

Zweiter Teil.

Tunnelbohrmaschinen.

§ 12. Allgemeines. Die zur Herstellung von Stollen oder Tunneln dienenden Maschinen werden Stollenbohr- oder Tunnelbohrmaschinen genannt; letztere Bezeichnung ist zwar die gebräuchlichere, aber doch weniger zutreffende, da bisher noch keine dieser Vorrichtungen in so großen Dimensionen gebaut wurde, daß man mit ihr auch nur einen eingleisigen Tunnel für eine Bahn üblicher Spur hätte ausbohren können.

Die Tunnelbohrmaschinen sind entweder Kombinationen verschiedener Bohr- und Schramvorrichtungen, welche die Ausschachtung nur einleiten, um behufs deren Vollendung vom Sprengmittel, der Keilhaue, dem Keil oder der Brechstange abgelöst zu werden, oder sie verkleinern das Gestein derart, daß keine Nacharbeit notwendig wird. Der Gedanke liegt nahe, daß durch Tunnelbohrmaschinen letzterer Art, wenn nicht an Kraft, so doch an Zeitaufwand Ersparnisse erreicht werden können, und in der That tritt die Möglichkeit, dadurch Zeit zu gewinnen, daß man ein nachträgliches Sprengen oder Hereintreiben überflüssig macht, bei näherer Betrachtung der einschlägigen Zahlen deutlich vor Augen. Nach dem vorhergehenden Kapitel ergeben sich nämlich bei Stoßbohrmaschinen für das Verhältnis der reinen Bohrzeit zur ganzen verbrauchten Zeit folgende Werte:

Mont-Cenis-Tunnel	0,74
Gotthard-Tunnel: Göschenen	0,6—0,65
Airolo	0,6
Arlberg-Tunnel	0,5
Monte-Cenere-Tunnel,	0,29—0,66
Krähberg-Tunnel, Westseite	0,47
La-Perruca-Tunnel (mit der Bosseyeuse)	0,43
Saarbrückener Gruben	0,62
Grube St.-Léonard	0,54
Grube Marihaye	0,45—0,65
Grube Friedrichslegen (Schram'sche Maschine	0,5
Ebenda (Dubois-François-Maschine)	0,39
Grube Anzin	0,46

Gruben der Gesellschaft Noeux	0,37
Grube Ronchamp	0,33
Vieille-Montagne	0,25

Die nicht zum Bohren, sondern zum Laden, zum Schießen, zur Schutterung und zum Herrichten des Ortsstoßes notwendige Zeit zeigt sich demgemäß so groß, daß eine raschere Arbeit als mit Gesteinsbohrmaschine mit einer Tunnelbohrmaschine möglich scheint, welche das Sprengen überflüssig macht und das Beladen der Grubenwagen fortwährend selbst besorgt.

Schwieriger zu beurteilen sind die Kraftverhältnisse⁶³⁾; eine Stollenbohrmaschine der hier zu betrachtenden Gattung muß alles Gestein des herzustellenden Stollens, eine Gesteinsbohrmaschine nur einen kleinen Teil, diesen allerdings bis zu feinem Bohrschmand, zerkleinern. In einem gewöhnlichen Stollen von 6 qm Querschnitt in mittelfestem Gebirge mögen 20 Bohrlöcher von 4 cm Weite und 1,10 m Länge einen Fortschritt von 1 m bewirken, sodaß auf 1 cbm Stollen ein Bohrlöcherinhalt von 0,0046 cbm kommt. Dann würde hier eine Stollenbohrmaschine 217mal so viel Hohlraum bilden müssen als die Gesteinsbohrmaschinen. Rechnet man die Kosten der übrigen Arbeiten vor Ort einschließlich des Füllens der Grubenwagen und den Wert der Sprengmittel in Bohrkosten um, mit anderen Worten, denkt man sich, daß diese übrigen Arbeiten wegfallen und für den Geldbetrag, welchen sie erfordern würden, Hohlraum erbohrt wird, so ändert sich obiges Verhältnis von 217 und wird vielleicht 110. Demnach müßte eine Tunnelbohrmaschine, wenn sie nicht teurer arbeiten soll als die Gesteinsbohrmaschinen, dadurch, daß sie nicht so feines Korn erzeugt und pro laufendes Meter Stollen nicht so viel Wartung erfordert wie 6—8 Gesteinsbohrmaschinen, mit ungefähr $\frac{1}{110}$ des bei letzteren Vorrichtungen erforderlichen Kostenaufwandes die gleiche Menge Felsen zerkleinern.

Der Wegfall der Sprengarbeit hat außer dem unter Umständen eintretenden Zeitgewinn einen großen Vorzug, der aus einem manchmal zu gering angeschlagenen Nachteil des Sprengens entspringt, nämlich die Vermeidung einer Erschütterung, welche das Gestein lockern, starke Zimmerung und Mauerung erfordern und bei Bauten unter Wasser großen Wasserzudrang herbeiführen kann. Hierzu kommt, daß sich keine Sprenggase entwickeln, deren Einfluß auf die Wetter sich übrigens deutlicher zu erkennen gibt als der in vielen Fällen innige, aber verborgene Zusammenhang zwischen Gewölbstärke und Bohrlochladung.

Fast alle Tunnelbohrmaschinen stellen kreisförmige Querschnitte in großer Regelmäßigkeit her und ermöglichen dadurch, die Auskleidung verhältnismäßig rasch aus eisernen Platten zusammenzusetzen.

Bisher war nur von festem Gestein die Rede; bei mildem, rolligem und schwimmendem Gebirge scheinen einige Verfahren auf glückliche Weise die Ausschachtung mit der Verkleidung zu vereinigen. Da die gewöhnliche Art, Tunnel durch aufgelöstes Gebirge zu treiben, in hohem Grade kostspielig, unsicher und gefährlich ist, muß jede bessere, zu gleichem Zwecke dienende Methode als ein wichtiger Fortschritt im Tunnelbau begrüßt werden.

Die Tunnelbohrmaschinen können nach der Arbeitsweise des Gezähes in

⁶³⁾ Ermittlungen des Arbeitsverbrauches zur Gesteinsverkleinerung durch stoßendes und drehendes Bohren sind S. 161, 249 und 261 gegeben, sowie am Schlusse dieses Kapitels.

ähnliche Gruppen wie die Schrämmaschinen eingeteilt werden, nur würde als weitere Klasse jene für rolliges Gebirge hinzutreten, während diejenige für Maschinen mit hauendem Werkzeug entfällt, da die einzige Erfindung, welche hierher gerechnet werden dürfte, diejenige von Firth, bereits S. 355 behandelt worden ist. Es lassen sich demgemäß unterscheiden:

- A. Maschinen mit stoßenden Werkzeugen,
- B. Maschinen mit schneidenden Werkzeugen,
- C. Maschinen für rolliges Gebirge.

A. Maschinen mit stoßenden Werkzeugen.

§ 13. Aeltere Maschine von Beaumont⁶⁴). Dieselbe schließt sich noch eng an die Schrämmaschinen an, indem sie längs des Umfanges des herzustellenden kreisrunden Stollens einen Schram bildet und die Zerstörung des inneren Kernes der Wirkung von Sprengmitteln überläßt. Auf der Peripherie einer sich langsam drehenden Scheibe *A*, siehe Fig. 1—4, Taf. XXI, deren Durchmesser demjenigen der herzustellenden Strecke entspricht, sitzen rechtwinkelig eine Anzahl Bohrer, welche, indem sie abwechselnd vorgestoßen und zurückgezogen werden, an dem Ortsstoß einen fortlaufenden kreisförmigen Schram ausarbeiten. Die Scheibe sitzt auf einer wagerechten Welle *B*, welche mit Rücksicht auf die verlangte Bewegung der Werkzeuge so verlagert ist, daß sie gleichzeitig in ihrer Längsrichtung fortgleiten und sich um ihre Längsaxe drehen kann. In dem Centrum der Scheibe ist noch ein einzelner, ziemlich starker Bohrer angebracht, der gleichzeitig mit den Umfangsbohrern arbeitet und in der Mitte des von letzteren herausgetrennten cylindrischen Kernes ein zur Aufnahme einer Sprengladung bestimmtes Loch herstellt.

Die hin und her gehende Bewegung der Scheibe und damit der Werkzeuge wird unmittelbar durch den Kolben einer mit verdichteter Luft arbeitenden Maschine hervorgerufen, während für die langsam drehende Bewegung hinter dem Cylinder eine Schraube ohne Ende *D* angebracht ist, welche ihre Bewegung gleichfalls durch die Maschine erhält. Diese Schraube ohne Ende treibt, um die gewünschte Wirkung hervorzubringen, ein Rad *E*, dessen mit einer Nut versehene Nabe eine Feder der hohlen Axe des bewegenden Kolbens derart umgreift, daß beide Wellen für die Drehung vereinigt, dagegen bezüglich der Vorwärtsbewegung unabhängig voneinander sind. Es befindet sich somit der gesamte Mechanismus, die Bohrscheibe ausgenommen, hinter dem treibenden Cylinder, in Folge dessen die Stellung der Maschine eine sehr geschützte gegen Stöße u. s. w. sein soll.

Nach erfolgter Bohrung wird die Maschine zurückgezogen, darauf das mittlere Bohrloch verladen und endlich geschossen. Damit die Maschine hierbei nicht Schaden nehme, muß sie um ein beträchtliches Stück zurückgeschoben werden, wodurch jedenfalls ein nicht unerheblicher Aufenthalt entsteht.

Die Scheibe darf nicht völlig massiv sein, da sie sonst, den Streckenquerschnitt ziemlich dicht abschließend, beim Vorstoße die vor ihr befindliche Luftseicht zusammendrücken und hierdurch die Stoßwirkung beeinträchtigen würde. Da

⁶⁴) Bulletin de la société de l'industrie minérale. 1867/68. Bd. 13. S. 63. — Engineer. 1867. Bd. 23. S. 369, 398. — Engineering. 1867. Bd. 4. S. 100. — Specification. 1864. No. 1904. — Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1873/74. Bd. 38. S. 25, 40.

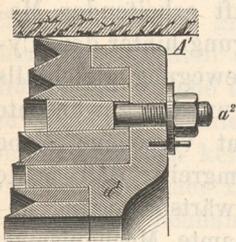
ferner von Zeit zu Zeit Arbeiter vor die Bohrscheibe gelangen müssen, um die durch den Gebrauch abgenutzten Bohrer auszuwechseln, um das Besetzen und Sprengen zu bewirken, endlich um das losgetrennte Haufwerk rückwärts zu fördern, und da eine für die Leute genügend große Oeffnung die Scheibe allzusehr schwächen würde, müssen hin und wieder Weitungen im Tunnel hergestellt werden, durch welche man um die Maschine herumgehen kann.

Die gegebene Beschreibung und die Abbildung beziehen sich auf eine etwas verbesserte Form der Vorrichtung; ein älteres, noch nicht verbessertes Exemplar hat in einem Stollen der Vratry-Wasserwerke der Stadt Dublin in sehr ungünstigem wechselndem, bald weichem, bald hartem und quarzhaltigem Silur-Gebirge gearbeitet und während 5 Monaten nur 3,7 laufendes Meter Strecke von 1,83 m Durchmesser erbohrt, sich dort also nicht bewährt.

§ 14. Tunnelbohrmaschine von Penrice. Durch Stoß wirkt ebenfalls, jedoch ohne eine Nacharbeit, sei es durch Schießen oder auch nur durch Abtreiben der aus dem Zusammenhange mit dem anstehenden Gebirge losgetrennten Massen, die Tunnelbohrmaschine von Penrice⁶⁵⁾, welche den ganzen Stollenquerschnitt in Angriff nimmt und bei welcher die Wirkung durch Meißel stattfindet, welche während des Schlages um die Stollenaxe kreisen. Verschiedene voneinander abweichende Bauweisen dieser Maschine sind veröffentlicht worden, zuletzt die folgende.

Ein am Hinterende mit einer Scheibe geschlossener Rotgußcylinder *A*, siehe Fig. 9—15, Taf. XXI, der sich in dem eigentlichen Cylinder *B* bewegt, stellt den mit veränderlichem Hube ausgestatteten Kolben der Maschine dar, an welchem vorn der Bohrkopf *A'* angegossen ist. Dieser Kopf, dessen Größe dem lichten Durchmesser des herzustellenden Stollens entspricht, ist in der Hauptsache eine kreisrunde Scheibe mit vier Ausschnitten (Fig. 15), deren jeder sich über einen Winkel von 30° erstreckt. Der Bohrkopf trägt concentrische Nuten

Fig. 10.



von schwalbenschwanzförmigem Querschnitt, in denen die Meißel mit Hilfe von Keil- und Schraubenverbindung *a*¹ *a*², siehe Holzschnitt Fig. 10, und zwar so befestigt werden, daß die Schneidkanten der einzelnen Meißel vom Mittelpunkt gegen den Umfang hin etwas zurücktreten. Diese Anordnung concentrischer, gegeneinander zurückspringender Schneiden bezweckt eine Gesteinszersplitterung, wie sie dann erfolgt, wenn wiederholte Meißelschläge in der Nähe einer Gesteinskante eine Furche von genügender Tiefe ausstemmen. Das Maß des Rücksprunges soll sich nach der Gesteinsbeschaffenheit richten und bei mildem Gestein ein wesentlich größeres als bei festem sein.

Das Eintritts- und das Austrittsrohr der gepressten Luft mündet in den Steuercylinder *C*, welcher mit dem genannten Hauptcylinder *B* durch die Kanäle *b* und *b'* derart verbunden ist, daß die ringförmige Kolbenvorderfläche beständig, die ungleich größere Kolbenrückfläche nur während eines Teiles des Hubes unter Druck steht. Die Steuerung erfolgt in der Weise, daß über den bereits erwähnten

⁶⁵⁾ Specification. 1856. No. 760. — Specification. 1858. No. 2481. — Engineer. 1859. Bd. 7. S. 426. — Engineer. 1862. Bd. 13. S. 44. — Specification. 1868. N. 1511. — Engineering. 1868. Bd. 6. S. 141. — Polytechn. Centralbl. 1869. Sp. 777. — Génie industriel. 1868. S. 229. — Mémoires et compte rendu des travaux de la société des ingénieurs civils. 1868. S. 214, 295, 302, 416.

Steuerzylinder *C*, siehe Fig. 9 und 11, ein zweiter kleinerer Cylinder *D* mit daran befindlichem Schieberkasten *E* liegt, welcher die Luft durch das Rohr *t* aufnimmt und durch ein in die Abgangsleitung des Cylinders *B* mündendes Zweigrohr wieder abgibt. Die Stange *c* des im Cylinder *D* liegenden Kolbens geht durch den Cylinder *C* hindurch, bewegt also den Steuerkolben, sowie ferner noch die gekröpfte Welle *F*, welche, mit Schwungrad *F'* versehen, sich über die ganze Länge der Maschine erstreckt und mittels der drei Schraubengetriebe *g*, *h* und *i* die Wellen *G*, *H* und *I* in Bewegung setzt. Die erste dieser Wellen hat als Endziel ihrer Bewegung den Bohrkopf selbst. Durch eingeschaltete konische Räder und Stirnradvorgelege wird nämlich die schrägliegende Welle *g'*, siehe Fig. 12, in langsame Umdrehung versetzt und es überträgt eine endlose Schraube *v* diese Bewegung auf das Schraubenrad *R*, welches, mittels Nut und Feder auf dem Kolben angebracht, diesem die drehende Bewegung mitteilt, ohne seine Längsbewegung zu hindern. Die zweite, oben mit *H* bezeichnete Welle ist dazu bestimmt, das Vorwärtsrücken der Maschine selbst zu bewirken und zu regeln. Durch Vermittelung zweier Wellen *h*¹ und *h*², sowie der Schraubengetriebe *l* und *l'*, siehe Fig. 10 und 13, werden die Umdrehungen der Welle *H* auf die mit rauher Oberfläche versehenen Reibungswalzen *L* und *L'*, siehe Fig. 6, übertragen, deren Umgang auf der Stollensohle das Nachrücken der ganzen Maschine in demselben Maße bewirkt, in dem der Ortsstoß abgearbeitet wird. Hierzu ist ein gewisser Druck der Walzen auf ihre Unterlage nötig und, um diesen nach Willkür erhöhen zu können, ist noch eine obere Walze *M* vorhanden, siehe Fig. 9 und 10, welche durch eine verstellbare Feder gegen die Stollenfiste gepreßt wird. Die Anwendung der Feder soll gleichzeitig den unteren Walzen die Möglichkeit gewähren, über Unebenheiten auf ihrem Wege hinwegzukommen. Die dritte Welle *i* endlich setzt mit Hilfe von Ketten und Kettenrädern die Trommeln *N*, siehe Fig. 14, und hiermit die Schaufelkette *J* in Bewegung. Auf den Ortsstoß sprüht nämlich ein Regen, zu dessen Erzeugung unmittelbar hinter dem Bohrkopf ein (in der Zeichnung nicht angegebenes) Rohr angebracht ist, und spült die Gesteinssplitter herab, welche an der Sohle von der Schaufelkette *J* gefaßt und durch den Kanal *J'* hinter die Maschine geschoben werden. Das Wasser hat gleichzeitig noch den Zweck, das Erhitzen der Bohrer thunlichst zu verhüten.

Die Maschine ruht rückwärts auf den Reibungswalzen, vorn mittels der Schrauben *V*, siehe Fig. 9 und 12, auf dem Gestell *P*. Um jeden unbeabsichtigten Rückgang der Maschine zu verhindern, ist an deren Vorderteil eine Kriecke befestigt, welche sich mittels eines in lotrechter Ebene spielenden Gelenkes gegen die Stollensohle stemmt.

Die Wucht der Stöße, welche die Maschine bei dem geschilderten Arbeitsgange zu ertragen hat, läßt es nur zweckmäßig erscheinen, daß dieselbe massig konstruiert ist, weil nur so zu hoffen steht, daß Schwingungen weniger bemerkbar werden und nicht in kurzer Zeit Brüche und sonstige Verletzungen erfolgen. Nach Maßgabe des für 1,525 m Streckendurchmesser angefertigten Modells würde die ganze Maschine ein Gewicht von 14 500 kg., der Bohrkopf allein ein solches von 2500 kg besitzen. Bei 4 Atmosphären Ueberdruck, 400 Stößen in der Minute und einer Gesamtarbeit von 46,2 Pferdekraften soll die Intensität des Schlages (der Arbeitsaufwand für einen Vorstoß ohne Berücksichtigung der Reibungen) 53,8 mkg betragen.

Die Maschine wurde in ihren verschiedenen Formen im Malvern-Tunne der Worcester- und Heresford-Bahn, dann im roten Sandstein bei Newcastle-on-

Tyne⁶⁶⁾, später seitens der Ebbw-Vale-Iron-Company⁶⁷⁾, ferner im Muschelkalk in den Steinbrüchen von Vaugirard bei Paris⁶⁸⁾ und auch am Gotthard versucht, gelangte jedoch nirgends zu dauernder Verwendung.

