

# Das Bohrproblem im modernen Tunnelbau

Autor(en): **Rabcewicz, L. v.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **70 (1952)**

Heft 17

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59596>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Das Bohrproblem im modernen Tunnelbau

Von Prof. Dr. L. v. RABCEWICZ, Stockholm

DK 624.191.2

Die Bedeutung unterirdischer Ingenieurbauten hat im letzten Jahrzehnt wieder wesentlich zugenommen. Die Kriegszeit brachte begreiflicherweise eine noch nie dagewesene Nachfrage nach unterirdischen Schutzräumen; gleichzeitig bedingte der intensivierte Ausbau der Wasserkräfte im Gebirge die Anlage von Stollen und Kavernen, während die Neuanlage von Tunneln für Verkehrszwecke eine untergeordnete Stellung einnimmt. Nach Beendigung des Krieges stehen die Untertageanlagen für den Wasserkraftausbau an Bedeutung wohl an erster Stelle, bilden sie doch einen nicht geringeren Anteil als etwa 10 bis 30 % der Baukosten. Doch auch die Untertagebauten für Luftschutzzwecke laufen weiter, dafür sorgt die stete Spannung der politischen Situation.

Es ist daher zweifellos von Interesse, sich mit den Einzelheiten der Bauvorgänge beim Tunnelbetrieb näher zu beschäftigen. Da der verfügbare Raum zu einer detaillierten Behandlung des gesamten Arbeitsablaufes des modernen Tunnelbetriebes nicht angenähert ausreicht, möchte ich das Bohren als wohl das schwierigste Problem herausgreifen und näher untersuchen.

## Das moderne Bohrwerkzeug und seine Entwicklung

Das maschinelle Gesteinsbohren war für wichtige Bauvorhaben bereits vor einem Jahrhundert in Verwendung. In der Blütezeit des Eisenbahntunnelbaues beherrschte die pneumatisch angetriebene Stossbohrmaschine das Feld; neben ihr fand bei einer Reihe der grossen Alpendurchstiche die presswassergetriebene Drehbohrmaschine von Brandt mit ausgezeichnetem Erfolg Verwendung. Auch Stossbohrmaschinen mit elektrischem Antrieb wurden in mittelharten Gestein gebraucht.

Die Stossbohrmaschine und die presswassergetriebene Drehbohrmaschine wurden im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts durch den Bohrhammer und die Hammerbohrmaschine verdrängt. Die Brandtsche Bohrmaschine wurde nie wieder gebaut, dagegen findet man die Stossbohrmaschine in neuester Zeit in den USA für Sonderzwecke verwendet, und zwar für tiefe, mit grosser Bohrleistung zu bohrende Löcher mit grossem Durchmesser für Steinbrüche und Injektionslöcher für Sperren. Die Leistungen, die mit diesem Maschinentyp erzielt werden, sind immerhin bemerkenswert hoch. Obwohl dies eigentlich nicht in den Rahmen dieser Arbeit gehört, sei erwähnt, dass die Stossbohrmaschine, z. B. der «Quarrymaster» von Ingersoll Rand, ein auf Rädern oder Raupen fahrbares

Bohrgerät mit 12 bis 14 m langen Lafetten, 25 m tiefe Löcher,  $\phi$  160 mm, mit einer Durchschnittsbohrgeschwindigkeit von 7 cm/min bohrte. Dies entspricht einer Bohrleistung von 1400 cm<sup>3</sup>/min, die mit Rücksicht auf die Lochlänge als aussergewöhnlich hoch bezeichnet werden muss. Allerdings sind die Anschaffungskosten mit 70 000 \$ sehr beachtlich.

Welche Entwicklung der Stollenvortrieb im Laufe der Jahre genommen hat, ersieht man aus Bild 1, in welchem die Vortriebleistungen der markantesten Tunnelarbeiten der letzten hundert Jahre verzeichnet sind. Natürlich ist das Ansteigen der Leistung nicht nur auf eine Verbesserung der Bohrleistung allein zurückzuführen, sondern man ersieht daraus eben die Auswirkung möglicher Mechanisierung aller Arbeitsvorgänge. Bei einem Vergleich der einzelnen Leistungen darf man die geologischen Verhältnisse nicht ausser acht lassen; auch andere Bedingungen spielen eine Rolle, die nicht besonders erwähnt werden konnten, von denen ich z. B. nur die Schiessbarkeit des Gesteins nennen will.

