen Eigenschaften des Gesteines bilden sich allerdings keine Späne. Das in der Schraubenbahn der Schneideplättchen eines Fräses liegende sprödebrüchige Gestein wird in Splintern weggeschert, zähbrüchiges Material wird zerrieben und das hinterschnittene, zwischen Brust und Schnittspirale entstehende sichelförmige, schmale Gesteinselement fortlaufend in Scherben abgebrochen. Dieses Bohrverfahren ist bisher in weichem und mittelhartem Gebirge und vorwiegend in Versuchen angewendet worden.

4. Bohrbarkeit

Die *Bohrbarkeit* eines Gesteins oder eines Gebirges — d. h. sein Verhalten unter der Einwirkung von Bohrwerkzeugen — ist eine grundsätzlich in bezug auf den Einsatz eines bestimmten Werkzeuges zu definierende Eigenschaft. Sie ist hauptsächlich bedingt durch die Oberflächenhärte, die Abrasivität, die Festigkeit der Einzelkörner wie des Kornverbandes und durch die Elastizitätseigenschaften des Baugrundes sowie durch die Lage von Schichtgrenz-, Schieferungs- und Klufflächen bezüglich der primären Wirkungsrichtung der Bohrwerkzeuge. Die häufig verwendeten Bezeichnungen: weiches, mittelhartes und hartes Gestein sind wenig umfassend. Sie vermögen immerhin durch die Zuordnungen — weiches Gestein = z. B. Molassemergel
— mittelhartes Gestein = z. B. unverwitterter Molassesandstein
— hartes Gestein = z. B. Granit und Kieselkalk
eine gewisse Vorstellung zu vermitteln.

Auch mittels der Festigkeitseigenschaften eines Gesteins lässt sich seine Bohrbarkeit nur bedingt ausdrücken. Ein gewisser direkter Zusammenhang besteht zwar für Sedimente. Eruptivgesteine und metamorphe Gesteine mit relativ geringer Druckfestigkeit können aber mit gleichen Werkzeugen und unter gleichen Bohrbedingungen (Drehzahl des Bohrkopfes, Belastung der Werkzeuge) wesentlich schwieriger bohrbar sein als druckfestere Sedimente. Die unterschiedliche Bohrbarkeit beruht auf technologisch verschiedenen Eigenschaften und strukturell verschiedenem Aufbau.

5. Bohrsysteme

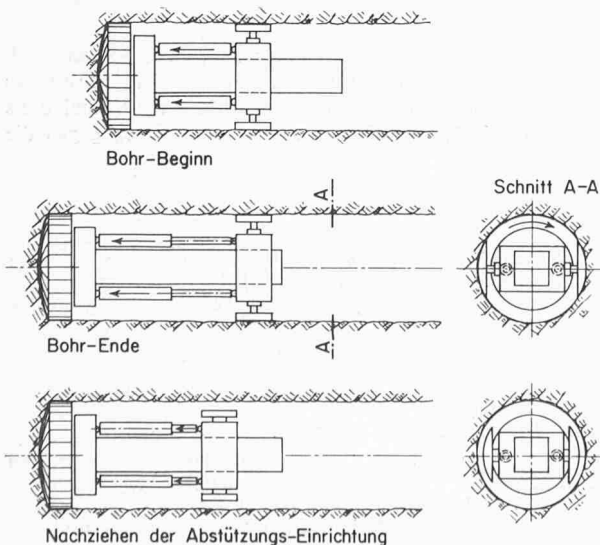
5.1 Prinzipielle Arbeitsweise einer Tunnel-Bohrmaschine

Die Grosszahl der heute verfügbaren Vortriebsmaschinen bohrt nicht kontinuierlich. Das Bohren eines 1 bis 2 m langen Stollen- oder Tunnelabschnittes erfolgt in zwei Etappen (Bild 4):

- Bohren bzw. Vortrieb und
- Nachziehen der Abstützungs-Einrichtung.

Während der *Bohretappe* rotiert der Bohrkopf mit den Bohrwerkzeugen um die Maschinenachse, welche mit der Tunnelachse zusammenfällt. Er wird während des Rotierens mittels der Vor-

Bild 4. Prinzipielle Arbeitsweise einer Tunnel-Bohrmaschine; links Grundrisse, rechts Vertikalschnitte