Penrice hat später noch eine Vorrichtung⁶⁹⁾ erfunden, welche gleichzeitig eine Höhlung von größerem Durchmesser über der Mitte der Stollensohle und mehrere Bohrlöcher am Stollenumfang bildet. Die gemeinsame Kolbenstange mehrerer hintereinander angeordneter Treibcylinder bewegt im Kreise aneinander gereihte Bohrer, welche mit abwechselnd außen und innen angeordneten Schneiden eine ringförmige Nut ausmeißeln, während gleichzeitig an den Enden besonderer Arme sitzende Bohrer Sprenglöcher herstellen. Die Schneiden dieser Bohrer haben die Form eines Kreuzes mit umschriebenem Kreise erhalten und ein starker Wasserstrahl wird eingespritzt, damit möglicherweise ein Setzen unnötig sei. Wenn ein solches Arbeiten, wie mehr als wahrscheinlich, nicht gelingt, so soll auf nicht näher beschriebene Weise gesetzt werden. Eine gekuppelte kleine Maschine bewirkt die Steuerung der Hauptcylinder und mittels entsprechender Räderübersetzung eine langsame Drehung der Kolbenstange, also auch der Bohrergruppe. Sind die Bohrungen fertig, so zieht man den gesamten Apparat zurück (was jedoch nicht sehr einfach sein dürfte), um die äußeren Bohrlöcher zu verladen und schließlich mit je einem Mittelkeil nebst zwei Zulagen zu verpfropfen. Die Sprenggase sollen die Keile antreiben, das Gestein gegen die untere Höhlung pressen und zertrümmern. Ein diesem nicht unähnliches Sprengverfahren von Penrice⁷⁰⁾ hat sich in Blanzky, siehe S. 297 und Fig. 28–30, Taf. XVI, nicht bewährt.

§ 15. Die Streckenbohrmaschine von Henley⁷¹⁾, siehe Fig. 8 und 9, Taf. XXII, stellt in der Hauptsache einen liegenden Dampf- oder Lufthammer dar, dessen mit auswechselbaren Stahlschneiden versehener Kopf vermöge verstellbaren Hubes Schläge von verschiedener Stärke führen kann. Dieser Kopf *A* hat die Höhe des herzustellenden lichten Raumes, jedoch eine viel geringere Breite und es ist, um den ganzen anzugreifenden Gesteinsstoß bearbeiten zu können, der Kolben mit einem Kugelgelenklager versehen, in welchem das Ende *B* der mit dem Rammhämmer zu einem hammerförmigen Stücke vereinigten Flügelstange sitzt. Der Kolben besteht aus einem massiven, das Kugellager enthaltenden Kern und einer eigentlichen Kolbenscheibe *E*, an welcher die mit Rücksicht auf die Bewegung der Flügelstangen als hohle Stützen ausgebildeten Kolbenstangenstücke *C* und *D* sitzen. Die vordere, für den Rückgang wirkende Kolbenfläche ist etwas größer als die hintere.

Durch ein zweites Kugelgelenk *F* ist mit dem Kolben eine kleinere, nach rückwärts gehende, die Steuerung vermittelnde Flügelstange in Verbindung gesetzt, deren Ende in einem Bügel *G* und zwar veränderlich aufgehängt ist. Dieser Bügel stellt den längeren Arm eines Winkelhebels dar, dessen zweiter Arm den Drehpunkt einer Kulisse *H* faßt. Letztere wird am andern Ende von einem Paar gerader Lenkerstangen *I* gehalten, deren feste Drehaxe hoch und niedrig gestellt werden kann. Die Schieberstange greift in den Schleifenbogen mit cylindrischem Zapfen ein; ihre Bewegung ist mithin von der Kolbenstange immer abhängig und

⁶⁶⁾ Engineer. 1865. Bd. 19. S. 200.

⁶⁷⁾ Minutes of Proceedings of the Institution. 1863/64. Bd. 23. S. 261.

⁶⁸⁾ Comptes rendus mensuels de la société de l'industrie minérale. 1880. S. 48.

⁶⁹⁾ Specification. 1876. N. 794. — Deutsches Reichspatent No. 13 032.

⁷⁰⁾ Comptes rendus mensuels des réunions de la société de l'industrie minérale. 1880. S. 48, 103, 177.

⁷¹⁾ Berggeist. 1871. No. 45. — Oesterr. Zeitschr. f. Berg. u. Hüttenwesen. 1871. S. 198. — Engineering. 1871. Bd. 11. S. 23. — Specification. 1870. No. 2349.

gestattet dennoch einen veränderlichen Hub. Der ganze Apparat ruht auf einem drehbankähnlichen Gestelle von der Breite der herzustellenden Strecke in der Weise, daß der Betriebscyliner fest angeschraubt ist und das Werkzeug mit muldenförmig ausgearbeiteten Flügeln *K* über losen Kugeln läuft, zu deren Aufnahme das Lager gleichfalls Mulden besitzt.

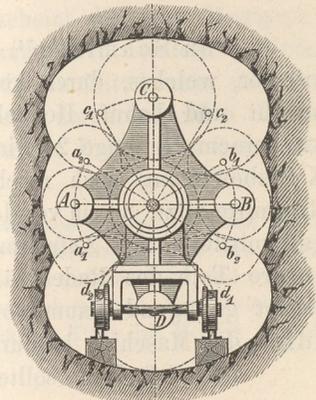
Die Werkzeugführung findet nun in folgender Weise statt: Auf der Unterseite des Werkzeugarmes befindet sich eine Schere, deren Zweck in Führung eines Kniehebels *L* besteht, durch dessen freies Ende eine Sperrklinke *M* bewegt wird. Letztere wirkt bei jedem Rückgange des Werkzeuges auf die Axe einer rechtwinkelig zur Länge des Apparates liegenden Schnecke, welche ein Schraubengrad *N* bewegt, auf dessen Axè wiederum ein kleines Zahnrad *O* über dem Lagergestelle aufgesteckt ist. Dieses kleinere Stirnrad greift in den gezahnten Innenrand einer Führungsplatte *P* ein, deren Oberseite den Werkzeugschaft mit zwei Backen umschließt, ohne ihn jedoch zu tragen. Der erwähnte gezahnte Innenrand der Platte wird von zwei Halbkreisen und zwei diese verbindenden geraden Stücken gebildet, sodaß ein längeres Verweilen des Werkzeuges an den Seiten des Ortsstoßes als an den übrigen Teilen desselben erzielt wird und auch die Seiten vollständig mit ausgearbeitet werden. Die Querbewegung des Werkzeuges ist eine veränderliche, weil der freie Zapfen des Winkelhebels verschieden in dem schleifenartigen Ende des Sperrklinkenfortsatzes befestigt werden kann; außerdem ist das Vorrücken der Schaltung unabhängig vom Kolbenhube.

Nach den bezüglichlichen Angaben soll die Maschine bei 6 Zoll (0,152 m) Vollhub von einem Seitenstoße bis zum andern 66 Hübe machen, wenn die Stollen- oder Streckenbreite 48 Zoll (1,219 m), die Breite des arbeitenden Teiles 20 Zoll (0,508 m) beträgt, sodaß also für das Fortschreiten des Rammkopfes in seitlicher Richtung pro Hub 0,011 m folgt.

§ 16. Bohrverfahren von F. B. Doering⁷²⁾. Dieser Erfinder will den gesamten Ortsstoß mit Hilfe von Stoßwerkzeugen abmeißeln, die er an die Kolbenstangen gewöhnlicher Gesteinsbohrmaschinen befestigt. Das auf einem Gleise fahrbare Hauptgestell der Vorrichtung, welches gegen die Stollenfirste hydraulisch abgestemmt wird, trägt in dem nebenstehend schematisch dargestellten Falle (Fig. 11) vier Bohrmaschinen *A, B, C, D* auf den Speichen eines gemeinschaftlichen sternförmigen Schildes. Sie sind drehbar mit den Speichen verbunden und lassen sich durch Klemmschrauben in der gewünschten Stellung festhalten. In der Verlängerung der Mittelaxe befindet sich eine fünfte Bohrmaschine *E*.

Das gemeinsame Lager vollzieht langsam Schwingungen, infolge welcher die Bohrmaschinen *A, B, C* und *D*, auf den Bogenstücken $a_1 a_2$, $b_1 b_2$, $c_1 c_2$ und $d_1 d_2$ hin und her wandern und die Bohrlöcher längliche Querschnitte erhalten, die mit dem mittleren Bohrloch von *A* das gesamte Stollen-

Fig. 11.



⁷²⁾ Deutsches Reichs-Patent No. 20846 vom 26. April 1882. — Zeitschr. f. Baukunde. 1883. H. 6. S. 401.

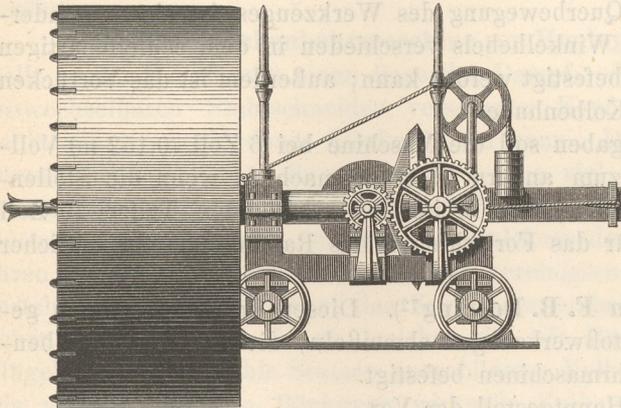
profil ergeben. Der Vorschub der Bohrmaschinen geschieht gemeinsam mittels einer Spindel von dem Wagengestell aus, das von Zeit zu Zeit auf eine neue Stelle vorgertückt wird.

B. Maschinen mit schneidenden Werkzeugen.

§ 17. Stollenbohrmaschinen von Gay, von Schmidt, Coquilhat und de Preigne. Diese Vorrichtungen schließen sich an die Schrämmaschinen in ähnlicher Weise an wie die oben besprochene, stoßend wirkende Tunnelbohrmaschine von Beaumont.

So stellt Gay⁷³⁾ einen kreisförmigen Schram und ein mittleres Bohrloch zur Aufnahme der Ladung her, jedoch abweichend von Beaumont durch drehende Bohrung. Die für den äußeren Schram bestimmten Schneidwerkzeuge, je nach der Härte des zu gewinnenden Gesteines gehärtete Stähle oder Diamanten, ordnet er am Stirnrand einer hohlen Trommel von etwa 1,9 m Durchmesser an. Wenn nötig, ist zur

Fig. 12.



Kühlung der Bohrer und zum Wegspülen des Schmandes Wasser durch die mittlere Welle oder auf andere Weise einzuleiten. Das mittlere Bohrloch sollte durch einen Erweiterungsbohrer vor der Verladung vergrößert werden. Als Triebkraft war Dampf in Aussicht genommen und das Anpressen des beweglichen Teiles der Vorrichtung an das Gestein sollte, wie dies Fig. 12 zeigt, durch über Rollen geführte Seile erfolgen, an welche Gewichte gehängt werden.

Von Schmidt's⁷⁴⁾ Vorrichtung besteht aus einem Rade von 2,43 m Durchmesser, welches, durch verdichtete Luft getrieben, 800 Umdrehungen pro Minute macht und behufs Herstellung eines Schrams von 5 cm Weite und 91 cm Tiefe an seinem Umfange 24 Diamantbohrer trägt, deren jeder neben der gemeinsamen Kreisbewegung noch rasche Drehungen um seine eigene Axe vollzieht. In der Radmitte sitzt, 30 cm vor den Umfangsbohrern vorstehend, ein Einzelbohrer, welcher das mittlere, zur Aufnahme der Sprengladung bestimmte Bohrloch herstellt. Der untere Teil des Rades läßt sich in die Höhe klappen; ist dieses geschehen, so bleibt genügend Raum vorhanden, um das Haufwerk auf einem inneren Gleise durch die Maschine hindurch zu fördern.

Die Erfindung sollte bei dem Bau eines Tunnels der Central-Pacific-Bahn

⁷³⁾ Engineer. 1864. Bd. 17. S. 185.

⁷⁴⁾ Statistic of Mines and Mining in the state of territories west of the rocky mountains, being the fourth annual report of Rossiter W. Raymond, U. S. commissioner of Mining Statistics. Washington. Government printing office. 1872. S. 113. — Builder. 1871. Bd. 29. S. 463.

benutzt werden, doch scheint, da nichts weiter verlautet, das Unternehmen nicht zur Ausführung gelangt zu sein.

Coquilhat⁷⁵⁾ dürfte nach den in seiner Schrift „Versuche über das Bohren, angestellt in Ypres in den Jahren 1850 und 1851“ niedergelegten Mitteilungen bei einer früheren Gelegenheit den Vorschlag gemacht haben, die Herstellung von weiten Bohrlöchern durch Kernbohrer, vielleicht in ähnlicher Weise wie das jetzt von Brandt ausgebildete System, zu bewirken, welche Methode er später auf die Erzeugung noch größerer Querschnitte ausdehnte. Er hält es, wie er ausdrücklich bemerkt⁷⁶⁾, für das Vorteilhafteste, das Gestein durch concentrische Schräme in eine Anzahl kreisförmiger Teile zu zerlegen, und schildert die Ausführung, beziehungsweise die zu verwendende Maschine, wie folgt⁷⁷⁾:

Der Bohrer würde die Gestalt einer cylindrischen Säge von 2,5 cm Stärke erhalten; jeder Zahn wäre an einem Schaft befestigt, der sich in einer im Bohrerkopf angebrachten Nut oder Vertiefung in der Richtung des Gerätes bewegen könnte; eine genügend starke Feder würde ununterbrochen suchen, den Schaft aus dem gewissermaßen für ihn hergestellten Gehäuse herauszutreiben, während eine Klinke diese Verschiebung begrenzte. Der schmiedeiserne Bohrerkopf würde 2 cm Stärke erhalten, die Zähne dagegen 2,5 cm Breite, sodaß im Schram ein Spielraum von 0,5 cm frei bleibt, welcher die Entfernung des Bohrschmandes ermöglicht.

Hieraus scheint hervorzugehen, daß der um seine Axe sich drehende Bohrerkopf gleichzeitig und möglichst dem Fortschreiten der Schramtiefe entsprechend sich vorwärts bewegen soll, daß aber, falls diese Vorwärtsbewegung je eine zu langsame sei, die hinter den einzelnen Bohrzähnen liegenden starken Federn den Zweck haben, durch Vortreibung letzterer die Arbeit nicht zum Stillstande kommen zu lassen. Möglicherweise aber, darauf lassen die erwähnten Klinken, nicht aber die sehr spärliche Beschreibung schließen, sollen die Federn lediglich dazu dienen, die etwa abgeführten Zähne nach Aushebung der Klinke aus dem sehr engen Raum, in welchem sie sitzen, behufs ihrer Auswechslung herauszudrücken.

Eine cylindrische Strecke von 1,20 m Durchmesser könne man bei einem mittleren Vorrücken von 0,20 m in der Stunde mit einem Aufwande von 8 Pferdekräften Bohrarbeit dadurch bilden, daß man zwei Schlitz- und ein Loch in der Mitte herstelle, wodurch die zu gewinnende Masse in zwei Ringe von 0,25—0,275 m Dicke zerlegt werde, welche, sobald sie um 0,5—0,6 m über den Ortsstoß hervortreten, durch Hereintreib- oder Sprengarbeit zu beseitigen seien. Ein Tunnel wäre in mehrere, durch eine Gesteinsdicke von 0,20 m getrennte Strecken von 1,20 m Durchmesser zu zerlegen.

Fast vollständig mit dem Vorschlag Coquilhat's scheint die vom Marquis de Preigne projektirte Tunnelbohrmaschine⁷⁸⁾ übereinzustimmen, welche gleichfalls an dem kreisförmigen Schram, dem Bohrloch in dessen Mittelpunkt und an der Verwendung der Sprengmittel festhält; nur in der Form der arbeitenden Teile, gezahnte Meißel an Stelle von einfachen Zähnen, und in der Breite des Schrams, 10 cm anstatt nur 2,5 cm, weichen die Vorschläge ab.

Die ganze Maschine ruht auf vier Rädern, welche auf Schienen laufen, die nach Maßgabe des Fortschreitens der Arbeit gelegt werden, und besteht in der Hauptsache aus einem Cylinder, der mittels Verzahnung und Getriebes um seine eigene Axe gedreht wird und gleichzeitig durch eine endlose Schraube in dem Maße, wie die Bohrung sich vertieft, eine fortschreitende Bewegung erhält. Der äußere Rand des Cylinders, auf den die Kraft des Motors mittels

⁷⁵⁾ Annales des travaux publics de Belgique. Bd. 10. S. 199. — Dingler's polytechn. Journ. 1853. Bd. 127. S. 97.

⁷⁶⁾ A. a. O. S. 219.

⁷⁷⁾ A. a. O. S. 222.

⁷⁸⁾ Revue univ. des mines. 1860. Bd. 7. S. 509. — Oesterr. Zeitschr. f. Berg. u. Hüttenw. 1861. S. 76. — Oppermann. Portfeuille économique des machines. 1860. Bd. 5. Sp. 36.

Riemens übertragen werden soll, trägt gezahnte Meißel, welche die kreisrunde Umschrägung des zu sprengenden Blockes aushöhlen, während gleichzeitig der im Mittelpunkt des Cylinders stehende Schneckenbohrer das eigentliche Sprengbohrloch herstellt. Die Meißel, deren Zahl durch vier teilbar sein muß, sind derart gegeneinander verstellt, daß ein jeder vierte dieselbe Nute ausritzt. Sobald Schram und Bohrloch die gewünschte Tiefe erhalten haben, wird die Maschine zurückgezogen, das centrale Bohrloch besetzt, gesprengt und hierauf das Bohren von neuem begonnen.

Keine der vier in diesem Paragraphen behandelten Vorrichtungen scheint je erprobt worden zu sein.

§ 18. Tunnelbohrmaschine von Cook u. Hunter. Die von Cook u. Hunter⁷⁹⁾ in Vorschlag gebrachte Maschine charakterisirt sich dadurch, daß bei ihr größere Körper von Scheiben-, Walzen- oder Hohlcylinderform, deren Umfangsflächen mit passenden Schneidwerkzeugen versehen sind, in Umdrehung gesetzt werden. Ein solches Schneidwerkzeug besitzt gewöhnlich die Gestalt eines abgestutzten Stahlkegels, dessen kleinere Grundfläche auf dem Hauptkörper oder Bohrkopf aufsitzt, und wird durch Stellschrauben auf einer ausgebohrten Knagge befestigt, die selbst wieder durch die ihr erteilte Schwalbenschwanzform oder mit Hilfe von angeschmiedeten Schraubenbolzen auf dem Bohrkopf anzubringen geeignet ist.

Die Maschine besteht aus einem auf mehreren Rädern ruhenden Wagen, auf dem zwei starke Wellen parallel zu einander drehbar liegen. Die über dem Wagen hinausragenden Wellenköpfe tragen jeder eine Scheibe, deren Umfang mit starken Blechplatten so belegt ist, daß dadurch vorstehende Hohlcylinder gebildet werden. Jeder solcher Hohlcylinder ist mit einer Anzahl der oben gedachten schneidenden Werkzeuge versehen und zwar sowohl an der dem Gestein zugewendeten Basis, als auch an seinem äußeren und inneren Umfange. Wenn nun die beiden Wellen, deren Entfernung voneinander den Abstand der Mittelpunkte zweier herzustellen großer Bohrlöcher repräsentirt, in Umdrehung gesetzt werden, während gleichzeitig der die Maschine tragende Wagen allmählich gegen den Ortsstoß vorgeschoben wird, so entstehen zwei kreisförmige Rinnen oder Schräme, zwischen denen ein Kern stehen bleibt, der herausgesprengt werden muß. Mit Rücksicht hierauf kann man gleichzeitig mit den Wellen zwischen letzteren einen Bohrer laufen lassen, welcher den Kern mit einem Sprengloch versieht.