Die Entwicklung der Bohrgeräte ging, bedingt durch die allgemeinen wirtschaftlichen Verhältnisse, in Europa und in den USA nach dem Ende der grossen Alpendurchstiche verschiedene Wege. In Europa fehlten nach dieser Zeit grössere Tunnelaufgaben im Hartgestein. Der Hauptabnehmer der Bohrwerkzeuge herstellenden Industrie war der Bergbau. Es lohnte sich nicht, für die verhältnismässig kleinen Ingenieuraufgaben besondere Geräte zu entwickeln; überdies fehlte die Nachfrage darnach. Der leichte und mittelschwere Bohrhammer beherrschte daher in Europa das Feld bis in die letzten Jahre, und selbst heute noch werden viele Stollenbauten mit kaum viel besseren Einrichtungen betrieben, als sie vor einem Vierteljahrhundert üblich waren. Man gibt sich auch mit entsprechend niedrigen Leistungen zufrieden. Dies erklärt sich wieder daraus, dass die Entwurfsbearbeiter z. B. der Wasserkraftprojekte ihre Stollen in kurze Strecken unterteilen. Hierdurch wird wohl einerseits das Risiko vermieden, dass die zeitgerechte Fertigstellung des Bauvorhabens durch einen Stollenvortrieb verzögert wird, andererseits wird es aber auch dem Unternehmer unmöglich gemacht, sich für eine so kleine Arbeit entsprechend neuzeitlich einzurichten. Das Ineinandergreifen dieser Einflüsse hatte in Europa die Entwicklung der Mechanisierung weitgehend gehemmt. Erst während des Krieges begann man in Schweden, dann später auch in der Schweiz und in Frankreich und in andern Ländern Europas, amerikanische Vortriebsysteme zu übernehmen.

In den USA war die Entwicklung unter dem Einfluss hoher Löhne und relativ niedriger Stoffkosten bei gleichzeitigen gewaltigen Bauaufgaben stets in der Richtung höchstmöglicher Mechanisierung gegangen. Welches Ergebnis dabei speziell für das Bohrwerkzeug erzielt wurde, ersieht man am besten aus Bild 2. Die reine Bohrgeschwindigkeit steigt in den letzten vier Jahrzehnten auf das Vierfache bei der Bohrmaschine, auf rd. das Dreifache beim Bohrhammer; der Luftverbrauch sinkt auf ein Drittel. Betrachtet man endlich den

Quotienten (reine Bohrleistung) : (Gewicht des Bohrgerätes), so kann man ebenfalls eine Steigerung auf das Vierfache feststellen.

Diese bemerkenswerte Leistungssteigerung ist das Ergebnis von Verbesserungen, die in jahrzehntelanger Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf verschiedenen Gebieten erzielt wurden. Vor allem sind es Verbesserungen der Maschine selbst durch mannigfache Änderungen an Steuerung, Umsatzvorrichtung, Gewicht und Hub

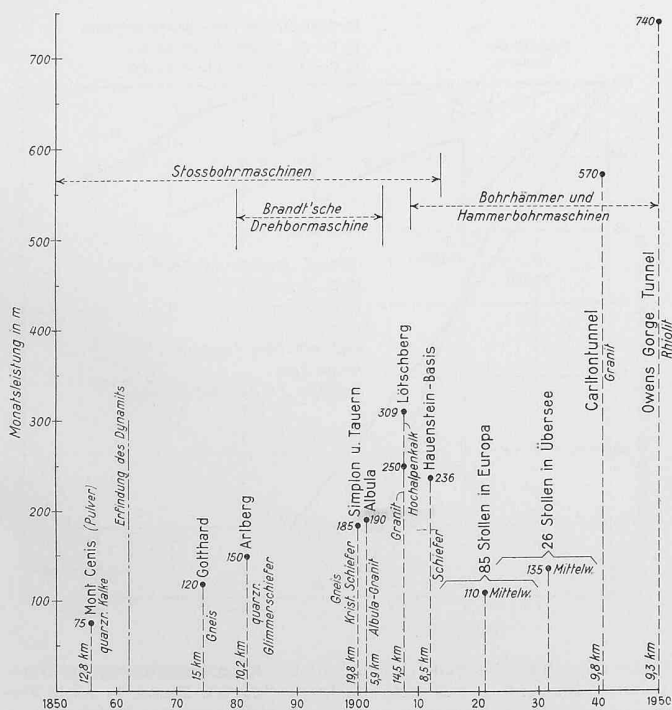


Bild 1. Markante Vortriebsleistungen 1850 bis 1950 (Rabcewicz)

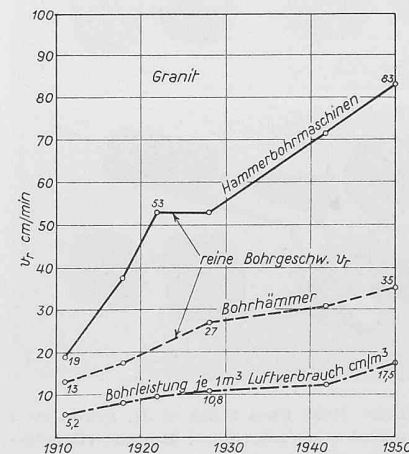


Bild 2. Entwicklung der amerikanischen Bohrgeräte (Rabcewicz)

des Kolbens, Schlagzahl, Verbesserung der Güte des Materials für besonders beanspruchte Teile, Einführung der Wasserspülung u. a. m.