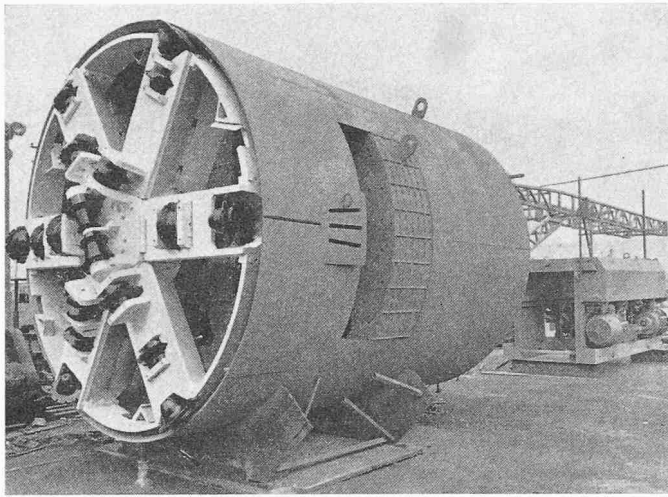


Bild 5. Calweld-Bohrsystem

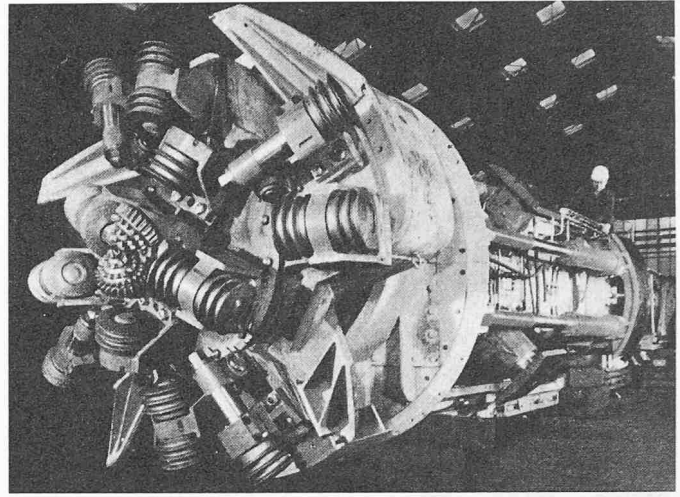


Bild 6. Demag-Bohrsystem

schubpressen an die Tunnelbrust gedrückt. Die Bohrwerkzeuge lösen den Gesteinsverband an der Brust, und im Verlaufe des Vorschubens des Bohrkopfes mit dem Bohrkopfträger bildet sich im Gebirge eine Röhre von kreisförmigem Querschnitt. Während der Bohretappe stützen sich die Vorschubpressen auf die Verspannungseinrichtung ab, derer senkrecht zur Stollenachse wirkende Pressen die Verspannungsplatten an die Stollenlaibung drücken und damit die Abstützungseinrichtung verankern. Nach dem vollständigen Ausfahren der Vorschubpressen folgt die *zweite Etappe*. Vorerst werden der Bohrkopf stillgelegt und die Verankerung der Abstützungseinrichtung aufgehoben. Diese wird dann bei unveränderter Lage des Bohrkopfes und des Bohrkopfträgers mittels der reversibel arbeitenden Vorschubpressen nachgezogen und nach dem Erreichen der vorderen Endlage neu verankert. Damit ist die Maschine wieder für den nächsten, mit einer Bohretappe beginnenden Zyklus einsatzbereit.

5.2 Komponenten eines Bohrsystems

Der Bohrvortrieb erfordert nicht nur den Einsatz einer Bohrmaschine, sondern *eines Systems*, innerhalb welchem die eigentliche Bohrmaschine den Kern bildet. Zu diesem System gehören neben der Bohrmaschine:

- die Installationen für das Aufgreifen und den Abtransport des Bohrkleins von der Brust bis auf die Deponie, und zwar dimensioniert im Hinblick auf die grösste über längere Strecken zu erwartende Vortriebsgeschwindigkeit,
- die Ausrüstung für die Übertragung und Transformation der elektrischen Energie für den Bohrkopftrieb, die Motoren der Hydrauliksysteme und für Nebeninstallationen,
- die Installationen zur Bekämpfung des beim Bohren und Bohrkleinumschlages anfallenden Staubes,
- die Ausrüstung zu einer auch während des Vortriebes jederzeit durchführbaren Richtungs- und Höhenkontrolle und zur Übertragung dieser Messwerte zum Maschinenführer, welcher notwendige Korrekturen der Richtung und Neigung sofort vorzunehmen in der Lage sein muss,
- die Installationen, wie Kompressor, Hebezeuge usw. für die Erleichterung der Felssicherung, eventuell sogar für den Einbau der Tunnelauskleidung unmittelbar hinter der Bohrmaschine.

Im allgemeinen werden Tunnelbohrmaschinen für ein bestimmtes Objekt als Einzelstück entworfen und konstruiert. Durch die Festlegung des Tunnel-Bohrdurchmessers und des Tunnel-Trasses und damit implizite durch das Voraussetzen bestimmter geologischer Verhältnisse ist die Aufgabe des Maschinenkonstruktors gestellt. Diese Aufgabe ist technisch gelöst, wenn es gelingt:

- den technologischen Charakteristika des Gesteins und des Gebirges entsprechende, verschleissfeste Bohrwerkzeuge mit dauerhafter Lagerung zu bauen, und
- innerhalb der Maschine den erforderlichen Andruck und Vorschub des Bohrkopfes auf die Tunnelbrust zu erzeugen und die notwendige Abstützung zur Aufnahme der Reaktionen sowie die Steuerbarkeit der Maschine sicherzustellen.