Um während der Arbeit ein seitliches Schwanken des Wagens zu verhüten, werden die beiden Wellen in entgegengesetztem Sinne gedreht, was am einfachsten dadurch geschieht, daß man hinter ihnen und rechtwinkelig zu ihrer Richtung eine wagerechte Triebwelle anordnet, welche mittels Kegelräder die Bohrkopfwellen in Umdrehung bringt. Zur Herstellung möglicher Stabilität für den Wagen ist derselbe mit mehreren an Armen befestigten Rollen versehen, welche sich gegen den Umfang des hergestellten Tunnels stemmen. Das Fortrücken des Wagens soll durch langsame Drehung einer Welle erfolgen, auf welcher sich eine am Gestein befestigte Kette nach und nach aufwickelt.

§ 19. Tunnelbohrmaschinen von Shepherd u. Stuckey und Low. Shepherd u. Stuckey⁸⁰⁾ besetzen ein als Bohrkopf dienendes, sich drehendes Rad nicht nur an seinem Umfange mit Werkzeugen, welche in ähnlicher Weise wie die von Gay, Coquilhat u. a. einen Schram aushöhlen, sondern auch an seinen Speichen mit Stoßbohrmaschinen. Nähere Angaben, wie schließlich das Gestein zu gewinnen ist, sind in der Patentbeschreibung nicht enthalten.

Noch unbestimmter bleibt Low⁸¹⁾, nach welchem drei Seiten eines Stollens durch Drehbohrer, Meißel oder Schneidwerkzeuge bearbeitet werden, während der

⁷⁹⁾ Polytechn. Centralbl. 1867. S. 376.

⁸⁰⁾ Specification. 1872. No. 2756.

⁸¹⁾ Specification. 1870. No. 2927.

innere Raum, auch die Sohle, von Maschinen frei bleibt, um zur Förderung zu dienen. Alle Einzelvorrichtungen, durch Wellen verbunden, welche mittels Rädergetrieben in Zusammenhang stehen, arbeiten gemeinschaftlich und erhalten ihre Bewegung von einer gemeinsamen Kraftquelle.

§ 20. Tunnelbohrmaschinen von Wilson, Newton, Talbot und Gordon u. Stern. Die älteste Maschine, mit welcher der Versuch gewagt worden ist, einen Stollen auszufräsen, ist die von Wilson⁸²⁾, welche bei Herstellung des Hoosac-Tunnels der Troy- und Greenfield-Eisenbahn mitwirken und, durch eine Dampfmaschine in Umtrieb gesetzt, täglich, je nach der Gesteinsbeschaffenheit, 1,83—4,57 m Fortschritt erzielen sollte.

Die arbeitenden Teile dieser Maschine bestehen aus kreisrunden $\frac{1}{2}$ Zoll (0,013 m) starken Gußstahlscheiben von 14 Zoll (0,356 m) Durchmesser, mit beidseitig zugeshärftem Rand. Die Scheiben werden unter Winkeln von etwa 45° auf das Gestein aufgesetzt und rollen mit großer Geschwindigkeit über dasselbe hin; da aber gleichzeitig die Schneide mit bedeutender Kraft gegen das Gestein gepreßt wird, so wirkt dieselbe als Keil, dringt in den Ortsstoß und sprengt Gesteinsstücke los.

Ueber die Vorversuche wird angegeben, daß ein 10 Fuß (3,05 m) langer, 4 Fuß (1,22 m) breiter Granitblock, auf einem Wagen liegend, der arbeitenden Wirkung einer einzelnen Scheibe ausgesetzt gewesen sei, deren Stellung eine solche war, daß sie 2 Zoll (0,05 m) tief eindringen konnte. Sie soll sich in 16 Minuten über den ganzen Block hinwegbewegt und von demselben 1600 Pfund Masse losgetrennt haben; auch sei die bearbeitete Fläche vollkommen eben gewesen. Diese Leistung erscheint so wenig glaubwürdig, daß man sich versucht fühlen könnte, sie nicht als das Ergebnis einer wirklich durchgeführten Probe, sondern als das Resultat einer gewagten Berechnung des Erfinders anzusehen. Dem Vorversuche scheint auch die eigentliche Arbeit im Tunnel nicht entsprochen zu haben; wenigstens wird über letztere referirt⁸³⁾: „Die Maschine begann ihre Umdrehungen und schnitt ihren Weg auf einige Fuß Länge sehr hübsch in den Felsen ein, brach aber dann und erwies sich vielfach als so unpraktisch, daß sie aufgegeben werden mußte.“

Auch bei Newton's⁸⁴⁾ Maschine verrichten rollende, geschliffene Scheiben die eigentliche Bohrarbeit.

Auf dem Gestelle *a*, siehe Fig. 10—12, Taf. XXII, das mittels des Schlittens *b* auf den im Tunnel verlegten Schienen *c* gleitet, liegt eine hohle Welle *d*, welche sich frei in den Büchsen *e* dreht. An ihrem vorderen Ende trägt diese Welle das Rad *f*, welches mittels der auf gemeinschaftlichen Wellen *h* aufgekeilten Zahnradpaare *g* und *i* von der Triebwelle *k* langsam gedreht wird, deren endlose Schrauben in die Räder *i* eingreifen. Auf der Vorderfläche des Rades *f* sind Arme oder Flanschen *l* angebracht, in die zwei schwingende Axen *m* eingehängt werden, welche die Sektoren *n* tragen. Jeder dieser Sektoren ist an seinem Ende mit zwei umlaufenden Scheiben *o* versehen, deren Axen *p* Winkel von 45° mit der schwingenden Axe *m* bilden. Die Spindel jeder Scheibe dreht sich frei, aber genau in einer excentrisch gebohrten Röhre, welche sich in einer Büchse *r* des Sektors *n* sowohl drehen als auch der Länge nach vorwärts oder rückwärts verschieben läßt. Hierdurch ist man in der Lage, die Scheiben, ehe man sie mit Schrauben befestigt, nach Belieben zu stellen und ihre Schneidkanten so zu richten, daß deren Bahnen nicht zusammenfallen und ein Scheibenpaar das wegnimmt, was das andere Paar unberührt stehen läßt. Zwei in die hohle Welle *d* sich erstreckende und am Ende durch das Querstück *t* verbundene Stangen *s* vereinigen die inneren Sektorenspitzen und übertragen die Kolbenbewegung der Dampfmaschine auf die Sektoren, sobald der an der Axe *x* sitzende Arm *w* eine mit dem Querstück *t* vereinigte und innerhalb der hohlen Welle geführte Stange *u*

⁸²⁾ Polytechn. Centralbl. 1852. Sp. 550.

⁸³⁾ Berg. u. Hüttenm. Zeitg. 1874. S. 220. — Scientific American. 1873. Bd. 29. S. 372. — Vergl. auch: Drinker. Tunneling etc. S. 149.

⁸⁴⁾ Dinger's polytechn. Journ. 1853. Bd. 130. S. 116.

mittels der Lenkstange v hin- und herschiebt. Ein Schwungrad b_1 , mit dessen Kurbel a_1 der Arm w durch die Stange z verbunden ist, verringert die Ungleichmäßigkeit des Maschinen-ganges.

Das Vorrücken des Apparates kann durch Schrauben, wie in der Zeichnung angenommen, oder auf andere Weise bewirkt werden. Das Arbeiten der Maschine soll, wie aus dem Vorhergehenden erhellt, so vor sich gehen, daß, während sie allmählich vorrückt und das Rad sich langsam dreht, die Schneidwerkzeuge infolge der schwingenden Sektorenbewegung von der Stollenmitte nach dem Umfang und zurück laufen und einen ungefähr halbkugelförmigen Ortsstoß herstellen.

Bedeutende Aufmerksamkeit soll in den Vereinigten Staaten seiner Zeit Talbot's⁸⁵⁾ Tunnelbohrmaschine hervorgerufen haben, über welche sich jedoch nur einige mehr allgemeine Beschreibungen vorfinden. Mit der Maschine Newton's scheint sie große Aehnlichkeit zu besitzen.

Die Bohrvorrichtung ruht auf einem Schlitten, welcher mit einem Gesamtgewicht von circa 6800 kg auf seine Unterlage drückt und durch eine Schraube — in ähnlicher Weise, wie die Schlittenbewegung bei Sägemühlen erfolgt — um etwa 5—30 cm in der Stunde vorgeschoben werden kann. Der Schlitten trägt an einer drehbaren, hohlen Welle eine große, lotrechte, runde Stirnplatte, auf welcher, die Spitzen gegen die Plattenmitte gerichtet, vier Sektoren (Viertels-scheiben) in gleichen Entfernungen voneinander so gestellt sind, daß ihre Umfänge sich rechtwinkelig treffen.

Die Viertels-scheiben sind an ihren Spitzen mit einer zweiten Welle verbunden, welche, innerhalb der ersten Welle gelegen, Vor- und Rückwärtsbewegungen vollzieht und dadurch die Viertels-scheiben in Schwingungen versetzt. Jeder Sektor ist am Umfange mit drei kleinen, schief gestellten Rädern versehen, welche gezahnt und Kreissägen nicht unähnlich sind; sie stehen so, daß sie das Gestein in derselben Richtung treffen, in welcher ein Steinmetz seinen Meißel aufsetzen würde, und, wenn die Sektoren schwingen, sowohl beim Vor- als auch beim Rückwärts-laufen arbeiten.

Je nach der Gesteinsfestigkeit nimmt jedes Schneidzeug eine Schicht von 0,025—0,05 m Stärke von dem Gestein weg, sodaß bei einer Umdrehung der Stirnplatte die vier vorhandenen Zeuge ein stündliches Vorrücken des Ortes um 0,10—0,20 m bedingen. Als erforderlich für die Ausführung der Arbeit wird eine Maschine von 60 Pferdekr. bezeichnet. Zur Bedienung seien zwei Wärter, zum Wegfördern der gewonnenen Massen ebenfalls zwei Mann nötig. Einen beträchtlichen Teil der Unterhaltungskosten beanspruchen die Schneidräder, deren Abnutzung mit der Gesteinsfestigkeit wachsen muß. Die Maschine hat bei Harlem gearbeitet.

Einige Autoren⁸⁶⁾ erwähnen ferner eine Maschine von Talbot u. Wilson, welche behufs Herstellung eines runden Tunnels von 5,2 m Durchmesser einen kreisförmigen Schram mittels Schneidscheiben ausfräste.

Ueber die von der Firma Gordon u. Stern in San-Francisco konstruirte Tunnelbohrmaschine findet sich nur eine einzige, dem San-Francisco-Chronicle entnommene Nachricht⁸⁷⁾ vor, welche in der Uebersetzung folgendermaßen lautet:

„Das Schneiden besorgen runde Stahlplatten von 11 Zoll Durchmesser und 1 Zoll Stärke, welche mit scharfem Rande versehen sind. Es sind vier solche Platten vorhanden, welche sich um einen gemeinsamen Mittelpunkt drehen und über den ganzen Querschnitt des Tunnels hin und her geführt werden, indem sie dabei unter einem spitzen Winkel das Gestein berühren. Die Maschine ist im härtesten Granit erprobt worden und hat in demselben in Zeit von 24 Stunden eine 17 Fuß im Durchmesser haltende Oeffnung 5 Fuß 9 Zoll tief gebohrt. Hätte der Tunnel nur $5\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser gehabt, so würde die hergestellte Länge 50 Fuß haben betragen

⁸⁵⁾ The Mechanic's Magazine. 1854. Bd. 60. S. 395. — Polytechn. Centralbl. 1854. Sp. 883.

⁸⁶⁾ Rziha. Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst. Berlin 1874. 2. Aufl. Bd. I. S. 167. — Devillez. Des travaux de percement du tunnel sous les Alpes et de l'emploi des machines dans l'intérieur des mines. Lüttich 1863. S. 226.

⁸⁷⁾ Mining Magazine. 1856. Bd. 6. S. 181.

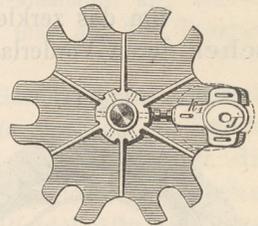
müssen, wobei eine Umtriebsmaschine von 16 Pferdekraft zur Herstellung eines solchen $5\frac{1}{2}$ Fuß weiten Tunnels erforderlich gewesen wäre. Eine Maschine dieser Größe kostet ausschließlich des Patentrechtes 6500 Dollars.“

Diese Angaben verdienen, was die Leistung betrifft, schon deswegen keinen Glauben, weil diese außer allem Verhältnis zum angegebenen Kräftefordernis steht und es kaum denkbar erscheint, daß ein annähernd solche Vorteile bietender Apparat so schnell der Vergessenheit anheim gefallen sein sollte, ohne an den verschiedensten Orten einer weiteren Prüfung unterworfen worden zu sein⁸⁸⁾.

§ 21. Tunnelbohrmaschine von Brunton⁸⁹⁾; siehe Fig. 5—8, Taf. XXI. Von allen Maschinen mit Schneidescheiben ist diese die wichtigste. Auf den doppelten Eisenbahnschienen *F* läuft mit Rädern *E* das Wagengestell, dessen Vordertheil *c* und Hinterteil *c*₁, durch Seitenwangen *D* verbunden, Ständer tragen, welche mittels zweier gegen die Firste sich anlegender Walzen *G* die Maschine fest in ihrer Lage erhalten. Von der Welle *O* aus werden (nach den älteren Veröffentlichungen) durch Riemen und Zwischenräder Schraubenspindeln *J* bewegt, deren Muttern auf Schubstangen *H* wirken, welche, in Bohrungen der Schienenflanschen greifend, die Schienen paarweise abwechselnd in der Tunnelsohle vorwärts schieben, sodaß sich die Maschine die zu ihrem Fortrücken erforderliche Schienenbahn selbst legt. Eine Entlastung der zu verschiebenden Schiene scheint Brunton nicht vorgesehen zu haben; vielleicht fand er selbst die Einrichtung später nicht zweckmäßig, sodaß er von ihr Abstand nahm.

In den Lagern des Wagens *cc*₁ dreht sich die hohle Welle *a*, auf welcher das Querhaupt *b* aufgegossen oder aufgekeilt ist, an dessen Enden Wellen *d* die Befestigungsplatten *e* der Schneidescheiben tragen. Derjenige Teil der Welle *d*, welcher die Befestigungsplatte aufnimmt, ist excentrisch gegen den im Querhaupt *b* sitzenden Zapfen und da ferner auf den Wellen *d* Schraubenräder *f* befestigt sind, in welche Schnecken *g* eingreifen, läßt sich jede Befestigungsscheibe ein wenig nach außen oder innen verschieben, sodaß die Abnutzung der Schneidescheiben ausgeglichen und eine ihr entsprechende Verkleinerung des Tunneldurchmessers vermieden werden kann. In den mit Zahnrädern *h* fest verbundenen Bewegungsscheiben *e* sind je sechs Stück Schneidescheiben *i* (von denen in der Zeichnung nur je eine dargestellt wurde) eingesetzt, welche sich lose auf den kleinen Zapfen *j* drehen und durch Schrauben *k* auf den Zapfen und in den Pfannen *k*₁ festgehalten werden, wie beistehende Fig. 13 zeigt. Die Pfannen wiederum, durch Schraube und Mutter längs Schlitzlen der Befestigungsscheibe verrückbar, werden je nach der Abnutzung der

Fig. 13.



⁸⁸⁾ An amerikanischen Erfindungen führt Drinker (Tunneling etc. S. 150) noch eine von Haupt konstruirte Tunnelbohrmaschine an, welche einen Stollen von 2,44 m Durchmesser für den Hoosac-Tunnel vortreiben sollte, aber nie zur Anwendung gelangte; ferner die Vorrichtungen von R. C. M. Lovell (Amer. Patent No. 67323 vom 30. Juli 1867) und von T. Lindsley (Amer. Patent No. 55514 vom 12. Juli 1866).

⁸⁹⁾ Polytechn. Centralbl. 1868. Sp. 561. — 1871. Sp. 809. — Mining Journ. 1871. S. 71. — Engineering. 1869. Bd. 7. S. 349, 355. — Engineer. 1871. Bd. 31. S. 198, 203. — E. A. von Hesse. Der unterseeische Tunnel zwischen England und Frankreich. Leipzig 1875. S. 19. — Dr. H. Zwick. Neuere Tunnelbauten. Leipzig 1873. S. 68. — Rey in Bulletin de la société scientifique industrielle de Marseille. 1880. Bd. 8. S. 233.

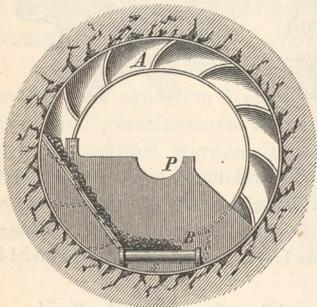
Schneidscheibe näher oder entfernter von der Axe d eingestellt. Der veränderliche Winkel der Schneidscheiben gegen den Ortsstoß ist natürlich so zu wählen, daß die Wirkung möglichst groß wird.

Die hohle Welle a trägt an ihren Enden Lager für eine von ihr umschlossene Axe m , auf welcher ein in die Zahnräder h greifendes Zahnrad l aufgekeilt ist. Ihre Bewegung erhält die Axe m durch ein am äußeren Ende befestigtes Rad n , welches durch ein weiteres konisches Rad o in Umdrehung versetzt wird, während letzteres durch Drahtseil oder auf andere Art seine Bewegung von der Umtriebsmaschine aus empfängt. Ein hohles Schraubenrad q sitzt ebenfalls auf der Welle a und greift in die Schraube r ein, deren Umdrehung durch Vermittelung der Kegelräder Tt und der Riemenscheiben s und o_1 die Welle O bewirkt. Auf solche Weise drehen sich die Schneidscheiben um die Nebenaxe d , während sie gleichzeitig um die Axe a kreisen.

Die mehrerwähnte Welle a ist am Umfange mit einem starken Schraubengewinde versehen und trägt eine Mutter mit angegossenem Zahnrad w_1 . Die außen abgedrehte Mutter dient zur Aufnahme eines Bundringes w , welcher mit ihr durch einen Keil derart verbunden werden kann, daß beide sich gemeinschaftlich bewegen müssen. An den Ohren z des Bundringes sitzen Arme Z , die an ihren äußeren Enden Schrauben tragen, mittels deren man Fußplatten in Berührung mit der Stollenwand bringen kann. Ist letzteres geschehen und wird die Maschine in Gang gesetzt, so ist die Wirkung des Wellengetriebes die, daß die Arme Z stärker auf die Stollenleibung pressen und Mutter mit Bundring ein festes Widerlager bilden, in dem sich die Maschine vorwärts gegen den Ortsstoß schraubt. Ist dieses Vorücken so weit erfolgt, daß das Ende der Schraube in der Mutter angelangt ist, so wird nach erfolgtem Anhalten der Maschine der Keil zwischen Schraube und Bundring gelöst und die Mutter durch eine Kurbel und ein in das Rad w_1 eingreifendes Getriebe vorwärts geschraubt, wobei sie den Bundring und die Arme Z mitnimmt. Eine durch den Bundring gehende Preßschraube greift nämlich in die am Umfang der Mutter angebrachte Nut ein und erlaubt die unabhängige Drehung von Mutter und Bundring, ohne daß diese Teile sich vollständig trennen können.