Mit der Anschaffung eines modernen Bohrgerätes ist aber nicht auch ohne weiteres die Gewähr für eine hohe Leistung gegeben. Es sollen daher nachstehend systematisch die verschiedenen Momente besprochen werden, die den Bohrvorgang beeinflussen, wobei ich mich auf die pressluftgetriebenen Bohrmaschinen bzw. Bohrhämmer beschränke.

Die Gesamtzeit, die für einen Bohrvorgang benützt wird, zerfällt in die reine Bohrzeit und in die sogenannten Nebenzeiten.

**A. Die reine Bohrzeit**

Die reine Bohrzeit bzw. die reine Bohrgeschwindigkeit  $v$  cm/min wird durch folgende Gegebenheiten beeinflusst:

1. Geologische Verhältnisse.
2. Art und Beschaffenheit der Bohrmaschine.
3. Form und Abnutzungsgrad der Schneide.
4. Anpressdruck (Hilfsgeräte).
5. Pressluftdruck.
6. Durchmesser und Länge des Bohrloches.
7. Spülung.
8. Bohrarbeit.

Die verschiedenen Punkte werden im folgenden in allen Einzelheiten behandelt mit Ausnahme der geologischen Verhältnisse, auf welche aus Raumangel hier nicht näher eingegangen werden kann.

**2. Art und Beschaffenheit der Bohrmaschinen**

Für den modernen Tunnelvortrieb werden heute fast ausschliesslich die pressluftgetriebenen, automatisch umsetzenden Hammerbohrmaschinen oder Bohrhämmer mit Wasserspülung verwendet. In allerneuester Zeit hat man in Deutschland ein Bohrgerät entwickelt, das das Bohrmehl durch den Bohrer absaugt und so völlig staublos bohrt. Jedoch ist die reine Bohrgeschwindigkeit dieser Geräte inzwischen noch beachtlich geringer als bei Wasserspülung.

Die reine Bohrgeschwindigkeit wird bei diesen Geräten neben anderen Momenten durch die Schlagkraft und die Schlagzahl des Kolbens bestimmt, wobei von den schwereren Bohrmaschinen mehr als das Doppelte der Leistung der Bohrhämmer erreicht wird. Allerdings hat man zu bedenken, dass ein schwereres Bohrgerät an sich schon teuer ist und überdies die Anschaffung kostspieliger Hilfsgeräte (Bohrwagen) bedingt, daher nur dort wirtschaftlich sein wird, wo der Umfang des Bauvorhabens solche Anschaffungen rechtfertigt.

Ebenso wichtig wie die Anschaffung guter Geräte ist es, den Neuzustand durch pflegliche Behandlung und Auswechslung verschlissener Teile möglichst zu erhalten. Welche Be-

achtung dieser Forderung zu zollen ist, zeigt ein Beispiel eines Stollenvortriebes, bei welchem ich Bohrgeschwindigkeiten zu messen Gelegenheit hatte und dabei feststellen konnte, dass eine neu überholte Bohrmaschine durchschnittlich um 44 % höhere, reine Bohrgeschwindigkeiten erzielte als die durch ein Jahr in Betrieb befindlichen anderen Maschinen, die immerhin jeweils durchgesehen und scheinbar gut unterhalten worden waren. Es ist daher anzuerkennen, zeitweilig Vergleichsbohrungen mit Neugeräten zu machen, um solche Leistungsabfälle zu vermeiden.

**3. Art, Form und Abnutzungsgrad der Bohrschneiden**

Der geschmiedete Stahl hat bekanntlich den Nachteil, dass die Bohrer im Hartgestein häufig gewechselt werden müssen, weil die Schneide rasch stumpf wird. Gleichzeitig bewirkt die seitliche Abnutzung ein Abnehmen des Durchmessers. Ausserdem muss, um ein Klemmen zu vermeiden, jeder neue Bohrer eine etwas kleinere Schneide haben, als der Enddurchmesser des mit dem vorhergehenden Bohrer gebohrten Bohrlochtieftsten. Je grösser die Bohrfestigkeit des Gesteins, umso unwirtschaftlicher wird dabei das Bohren. Im Bereich des Bohrlochtieftsten, wo man die grösste Sprengwirkung braucht, kann man am wenigsten Sprengstoff unterbringen. Es wird also Sprengstoff verschwendet. Ausserdem bedeutet die konische Form des Bohrloches und der häufige Bohrerwechsel eine beachtliche Verlängerung der Bohrzeit<sup>1)</sup>.