5.3 Kurzbeschreibung einiger neuerer Bohrsysteme

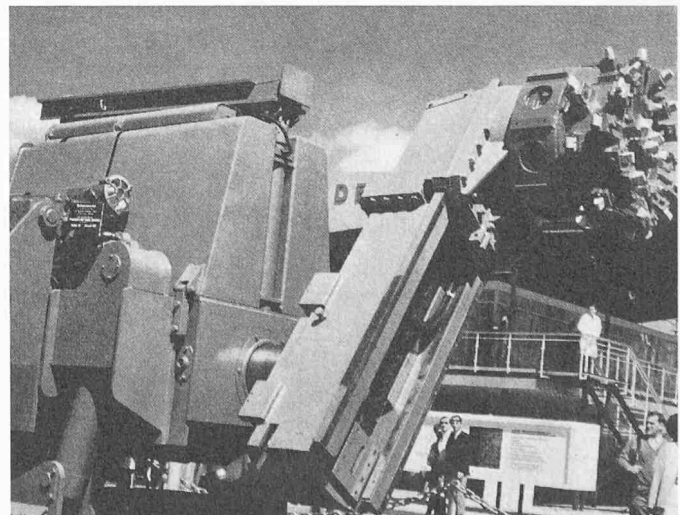
Die gegenwärtig bekanntesten Stollen- und Tunnelbohrsysteme für weiches und mittelhartes Gestein werden in den USA, in der Deutschen Bundesrepublik, in England und in der Schweiz gebaut. Die nachfolgenden Bilder vermitteln einen Eindruck von einigen neueren Konstruktionen.

Calweld Bild 5	Hersteller: Bohrdurchmesser: Bohrkopf: Abstützung: Antrieb:	Calweld a Division of Smith Int. Inc., Los Angeles 3,45 m mit Diskusmeisseln bestückt; innerhalb Schildmantel in Ma- schinenachse verschiebbar Zwei Verspannungsplatten Hydraulik-Sternmotoren, Elektromotoren 4 × 100 PS mit Hydraulikpumpen auf Schlitten hinter Maschine.
-------------------	---	--

Diese Maschine bohrt gegenwärtig einen Kanalisationsstollen (schwach verfestigte Lockergesteine — mittelharte Sedimente) in Coventry

Demag Bild 6	Hersteller: Bohrdurchmesser: Bohrkopf: Abstützung:	Demag Aktiengesellschaft, Duisburg 2,0 ÷ 2,3 m mit Mehrfach-Diskusmeisseln, im Zentrum mit Dreikegel- meissel ausgerüstet Vier vordere und zwei hintere Verspannungsplatten
-----------------	---	--