Um das zerkleinerte Gestein wegzuschaffen, wird auf die Schraube a , zwischen deren Vorderlager c und dem Querhaupt b , eine Trommel mit Schaufeln A aufgestellt, siehe beistehende Fig. 14, die mit der Schraube a gleichzeitig rotirt. Die Schaufeln bewegen sich gegen eine lotrechte Platte P , welche das Haufwerk auf ein endloses Band leitet, von wo es in die rückwärts zugeführten Wagen fällt. Das endlose Band geht über eine Scheibe, deren Axe mittels Riemen und Riemenscheibe von der Bohrmaschine aus getrieben wird.

Fig. 14.

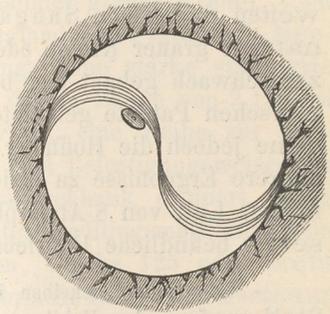


Die Schneidscheiben i , aus Stahl oder einem anderen geeigneten Metall hergestellt, mit einer Schneidkante am Umfang, erhalten je nach der Größe der Vorrichtung und der Gesteinsbeschaffenheit 0,254

—0,508 m Durchmesser und 12,7—25,4 mm Stärke. In den Ortsstoß schneiden die Scheiben, wie umstehender Holzschnitt Fig. 15 zeigt, infolge ihrer zweifachen Bewegung spiralförmige Bahnen (Epicykeln) ein, zwischen denen Absätze liegen,

gegen welche jedesmal das folgende Werkzeug zu wirken hat, wodurch dieses nicht im gewöhnlichen Sinne schneidet, sondern durch Eindringen in den Absatz Stücke von demselben absplittert. Die im Ortsstoß hervorgerufenen Spiralen besitzen ein stets gleich bleibendes Ansteigen, welches zwar von der Ganghöhe der Schraube *a* abhängt, aber dadurch, daß der auf letzterer sitzenden Mutter eine Differentialbewegung erteilt wird, verändert werden kann und zwischen 12,7 mm für Granit und 50,8 mm für weiche Gesteine schwankt. Dadurch, daß die Schneid-

Fig. 15.



Den der Tunnelbohrmaschine gemachten Vorwurf, daß sie unnötig große Mengen Gestein zerkleinere, während beim Bohren und Schießen eine solche Zerteilung nur in den Bohrlöchern erfolge und im übrigen große Stücke losgetrennt werden, daß sie demnach einen weit bedeutenderen Arbeitsaufwand verursache, sucht Brunton durch den Hinweis auf den Vorgang im Mont-Cenis-Tunnel zu entkräften, indem er anführt, daß dort der Querschnitt sämtlicher Bohrlöcher $\frac{1}{78}$ des ganzen Tunnelquerschnittes betragen habe, daß also $\frac{1}{78}$ der gesamten Gesteinsmasse in feines Pulver von mindestens 100 000 Körnern pro Kubikzoll zermalm worden sei, während die Tunnelbohrmaschine Stücke von wenigstens 1 Kubikzoll Größe erzeuge; daraus folge, daß letztere Vorrichtung weit vorteilhafter arbeite als die Gesteinsbohrmaschinen.

Versuche mit der Brunton-Maschine hat mit einem Kostenaufwande von beinahe 200 000 Franken die Société des charbonnages des Bouches du Rhône angestellt, welche mit ihr in Gardanne im Kalksteingebirge einen Stollen, der bereits 800 m Länge besaß, verlängerte⁹⁰⁾ und in den günstigsten Fällen bei 2,2 m Stollendurchmesser Fortschritte von 2—2,8 mm pro Minute erzielte, was auf die Stunde umgerechnet nur 0,12—0,17 m geben würde. Allerdings war die Kraftübertragung mittels Kette von einer am Mundloch befindlichen Kraftmaschine bis vor Ort sehr mangelhaft und lieferte bloß 12,4 Pferdekkräfte an die Bohrmaschine ab, deren Hauptwelle 150—200 Touren in der Minute machte, während man auf 300 Touren und, wie es scheint, 30 Pferdekkräfte gerechnet hatte.

In Bezug auf den Fortschritt, auf welchen man in Gardanne das Hauptgewicht legte, war man sehr enttäuscht; in günstigerem Lichte erscheint der Kraftaufwand. In mittelhartem Kalkstein des Kohlenbeckens von Fuveau erfordert die Lösung von 1 cbm Gestein 1,87 kg Pulver, während obiger mittlerer stündlicher Fortschritt von 0,145 m, beziehentlich 0,551 cbm Stollen 12,4 Pferdekkräfte benötigte, sodaß auf 1 cbm Kalkstein 22,5 während einer Stunde wirkende Pferdekkräfte kommen, welche man nach Biver mit 22,5 kg verbrannter Kohle, richtiger schon mit Rücksicht auf den Ferntrieb mit kaum weniger als vielleicht 60 kg Kohle erhalten kann. Es würden demgemäß 60 kg Kohle so viel wie die kostspieligeren 1,87 kg Pulver bei der Zertrümmerung von Gestein leisten können und es scheint

⁹⁰⁾ Biver in Comptes rendus de l'académie des sciences. 1880. Bd. 91. S. 525, 830. — Revue industrielle. 1880. S. 393. — Revue universelle des mines. 1879. Serie II. Bd. 5. S. 236. — Ztschr. f. Baukunde. 1879. Bd. 2. Sp. 507. — 1881. Bd. 4. Sp. 158. — Rey; a. a. O.

eine Ersparnis bei der Anwendung der Brunton-Maschine gegenüber der Bohr- und Sprengarbeit nicht unmöglich.

Die Haltbarkeit der Schneidscheiben war eine befriedigende und man brachte es dazu, ohne Auswechseln derselben behufs Neuschärfung bis zu 4,54 m Stollen herzustellen. Ferner gelang es, anfängliche Mißstände, welche in Nichteinhalten der Richtung und in daraus folgenden Klemmungen und Verbiegungen einzelner Teile lagen, später zu vermeiden. Von einer endgiltigen Verwendung der Brunton-Maschine in Gardanne verlautet übrigens nichts.

Den erwähnten Proben folgte die versuchsweise Herstellung eines 2,134 m weiten Stollens in Sangatte bei Calais in grauem, weichem Kreidemergel, sogenannter grauer Kreide oder Kreide von Rouen. Das hier verwandte Exemplar war zu schwach gebaut und bewährte sich nicht, sodaß die zur Ausbeutung der Brunton'schen Patente gebildete Gesellschaft im Juli 1882 daselbst ihre Arbeit einstellte, ohne jedoch die Hoffnung aufzugeben, durch Einführung von Verbesserungen günstigere Ergebnisse zu erzielen. Der Betrieb in Sangatte geschah mittels komprimierter Luft von 8 Atmosphären Ueberdruck, welche eine auf der Bohrvorrichtung selbst befindliche Umtriebsmaschine speiste⁹¹⁾.

Die Schneidscheiben haben bei Brunton's Maschine dort, wo der Ortsstoß mit dem Stollenumfang eine Hohlkante bildet, erhöhte Arbeit zu leisten. Es ließe sich der Eckwinkel verflachen, indem man die Stirnräder h und l durch Kegelräder ersetzte; dann würde, weil der Abstand der schneidenden Kanten vom Schnittpunkt der Kegelaxen stets derselbe bleibt, der Ortsstoß statt einer ebenen Stirnfläche eine Kugelhaube bilden, mit dem Kugelmittelpunkt in Schnittpunkte der Kegelradaxen. Am vorteilhaftesten scheint es, den Winkel der Axen von h und l gleich 45° zu machen, wodurch eine Halbkugel entsteht, welche sich an den Stollenumfang tangential ansetzt, sodaß jeder Eckwinkel entfällt.

§ 22. Tunnelbohrmaschine von Wandwell⁹²⁾. Wesentlich verschieden von den bisher behandelten Vorrichtungen mit schneidender oder schleifender Wirkung ist in Bezug auf den arbeitenden Teil die Maschine von Wandwell, bei welcher statt der Schneidscheiben ein großer, mit Schneidezähnen besetzter Teller Anwendung findet.

Die Einrichtung ist im allgemeinen folgende: Auf einem vierräderigen Wagen ruht eine liegende Dampfmaschine mit Kessel und Schornstein. Ihre Kurbelstange greift an einer geköpften, beidseitig über das Wagengestell hinaus verlängerten Welle an, welche mittels Kegelradübersetzung die Bohrwelle und mittels starker Rädergetriebe ein Paar Schubräder in Bewegung setzt. Die Bohrwelle stützt sich mit ihrem rückwärtigen Ende mittels einer Feder derart auf das Wagengestell, daß sie in wagerechter Richtung etwas spielen kann. Vorn trägt sie den Teller mit den Schneidezähnen und hinter demselben Löffel, in welche das arbeitende Werkzeug die Gesteinssplitter werfen soll. Die Löffel schütten ihren Inhalt in einen unten durch Schiebethüren geschlossenen Trichter und aus letzterem erfolgt die Verladung in die Grubenwagen. Da die Schneidezähne der Gebirgsbeschaffenheit angepaßt werden sollen, scheint ein bestimmter Grundsatz für ihre Form nicht ausgesprochen.

Die oben erwähnten Schubräder sind stark gezahnte Räder oder Sterne, welche, indem sie sich mit ihren Spitzen in die Stollensohle einbeißen, nicht nur ein Vorwärtsrücken der Vor-

⁹¹⁾ Forchheimer. Englische Tunnelbauten bei Untergrundbahnen, sowie unter Flüssen und Meeresarmen. Aachen 1884. S. 58. Die Maschine glich vermutlich der von Johnson beschriebenen, im Aufsatz: Brunton's Heading Machine. A paper read before the Chesterfield and Derbyshire Institute of Engineers, London 1875. — Oesterr. Zeitschr. f. Berg. u. Hüttenw. 1878. Bd. 26. S. 375.

⁹²⁾ Polytechn. Centralbl. 1857. Sp. 1125. — Le Technologiste. 1857. April. S. 381.

richtung, entsprechend der Herstellung des lichten Raumes, zu bewirken haben, sondern auch den Druck erzeugen sollen, der ein wirkliches Arbeiten der Schneidezähne herbeiführt. Statt einer fortgesetzt drehenden Bewegung könne das Werkzeug (jedenfalls erst nach einer besonders vorzunehmenden Abänderung des Umsetzungsgetriebes) auch eine wiederkehrend drehende in Verbindung mit einer vor- und rückgängigen erhalten, wodurch Druck und Stoßwirkung gleichzeitig erzielt werden soll.

§ 23. Tunnelbohrmaschine von Beaumont u. English ⁹³⁾. Diese Maschine, welche bereits die wesentlichsten Erfolge aufweisen kann, wurde in verschiedenen, etwas voneinander abweichenden Formen gebaut. Das Exemplar, welches unweit Dover in weichem Kreidemergel, sogenannter grauer Kreide, den Versuchsstollen des unterseeischen Tunnels zwischen England und Frankreich herstellte, siehe Fig. 6, Taf. XXII, hat folgende Einrichtung: Eine starke stählerne Welle *e* trägt an ihrem Ende auf einem Querbalken, dessen Länge von 2,134 m dem Durchmesser des herzustellenden Stollens entspricht, eine Reihe zur Bearbeitung des Felsens dienender Messer, deren Gestalt und Befestigungsweise an jene der Meißel einer Hobelmaschine oder einer Metaldrehbank erinnert. Die Welle *e* wird von einer mit verdichteter Luft gespeisten Zwillingmaschine von 0,305 m Kolbendurchmesser und 0,254 m Hub getrieben, welche 125 oder mehr Touren pro Minute macht, und deren Bewegung durch mehrfache Zahnradübersetzung derart übertragen wird, daß die Welle nur $2\frac{1}{2}$ —4 Umdrehungen in der Minute vollzieht.

Die Maschine zerfällt in zwei gegenseitig verschiebbare Teile (Unterteil und Oberteil), nämlich ein auf der Stollensohle ruhendes Bett *c*, welches Gleitbahnen trägt und eine aus starkem Blech genietete Mulde darstellt, deren äußerer Krümmungsdurchmesser beinahe der Stollenlichtweite gleich ist, einerseits und einen schweren, dem eigentlichen Triebwerk der Maschine als Lager dienenden gußeisernen Schlitten *b* andererseits, welcher sich längs der Gleitbahnen mit der gesamten oberen Vorrichtung fortbewegen läßt und, wenn die Maschine arbeitet, infolge von Schraubenwindungen, mit welchen die Welle *e* versehen ist, bei jeder Bohrkopfumdrehung um 7,94—19,1 mm vorrückt. Wenn der Oberteil über den Unterteil seine 1,321 m vorgeschoben ist, unterbricht man die Bohrarbeit, um mittels der Pressen *f* das obere Lager samt dem daran hängenden Bett etwas zu heben. Man setzt um und, da der Schlitten jetzt mittels der Pressen fest auf der Stollensohle ruht, rückt das Bett nach; sobald man die Pressen wieder außer Thätigkeit gesetzt hat, kann ein neuer Vorschub beginnen.

Die Zwillingmaschine setzt bei ihrem Gang auch ein Becherwerk *d* in Bewegung, welches unter der Maschine der Länge nach durchläuft, das am Ortsstoß auf die Sohle fallende Haufwerk aufschaufelt und hinter der Maschine so hoch hebt, daß es unmittelbar aus den Bechern in die Grubenwagen fällt. Den Luftverbrauch gibt Tylden-Wright bei 125 Touren und $\frac{3}{4}$ Füllung zu 7,079 cbm Luft von 2,1 Atmosphären Ueberdruck oder zu 21,2 cbm Luft gewöhnlicher Spannung pro Minute an.

⁹³⁾ Tylden-Wright in Transactions of the North of England Institute of Mining and Technical Engineers. 1882. Bd. 32. S. 6. — Colonel Beaumont. Address on the Channel Tunnel Proceedings of the Cleveland Institution of Engineers. Middlesborough 1883. — Forchheimer. Erlische Tunnelbauten. S. 64. — Specification. 1875. No. 4165. — 1880. No. 4347.

Maschine von Beaumont u. Co. In einem unter das Meer getriebenen Versuchsstollen der Association du chemin de fer sous-marin bei Sangatte unweit Calais arbeitete, ebenfalls in grauer Kreide, eine der beschriebenen ähnliche, von der Société de construction de Batignolles gebaute und von Beaumont u. Co. in Gang gesetzte Maschine⁹⁴). Sie unterscheidet sich, siehe Fig. 7, Taf. XXII, von der in Dover benutzten besonders dadurch, daß bei ihr der Vorschub nicht durch Schraubengänge, sondern auf hydraulischem Wege bewirkt wird. Der untere Teil ist nämlich mit dem Kolben, der obere Schlitten mit dem Cylinder einer in der Maschinenaxe liegenden hydraulischen Presse verbunden. Wird mittels einer kleinen Pumpe Wasser in den Cylinder getrieben, so bleibt der Kolben an Ort und Stelle und der Cylinder drückt den Schlitten vorwärts und preßt die Messer, welche gleichzeitig mit 1—3 Umdrehungen pro Minute kreisen, gegen die Stollenbrust. Wenn der obere Teil (das Bett) um 1,37 m vorgerückt ist, hört man mit dem Bohren auf, stemmt mittels einer Anzahl Schraubenwinden den Schlitten um 0,02—0,03 m in die Höhe, wobei auch das Maschinenbett sich von der Stollensohle abhebt, und läßt den Wasserdruck auf die entgegengesetzte Kolbenseite wirken, wodurch Kolben und Maschinenbett nachrücken.

Die Zwillingemaschinen in Sangatte hatten 0,305 m Kolbendurchmesser, 0,457 m Hub, sollten, mit Luft von 2 Atmosphären Ueberdruck gespeist, in der Regel 100 Touren, der Bohrkopf $1\frac{1}{2}$ Umdrehungen in einer Minute machen, während die hydraulische Vorrichtung darauf berechnet war, in dem bekannten Gestein (graue Kreide) 0,012 m Fortschritt pro Umdrehung oder, abgesehen von Aufhalten, 1,08 m Fortschritt in der Stunde zu veranlassen. Bei Miteinrechnung des Zeitverlustes beim Nachrücken hoffte man noch 1 m in der Stunde zu erreichen.

Der Stollen ging 55,2 m unter Springflut-Niedrigwasser von einem Schacht aus, in dessen Nähe vier nach Angaben von Colladon durch Sautter, Lemonnier u. Co. gebaute Kompressoren⁹⁵) aufgestellt waren. Die Luft wurde⁹⁶) gewöhnlich auf 6 Atmosphären Ueberdruck verdichtet und von der Bohrmaschine auf 2—3 Atmosphären Ueberdruck gedrosselt. Nach einem Stillstand der Kompressoren setzte man dieselben erst wieder in Gang, wenn die Pressung in den Luftbehältern auf ungefähr 2 Atmosphären gesunken war. Die Bohrmaschine, welche im Juli 1882 zu arbeiten begann und mit deren Betrieb im März 1883 nur aufgehört wurde, weil politische Rücksichten den Bau des ganzen Tunnels in Frage stellten, bewährte sich auf's beste, wie aus folgenden Angaben⁹⁷) hervorgeht.

⁹⁴) Comptes rendus de l'académie des sciences. 1882. Bd. 94. S. 1707. — Revue générale des chemins de fer. 1882 II. Bd. 5. S. 226.

⁹⁵) Colladon. Mémoires et compte rendu des travaux de la société des ingénieurs civils. 1883 II. S. 84. — Lestang. Revue industrielle. 1882. S. 194.

⁹⁶) Briefliche Mitteilung des Herrn Breton, Ingénieur-Directeur des Travaux.

⁹⁷) Forchheimer. Englische Tunnelbauten. S. 60.