Man ist daher in den USA bereits seit langer Zeit dazu übergegangen, aufschraubbare Bohrkronen, sog. «Jackbits», aus besonders hochwertigem Stahl zu verwenden. Damit gelang es, die Konizität des Bohrloches bedeutend zu vermindern und die Bohrzeit und den Sprengstoffverbrauch herabzusetzen (Bild 3). Die wirtschaftliche Lebensdauer einer derartigen Krone ist etwa das Zehnfache einer geschmiedeten Schneide. Die abgenutzten Kronen werden entweder weggeworfen oder neu geschmiedet. Die Abnutzung der Schneiden bedingt jedoch selbst bei den Jackbits schon eine recht beträchtliche Abnahme der Bohrgeschwindigkeit, und zwar naturgemäss in stärkerem Masse bei kleineren als bei grösseren Durchmessern (siehe Bild 4). Es ist daher jedenfalls unwirtschaftlich, mit stärker abgenutzten Jackbits zu bohren. Bei den Hartmetallkronen dagegen ist im Bereich der ersten Bohrmeter überhaupt keine Geschwindigkeitsverminderung feststellbar. Es wurde daher die zehnfache Bohrlochlänge als Basis genommen.

Die Erfindung des sog. «Hartmetalls» für Bohrschneiden war daher ein markantes Ereignis auf dem Gebiet des Gesteinbohrens. Hartmetall ist gesintertes Karbid auf Tungsram-

<sup>1)</sup> Vergleiche hierüber E. Gruner, Neuerungen im Tunnelbau, SBZ Bd. 127, S. 261, Bilder 5 und 6.

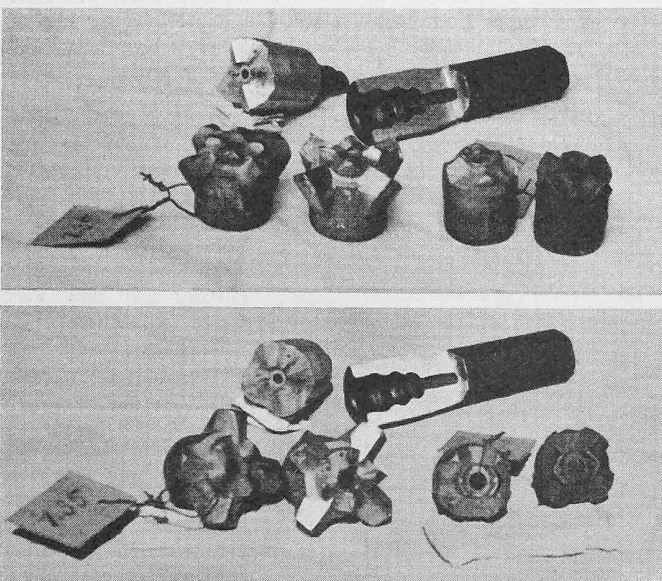


Bild 3. Vorn: «Lidicoat»-Jackbits, links zwei Stück  $\phi 57$ , rechts zwei Stück  $\phi 43$ , jeweils eines neu und eines abgenutzt. Hinten: «Carset»-Hartmetallkrone mit dem in die Bohrstange einzuschmiedenden Gewinde (veraltetes System). Oberes Bild: die gleichen Stücke in anderer Stellung.

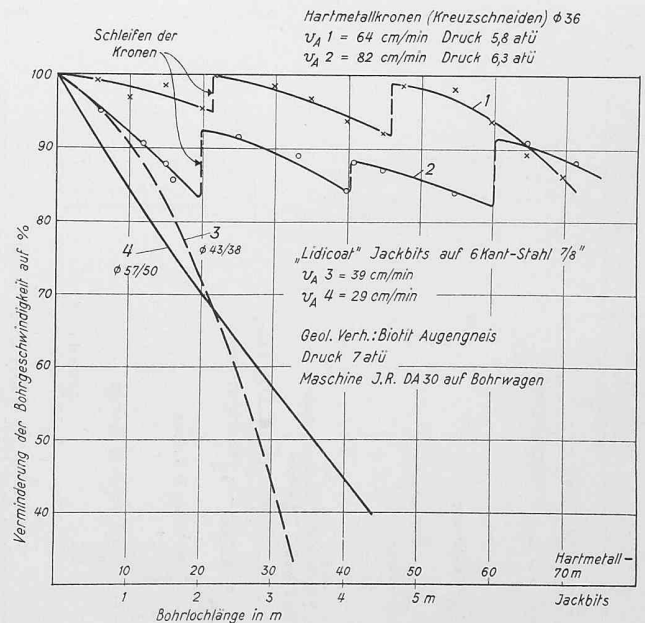


Bild 4. Abnahme der Bohrleistung mit der Kronenabnutzung bei Hartmetall (Kurven 1 und 2) bzw. Jackbits (Kurven 3 und 4) nach Versuchen der Firma Robert Aebi & Cie., Zürich, bzw. des Verfassers an einem Stollen der Voralberger Illwerke