Bild 7. Greenside-Bohrsystem



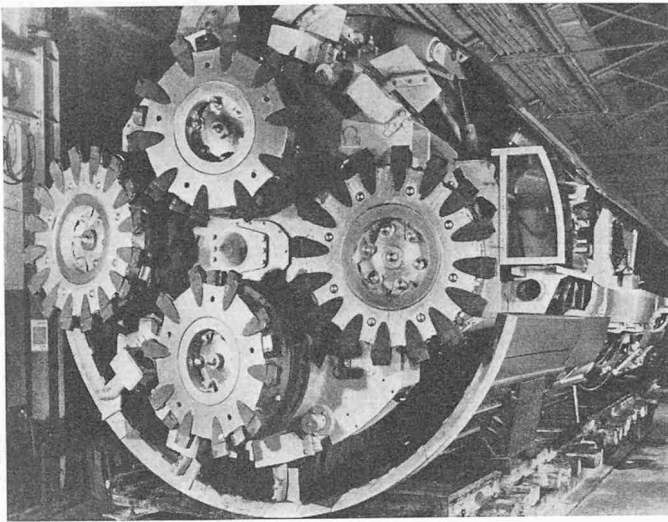


Bild 8. Habegger-Bohrsystem

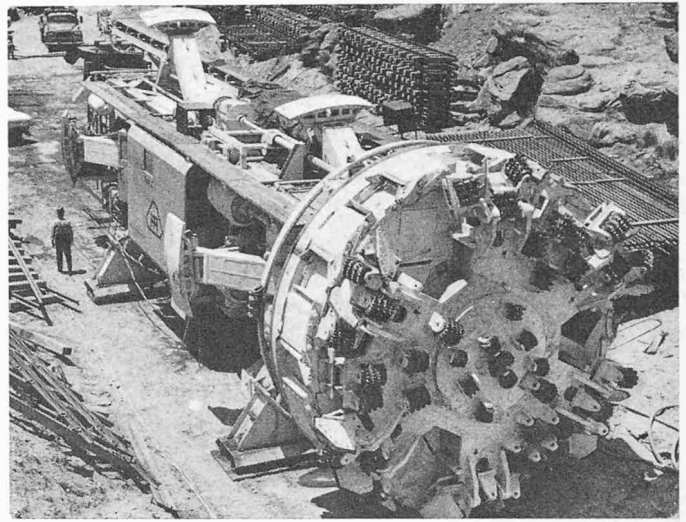


Bild 9. Hughes-Bohrsystem

	Antrieb:	Elektromotoren 2×150 kW, Turbokupplung
	Diese Maschine bohrt drei je einige 100 m lange Stollen der Bodensee-Wasserversorgung durch Kalkgebirge der Schwäbischen Alb	
Greenside Bild 7	Hersteller:	Greenside Machine Company Limited, Aycliffe/Durham
	Bohrprofil:	U-förmig, Sohlenbreite 3,6/5,2 m Profilhöhe 3,15/3,75 m
	Bohrkopf:	Bestehend aus Schneidetrommel, mit Messern bestückt und Schneidearm
	Abstützung:	Verspannungsbalken über Bohrkopfträger, Schreitwerk
	Antrieb:	Elektro-hydraulisch
Habegger Bild 8	Hersteller:	Maschinenfabrik Habegger AG, Thun
	Bohrdurchmesser:	$3,2 \div 3,6$ m
	Bohrkopf (Trommel):	Trägt vier Fräser, mit Hartmetallschneideplättchen bestückt
	Abstützung:	Verspannungsplatten (Haftschuhe)
	Antrieb:	Bohrkopf (Trommel): Elektro-hydraulisch Fräser: Elektromotoren, total 4×75 PS
Hughes Bild 9	Hersteller:	Hughes Tool Co., Industrial Products Division, Dallas
	Bohrdurchmesser:	6,05, 6,35, 6,50 m
	Bohrkopf:	mit Zahnmeisseln bestückt
	Abstützung:	Innerer Rahmen mit 2×4 Verspannungsplatten
	Antrieb:	Elektromotoren 5×200 PS, mechanische Kraftübertragung

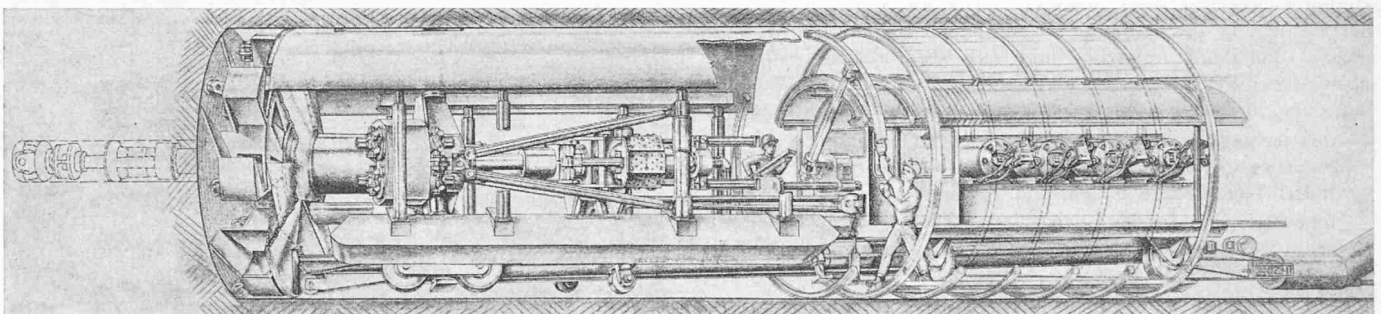
	Diese Maschine bohrte den 3,04 km langen Navajo-Tunnel in New Mexico (Sandstein) in 187 Arbeitstagen	
Lawrence- Alkirk Bild 10	Hersteller:	Lawrence Manufacturing Co., Subsidiary of Ingersoll-Rand Company, Seattle
	Bohrdurchmesser:	3,6 m
	Bohrkopf:	bestückt mit Warzenmeisseln
	Abstützung:	Spreizanker am Pilotbohrgestänge und zwei seitliche Verspannungsplatten
	Antrieb:	Bohrkopf und Pilotbohrer mittels Hydraulikmotoren Elektromotoren mit Hydraulikpumpen auf Anhänger hinter Maschine
Robbins Bild 11	Hersteller:	James S. Robbins & Associates Inc., Seattle
	Bohrdurchmesser:	$3,05 \div 3,2$ m
	Bohrkopf:	mit Diskusmeisseln, im Zentrum mit Dreikegelmeissel besetzt
	Abstützung:	Zwei Verspannungsplatten
	Antrieb:	Elektromotoren 4×75 kW, mechanische Kraftübertragung
	Diese Maschine bohrte den 12,8 km langen Blanco-Tunnel in Colorado (Ton-Schiefer und Sandstein) in 311 Arbeitstagen	

(Die Bilder 3 [rechts], 5, 6 und 8 bis 11 wurden von den Hersteller- bzw. Vertreterfirmen der entsprechenden Systeme freundlicherweise zur Verfügung gestellt.)