1882/3 Monat	Betrieb mit 2 Kompressoren			Betrieb mit 3 Kompressoren			Betrieb mit 4 Kompressoren			Summe			Stollenfortschritt m
	Volumen der eingesaugten Luft cbm	Stunden-zahl		Volumen der eingesaugten Luft cbm	Stunden-zahl		Volumen d. eingesaugten Luft cbm	Stunden-zahl		Volumen d. eingesaugten Luft cbm	Stunden-zahl		
		Std.	Min.		Std.	Min.		Std.	Min.		Std.	Min.	
Juli	23721,423	19	41	7778,455	4	12				31499,878	23	53	9,20
August	25121,076	23	02	3408,193	2	07	423,741	13		28953,010	25	22	4,80
September	159939,555	142	54	29747,428	18	36				189686,983	161	30	133,90
Oktober	31750,969	29	34	184449,629	107	00	1112,031	29		217312,629	137	03	137,90
November				374390,205	226	57				374390,205	226	57	277,50
December	25516,362	23	05	367263,511	218	06	7249,740	3	22	400029,613	244	33	249,60
Januar	49430,430	44	31	434070,193	254	31				483500,623	299	02	298,60
Februar				493019,431	283	04				493019,431	283	04	361,50
März				323829,670	181	39				323829,670	181	39	210,53
1—18. Morgens													
Summe	315479,815	282	47	2217956,715	1296	12	8785,512	4	4	254222,042	1583	3	1683,53

Zur Erläuterung der Tabelle soll bemerkt werden, daß man nach ihr z. B. im Monate September 1882 bald mit 2, bald mit 3 Kompressoren die Kraftmaschine betrieb und zwar arbeitete man 142 Stunden 54 Minuten mit 2 Kompressoren, während welcher Zeit die Kraftmaschinenwelle 415 946 Touren machte, und andere 18 Stunden 36 Minuten benutzte man 3 Kompressoren, deren jeder 51 575 Hübe vollzog. Am 9. Februar rückte man während 24 Stunden um 24,80 m vor und der Fortschritt in den letzten anderthalb Monaten oder eigentlich $45\frac{1}{4}$ Tagen ergibt sich aus der Tabelle zu 572,03 m oder durchschnittlich zu 12,7 m in 24 Stunden, eine Leistung, wie sie sonst wohl noch nirgends vorkam. Ausbesserungen waren während der ganzen Zeit nicht notwendig und die Betriebskosten, welche zu 14 Mark 91 Pf. pro laufendes Meter angegeben werden, blieben außerordentlich gering. Oberst Beaumont soll den Stollenvortrieb zu einem Preise von 95 Franken pro laufendes Meter übernommen haben⁹⁸⁾, ein Betrag, der die Betriebsauslagen jedenfalls reichlich decken würde. Nach Breton⁹⁹⁾ genügen bei Anwendung der Beaumont-Maschine für alle vorkommenden Arbeiten zwei Belegschaften, welche zusammen 29 Mann stark sind.

Maschine im Mersey-Tunnel. Im Wasserstollen des Tunnels unter dem Flusse Mersey zwischen Birkenhead und Liverpool stellte man im März 1883 eine Maschine von Beaumont u. English auf¹⁰⁰⁾, welche einen Schraubenvortrieb besaß, der entsprechend der dort größeren Härte des Gesteines (neuer roter Sandstein) bei einer Bohrkopfumdrehung ein Vorrücken von 9,5 mm bewirkte. Es arbeiteten gleichzeitig 20 Messer und zwar nicht gewöhnliche Bohrmeißel wie in Fig. 16, sondern Scheibenmesser, siehe Fig. 17, welche, wenn sie an der eben benutzten Stelle ihres Randes stumpf geworden sind, nicht wie erstere ausgewechselt, sondern nur um ihre Axe gedreht werden müssen, damit ein anderer Teil des Umfanges zum Schneiden gelangt. Während des Bohrens dreien sie sich nämlich nicht um ihre Axe, sondern bloß um die Mittelwelle der Maschine.

Fig. 16.

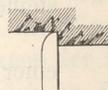
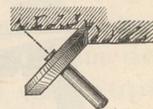


Fig. 17.



⁹⁸⁾ Comptes rendus mensuelles des réunions de la société de l'industrie minière. 1883. S. 9.

⁹⁹⁾ Ebenda; S. 61.

¹⁰⁰⁾ Forchheimer. Engl. Tunnelbauten. S. 24, 25. — Fox, Contract Journal vom 3. u. 10. Okt. 1883.

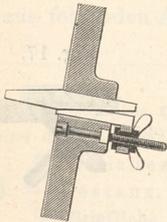
Die Zwillingmaschine hatte 305 mm Kolbendurchmesser und 457 mm Hub und wurde mit verdichteter Luft von 2,45–2,8 Atmosphären Pressung gespeist. Hauptsächliche Uebelstände bildeten nach Fox die Schwierigkeit, Richtung und Höhenlage des Stollens einzuhalten, ferner der an trockenen Stellen entstehende Staub und die durch Ausströmen der Luft verursachten Nebel, während kleinere Mängel sich allmählich beseitigen ließen. Der Fortschritt, anfangs gering, nahm stets zu und betrug zuletzt mehr als 30 m in der Woche, d. i. in 6 Arbeitstagen, bis im Januar 1884 der Durchschlag erfolgte. Ein großer Vorzug, der aus der Vermeidung der Sprengmittel entsprang: die Abnahme der Wassereinsickerungen nach Einführung der Beaumont-English-Maschine, zeigte sich unter dem Mersey sehr deutlich.

Kapitän English ließ sich auch die Anwendung einer kleineren Tunnelbohrmaschine patentieren¹⁰¹⁾, welche den Stollen etwa mannshoch aushöhlt und von einer größeren Maschine gefolgt wird, die auf demselben Lager wie die erstgenannte Vorrichtung oder auch auf einem eigenen Gestelle sitzt und das Ort bis zum Vollquerschnitt erweitert. Die Eimerkette soll hierbei so lang sein, daß sie das Haufwerk in den voll ausgebrochenen Tunnel schafft.

§ 24. Stollenbohrmaschine von Rziha u. Reska; Fig. 1—5 und Fig. 13, Taf. XXII. Die Maschine¹⁰²⁾ stimmt in vielen Beziehungen mit der Tunnelbohrmaschine Beaumont's überein und dürfte bei thatsächlicher Verwendung sehr ähnliche Erfolge aufweisen. Die Schneidstähle, siehe Fig. 13, sitzen auf einer durchbrochenen Bohrscheibe *A*, bei deren Umdrehung je mehrere derselben einen ringförmigen Schramm ausbrechen, während die anderen die zwischen den Schrammen stehen bleibenden Kerne entfernen. Es soll ferner nicht die ganze Fläche des Ortsstoßes mit den Werkzeugen in Berührung kommen, sodaß ein Teil des Gesteines nicht im eigentlichen Sinne gebrochen wird, sondern zunächst ringförmige Kerne bildet, die infolge des seitlichen Druckes schließlich abbröckeln. Die Anzahl der jeden Ringstreifen bearbeitenden Messer, die Größe der von letzteren unberührten Zwischenräume, die Breite der Schräme und Kerne richtet sich nach der Beschaffenheit des Gebirges.

Die Konstruktion der Messereinsätze mit Keil, Schraube und Flügelmutter, siehe beistehenden Holzschnitt Fig. 18, gestattet behufs Auswechslung das Herausziehen der Stähle nach hinten nach einer einzigen Umdrehung der Flügelmutter, da die Ganghöhe der Schraube gleich dem Anzug des Keiles gewählt ist. Zur Befestigung genügt eine mäßige Schraubenanspannung, weil der Gegendruck des Gesteines das Messer nur fester einkeilt.

Fig. 18.



Die Bohrscheibe *A* sitzt drehbar auf dem Kolben *C* einer hydraulischen Presse, siehe Fig. 1—4, und empfängt, mit einem inneren Zahnkranze *L* versehen, ihre Drehbewegung von einer in der Zeichnung nur mit den Kurbeln *F* angegebenen hydraulischen oder anderweitigen, auf den Tragarmen *D* und *E* ruhenden Zwillingmaschine mittels der Schnecke *G*, dem Schneckenrad *H*, der Welle *J* und dem kleinen Zahnrad *K*, sodaß der Preßkolben *C* nicht auf Verdrehung in Anspruch genommen wird.

Um das Zahnrad *K* bei dem Vorrücken der Bohrscheibe mit dem Zahn-

¹⁰¹⁾ Specification. 1881. No. 5317.

¹⁰²⁾ Deutsches Reichspatent No. 22 465 vom 29. Mai 1883. — Zeitschr. f. Baukunde. 1884. Bd. 7. Sp. 125. — Oesterr. Privileg vom 27. Okt. 1881.

kranze L in richtigem Eingriff zu erhalten, ist die Welle J in den Lagern und durch das Schneckenrad H hindurch verschiebbar und mit der hinteren Verlängerung des Kolbens C durch den Arm M , siehe Fig. 1, 2, 5, so verbunden, daß sie stets um eine gleiche Strecke vorwärts geht wie die Bohrscheibe. An dem Preßcylinder B , welcher das eigentliche Gestell der Maschine bildet, sind vier kleine Pressen $N_1 N_2 N_3 N_4$ mit Kolben $P_1 P_2 P_3 P_4$ angebracht, die durch Wasser, Luft oder anderweitig in Thätigkeit gesetzt werden und in Verbindung mit den durch Schrauben oder dergl. zu verstellenden Stempeln $P_5 P_6$ die feste Abspreizung der Maschine im Stollen ermöglichen. Da sich jede Presse einzeln unter Druck setzen läßt, so wird der erhebliche Vorteil erreicht, daß man die Maschinenlage etwas verändern und in gewünschter Richtung bohren kann.

Um nach Erreichung eines dem Vollhub des Preßkolbens C gleichen Bohrfortschritts das Maschinengestell nachrücken zu lassen, unterkeilt man die Bohrscheibe A und stemmt den Kolben C mit zwei Stützkolben $p_1 p_1$ in die Höhe, während man die Stempel $P_1 P_2 P_3 P_4$ zurückzieht. Nunmehr kann nach seiner Entleerung der Preßcylinder B längs des feststehenden Kolbens C verschoben werden; hierzu dient das Handrad T , dessen Welle in einem die Tragarme $D E$ verbindenden Querbalken verlagert ist, mittels Getriebe und Schrauben $U U_1$, welche in Seitenflügel des Armes M eingreifen.

Das auf die Sohle vor Ort herabfallende Haufwerk wird durch am Umfange der Bohrscheibe befindliche Schraubengänge S hinter die Scheibe gebracht und von da durch ein Becherwerk oder eine Förderschnecke bis zu den Grubenwagen weiter geschafft. Letztere und die Maschine selbst bei Außerdienststellung laufen auf einem Schienengleise, dessen Querschwellen sich dem runden Stollenumriß anschmiegen.

§ 25. Crampton's Tunnelbohrmaschine; Fig. 1—4, Taf. XXIII. Diese Maschine¹⁰³⁾ zeigt als Eigentümlichkeit den gemeinschaftlichen hydraulischen Betrieb der Gewinnung und Förderung und wurde im Hinblick auf die unterseeische Verbindung von England und Frankreich in Vorschlag gebracht, bei welcher der Transport der Berge infolge der großen Tunnellänge auf gewöhnliche Weise nicht durchführbar wäre.

In der Nähe des Schachteinganges stellt Crampton eine Pumpe auf, welche Wasser aus dem Meere hebt und in Accumulatoren drückt. Von ihnen führt eine Leitung B , siehe Fig. 1 und 2, Taf. XXIII, vor Ort, wo die Wasserpressung etwa 50 Atmosphären betragen soll. Damit trotz des Vorrückens der Bohrmaschine der Zufluß nur selten unterbrochen werden muß, schließt sich an B , in einer Stopfbüchse 24 m weit verschiebbar, die Leitung C an. Die Welle der Bohrmaschine wird ohne Zwischengetriebe durch den hydraulischen Motor D in Umdrehung versetzt.

Ein Becherwerk hebt das Kreidehaufwerk und schüttet es in einen geneigten Trog E , an dessen oberem Ende das Abwasser der Maschine einströmt. Das Abwasser nimmt das Haufwerk mit und führt es in eine rotirende Mischtrommel F . Eine der lotrechten Trommelendflächen wird durch ein Drahtgeflecht gebildet, das

¹⁰³⁾ Mémoires et compte rendu des travaux de la société des ingénieurs civils. 1882 II. S. 380, 528. — Engineer. 1882. Bd. 54. S. 255.

in der Mitte durch eine größere Oeffnung unterbrochen ist. Der Eintritt des Wassers und Haufwerkes findet durch diese Oeffnung, der Austritt nach inniger Mengung durch das Geflecht statt. Pumpen *G*, durch hydraulische Motoren *H* getrieben, welche ihr Druckwasser der Leitung *B* entnehmen, schaffen den gemengten Schmand durch die ebenfalls teleskopisch verlängerbare Leitung *J* in den Schachtsumpf oder weiter durch den Schacht bis zu der ins Meer mündenden Rösche.

Die dargestellte Bohrmaschine sollte für die Herstellung eines Stollens von 2,40 m Lichtweite dienen. Auf dem gemeinschaftlichen sich drehenden Rade oder Bohrkopf sitzen 24 Schneidscheiben, deren jede bei einer Radumdrehung einen ringförmigen, höchstens 2 mm tiefen Streifen abarbeitet, dessen Breite ungefähr dem vierten Teil des betreffenden Scheibendurchmessers gleich sein soll. Die Schneidscheiben können sich um ihre eigenen Axen frei drehen und vollziehen daher beim Arbeiten Eigendrehungen, welche der Hauptbewegung entgegen gerichtet sind; hierdurch wird bezweckt, daß stets ein anderer Teil der Kante in Wirkung trete und daß die Abnutzung sich verringere.

Crampton gibt an, er habe mit einem ähnlichen Modell 5 m Fortschritt in der Stunde erzielt, ohne die Scheiben auszuwechseln. Die Gewinnung von je 1 cbm Kreide pro Stunde erfordere eine Arbeit von $2\frac{1}{2}$ Pferdekräften oder 675 000 mkg, welche Zahl mit den Erfahrungen in Sangatte (siehe Seite 405) in Widerspruch steht. Der Druck des Wassers auf die teleskopische Rohrverbindung von *B* mit *C* soll die Maschine vorwärts pressen, wobei man zur Regelung der Geschwindigkeit ein Zahnrad in eine Zahnstange eingreifen läßt oder eine andere Vorkehrung anwendet.

Nach Crampton's Vorschlägen sollte übrigens der Kanaltunnel, dessen Durchmesser er zu 10,8 m annimmt, durch seine Maschine im vollen Querschnitt ausgebohrt werden, wozu 72 Schneidscheiben erforderlich seien, welche bei einer Bohrkopfumdrehung konzentrische Ringe von 75 mm Breite und 2 mm Tiefe ausarbeiten; bei 10 Umdrehungen des Bohrkopfes pro Minute gäbe das an seinem Umfange die hohe Geschwindigkeit von 5,6 m per Sekunde. Der Fortschritt würde dann, von Aufhalten abgesehen, 1,2 m in der Stunde betragen.

C. Maschinen für rolliges Gebirge.

§ 26. Tunnelbauverfahren von Brunel; Fig. 7, Taf. XXIII. Der älteste Entwurf einer für die Durchörterung weicher Massen bestimmten Maschine ist wohl der von Sir Marc Isambart Brunel für die Herstellung eines Themsetunnels zwischen Rotherhithe und Wapping in Aussicht genommene Bohrschild¹⁰⁴). Die runde, schraubenförmig gewundene Scheibe *ABD* sollte, von einer Mittelwelle *C* langsam gedreht, sich in das Erdreich einarbeiten. Dem Schild folgt bei dieser Anordnung eine aus einzelnen Platten bestehende Eisenverkleidung, welche man dadurch weiterführt, daß man in dem Maße, wie der Schild vorwärts dringt, das endgiltige Mauerwerk verlängert und die frei werdenden Eisenplatten der Reihe nach vor Ort wieder anbringt. In die Erde getriebene Stützen sollten die feste Lage der Tunnelröhre im nachgiebigen Boden sichern.

Brunel gab später den dargelegten Plan auf; er entschloß sich, das Bauwerk nicht als gemauerte Röhre, sondern als vierkantigen Mauerklotz mit zwei

¹⁰⁴) Rziha. Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst, 2. Aufl. Berlin 1874. Bd. II, S. 319.

nebeneinanderliegenden Aussparungen von angenähert eiförmigem Querschnitt auszuführen. Den Ortsstoß versicherte er hierbei mit Zumachebrettern und erfolgte deren Wegnahme und Anbringung, sowie das Abgraben des Gebirges von Hand. Die Zumachebretter stützten sich gegen 12 nebeneinander gestellte aufrechte Rahmen, deren Verschiebung maschinell erfolgte, indem man sie mit Hilfe von Schraubenpressen vorwärts drückte. Der Bau Brunel's begann 1825 mit der Abteufung der Uferschächte und wurde unter den schwierigsten Bodenverhältnissen, welche einen neunmaligen Wassereinbruch veranlaßten, nach achtjährigem Stillstand (1828—36) zu Ende geführt, sodaß 1843 die Eröffnung stattfinden konnte. Die hohen Kosten (die Angaben schwanken von 27600—32800 Mark pro laufendes Meter) und die zahlreichen Unfälle zeigen, daß Brunel's Verfahren, so außerordentlich sinnreich und bemerkenswert es war, sich in seiner Gesamtheit nicht zur Nachahmung empfiehlt. Auf eine nähere Wiedergabe der nicht einfachen Anordnungen darf hier unter Hinweis auf die ausgedehnte bezügliche Litteratur¹⁰⁵⁾ verzichtet werden und es genügt die Bemerkung, daß von Brunel's Einrichtungen sich die Zerlegung der Tunnelbrust in einzelne, mit Zumachebrettern verschließbare Fächer und die Anwendung von Schraubenpressen bei späteren Methoden anderer Ingenieure wiederfindet.

§ 27. Tunnelbauverfahren von Barlow; Fig. 8—13, Taf. XXIII. Zur Herstellung eines Stollens (Tower-Subway) unter der Themse in der Nähe des Towers ersann P. W. Barlow ein Verfahren¹⁰⁶⁾, welches unter Leitung seines Sohnes zur Anwendung gelangte. Der Bau des zwischen den Mitten der Uferschächte 402,3 m langen Tunnels begann im Februar 1869 und schritt während der ersten fünf Monate mit einer mittleren Geschwindigkeit von 1,62 m per Tag vor, die sich später bis auf 2,74 m steigerte, sodaß im November 1869 der Durchschlag erfolgte. Das Gebirge — London Clay, also zäher Thon, der bei Luftzutritt zu Anschwellungen neigt — zeigte sich, obgleich an einer Stelle die Flußsohle sich bis auf 6,7 m der äußeren Tunnelleibung nähert, so trocken und undurchlässig, daß man das zur Mörtelbereitung erforderliche Wasser von außen zuleiten mußte.

¹⁰⁵⁾ Ebenda; S. 321. — Hagen. Handbuch der Wasserbaukunst. 3. Aufl. Berlin 1874. 2. Teil. Bd. III. S. 326. — Henry Law in Weale's Quarterly Papers on Engineering. 1846. Bd. 5. — Sketches and memoranda of the works for the Tunnel under the Thames from Rotherhithe to Wapping, published and sold at the Tunnel works and by Messrs. Harvey and Darton, 55, Grace-church Street. 1827. — Description des travaux entrepris dans la construction de la tonnelle ou passage sous la Tamise entre Rotherhithe et Wapping. Londres, Warrington et Co., 27, Strand. 1851. Diese Beschreibung soll auch in englischer, deutscher und holländischer Sprache veröffentlicht worden sein. — Civil Engineering by Henry Law u. G. R. Burnell. 5. Aufl. Mit Bemerkungen und Zeichnungen von Mallet. Straham & Co., 56, Ludgate Hill, London 1869. Teil I. S. 23. — Brunel u. A. in Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. 1837. S. 32. — 1838. S. 5, 23. — 1839. S. 44. — 1840. S. 85. — 1841. S. 167. — 1843. S. 29, 80, 93. — 1849/50. Bd. 9. S. 14, 19. — Debauve. Manuel de l'ingénieur. Fascicule 12. S. 92. — Allgemeine Bauzeitg. 1838. S. 158. — 1839. S. 47, 328. — 1840. S. 372. — Zeitschr. f. Bauwesen. 1856. S. 170. — Schön. Der Tunnelbau. 2. Aufl. Wien 1874. S. 268. — Becker. Allgemeine Baukunde des Ingenieurs. 4. Aufl. Leipzig 1883. S. 473.