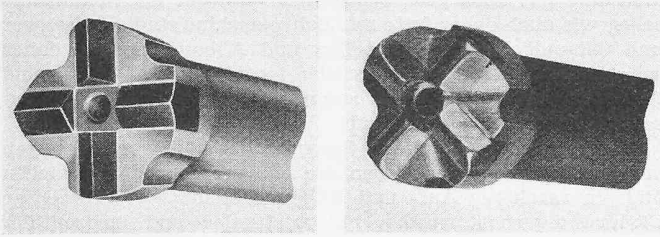


Bild 5. Raco-Bohrstange mit Hartmetallschneide, links neu, rechts abgenutzt

oder Titanbasis. 1926 lötete man erstmalig in Deutschland derartige Hartmetallplättchen in Bohrkronen ein und erzielte damit staunenswerte Leistungen. Unter verschiedenen Markennamen wie «Widia», «Bordur», «Coromand», «Carset», «Böhlerit» usw. sind heute derartige Kronen in den verschiedensten Ländern vertreten.

Die Entwicklung des Hartmetallbohrens ging jedoch nicht klippenlos vor sich. Die Sprödigkeit des Hartmetalls verbot die Verwendung stark schlagender Hämmer. Um die relative Beanspruchung der Schneide durch den Schlag des Kolbens herabzusetzen, wurden verschiedene Wege beschritten. Um von der Einfachmeisselschneide als der einfachsten und wirksamsten Schneidenform nicht abgehen zu müssen, hat man das Kolbengewicht herabgesetzt, jedoch gleichzeitig die Schlagzahl bedeutend erhöht. Diese Art der Lösung wurde von der führenden europäischen Pressluftindustrie gewählt. So besitzt heute der schwedische Bohrhammer RH 754 W mit 23 kg Gewicht bei 6 atü eine Schlagzahl von 3000/min bei einem Kolbengewicht von 1,7 kg. In den USA dagegen, wo das Hartmetall erst vor verhältnismässig kurzer Zeit Eingang gefunden hatte, trachtet man, die Herabsetzung der spezifischen Schlagkraft durch Verlängerung der Bohrschneide zu erreichen. Man verwendet dort Kreuzmeisselschneiden und vergrössert den Bohrlochdurchmesser.

Da eine möglichst hohe, reine Bohrgeschwindigkeit zweifellos für den modernen Bohrbetrieb von äusserster Wichtigkeit ist, drängt die Entwicklung vom Bohrhammer weg zur Verwendung der leichteren Bohrmaschinentypen, wobei ich im amerikanischen Sinne unter einer leichteren Bohrmaschine z. B. den Typ DA 30 von Ingersoll Rand ( $G = 36$  kg ohne Schlitten) verstehe.

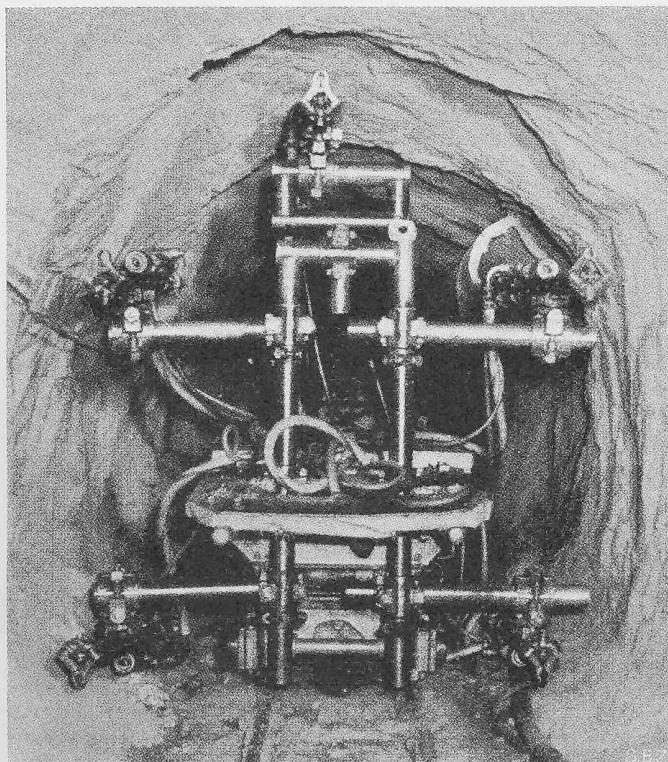


Bild 6. 5 t schwerer Fensterbohrwagen mit fünf Bohrmaschinen; Verspannung gegen die Tunnelwände unnötig (Bilder 6 und 7 aus «Compressed Air Magazine»)

Wie weiter unten gezeigt werden wird, sind weite Bohrlöcher für europäische Verhältnisse selten wirtschaftlich; daher kommt es darauf an, Schneiden zu erzeugen, die bei Bohrllochdurchmessern von 33 bis 40 mm ein Maximum an Leistung und Lebensdauer erreichen.