6. Vor- und Nachteile des Bohrvortriebes

Verglichen mit dem konventionellen Tunnelausbruch mit den Hauptarbeitungsgattungen Bohren, Sprengen und Räumen, bietet

Bild 10. Lawrence-Alkirk-Bohrsystem



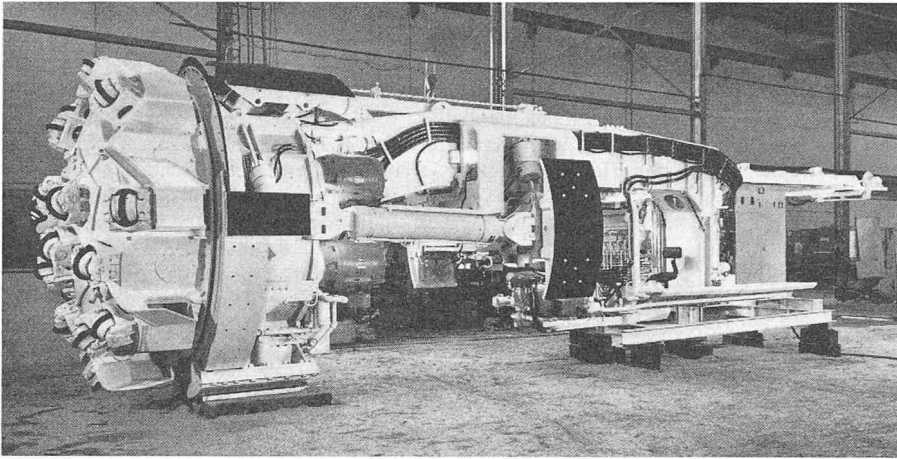


Bild 11. Robbins-Bohrsystem

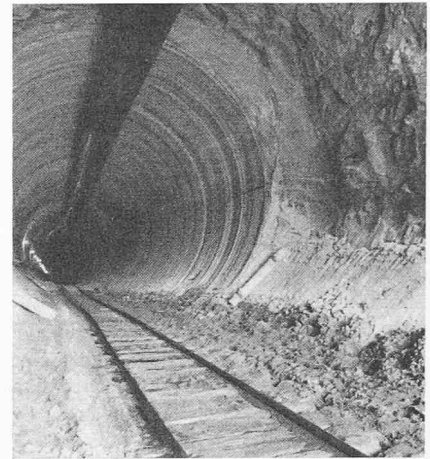


Bild 12. Im Vordergrund ausgebrochener, im Hintergrund gebohrter Tunnelabschnitt

der mechanische Tunnelvortrieb zahlreiche Vorteile:

- Beim Bohren wird der Verband des Gebirges um den Hohlraum nicht gestört. Die sprengungsbedingte Auflockerung wird vermieden.
- Der mechanische Tunnelvortrieb ist erschütterungs- und lärmfrei. Er beeinträchtigt deshalb in Wohn- und Geschäftsgebieten die Lebensverhältnisse nicht und vermeidet Erschütterungsschäden.
- Der Tunnelbau wird verbilligt, im besonderen weil:
 - beim Bohren praktisch kein Überprofil anfällt, welches mit Beton wieder gefüllt werden muss (Bild 12),
 - die Standfestigkeit des Gebirges durch das Bohren nicht beeinträchtigt wird und weniger provisorische Massnahmen zur Sicherung der Laibung gegen Steinfall (Felsanker, Gunit, eventuell Spritzbeton, leichter Stahlbau usw.) erforderlich sind,
 - wenigstens in Tunnelquerschnitten mit grosser Fläche kleinere Belegschaften notwendig sind und dadurch geringere Lohnkosten entstehen,
 - die kürzere Bauzeit eine geringere Vorhaltezeit der konventionellen Nebeninstallationen erfordert.

Richtofferten und Submissionen haben verschiedentlich auch die preislichen Vorteile des Bohrvortriebes nachgewiesen:

- Der Wegfall von Zünd- und Sprengmitteln, das weitestgehende Vermeiden jeder künstlichen Gebirgsauflockerung, die Möglichkeit, allfällige provisorische Felsicherungen und sogar die Auswölbung kontinuierlich und bereits unmittelbar hinter der Tunnelbrust einzubauen, erhöhen die Sicherheit des Tunnelbaues und befreien ihn in hohem Masse von den ihm bisher anhaftenden Zufälligkeiten. Die erhöhte physische Sicherheit des Arbeitsplatzes trägt dazu bei, dem Tunnelbau jene qualifizierten Arbeitskräfte zuzuführen, welche er beim anzustrebenden Wandlungsprozess nicht entbehren kann. Diese Erhöhung der Sicherheit beim Tunnelbau ist so hoch zu werten, dass dem mechanischen Tunnelvortrieb auch dann der Vorzug zu geben ist gegenüber dem konventionellen, wenn das moderne Verfahren in begrenztem Umfang teurer wäre.
- Ein gebohrter Stollen oder Tunnel kann wegen der hohen Bohrgeschwindigkeiten im allgemeinen früher in Betrieb genommen werden. Für den Bohrvortrieb von Stollen im Fels darf eine Leistung in der Grössenordnung von 10 m/Schicht und von Tunneln (inkl. Auskleidung mit Fertigelementen) von 5 m/Schicht vorausgesetzt werden.