¹⁰⁶⁾ Drinker. Tunneling etc. 1. Aufl. S. 796. — 2. Aufl. S. 890. — Debauve. Manuel. Fasc. 12. S. 94. — Schön. Tunnelbau. 2. Aufl. S. 273. — Piéron in Annales des ponts et chaussées. 1870. Bd. 19 I. S. 520. — v. Gabriely in Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1871. S. 2. — Engineer 1870. Bd. 29. S. 92. — Builder. 1870. Febr. S. 141.

Der Themsestollen hat einen kreisförmigen Querschnitt von 2,13 m Lichtweite und seine Verkleidung besteht aus zusammengeschraubten Gußeisenringen von 22 mm Fleischdicke und 0,452 m Breite. Jeder Ring besteht, siehe Fig. 8, aus drei gleich großen Wölbplatten *E* und einer vierten kleineren Schlußplatte *F*. Während die Flanschen der beiden unteren Lagerfugen gegen die Mitte gerichtet sind, stehen die beiden oberen lotrecht, welche Anordnung es ermöglichte, die Schlußplatte von unten einzubringen. Sowohl die Lager- als auch die Stoßfugen sind mit Medina-Cement gedichtet.

Die Aufstellung der Ringe erfolgte unter dem Schutze eines genieteten Schildes *G*, der mit einem Mantel *H* über die Gußeisenverkleidung zurückgriff. Der Mantel war um 0,05 m weiter als die äußeren Ringleibungen und ließ daher einen Zwischenraum, welchen man behufs Schutz des Gußeisens vor dem Verrosten mit rasch bindendem Liaskalk-Mörtel ausfüllte. Dem Tunnel ließ man stets ein 2—3 m langes Richtort voranschreiten, welches nur hart am Schilde auf eine kurze Strecke auf den Vollquerschnitt erweitert wurde und im übrigen bloß 1,80 m Höhe und 1 m Breite besaß. Seine Ausschachtung erfolgte von Hand durch Arbeiter, welche mittels in der Schildmitte befindlichen Mannloches Zugang fanden. War ein 0,452 m breiter Ring aufgestellt, so schraubte man gußeiserne Pfannen *K* an demselben fest und drehte sechs in den Schild eingreifende Schrauben *J*. Zunächst bewirkte die Drehung, daß die Schrauben sich gegen die Pfannen stemmten, und dann, daß der Schild vorwärts rückte, eine Bewegung, welche dadurch erleichtert wurde, daß der Mantel gegen das Richtort zu über die aufrechte Schildscheibe um 0,228 m vor-kragte. Sobald Raum für die Anbringung eines neuen Ringes gewonnen war, drehte man die Schrauben wieder zurück und nahm die Preßköpfe wieder ab. Das Verfahren war sehr zweckentsprechend und der Tunnel, dessen Querschnitt allerdings gering ist, kostete nur ungefähr 800 Mark pro laufendes Meter.

Als Gegenstück zu den Schilden Brunel's und Barlow's verdient vielleicht auch ein Projekt von Thomé de Gamond¹⁰⁷⁾ Erwähnung, wonach behufs Herstellung einer festen Verbindung von England und Frankreich die Mauerung eines auf dem Meeresgrund ruhenden Tunnels unter dem Schutz eines 25 m langen, halbcylinderförmigen Schildes zu geschehen hätte. Der Schild sollte mit federnden Ringen an der Außenleibung des fertigen Gewölbes schleifen und mit Hilfe eines Traggerüstes auf den stets zu verlängernden beiden Gleisen der endgiltigen Bahn weiterfahren. Damit man etwelche Hindernisse hinwegräumen könne, habe vor dem vom Schild geschützten Raum und von ihm durch Luftschleusen getrennt eine Ausschachtkammer voranzuschreiten, über deren Bau jedoch nichts Näheres angegeben wird. Uebrigens empfahl Thomé de Gamond das beschriebene Projekt nicht zur Ausführung.

§ 28. Tunneltreibmaschine von Beach¹⁰⁸⁾; Fig. 14 und 15, Taf. XXIII. Für die Herstellung einer pneumatischen Untergrundbahn in New-York in dem erdigen und sandigen Boden genannter Stadt hat Beach eine Bauweise angegeben, welche mit jener Barlow's viel Aehnlichkeit besitzt. Beach bewirkt den Vortrieb,

¹⁰⁷⁾ Thomé de Gamond. Mémoire sur les plans du projet nouveau d'un tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France produits à l'exposition universelle de Paris 1867 et sur les différents systèmes projetés pour la jonction des deux territoires depuis l'origine de ces études en 1833. 2. Aufl. Paris, Dunod, 1869. S. 8.

¹⁰⁸⁾ Mohr in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1880. Bd. 14. S. 576. — Drinker. Tunneling etc. 1. Aufl. S. 862. 2. Aufl. S. 956. — Scientific American. 1870. Bd. 23. S. 154. — 1872. Bd. 26. S. 183. — Illustrated Description of the Broadway Underground Railway etc. New-York. Published by the Beach Pneumatic Transit Co. 1872.

indem er einen kräftigen Ring von gleichem Außendurchmesser wie das Mauerwerk des kreisrunden Tunnels (im vorliegenden Falle 2,48 m) mittels hydraulischer Pressen in den Ortsstoß eintreibt.

Der Ring besteht, wie aus Fig. 14 und 15 ersichtlich, aus zwei gußeisernen Reifen *A* und *B*, zwischen welchen der Holzring *C* liegt, und sind diese drei Teile durch Bolzen miteinander verschraubt. Die vom Ring *A* umschlossene Scheibe ist in Fächer geteilt durch Bohlen, welche der Erde mit Stahlblech armierte Schneiden zukehren und gleichmäßig mit dem Ring in den Boden vorwärts dringen. In dem Ringe *B* sind 18 Stück stählerne hydraulische Preßcylinder eingelassen, welche mit einer seitwärts am Holzringe befestigten Preßpumpe *E* derart durch Rohre *F* in Verbindung stehen, daß man mittels der Hähne *G* jeden einzelnen Preßcylinder nach Belieben anschließen oder ausschalten kann. Der Durchmesser eines Preßkolbens beträgt 58 mm, der Hub 410 mm.

Um den Ring *B* ist ein Mantel *J* von 3 mm starkem Eisenblech gelegt, welcher nach rückwärts 700 mm über den Ring hinausragt, stets den vordersten Teil des endgiltigen Tunnelmauerwerkes umschließt und beim Fortrücken sich vorwärts schiebt. Vor dem jeweiligen Ende der Mauerung ist ein beiderseitig mit 10 mm starkem Eisenblech beschlagener Holzring *H* angelegt, welcher die Aufgabe hat, den etwa 12000 kg betragenden Druck der Preßkolben gleichmäßig auf das Mauerwerk zu verteilen und dasselbe somit vor Zerstörung zu schützen.

Die Arbeit erfolgt nun in der Weise, daß zwei Mann durch Bewegung des Pumpenkolbens den gesamten Apparat vorwärts schieben, während zwei andere Arbeiter durch eiserne Stangen den Boden schon im voraus aufzulockern suchen. Zu diesem Zwecke, ferner damit sich die vom Ring und den Fachwerksbohlen verdrückten Massen überhaupt beseitigen und nach Befinden auch größere Steine wegnehmen lassen, sind die Bretter so eingelegt, daß sie einzeln herausgenommen werden können. Die gewonnenen Massen werden durch zwei weitere Arbeiter hinweggefördert.

Ist nun auf solche Weise die Vorrichtung entsprechend der Hubhöhe der Preßkolben, also um 410 mm, vorwärts gegangen, so läßt man die Preßkolben und den Ring *H* nachrücken und verwahrt die frei gewordenen, zunächst nur von dem schwachen Eisenmantel umgebenen 410 mm Tunnelraum endgiltig durch Ausführung der entsprechenden Länge Mauer, worauf das Vorwärtsschieben des Ringes in der gedachten Weise aufs neue zu bewirken ist.

Auf die Ausführung der Arbeit, welche, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, an sich ziemlich einfach ist, muß die peinlichste Sorgfalt verwendet werden, weil dem Freiwerden des Tunnelraumes der endgiltige Ausbau mit Mauerwerk auf dem Fuße folgt und jede nachträgliche Verbesserung der Richtung unmöglich ist. Man muß die entstandene Tunnelrichtung ununterbrochen genau prüfen und jede unbeabsichtigte Abweichung in ihren ersten Anfängen sofort bekämpfen, was übrigens höchst einfacher Weise dadurch geschieht, daß man die Preßkolben jener Seite, nach welcher die Tunnelaxe hinzulenken ist, entweder gänzlich ausschaltet oder daß man durch teilweise Schließung der Hähne bei ihnen eine langsamere Fortbewegung bewirkt als an den übrigen Punkten des Ringumfangs. Das Verfahren der teilweisen oder gänzlichen Ausschaltung einzelner Preßkolben gibt auch die Möglichkeit an die Hand, auf die leichteste Art den Tunnel in einer Curve auszuführen und bedarf es ebenfalls nur einer

öfteren Nachmessung des entstehenden Bogens, um die gewünschte Krümmung zu erzielen.

Im Jahre 1868 wurde unter dem Broadway in New-York eine Probevorrichtung von etwa 1,70 m Durchmesser in Gang gesetzt. Mit der beschriebenen größeren Maschine waren im Februar 1870 unter derselben Straße ungefähr 90 m eines zum Teil in einem Bogen von 15,24 m Halbmesser gelegenen Tunnels hergestellt, dessen Weiterbau übrigens später eingestellt wurde, weil die Beach Pneumatic Transit Company keine Konzession¹⁰⁹⁾ für die Beförderung von Personen erhielt. Endlich benutzte man 1871—72 zwei Maschinen von Beach, um unter den Straßen von Cincinnati (Ohio) einen Hohlengang von 2,44 m Durchmesser zu bauen, dessen Trace unter anderem auch zwei Kanäle kreuzt.

Ein 42,7 m langes Stück des Wasserstollens der Stadt Cleveland, welcher unter den Eriesee getrieben wurde, stellte man, weil das Gebirge daselbst besonders druckhaft war, mittels einer ähnlichen Vorrichtung¹¹⁰⁾ fertig. Man benutzte zur vorläufigen Verkleidung des noch unvermauerten Raumes einen 1,829 m langen Mantel von 1,981 m lichtigem Durchmesser mit zwei gußeisernen Versteifungsringen von 102 mm im Geviert, welche dort verbreitert waren, wo die Cylinder der hydraulischen Pressen sie durchsetzten. Der Mantel ließ in seinem Innern gerade noch Platz für den vorgeschriebenen Mauerquerschnitt. Am Vorder- oder Schneidende konnten mittels wagrechter und lotrechter Bretter Fächer gebildet werden; man legte jedoch nie mehr als zwei wagrechte Laden ein, weil dann die Reibung des Lettens schon genügte, um ein zu rasches Einlaufen zu hindern. Das Hinterende war auf 61 cm glatt gehalten, um über das Mauerwerk gleiten zu können. Gewöhnlich fand ein Vorschub des Mantels statt, nachdem man 406 mm gemauert hatte, sodaß immer 20 cm Mauerwerk im Mantel steckten.

Wo der Letten sehr weich war, bekam beim Vorschieben das Gemäuer Querrisse. Man keilte dann aus Gußeisenteilen zusammenschraubte Ringe vor den Rissen fest. Anfangs benutzte man 12 Schraubenpressen, welche sich aber zu schwach zeigten; später hydraulische Pressen, welche zusammen einen Druck von 137 000 kg ausüben konnten, aber dennoch zuweilen kaum ausreichten. Trotz aller Anstrengung erfolgte eine Axenabweichung von 2° 46' nach links und an einer Stelle ein Richtungsfehler nach unten. Der auf dem Mantel lastende Druck soll ungefähr 4,35 kg pro qcm betragen haben und war für die Konstruktion zu stark; die Gußeisenringe erlitten Brüche und die Schmiedeisenhülle eine Zusammendrückung von 10 cm.

Durand¹¹¹⁾ schlug zur Ausführung von Tunneln unter Wasser die Anwendung von undurchlässiger Leinwand vor, von welcher manche Sorten selbst bei 10 Atmosphären Druck kein Wasser durchsickern lassen sollen. Nachdem der Flußgrund vorgebaggert ist, wird an das im Trocknen hergestellte Tunnelhaupt der Leinwandsack befestigt, während die ganze übrige Länge des letzteren in einem Röhrenschild gelagert bleibt, welcher mittels hydraulischer Pressen vorwärts geschoben werden kann. Die Neigung des Schildes soll entsprechend der gewünschten Tunnelage durch Verschiebung des Schildschwerpunktes bewirkt werden. Zur Lüftung dient eine von dem Schild aufsteigende, durch eine Boje gehaltene Röhre, an welche auch die Leinwand befestigt wird, damit sie beim Vorwärtsschreiten Führung finde.

§ 29. Verfahren von v. Ruppert¹¹²⁾. Bei der Durchführung einer Wasserleitung unter dem Wien-Neustädter Schiffahrts-Kanal kam Baudirektor Karl v. Ruppert auf den trefflichen Gedanken, statt das Bett trocken zu legen und das zur Aufnahme der Leitung bestimmte Siel in einer offenen Baugrube zu mauern, einen Rohrstrang unter den Schiffahrts-Kanal durchzupressen. Das Gebirge war

¹⁰⁹⁾ Scientific American. 1872. Novemb. S. 279.

¹¹⁰⁾ Drinker. Tunneling etc. 1. Aufl. S. 852. — 2. Aufl. S. 947.

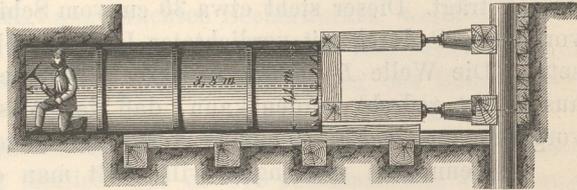
¹¹¹⁾ Annales industr. 1872. Mai. S. 576. — Zeitschr. d. Arch. u. Ing. Ver. zn Hannover. 1873.

Bd. 19. Sp. 97.

¹¹²⁾ Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1871. S. 245.

feuchter, gelber Lehm. Es wurden sieben gußeiserne Röhren angewendet von 3,793 m Länge, elliptischem Querschnitt von 1,106 m großer und 0,869 m kleiner Innenaxe, 15,3 mm Wanddicke und nach innen gerichteten 0,125 m breiten Flanschen mit 14 Löchern für die Schraubenbolzen. Der Vorderrand des erstverlegten Rohres war zuge-schärft, wie beistehender Holz-schnitt zeigt.

Fig. 19.



Der mit der Ausführung betraute Ingenieur Böck ließ zunächst eine Baugrube aus-schachten, sodann fünf Pfähle ein-rammen, welche das feste Widerlager bei dem Durchpressen bilden sollten, und einen Rost als Unterlage für das erste Rohr legen, welcher demgemäß genau die beabsichtigte Neigung (1 : 100) des künftigen Durchganges erhielt. Um das Ein-dringen in den Lehm zu erleichtern und doch nicht aus der Richtung zu kommen, wurde vor dem Rohre immer ein Hohlraum von 0,316 m Länge, aber nur 1 m Weite ausgegraben. Zur Wegschaffung der Erde diente ein kleiner Wagen. Das Vorwärtsdrücken erfolgte derart, daß drei Mann mit eisernen Hebeln gleichmäßig drei Schraubenwinden in Bewegung setzten, bis 0,316 m Fortschritt erzielt war; dann wurde wieder auf 0,316 m Länge Erde weggeräumt und abermals nachge-schoben, nachdem man zwischen Rohr und Winden mittlerweile Holzstücke einge-setzt hatte, welche um 0,316 m Länge die vorher benutzten übertrafen.

Wenn ein Rohr vollständig eingedrungen war, so setzte man ein zweites mit gewöhnlichem Hanfzopf und Mennigdichtung an seine Flanschen an und verfuhr dann wie früher. Die Gußrohre bildeten zusammen eine Strecke von 26,550 m Länge, von der jedoch nur 21,81 m und zwar während der Zeit vom 30. Juni bis zum 2. August 1870 in zusammen 28 Stunden gepreßt wurden.

Die Kosten stellten sich, den Gulden österr. Währung zu 2 Mark gerechnet, wie folgt:

	M.	Pf.
Ausheben der Baugrube, Herstellung der Vorrichtung zum Durchpressen samt Beseitigen derselben und Wiederverschüttung der Baugrube . .	2618	08
Bei der thatsächlichen Durchpressung verwendet 132 Arbeitsschichten zu 2 M 40 Pf.	316	80
Beistellen der Gerüsthölzer, des Verdichtungsmaterials der Flanschen, Beischaffung der Beleuchtung im Innern des Rohrstranges u. s. w. . .	1239	72
Lieferung der 7 Stück gußeiserne Röhren im Gesamtgewicht von 19,65 Tonnen	4420	72
Zusammen	8595	32

Das durch v. Ruppert und Böck gezeigte Verfahren empfiehlt sich zur Wiederholung bei kleineren Ausführungen, wie sie bei Siel- und Wasserleitungs-anlagen häufig vorkommen, scheint jedoch bis jetzt noch nicht die verdiente Be-achtung gefunden zu haben.

§ 30. Tunnelbohr- und Treibmaschine von Dowd¹¹³⁾; Fig. 16 und 17,

¹¹³⁾ Scientific American. 1880. Neue Serie. Bd. 43. S. 279. — Der Techniker. New-York. 1880. 3. Jahrg. S. 32. — Lang in Allg. Bauzeitg. 1881. S. 60.

Taf. XXIII. Der eiserne Schild *A*, welcher weiter ist als die aus gußeisernen Ringen zu bildende Tunnelverkleidung *B*, greift mit einem Mantel über dieselbe zurück und ist vorn wasserdicht durch die aus einzelnen Teilen zusammengesetzte starke Kappe *C* abgeschlossen, welche in ihrer Mitte im Lager *D* die drehbare Welle *E* mit dem stählernen, beidseitig mit stumpfen Schneidkanten versehenen Arm *F* trägt. Dieser steht etwa 30 cm vom Schild ab und wird mittels der Zahnradvorgelege *G* durch mit verdichteter Luft getriebene Maschinen in Umdrehung versetzt. Die Welle *E* enthält in ihrer Mittelaxe ein Wasserrohr, welches vom Ort aus derart gedreht werden kann, daß das Wasser in eine der beiden im Arm *F* vorgesehenen, in Fig. 16 und 17 gestrichelt angegebenen Leitungen eintritt.

Wenn man vordringen will, läßt man die Welle mit dem Arm sich nach der passend scheinenden Richtung drehen und das Wasser, an dessen Stelle auch Preßluft benutzt werden kann, behufs Lockerung und Erweichung des Bodens auf jener Armseite ausströmen, welche die Schneidarbeit zu verrichten hat. Wo es notwendig ist, sollen an der Außenfläche des Schildes mündende Sandpumpen, bestehend aus einem inneren und einem äußeren Rohr, zur Anwendung kommen. Durch das erstere läßt man verdichtete Luft strömen, welche den Sand und Schlamm, der keinen andern Ausweg hat, in das letztere treibt, aus dessen gekrümmtem Ende er unmittelbar in den Grubenwagen *K* hineinfließt. Mittels schräg gestellter Sandpumpen sollen im Wege liegende Steine unterspült werden, bis sie unter die Tunnelsohle hinabsinken. Bei Felsgebirge ist der Arm *F* mit geeigneten Schneidwerkzeugen zu versehen.