Damit dürfte für den heutigen Stand der Hartmetalltechnik das Gewicht der Bohrmaschine mit rd. 40 kg begrenzt sein, wobei Kreuzmeisselschneiden Verwendung finden.

Trotz der gewaltigen Fortschritte auf diesem Gebiet in der letzten Zeit ist es doch nur einigen wenigen führenden Fabriken gelungen, wirklich befriedigende Dauerergebnisse zu erzielen. Die Lebensdauer einer Schneide beträgt für die Spitzenmarken im Hartgestein (Granit oder Gneis) durchschnittlich 150 bis 250 Bohrmeter, wobei die Schneide etwa 6 bis 10mal geschliffen wird. Die durchschnittlichen reinen Bohrgeschwindigkeiten der besten Weltmarken liegen im Granit bei 7 atü für Bohrlochlängen bis zu 3 m bei 35 bis 40 cm/min für den Bohrhammer und bei 70 bis 90 cm/min für die leichte Bohrmaschine. Die Entwicklung ist wohl keineswegs beendet. Sowohl Hartmetall wie Bohrgerät dürften weiterer Verbesserungen fähig sein.

Ein Schwachepunkt beim Bohren mit Kronen ist zweifellos die Verbindung zwischen Krone und Bohrstange. Als Verbindungsarten sind sowohl das Gewinde als auch der Konus im Gebrauch. Beide befriedigen nur bedingt. Verschiedene Erzeugerfirmen löten daher in neuester Zeit die Hartmetallschneiden direkt in den Bohrstahl ein (Coromand, Raco, Schoeller, Bleckmann, siehe Bild 5). Diese Lösung ist zweifellos der aufschraubbaren oder aufsteckbaren Krone vorzuziehen, schon deshalb, weil ja auch die Lebensdauer des Stahles bei der schweren Beanspruchung mit etwa 300 Bohrmetern begrenzt ist. Es bilden sich Schwingungsknotenpunkte, an denen der Stahl ermüdet und bricht. Ausserdem scheint die Kronenbefestigung — sei es nun in welcher Form immer — die Bohrgeschwindigkeit herabzusetzen, was zwar bisher noch nicht versuchsmässig bewiesen worden ist. — Defekte oder abgebrauchte Bohrer können gegebenenfalls relativ billig neu bestückt werden.

#### 4. Der Anpressdruck (Hilfsgeräte)

Die reine Bohrgeschwindigkeit steigt mit dem Anpressdruck. Da die menschliche Kraft bei weitem nicht ausreicht, um auch für einen Bohrhammer den zur Erzielung der Höchstleistung nötigen Anpressdruck zu erzeugen, hat man schon in

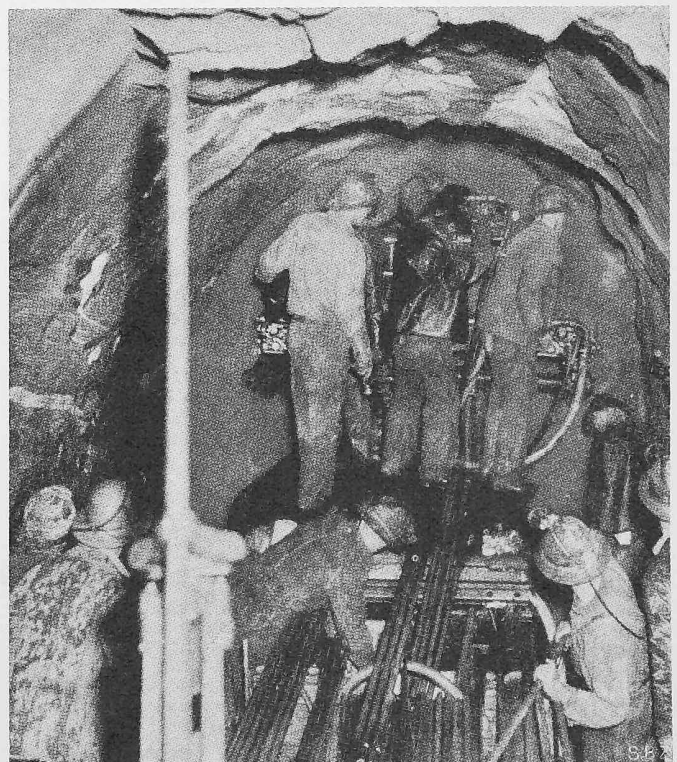


Bild 7. Der gleiche Bohrwagen beim Vortrieb des Carlton-Tunnels; drei Maschinen in Tätigkeit. Maximalleistung 22,6 m/Tag, 153 m/Woche