Der Entschluss, ein Tunnelvortriebssystem auch wirtschaftlich einzusetzen, ist an gewisse Voraussetzungen gebunden bzw. auch mit Nachteilen behaftet:

- Die Anschaffungskosten eines Vortriebssystems für mittelhartes Gestein sind relativ hoch, generell kann mit 500 000 bis 600 000 Franken pro Meter Durchmesser gerechnet werden. Bei üblicher Verzinsung und Amortisation dieser Kosten ist eine bestimmte Stollen- bzw. Tunnelänge erforderlich, damit die gesamten Baukosten des Objektes wenigstens die gleiche Grössenordnung erreichen wie bei Anwendung des konventio-

nellen Vortriebsverfahrens. Diese Länge kann durch ein einzelnes Objekt oder durch mehrere Objekte mit ungefähr gleich grossem Bohrdurchmesser gegeben sein.

- Zwischen Bestellungsvertrags-Abschluss und Auslieferung der Maschine liegt eine Zeitspanne von 9 bis 12 Monaten, so dass nach erfolgter Vergebung eines Tunnelbaues, sofern nicht ein bereits vorhandenes System eingesetzt werden kann, die Vortriebsarbeiten nicht sofort aufgenommen werden können.
- Die Ausbruchfläche eines mit Maschinen der üblichen Konstruktion gebohrten Tunnels ist kreisrund. Diese Form ist im allgemeinen günstig in statischer Hinsicht, sie entspricht aber nicht der zweckmässigsten Gestaltung des Verkehrsprofils eines Bahn- oder Strassentunnels. Durch die Verwendung besonderer Bohrköpfe ist mindestens theoretisch die Möglichkeit gegeben, von der Kreisform abweichende Tunnelprofile zu bohren. Diese Möglichkeit wurde indes im unternehmerischen Stollen- und Tunnelbau bisher nur in wenigen Fällen genutzt.

7. Stand und Entwicklungstendenz des Bohrvortriebes

7.1 Einige aktuelle Anwendungsbeispiele

Seit dem Zweiten Weltkrieg sind in Nordamerika, Australien und Europa zahlreiche Stollen und Tunnel mittels Bohrsystemen aufgeföhren worden. Für einzelne der gebohrten Objekte ist die Anwendung des Bohrvortriebes als Spezialbauweise zu betrachten, für die Mehrzahl erfolgte aber der Einsatz von Bohrsystemen im Bestreben, den stagnierenden konventionellen Tunnelvortrieb zu Gunsten des fortschrittlichen mechanischen Verfahrens mit auch wirtschaftlichen Vorteilen aufzugeben.

In der Schweiz sind im Jahr 1966 zwei Bohrvortriebe erfolgreich beendet worden: Ein Abwasserstollen von 3,5 m Durchmesser zwischen Baden und Turgi und ein solcher von 2,5 m Durchmesser unter der Stadt Fribourg. Ein weiterer Kanalisationsstollen von 3,5 m Durchmesser wurde im Frühjahr 1967 im Gebiete der Stadt Luzern durchgebohrt. Diese Bauwerke liegen in der Molasse, und es waren Mergel-, Sandstein- und Nagelfluhschichten, d. h. weiche und mittelharte Gesteine zu durchbohren. Die maximale Zylinder-Druckfestigkeit dieser Sedimente beträgt rund 1000 kg/cm². Mitte August 1967 begann der Bohrvortrieb eines Stollens von 2,6 m Aussendurchmesser der Zürcher Wasserversorgung durch die Molasse der SW-Flanke des Zürichberges; er erreichte bei nur einschichtigem Systemeinsatz Mitte Dezember den Stand von rund 1000 m.

Als besonders spektakuläre Beispiele des erfolgreichen, kürzlich durchgeführten Einsatzes von Tunnelbohrsystemen in Europa sind zu erwähnen:

- der Abschnitt Place de l'Etoile—Neully sur Seine der neuen Ost-West-Linie des Express-Netzes der Pariser Métro (System: Robbins; Bohrdurchmesser: 10,3 m; Baugrund: druckluftverfestigter Sand, Mergel, Kalkstein; Vortrieb und Auskleidung mit Eisenbeton-Kassettentübbingen: nach der Überwindung einiger Schwierigkeiten innerhalb des ersten Kilometers, wurde der verbleibende, rd. 1800 m lange Tunnelabschnitt in knapp einem Jahr gebohrt und gleichzeitig ausgekleidet)
- die Teilstrecken unter der Leopold- und Ludwigstrasse der Nord-Süd-Linie 6 der Münchner U-Bahn (System: Calweld;

Bohrdurchmesser: 6,7 m; Baugrund: Kohärenter Flinzsand und Flinzmergel; Vortrieb und Auskleidung mit Eisenbeton-Volltübungen der im Frühjahr 1967 gebohrten, 540 m langen Röhre Nr. 2: 10,6 m pro Arbeitstag im Mittel; 9,2 m pro 12 h und 17,5 m pro 24 h im Maximum).