Der Schild wird durch hydraulische Pressen *H* (im Längsschnitt ist der Deutlichkeit wegen nur die oberste Presse gezeichnet) vorwärts gedrückt. Die bereits erwähnten, zur endgiltigen Tunnelverkleidung dienenden Gußringe sind nicht kreisrund, sondern oval und zwar weniger weit als hoch, sodaß sie sich, siehe Fig. 16, durch die fertig gestellte Strecke transportiren lassen. Der Rücken der frisch gegossenen Ringe wird, ehe sie noch ganz erkaltet sind, mit einem vor Rost schützenden Ueberzug bedeckt; an das vordere Ende kommt über den Ueberzug ein Eisenreif, dessen Außenfläche genau in die Innenleibung des Schildmantels paßt und, wenn letzterer vorwärts bewegt wird, zur Führung und zum wasserdichten Abschluß dient. Etwelche Gußunregelmäßigkeiten gleicht also der Reif aus. Sind mehrere Ringe aufgestellt, so werden zu ihrer Verbindung eiserne oder stählerne Anker *O* warm aufgezogen, welche, wie Fig. 16 andeutet, angegossene Knaggen fassen.

Zur thatsächlichen Anwendung dürfte das von Dowd angegebene Verfahren noch nicht gekommen sein, obwohl es gut ausgedacht scheint und sich für rolliges oder aufgelöstes Gebirge recht wohl eignen dürfte.

§ 31. Tunnelbohrmaschine von Taskin; Fig. 5, Taf. XXIII. Im Grundgedanken nicht wesentlich abweichend von der Vorrichtung Dowd's ist die im Jahre 1878 in Paris ausgestellt gewesene Tunnelbohrmaschine von Taskin¹¹⁴⁾. Ein eiserner Mantel von etwa 2 m Durchmesser, welcher vorn durch einen Schild teilweise geschlossen ist, gleitet auf dem eigentlichen Ausbau des Tunnels und ist gegen das vordere Ende des letzteren durch mehrere Pressen *P* abgesteift. Vor

114) Revue univ. d. mines. 1880. Serie II. Bd. 8. S. 264.

dem Schilde befindet sich der um eine wagrechte Axe drehbare, mit einer Anzahl Meißel ausgerüstete Bohrer *T*, welcher sowohl drehend als stoßend wirken kann und welchem man den erstgedachten eisernen Mantel, je nach dem Fortschritte des Bohrers im Gebirge, mittels der erwähnten hydraulischen Pressen nachrücken läßt. Die von verdichteter Luft gespeiste Maschine *R* bewirkt die Drehbewegung des Bohrers und den Gang eines geneigt angebrachten Becherwerkes, welches, mit dem tiefen Ende vor den Schild greifend, hier die vom Bohrer losgelösten Gesteinsmassen faßt und nach rückwärts fördert. Zur Stoßbewegung des Bohrers dient, wie es scheint, die Maschine *S*.

Taskin beabsichtigte, seine Vorrichtung in Tunneln unter Wasser zu benutzen und innerhalb des Eisenmantels, ähnlich wie es bei pneumatischen Gründungen geschieht, unter erhöhtem Luftdruck zu arbeiten. Er schloß daher das Tunnelende durch je eine Scheidewand mit Thür sowohl gegen den vorderen Arbeitsraum als auch gegen den rückwärtigen Tunnel ab und bildete so eine Luftschleuse *U*.

Diese Anordnungen erscheinen rationell und vorteilhaft, haben aber noch keine Probe durchgemacht.

§ 32. Tunneltreibmaschine von Dunn¹¹⁵⁾; Fig. 6, Fig. XXIII. Diese Vorrichtung, für den Bau von Tunneln unter Wasser bestimmt, verlangt aufgelöstes Gebirge wie Sand oder Schlamm. Die Tunnelverkleidung besteht aus einer äußeren mit Guttapercha oder einem anderen geeigneten Stoffe *A* überzogenen Holzumhüllung *B*, welche eiserne Reifen *C* zusammenhalten, einer zweiten (mit *D* bezeichneten) Holzumhüllung und einer inneren Auskleidung aus etwa 16 mm starken, mit Flanschen versehenen Blechen, welche wasserdicht miteinander zu verbinden sind.

Der Tunnel wird innerhalb eines starken guß- oder schmiedeisernen Schildes gebaut, welcher sich mittels der Liderung *E* wasserdicht an die Tunnelaußenfläche anlegt. Der Hinterteil des Schildes erstreckt sich mit elliptischem Querschnitt auf etwa 5,2 m Länge und wird durch eine dichte Wand *F* von dem als Pflug mit stählernen Schneiden ausgebildeten, durch innere Längswände versteiften Vorderteil getrennt, in welchen man zur weiteren Verstärkung durch das Rohr *G* verdichtete Luft eintreten läßt.

Zum Vortrieb des Pfluges dient ein Kolben *H*, welcher den ganzen elliptischen Lichtquerschnitt des Schildes ausfüllt. Man preßt mittels der Pumpe *J* durch die Leitung *K* Wasser aus dem röhrenförmigen Behälter *L* in den Raum zwischen *H* und *F*. Zunächst geht der Kolben *H* zurück, bis er sich an das Ende der fertigen Tunnelverkleidung anlegt, dann aber muß der Pflug nachgeben, den Schlamm oder den Sand verdrängen und vorwärtsrücken. Ist dies geschehen, so dreht man den Dreiwegehahn *M* so, daß das Wasser in den Wagenkasten zurückfließen kann, der mit dem Behälter *L* in Verbindung steht, und schiebt mittels Schrauben den Kolben *H* wieder vor, um die endgiltige Tunnelverkleidung zu verlängern.

Von der beschriebenen Ausführungsweise lassen sich zahlreiche Abweichungen treffen; insbesondere kann man die Pumpe über Tage aufstellen und verdichtete Luft statt des Wassers anwenden. Gegenüber der einfachen Anwendung eines Schildes erscheint das zuletzt geschilderte Verfahren, welches Dunn vielleicht in Hinblick auf eine Durchkreuzung der Newa erdacht

¹¹⁵⁾ Specification. 1849. No. 12632. — The Mechanic's Magazine. 1849. Bd. 51. S. 547.

hat¹¹⁶⁾, umständlich und kostspielig; auch fehlen Vorkehrungen, um den Pflug zu lenken und etwaige Hindernisse, Steine u. dergl., hinwegzuräumen.

Greathead¹¹⁷⁾, der seiner Patentbeschreibung keine Zeichnungen beigibt, will ebenfalls einen Schild verwenden, der als Pflug ausgebildet ist, sich nach rückwärts als Mantel über einen Teil der endgiltigen Tunnelverkleidung erstreckt und durch Schrauben oder hydraulische Pressen vorwärts gedrückt wird. Bei Arbeiten unter Wasser sollen Guckfenster angebracht werden, sowie Oeffnungen zum Hinausstecken von Werkzeugen, insbesondere von Röhren, aus denen man einen Wasserstrahl treten lassen kann, welcher den Grund wegspült.

Wenn Baggerung bei der Entfernung des Bodens mitwirken soll, so ist die untere Axe der Eimerkette an einem vom Schild ausgehenden Arme zu befestigen, also dem Bagger durch dem Schild Führung zu geben. Grabwerkzeuge, nämlich sich drehende Schrauben oder Schaufeln, kann der Schild ebenfalls tragen. Schließlich ist letzterer mit Kammern zu versehen, die man behufs Einhaltung der gewünschten Höhenlage des Tunnels mit Wasser füllt oder entleert, während Dammthüren dazu dienen sollen, bei Unfällen einem Ertrinken der ganzen Anlage vorzubeugen.

§ 33. Lang's Anwendung des Gefrierverfahrens von Poetsch. Die bisher besprochenen Methoden, mildes oder schwimmendes Gebirge zu durchfahren, suchten durch Benutzung mehr oder weniger dichter Schilde das Eindringen von Wasser in den Tunnel zu verhindern, während Lang¹¹⁸⁾ die Anwendung des von Poetsch¹¹⁹⁾ erfundenen Gefrierverfahrens empfiehlt. Bei Tunneln unter Wasser durch rolliges Gebirge sollen hohle Eisenröhren (Rammröhren) mit massiver Spitze vor Ort in die Erde getrieben werden und nach vollendeter Rammung die Gefrier- röhren aufnehmen, welche von Zeit zu Zeit innerhalb der Rammröhren verschoben werden sollen. Die Durchleitung der kalten Chlorecalcium- oder Chlormagnesium- lauge bewirkt ein Erstarren der umgebenden Erde, sodaß die Ausschachtung ohne Schwierigkeit erfolgen kann. Da in Folge der niedrigen Temperatur sich Kalk- oder Cementmörtel nicht verwenden lasse, sei der Tunnel vorläufig mit Eisen zu verkleiden und dieses erst nachher mit Ziegelmauerwerk auszufüttern.

Liegt der Tunnel in weichem Schlamm, so brauche man nur zwei Reihen Hilfsröhren länger und kräftiger zu machen, sie bis in den festen Untergrund hinab- zutreiben und ihre oberen Enden mit den Tunnelplatten zu verschrauben, um die Lage des Bauwerks genügend zu sichern. Es ist kaum zu zweifeln, daß die Gefrier- methode, welche bei dem Abteufen von Schächten bereits wesentliche Dienste geleistet hat, auch bei söhligem Durchörterungen ein wichtiges Hilfsmittel abzugeben im Stande sein wird.

§ 34. Rückblick und Schlusfolgerungen. Ein Rückblick über das im Vorhergehenden Mitgeteilte lehrt, daß bis jetzt die Tunnelbohrmaschinen ihre besten Erfolge in weichem Gebirge, insbesondere dem Kreidemergel des Pas-de- Calais, aufzuweisen haben. Hier, wo Bohren und Sprengen oder gar stoßendes Bohren allein verhältnismäßig weniger wirksam und ersteres Verfahren für die Wasserundurch- lässigkeit des Felsens gefährlich gewesen wäre, vermochte die drehend bohrende Maschine von Beaumont u. English Fortschritte zu erzielen, wie sie in noch

¹¹⁶⁾ Thomé de Gamond. Mémoire sur les plans du projet nouveau d'un tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France. 1869. 2. Aufl. S. 6.

¹¹⁷⁾ Specification mit „provisional-protection“. 1871. No. 2768.

¹¹⁸⁾ Riga'sche Industrie-Zeitg. 1884. No. 16.

¹¹⁹⁾ Deutsches Reichspatent No. 25015. — Preuß. Zeitschr. 1883. S. 446. — Berg. u. Hüttenm. Zeitg. 1883. S. 447. — Centralbl. d. Bauverwaltg. 1883. S. 461. — Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1884. S. 543. — 1885. S. 408. — Wochenschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1885. S. 133, 141.

keinem anderen Tunnel- oder Grubenort erreicht worden sind. Den Vorzug seiner Maschine vor der ebenfalls am Kanal La Manche versuchten und ohne Stoß wirkenden Brunton'schen sucht Oberst Beaumont, abgesehen von konstruktiven Einzelheiten, vor allem in der grundsätzlichen Verschiedenheit, daß sich bei ersterer Vorrichtung die Gezähe langsam, bei letzterer rasch bewegen, daß sie sich daher im ersten Falle weniger erwärmen und abnutzen, womit die der Erwärmung und Abnutzung entsprechende mechanische Arbeit sich vermindert. Oberst Beaumont stützt seine Anschauungen auf die anerkannte Regel der mechanischen Technologie, für die Werkzeuge nicht große Geschwindigkeit anzuwenden, wenn kleine genügt. Er verwirft ferner die Planeten- und Trabantenscheiben Brunton's und zieht die einfache Kreisbewegung der Meißel vor, weil sie nur eine Axe mit Querarm statt dreier Axen samt Zubehör benötigt, dadurch vor Ort den Raum freier und das Gezähe behufs seiner Auswechslung oder der Veränderung seiner Stellung zugänglicher läßt.

Was die Maschine von Rziha u. Reska betrifft, so hat sie mit der von Beaumont u. English das Wesentlichste gemein und gilt das für letztere Gesagte in der Hauptsache auch für die erstere. Für das bedeutende Krafterfordernis und die langsame Bewegung solcher Maschinen ist hydraulischer Ferntrieb im höchsten Grade geeignet und wegen seines größeren Wirkungsgrades und der billigeren Einrichtung über Tage der Uebertragung durch verdichtete Luft entschieden vorzuziehen. Auch würde bei Anwendung von Wasser die von Fox bei Besprechung des Mersey-Tunnels getadelte Nebelbildung vermieden werden und ließe sich das Abwasser zur Kühlung der Stähle und zum Wegspülen des trocken zur Stauberzeugung neigenden Bohrmehles benutzen. Wählt man Preßluftbetrieb, so erscheint es allerdings richtig, nach dem Beispiele Beaumont's, der nur bis zu 2—2,5 Atmosphären Ueberdruck geht, mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad möglichst niedrige Spannung anzuwenden.

Inwiefern die Tunnelbohrmaschinen bei festerem Gestein, als beispielsweise neuer roter Sandstein, in welchem Beaumont u. English ihre Erfindung bereits erprobt haben, die Sprengarbeit zu ersetzen vermögen, läßt sich noch nicht mit voller Bestimmtheit entscheiden. Jedenfalls sind die durch Stoß wirkenden Vorrichtungen nach Art jener von Penrice oder Henley vom Wettkampf ausgeschlossen. Die Erwägung, daß eine gewöhnliche Gesteinsbohrmaschine, bei der ein Konstruktionsteil gebrochen ist, sich ohne viel Mühe in die Werkstätte bringen und vor Ort ersetzen läßt, während die Auswechslung einer infolge der fortwährenden Erschütterungen verletzten Tunnelbohrmaschine ihre bedeutenden Schwierigkeiten hat, zeigt, daß im festeren Gestein auch weiterhin die Sprengmittel in Benutzung bleiben müssen, wenn hier die drehende Ausbohrung des vollen Querschnittes versagt; daß letzteres wahrscheinlich ist, zeigt folgende Erwägung.

In Sangatte wurden (siehe S. 392) zur Herstellung eines 1683,53 m langen Stollens von 2,134 m Durchmesser in weichem Kreidemergel 2542 222 cbm Luft eingesaugt, verdichtet und mit 2—3 Atmosphären Ueberdruck der Beaumont-English-Maschine zugeleitet. Das Kubikmeter trockener Luft von 2,5 Atmosphären Ueberdruck würde, wenn in den Triebeylindern keine Expansion stattfände, nach Formel 157^a, S. 230 der 1. Abteilung dieses Werkes, eine Arbeit von 25 000 mkg verrichten können. Nimmt man eine Expansion von 3,5 Atmosphären auf 2,5 Atmosphären wahren Druckes an, so erhöht sich die Leistung¹²⁰⁾ auf 30 260 mkg pro Kubikmeter ge-

¹²⁰⁾ Die für die Kompression aufgestellte Formel 134, S. 203 der 1. Abteilung dieses Werkes, welche mit Formel 139, S. 230 daselbst, übereinstimmt, ist im vorliegenden Falle nicht ohne weiteres

preßter oder auf 8650 mkg pro Kubikmeter eingesaugter Luft. Die oben angegebene Saugmenge stellt daher eine theoretische Arbeitsfähigkeit von 21990 Millionen mkg dar und da der Stollenquerschnitt 3,576 qm, der gesamte erbohrte Stolleninhalt 6020 cbm beträgt, kamen auf 1 cbm Stollen 3653000 mkg für die Bohrung, die Ueberwindung der Reibung der Maschinenteile, den Umlauf des Becherwerks und das Nachrücken der Vorrichtung.

Nach Havrez's Versuchen (siehe oben S. 158) beträgt bei stoßendem Bohren von Hand die dem Bohrkopf übermittelte Arbeit in mkg pro cbm Bohrloch:

	bei einmännischem Bohren	bei zweimännischem Bohren
in Schieferthon	6,18	5,73
in mittelfestem Sandstein	16,6	13,63
in sehr festem Sandstein	42,1	33,3

Hausse ermittelte (siehe oben S. 161 u. 261) die an der Bohrkronen gemessene Arbeit in mkg pro cbm zerkleinerten Gesteines:

	beim Stoßbohren	beim Drehbohren
in Kohlensandstein	25,2	16,0
in Dolomit	—	39,5
in Freiburger Normalgneis	50,8	76,5
in Hornblendeporphyr	69,2	—

Jarolimek¹²¹⁾ fand, daß einem an der Kurbel seiner Handdrehbohrmaschine aufgewendeten mkg Arbeit in Romancementmergel 39—65 und in Dolomit 23—40 Kubikmillimeter ringförmigen Bohrlochs entsprechen. Demgemäß bedarf die Herstellung eines cbm Ringinhaltes folgender Arbeit in mkg:

in Romancementmergel	15,4—25,6
in Dolomit	25,0—43,5

Von Rziha¹²²⁾ schätzt die Gewinnungsfestigkeiten, nämlich die von den Gezähnen und Sprengmitteln nützlich verrichtete Arbeit in mkg pro Kubikmeter wie folgt:

in Stichboden	10000
in Hackboden	20000
in gebrächem Gestein	65000
in Sprenggestein 1. Gattung	113000
2. Gattung	185000
3. Gattung	257000

Aus diesen verschiedenen Zahlenangaben scheint hervorzugehen, daß die Ausbohrung eines Kubikmeters in festem Gestein, wie Gneis oder Granit, ungefähr 7mal soviel Arbeit wie im Kreidementmergel erfordert. Unter dieser Annahme berechnet sich die für einen stündlichen Fortschritt von 0,2 m und einen Stollendurchmesser von 2 m nötige Stärke einer Tunnelbohrmaschine zu

$$\frac{3653000 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 7}{75 \cdot 3600} = 60 \text{ Pferdekräften,}$$

eine Arbeitsstärke, welche sich auch bei Anwendung von Preßluft ohne Ueberschreitung stattlicher Ausmaße der Betriebsmaschine erzielen ließe.

Weiteren Anhalt für die Berechnung letzterer bieten die beiden Wassersäulmaschinen Brandt's¹²³⁾, welche im Sonnstein in hartem Kalk und Dolomit Bohrlöcher von etwa 78 mm Außen- und 58 mm Kerndurchmesser, also 21 qcm Fläche erzeugten, Differentialkolben von 54 mm größserem und 38,2 mm kleinerem Durchmesser und 60 mm Hub besaßen, mit Wasser von 75 Atmosphären Spannung gespeist wurden und etwa 200 Touren pro Minute machten.

anwendbar, da sie voraussetzt, daß die Endspannung der expandirenden Luft dem Druck vor dem Kolben gleich sei. Es ist hingegen für die Arbeit eines kg Preßluft zu setzen:

$$L_1 = \frac{p_1 v_1 - p v}{k-1}; L_2 = p_1 v_1; L_3 = 10000 v.$$

Die Gesamtarbeit L ist wieder $= L_1 + L_2 - L_3$.

¹²¹⁾ Wochenschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1883. S. 20.

¹²²⁾ Ebenda. 1884. S. 332.