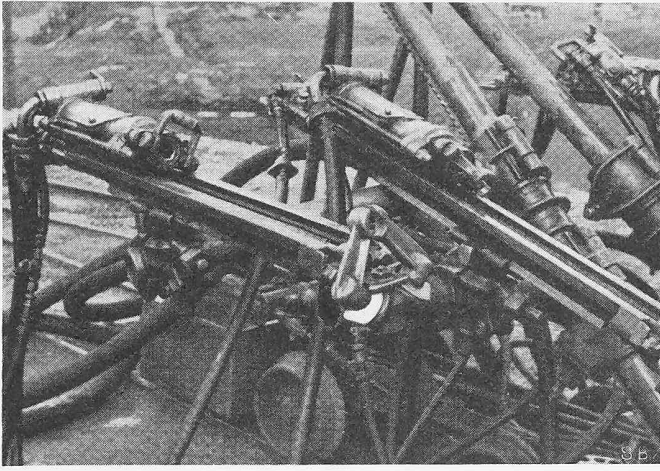


Bild 8. Fensterbohrwagen Ingersoll Rand mit kurzen Lafetten und Bohrmaschinen DA 30 in Transportstellung

den ersten Zeiten der Bohrtechnik Geräte gebaut, die die Bohrmaschinen trugen und den Vorschub maschinell ermöglichten.

Die einfachste Form dieser Vorrichtungen ist die Spann säule<sup>2)</sup>. Diese einfache Form der Anbringung der Bohr-

<sup>2)</sup> Siehe Gruner, a. a. O., sowie SBZ Bd. 95, S. 74\* (1930).

maschine hat aber grosse Nachteile. Sowohl die Spannsäule selbst wie auch die Lafette mit Bohrmaschine sind sehr schwer und unhandlich. Das Aufstellen und Abbauen kostet daher sehr viel Zeit, auch das Umstellen ist durch das Öffnen und Anziehen der vielen Schraubenmutter mit schweren Schlüsseln mühsam und zeitraubend.

Man hat daher mehrere Spannsäulen zugleich auf Wagen montiert, wodurch das Heben der schweren Geräte vermieden und ein rascherer Auf- und Abbau erreicht wird. Derartige Bohr wagen<sup>3)</sup> wurden mit vertikaler und horizontaler Spannsäulenordnung gebaut. Die Verspannung dieser Bohr wagentypen, die als Fensterbohr wagen bezeichnet werden, geschieht heute ausschliesslich durch Pressluftstempel, die die Spannsäulen gegen den Fels pressen (Bilder 6 bis 8). Immerhin sind die Nebenzeiten beim Fensterbohrwagen noch ziemlich hoch. Auf- und Abbau und auch das Umstellen der Maschinen und der Bohrerwechsel sind relativ zeitraubend, beide Operationen erfordern das Öffnen und Anziehen einer oder mehrerer Schrauben. Ausserdem müssen die Bohrer bei den kurzen Lafetten häufig gewechselt werden.

Die beiden letzten Weltrekorde (Carlton-Tunnel in Colorado und Owens-George-Tunnel in Kalifornien) wurden allerdings mit Fensterbohrwagen errungen. Beim Carlton-Tunnel mit 10 m<sup>2</sup> Querschnitt im Granit war ein Fensterbohrwagen mit 5 Bohrmaschinen Ingersoll Rand DA 35 in Verwendung, der so massiv gebaut war, dass er nicht verspannt werden musste.

Fortsetzung folgt

<sup>3)</sup> Siehe G. V. Rodio: Die Mechanisierung in Stollenvortrieben mit Mineralquerschnitt, SBZ 1949, Nr. 25 ff, S. 345\* ff.

## Ueber die Entwicklungs-Etappen der Büchi-Abgasturboaufladung

DK 621.436.052

Von Dr. sc. techn. h. c. ALFRED J. BÜCHI, Winterthur

Fortsetzung von Seite 222

### 7. Die ersten Ausführungen

Der erste Weltkrieg hat die Aufnahme des Baues von weiteren Versuchsmaschinen verunmöglicht. Aber kurze Zeit nach dieser bedenklichen, notgedrungen nur auf Produktion und nicht auf Entwicklung eingestellten Epoche gelang es dann, die vier ersten Dieselmotoren mit Büchi-Abgasturboaufladung zu projektieren, zu bauen und in praktischen Betrieb zu nehmen. Man musste dabei aber leider aus Rücksicht zur allgemein mehr ängstlichen Einstellung auf die Anwendung eines verhältnismässig hohen Ladedruckverhältnisses verzichten. Niemand wollte von der bisherigen Bauart der Dieselmotortypen an sich abgehen und Maschinen für grössere Höchstdrücke entwickeln und herstellen. Der Abgasturboaufladung verblieb deshalb lange Jahre nur Aussicht auf eine Anwendung bei bisherigen Motortypen mit ihren damals und selbst heute im allgemeinen noch bescheidenen Höchstdrücken. Die erste solche Gelegenheit bot sich 1924/25 beim Bau der Doppelschrauben-Motorschiffe «Preussen» und «Hansestadt Danzig», welche von den Vulcan-Werken Hamburg und Stettin mit Dieselmotoren (Lizenz MAN) für das deutsche Verkehrsministerium ausgerüstet wurden.