- das Los St. Georg des Abschnittes Innenstadt der neuen Hamburger U-Bahn-Linie (System: Bade-Holzmann; Bohrdurchmesser: 5,4 m; Baugrund: Rolliger Sand mit Findlingen, standfester Geschiebemergel; Vortrieb und Ausbau mit Gusseisentübungen: Von Anfang März 1966 bis Anfang November 1966 660 m, S-Röhre; und von Mitte März 1967 bis Mitte Juli 1967 560 m, N-Röhre).

7.2 Gegenwärtige Voraussetzungen für die Anwendbarkeit

Auf Grund des heutigen Standes der Entwicklung von Bohrsystemen und der bisher im unternehmerischen Einsatz gewonnenen Erfahrungen lassen sich gegenwärtig als wichtigste Voraussetzungen für die technisch erfolgreiche und wirtschaftliche Anwendung des Bohrvortriebes im Festgestein formulieren:

- Das Tunneltrasse soll in weichem oder mittelhartem Gestein verlaufen, d. h. die Zylinder-Druckfestigkeit von Sedimenten soll 1000 kg/cm^2 nicht stark übersteigen, Fels soll hauptsächlich sprödebrüchig und sein Gehalt an abrasiven Mineralien soll klein sein.
- Die Länge eines oder die Summe der Längen mehrerer Objekte von ungefähr gleichem Bohrdurchmesser muss genügend gross sein, um die Kosten eines Bohrsystems zweckmässig amortisieren zu können.

Die gegenwärtig gültigen technologischen Bedingungen werden in der Schweiz erfüllt von den meisten Molassegesteinen sowie von älteren Tonschiefern, Sand- und einzelnen Kalksteinen. Das sich vom Bodensee zum Genfersee erstreckende, dicht besiedelte Mittelland mit den Städten St. Gallen, Winterthur, Zürich, Zug, Luzern, Bern, Fribourg und Lausanne, aber auch Gebiete des Alpenrandes und des Juras weisen einen bohrbaren Untergrund auf. Bei der Projektierung von Tunneln und von Stollen für die Wasserversorgung, für die Kanalisation oder für Dampf- oder Heisswasserleitungen von Fernheizungen sowie von Parkgaragen und grösseren Kavernen — wie Zivilschutzbauten — überhaupt in diesen Gebieten darf die Möglichkeit des Bohrvortriebes nicht ausser acht gelassen werden. Für Stollen sowie für ein- und zweispurige Bahn- und Strassentunnel ist technisch das Bohren des vollen Profils gegeben. Für grössere Tunnelquerchnitte und für Kavernen, bei deren Herstellung nur geringe Immissionen toleriert werden, kann sich ein Teilausbruch mittels Bohren von Parament-, Sohl- und Kalottenstollen und anschliessend das konventionelle Ausbrechen des Kernes als zweckmässige Lösung erweisen. Das Zusammenfassen mehrerer kürzerer Stollen oder Tunnel von ungefähr gleichem Bohrdurchmesser im Rahmen

Umschau

Neuer rostfreier Stahl mit Sondereigenschaften. Als Ergebnis der Grundlagenforschung über die Phänomene der Superplastizität wurde kürzlich von der International Nickel Company Inc. eine neue Legierung von der Gruppe der rostfreien Stähle angekündigt. Obwohl noch im Entwicklungsstadium, wird sie den Anfang einer neuen Serie von hochfesten rostfreien Stählen bilden. Superplastizität ist die Fähigkeit gewisser Metallegierungen, sich in bestimmten Bereichen erhöhter Temperatur ohne zu reissen ausserordentlich stark verformen zu lassen. Die meisten bekannten Legierungen weisen eine Warmdehnung auf, die selten 50% übersteigt, während superplastische Legierungen auf über 1000% kommen. Diese extreme Verformbarkeit kommt in einer Reihe von Legierungssystemen vor, vorausgesetzt, dass eine feinkörnige, zumeist zweiphasige Struktur auch dann bewahrt werden kann, wenn verformt wird. Die bisher bekannten superplastischen Legierungen (z. B. Al-Zn, Sn-Bi und Sn-Pb) weisen allerdings für viele Anwendungen eine ungenügende Festigkeit auf. Die Studien der International Nickel in ihren «Paul D. Merica»-Forschungslaboratorien haben gezeigt, dass Superplastizität bei erhöhter Temperatur auch in gewissen Eisen-Nickel-Chrom-Legierungen entwickelt werden kann. Werden diese auf eine ausserordentlich feinkörnige zweiphasige Struktur verarbeitet, so weisen sie auch bei Raumtemperatur bessere mechanische Festigkeiten als die normalen, weichgeglühten rostfreien Stähle auf. So hat zum Beispiel die angekündigte

eines gemeinsamen Bauprogrammes ist geeignet, die Anschaffungskosten eines Bohrsystems auf grössere Objektlänge zu verteilen.