Es ist das grosse Verdienst des damaligen Chefs der Konstruktionsabteilung der deutschen Marineleitung, Ministerialdirektor Laudahn, diese erste Gelegenheit für die Anwendung der Büchi-Abgasturboaufladung geboten zu haben. Wie er bekanntermassen ein überaus warmer Befürworter des Dieselmotorantriebes auf Kriegsschiffen an sich war, so

erkannte er auch relativ frühzeitig die Bedeutung der Abgasturboaufladung für Brennkraftmaschinen.

Diese Schiffe waren mit je zwei Hauptmotoren zu je zehn Zylinder ausgerüstet; jeder Motor hatte seine eigene vollbeaufschlagte Gasturbine, der die Abgase der zehn Zylinder durch eine ungeteilte Abgasleitung zuströmten. Die Maschinen arbeiteten noch ohne Spülung, weil man die Ventilsteuerung nicht ändern und auch aus Vorsichtsgründen ohne Aufladung, also unter Ausschaltung der Abgasturbo-gebläse, arbeiten wollte. Die Vulcan-Werke, Hamburg, bauten die Abgasturbinen nach Angaben des Verfassers. Es dürften die ersten Turbinen dieser Art gewesen sein, die überhaupt je für Dauerbetrieb hergestellt wurden. Durch die Abgasturboaufladung konnte bei Normallast eine Leistungssteigerung von 43 %, d. h. von 1750 auf 2500 WPS, erreicht werden. Bild 8 zeigt zwei Indikator diagramme der Maschinen des Motorschiffes «Preussen» bei Höchstlast, die anlässlich einer Versuchsfahrt aufgenommen wurden. Als mittlerer indizierter Druck ergab sich 11 bis 11,14 kg/cm<sup>2</sup>. Der effektive Mitteldruck belief sich dabei auf 9,45 bis 9,55 kg/cm<sup>2</sup>, was einer Leistungssteigerung von rd. 90 % über der Normallast der aus der Atmosphäre ansaugenden Motoren entsprach. Die Gastemperatur vor der Turbine stellte sich dabei auf 550 bis 565 ° C.

Mit diesen, vom ersten Anheb an erfolgreichen Ausführungen wurde für die weitere Anwendung dieses Verfahrens das Eis mit einem Schlag gebrochen. Sie müssen deshalb als bedeutsame Marksteine in dieser Entwicklung angesehen werden.

### 8. Die Einführung des Verfahrens mit schwankenden Abgasdrücken

Auf weitere Verbesserungen bedacht und um auch die Anwendung bei mittleren und kleineren Brennkraftmaschinen durchzusetzen, bei welchen nicht so gute Turbinen- und Gebläsewirkungsgrade wie bei grösseren Maschinen zu erzielen waren, kam es zum Verlassen der bisher von den Turbinenfachleuten stur beibehaltenen Konzeption eines möglichst konstanten Abgasdruckes vor der Turbine. Der Schreibende sagte sich 1925 von dieser in bezug auf Aufladewirkung irreführende Hypothese los. Er wählte die Abmessungen und das Volumen der Abgasleitung zwischen der Brennkraftmaschine und der Abgasturbine sowie den Eintrittsquerschnitt in diese Turbine derart klein und steuerte den Auslass der Verbrennungszylinder so, dass der Druck der Abgase vor der Turbine während des ersten Zeitabschnittes des Auspuffens rasch

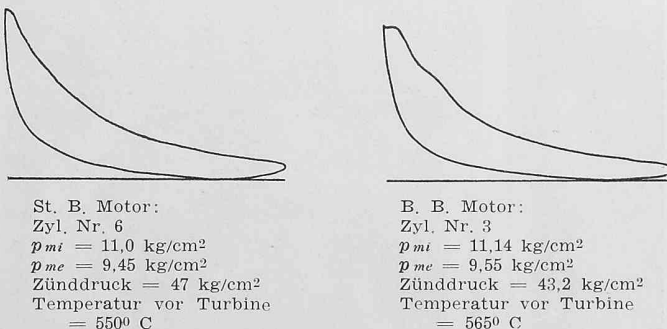


Bild 8. Indikator diagramme, aufgenommen an den Antriebs-Dieselmotoren mit Abgasturboaufladung des Doppelschrauben-Motorschiffes «Preussen». Erste praktische Anwendung des Büchi-Auflade-Systems. Zwei Zehnzylindermotoren Vulcan-MAN von 535 mm Bohrung, 600 mm Hub und 320 U/min