7.3 Entwicklung der technischen Ausrüstung

Die Entwicklung von Bohrsystemen ist in stetem Fluss begriffen. Eine deutliche Tendenz, den Bohrvortrieb auch im eigentlichen Hartgestein anzuwenden, ist erkennbar. Technisch ist der Einsatz von Bohrsystemen im Hartgestein bereits heute möglich. Der Warzenmeissel ist vorläufig das entsprechende Bohrwerkzeug. Seine Kosten sind aber hoch und der Werkzeugverschleiss ist gross. Dementsprechend ergeben sich im Hartgestein Bohrkosten (Fr./m^3), welche vorläufig noch deutlich über den Kosten des konventionellen Ausbruchs (Fr./m^3) liegen. Die laufende technische Entwicklung, welche z. B. auch in den Versuchen zur Vorbehandlung von Hartgestein mittels Laser-Strahlen Ausdruck findet, wird zu einer Senkung der Werkzeugkosten führen, und über kurz oder lang wird der Bohrvortrieb als Kennzeichen des modernen Stollen- und Tunnelbaues auch im eigentlichen Hartgestein Anwendung finden.

8. Zusammenfassung

Obwohl die Konstruktion von Stollen- und Tunnelbohrsystemen in steter Entwicklung begriffen ist, kann ihre praktische Verwendbarkeit für weichen und mittelharten Baugrund ohne Überschätzung des bisher Erreichten auch für grosse Bohrdurchmesser als Realität gewertet werden. In den vergangenen Jahren sind zahlreiche Stollen und Tunnel mittels des Bohrvortriebes aufgeföhren worden. In den meisten Fällen war der Bohrvortrieb ein neuzeitliches, die konventionelle Methode des Ausbruchs ablösendes Bauverfahren und nur in wenigen Anwendungen eine Spezialbauweise. Im weichen und mittelharten Gestein sind die Bohrkosten kleiner als die Ausbruchkosten, ebenso die Kosten der provisorischen Felssicherung beim Bohren gegenüber denjenigen beim Sprengen. Die Anschaffung eines Bohrsystems mit der Bohrmaschine als Kernstück ist aber relativ kostspielig. Die wirtschaftlich zweckmässige Amortisation und Verzinsung dieser Kosten erfordert die Möglichkeit, das System für einen Tunnel von bestimmter Länge zu verwenden oder im Rahmen eines Bauprogrammes für mehrere kürzere Tunnel ungefähr gleichen Bohrdurchmessers und von gesamthaft der für die Installationsabschreibung minimal erforderlichen Länge einsetzen zu können. Der Bohrvortrieb drängt sich überdies auf, um die Sicherheit der Bauausführung sowie die Qualität des Bauwerkes zu erhöhen und im städtischen Tiefbau zur Vermeidung von Immissionen. Es ist gerechtfertigt, den technisch noch entwickelbaren, aber bereits reifen und unter den erwähnten Voraussetzungen auch wirtschaftlichen Bohrvortrieb für künftige Stollen-, Tunnel- und Kavernenprojekte ernsthaft in Betracht zu ziehen.

Adresse des Verfassers: *Werner Rutschmann*, dipl. Ing. ETH, Waldstrasse 34, 8134 Adliswil.

Versuchslegierung, ein Stahl mit 26% Cr- und 6,5% Ni-Gehalt, im weichen Zustand eine Streckgrenze von 49 kp/mm^2 , also etwa das Doppelte des bei den vielverwendeten ferritischen und austenitischen rostfreien Stählen erzielbaren Wertes. Die als IN-744-X bezeichnete Legierung weist auch hervorragende Korrosionsbeständigkeit und gute Schweissbarkeit auf. Angaben über die erzielbaren Plastizitätswerte bei erhöhten Temperaturen werden erst bekanntgegeben, wenn die entsprechenden Versuchsergebnisse ausgewertet sind. Die International Nickel ist jedoch überzeugt, dass die auf Grund der Studien über Superplastizität entwickelten Legierungen in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen werden. Schutzpatente wurden bereits angemeldet.

DK 669.14.018.8

Transport eines Motorbootes mit einem Helikopter. Der Transport von Motorbooten ist oft mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Sie sind sperrig und überschreiten vielfach die für den Strassentransport zulässige Breite, um ohne Polizeieskorte befördert zu werden. Der Bahntransport kann auch nicht befriedigen, weil er mit heiklen Umladearbeiten verbunden ist und ausserdem die Strassenbeförderung nicht auszuschliessen vermag. Oft ist die grösste Schwierigkeit aber erst am Bestimmungsort zu erwarten, nämlich beim Einwässern in entlegenen Bergseen und in schwer zugänglichen Gewässern. Die damit verbundenen Probleme und Risiken, der Zeitverlust und die hohen Kosten für solche Transportaufgaben veranlassen die Firma Frog AG, Hünibach, in Zusammenarbeit mit der Schweizerischen