¹²³⁾ Riedler. Brandt's hydraulische Gesteinsbohrmaschine. Wien 1877. Taf. 1 und 3. — v. Grimburg in Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1878. S. 6 und 7.

Ein sehr wesentlicher Uebelstand bei der Ausbohrung des vollen Querschnittes in hartem Gestein entspringt daraus, daß die hydraulische Presse, welche die Bohrer gegen das Gestein zu drücken hat, allzugroße Ausmaße erhalten muß. Bei Brandt's Maschine im Sonnstein-Tunnel kam auf einen Bohrlochquerschnitt, welcher (den Kern mit eingerechnet) 47,8 qem betrug, ein Druck von 6000 kg. Da bei Ausbohrung des vollen Streckenlichtraumes die Zeit für das Laden, das Abthun der Schüsse und die Schutterung entfällt, also der Fortschritt kleiner sein darf als bei Anwendung von Sprengstoffen, so möge bei den Tunnelbohrmaschinen in hartem Gestein, vorausgesetzt, daß es genüge, einzelne Schräme auszuritzen, eine geringere Anzahl Schneidkanten für 1 qem Stollenquerschnitt und demgemäß ein Druck von 70 kg pro qem hinreichend sein. Bei 2 m Stollendurchmesser bedarf es dann einer Gesamtpressung von 2200 000 kg. Benutzt man für den Vorschub Wasser von der hohen Spannung von 200 Atmosphären, so erhält man für die Presse immer noch einen Lichtquerschnitt von 11000 qem oder einen Innendurchmesser von 1,19 m. Da die Herstellung eines Cylinders von 1,19 m Weite und genügender Festigkeit für 200 Atmosphären und dessen zweckdienliche Unterbringung im engen Stollen nicht möglich sein dürfte, müßte man wohl, wie Penrice bei seiner neueren Tunnelbohrmaschine, den Gesamtdruck durch Hintereinanderschaltung mehrerer Cylinder, eine allerdings sonst wenig empfehlenswerte Konstruktion, beschaffen.

Mit der Schwierigkeit der Erzielung des nötigen Druckes wächst ferner die, eine ruhige Lagerung des Bohrapparates zu sichern. Als Auskunftsmittel erschiene allerdings eine wesentliche Ermäßigung des senkrecht auf den Ortsstoß gerichteten Druckes, aber dies ist nicht zulässig, weil bei schwacher Gegenpressung der Stahl das harte Gestein nicht mit Erfolg angreift, sondern umgekehrt ersterer mehr abgenutzt wird als letzteres¹²⁴). Der rasche Verschleiß der Bohrer wäre aber um so verhängnisvoller, als die Anzahl der Schneiden eine sehr große ist und der Kostenbetrag für die Erhaltung des Gezähes und der Aufenthalt durch das Auswechseln, falls dieses nicht ohne Unterbrechung des Ganges der Maschine erfolgt, ohnedies sehr bedeutend ausfallen werden. Ueberdies nimmt mit der Pressung die Korngröße des Bohrmehles ab, also die Zerkleinerungsarbeit pro Kubikmeter Hohlräum zu.

So fand Coquilhat (siehe oben S. 249), der offenbar bei seinen Versuchen in hartem Fels den Axialdruck nicht entsprechend erhöht hatte, die zur Zerkleinerung eines cem Gesteins notwendige Arbeit bei Bildhauerkalkstein von Rochefort nur gleich 0,6 mkg und bei Pflasterstein aus der Gegend von Ath beinahe 300mal so groß, nämlich gleich 176 mkg¹²⁵).

Bei mittelhartem Fels scheint mit Rücksicht auf das Umtauschen der Meißel die von Rziha u. Reska erfundene Befestigungsweise und die von ihnen gewählte Bohrscheibe, welche es gestattet, mehr Werkzeuge am Umfange anzubringen als in der Mitte, den Vorzug vor dem einfachen Querhaupt von Beaumont u. English und den mit Schneidrädern versehenen Armen Cramp-ton's zu verdienen; bei bedeutender Härte dürfte aber die Anwendung der Drehbohrung mit umlaufenden Stählen überhaupt nicht mehr am Platze sein. Inwiefern in diesem Falle das Diamantbohrverfahren in Frage kommen könnte, muß bei dem Mangel an Daten über dessen Kosten und Arbeiterfordernisse hier unerörtert bleiben.

Von Schmidt's Anordnung, welche die Zahl der Diamanten und die Triebkraft dadurch wesentlich vermindert, daß sie nur einen kreisförmigen Schram herstellt, leidet an dem Uebelstand, daß Aufenthalte für das Sprengen, das Wegfördern des Haufwerkes und das Rückziehen und Vorfahren der Maschine mit ihr verbunden sind; es könnte ferner, weil ein einziges Sprengloch benutzt wird, sich der Fels manchmal in unhandlich großen Blöcken lösen. Ueber die Zweckmäßigkeit der Methode müßte die Erfahrung entscheiden¹²⁶).

¹²⁴) Vergl. Stapff. Ueber Gesteinsbohrmaschinen. 1869. S. 222.

¹²⁵) Seite 249 steht als Druckfehler 17,6 mkg.

¹²⁶) Mit der Diamantbohrung verwandt ist die von Stapff (siehe S. 225 seines Werkes) für

Bei rolligem Gebirge haben der Schild und die Pressen von Beach gut entsprochen; was die weniger einfachen Vorschläge von Taskin und Dowd betrifft, so muß man ihnen das Zeugnis ausstellen, daß sie wohl überlegt sind, und man darf annehmen, daß, falls ihre Erprobung einmal stattfinden sollte, sie günstige Ergebnisse liefern werden. Die für Kreidemergel von Crampton vorgeschlagene Förderung der Berge könnte sich für manche weiche Erdarten, besonders wenn ohnehin Wasser aus der Strecke zu schaffen ist, sehr eignen¹²⁷⁾. Zu allen diesen Vorkehrungen tritt neuerdings das Gefrierverfahren als ein Hilfsmittel hinzu, welches zu den günstigsten Erwartungen berechtigt. Da die mechanische Arbeit, welche der Vortrieb eines Stollens erfordert, in aufgelöstem Erdreich geringer ist als in festem Gestein, so steht zu hoffen, daß es gelingen werde, die Ausschachtung in Schwimmsand, weichem Letten und ähnlichem Gebirge billiger zu gestalten als in hartem Basalt oder Quarzfels, obgleich heute das Gegenteil der Fall ist.

In das Gebiet der Tunnelbohrmaschinen haben bisher verhältnismäßig nur wenige Erfinder ihre Schritte gewagt, einige aber mit glücklichem, zur Nachahmung anspornenden Erfolg, und so steht dem besprochenen Zweige des Ingenieurwesens vielleicht gerade in nächster Zeit eine regere Entwicklung bevor.

saigere oder fast saigere Löcher vorgeschlagene Bohrung mittels weicher Bohrstempel und harter Schleifpulver, wie Quarzsand, Granat und Schmirgel. Stapff (siehe ebenda S. 228) verlangt ferner, man solle bei Versuchen mit Drehbohrmaschinen sich nicht auf Bohrwasser beschränken, sondern auch der Wahl anderer Schmiermittel einige Aufmerksamkeit widmen.

¹²⁷⁾ Vergl. die Paragraphen über „Pumpenbagger“ in der 1. Abteilung der Baumaschinen. S. 362.

Litteratur.

Außer dem Verzeichnis der deutschen Patente und österreichischen Privilegien über Schräm-, Schlitz- und Tunnelbohrmaschinen erübrigt nur, den im Kapitel selbst gegebenen Litteraturangaben noch eine Uebersicht der Veröffentlichungen über die Herstellung submariner Tunnel hinzuzufügen, da diese Aufgabe, auf deren specielle Behandlung nicht eingegangen werden konnte, in maschineller Hinsicht mit dem Gegenstande des Kapitels verwandt ist.

Verzeichnis der deutschen Reichspatente betreffend Schräm-, Schlitz- und Tunnelbohrmaschinen.

D. R. P. No. 140. R. Höwert u. B. Leistikow. Steinkohlenschrämmaschine. — D. R. P. No. 141. R. Höwert u. B. Leistikow. Steinkohlenschrämmaschine. — D. R. P. No. 829. C. Hoppe. Schräm- und Schlitzmaschine. — D. R. P. No. 943. J. Dickinson-Brunton. Anwendung von sich drehenden kreisförmigen Schneidwerkzeugen an Schrämmaschinen. — D. R. P. No. 2291. G. Lilienthal. Schrämmaschine mit Messerscheibe. — D. R. P. No. 2332. A. Ebeling. Kohlenschrämmaschine für Handbetrieb. — D. R. P. No. 4093. F. M. Lechner. Schrämmaschine. — D. R. P. No. 4867. F. Reska. Schräm- und Schlitzmaschine. — D. R. P. No. 6085. J. D. Brunton u. F. H. J. Trier. Veränderungen an der Brunton'schen Schrämmaschine mit sich drehenden Schneidwerkzeugen. — D. R. P. No. 6086. F. M. Lechner. Veränderungen an Schrämmaschinen. — D. R. P. No. 6848. A. Weber. Schrämmaschine für Handbetrieb. — D. R. P. No. 10226. F. M. Lechner. Neuerungen an der unter No. 4093 patentirten Schrämmaschine. — D. R. P. No. 13032. H. N. Penrice. Neuerungen an den beim Felsentunnelbau verwendeten Apparaten. — D. R. P. No. 15343. F. M. Lechner. Neuerungen an Schrämmaschinen. — D. R. P. No. 15688. A. Weber. Schrämmaschine für Handbetrieb. — D. R. P. No. 20006. J. Dubois. Apparat zum Schrämen von Kohle. — D. R. P. No. 20575. W. Mather u. F. M. Lechner. Neuerungen an Schrämmaschinen. — D. R. P. No. 20846. F. B. Doering. Neuerungen an Tunnel- und Gesteinsbohrmaschinen. — D. R. P. No. 22465.

F. Rziha u. F. Reska. Stollen- und Schachtbohrmaschine. — D. R. P. No. 25928. G. Badher. Verfahren und Apparat zur Herstellung von Schrämern.

Verzeichnis österreichischer ausschließender Privilegien von Schräm-, Schlitz- und Tunnelbohrmaschinen.

Firth. 13. Juni 1874. — Firth. 29. December 1875. — Bernhuber u. Quaglio. 7. August 1875. — Felbinger. 21. Mai 1876. — Lechner. 26. Juli 1876. — Schram. 26. Juli 1876. — Penrice. 10. Januar 1877. — von Balzberg. 6. April 1877. — Berghoff. 6. April 1877. — Neuerburg. 11. April 1877. — Dniestrzanski. 29. December 1877. — Dniestrzanski. 29. Mai 1878. — Penrice. 28. Juli 1878. — Lechner. 14. Oktober 1878. — Dniestrzanski. 8. Februar 1879. — Hoppe. 1. December 1879. — Starck. 17. December 1879. — Penrice. 31. Januar 1880. — Lechner. 24. August 1881. — Rziha u. Reska. 27. Oktober 1881. — Penrice. 11. December 1881. — Dubois. 27. Februar 1882. — Mather u. Lechner. 12. Mai 1882. — Werndl. 1. Mai 1883. — Bacher. 12. September 1883.

Beschreibungen (Specifications¹²⁸⁾ in England nachgesuchter Patente auf Schräm-, Schlitz- und Tunnelbohrmaschinen.

Kurze Kennzeichnungen der bis zum Jahre 1876 nachgesuchten Patente finden sich in den Transactions des North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers als Beilage oder am Ende der Bände 17—25.

1876. No. 529. Brown. — No. 658. Barlow u. Barlow. — No. 794. Penrice. — No. 889. Stevenson. — No. 1366. Applegath. — No. 1424. Brunton. — No. 1707. Lechner u. A. durch Haddan. — No. 2544. Brunton. — No. 3453. Adamson. — No. 3503. Sheldon durch Haddan. — No. 3821. Robertson durch Lake. — No. 4129. Sides u. Rayner.
1877. No. 277. Alexander. — No. 658. Yule. — No. 1541. Leaver. — No. 1771. Patterson. — No. 2974. Gidlow u. Abbott. — No. 4591. Brunton.
1878. No. 305. Galloway u. Mac Pherson. — No. 437. Rigg u. Meiklejon. — No. 728. Lechner durch Barlow. — No. 1316. Randall u. Griffin. — No. 2793. Brown u. Morgan. — No. 3222. Taskin durch Brandon. — No. 3754. Schram. — No. 5146. Reska durch Kesseler.
1879. No. 52. Penrice. — No. 475. Harrison u. Butler durch Mills. — No. 819. Penrice. — No. 2155. Carr. — No. 2287. Wineqz durch Clark. — No. 3045. Brunton, Trier u. Rapp. — No. 4136. Lechner durch Doubleday. — No. 4472. Lacarrière.
1880. No. 1025. W. R. Lake. — No. 2513. Whitcomb u. Butler durch Mills. — No. 3269. Short. — No. 3834. Williams. — No. 4347. English. — No. 4572. Richardson.
1881. No. 528. Gay. — No. 1469. Doubleday. — No. 2106. Penrice. — No. 3095. Mather u. Lechner. — No. 3567. Blackman. — No. 4113. Brunton. — No. 4728. Crampton. — No. 5160. Bower, Pflaum u. Tannett. — No. 5317. English. — No. 5614. Jones u. Wild.
1882. No. 53. Dubois durch Thomson. — No. 458. Burnett u. Burnet. — No. 1296. Harbottle u. Percy. — No. 2251. Urwin. — No. 3138. Hunter. — No. 3168. Kellow.
1883. No. 55. Kellow. — No. 970. Fawcett u. Stubbs.

Eine Liste der in Frankreich von 1860—78 nachgesuchten Patente von Schräm-, Schlitz- und Tunnelbohrmaschinen findet sich in: Armengaud. Publication industrielle des machines, outils et appareils etc. 1879. Bd. 25. S. 500—504.

Schriften betreffend Legen von Tunnelröhren unter Wasser¹²⁹⁾.

Bateman u. Revy. Description of a proposed cast iron tube for carrying a railway across the Channel between the coasts of England and France. London 1869. — Dieselben. Engineer. 1860. Bd. 28. S. 140, 144, 161.

¹²⁸⁾ Dieselben können bezogen werden von: Great Seal Patent Office, 25 Southampton Buildings, Holborn, London.

¹²⁹⁾ Schriften über die Verlegung von Dükern für Wasserversorgung und Entwässerung werden hier nicht mit angeführt; vergl. hierüber „Wasserversorgung der Städte“ im 3. Bd. (Wasserbau) des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften.

- Chalmers. The Channel Railway connecting England and France. 2. Aufl. London, E. u. F. Spon. 1867.
- Clarke u. Moore. Specification. 1882. No. 5947.
- De la Haye. Vorschlag, England mit Frankreich durch eine versenkte Eisenröhre zu verbinden. *Mechanic's Magazine*. 1845. Bd. 43. S. 161. — 1855. Bd. 63. S. 458.
- Drinker. Tunneling, explosive compounds and rock drills. New-York 1878. S. 807. Besprechung eines Vorschlags von Kanouze, gußeiserne Röhren zu verlegen.
- Dufrené. Ueber das System Martin u. Leguay. *Annales du génie civil*. 1870. S. 65.
- Fölsch. Die projektirte Eisenbahnverbindung zwischen England und Frankreich. *Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver.* 1870. Bespricht u. a. S. 55 die Vorschläge von Bateman u. Revy.
- Franchut u. Du Motay (Nach anderen: Franchut u. Mottray). Vorschlag. *Mechanic's Magazine*. 1846. Bd. 44. S. 95.
- Haddan. Schwimmender Tunnel im Bosphorus. *Engineer*. 1870. Bd. 30. S. 114. Sein Vorschlag wurde für die Bai von San Francisco wiederholt. *Engineer*. 1872. Bd. 34. S. 3 u. 142.
- Havestadt. Die Projekte zur Herstellung einer festen Verbindung zwischen England und Frankreich. *Deutsche Bauzeitg.* 1879. Bespricht u. a. Somzee's versenkte Röhre. S. 329.
- Martin u. Leguay. *Projet de construction d'un tunnel sous-marin, système M. et L.* Paris, E. Lacroix. 1869.
- Nursey. Vortrag vor der Society of Engineers; betrifft u. a. die Vorschläge von Marsden, Bateman, Colburn. *Mechanic's Magazine*. 1869. Neue Serie. Bd. 22. S. 294, 312. — *Engineering*. 1869. Bd. 8. S. 272, 288, 304, 320, 346. — *Engineer*. 1869. Bd. 28. S. 237, 312, 333. — Derselbe. Vortrag vor der Society of Engineers; betrifft u. a. die Vorschläge von Page, P. W. u. W. H. Barlow, Bishop u. Nursey. *Engineer*. 1876. Bd. 41. S. 173, 197.
- Page. Vorschlag. *Mechanic's Magazine*. 1870. Neue Serie. Bd. 23. S. 280.
- Raynor. Vorschlag. *Iron*. 1876. Bd. 7. S. 357. — *Scient. American*. 1876. Suppl. Juni. S. 377. — *Annales du génie civil*. 1876. S. 611.
- Robertson u. I'Anson. Vorschlag einer pneumatischen Versenkung von Gußeisenringen behufs Durchtunnelung des Flusses Clyde. *Engineering*. 1869. Bd. 7. S. 223.
- Rziha. Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Wien 1876. Bd. I. Bespricht S. 446 Foster's Entwurf einer Verbindung von Boston mit New-Boston durch eine auf dem Hafengrund liegende Röhre.
- Schäffer. Deutsches Reichspatent No. 21108 Das Patent ist wieder gelöscht.
- Thomé de Gamond. *Mémoire sur les plans du projet nouveau d'un tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France produits à l'exposition universelle de 1867 etc.* 2. Aufl. Paris, Dunod, 1869. S. 5: Tunnel immergé (1834).
- Westendarp. Elbetunnel bei Hamburg. *Wochenbl. f. Arch. u. Ing.* 1882. S. 523.
- Winkler. Vorschlag einer pneumatischen Versenkung genieteter Tunnelringe f. d. Wiener Tunnelbahn. *Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch. Vereins*. 1873. S. 167. — *Wiener Tunnelbahn*. Wien 1873. S. 18.

Schriften über Tunnel unter Wasser im allgemeinen.

- Dolezalek. Subaque Tunnel. 4. Jahressupplement (1883) zu Meyer's Konversations-Lexikon. S. 961.
- Drinker. Tunneling, Explosive Compounds and Rock Drills. 1. Aufl. New-York 1878. S. 796. — 2. Aufl. S. 890.
- Forchheimer. Ueber Tunnelbauten unter Wasser. *Deutsche Bauzeitg.* 1881. S. 366. — Derselbe. *Englische Tunnelbauten bei Untergrundbahnen, sowie unter Flüssen und Meeresarmen.* Aachen 1884.
- Lang. Ueber den gegenwärtigen Stand des Tunnelbaues. *Allg. Bauztg.* 1881. Bespricht S. 60 die unterseeischen Tunnel.
- Rziha. *Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst.* Berlin 1874. 2. Aufl. Bd. II. S. 329, 369, 370. — Derselbe. *Eisenbahn-Unter- und Oberbau etc.* I. Bd. S. 446.
- Schön. *Der Tunnelbau.* 2. Aufl. Wien 1874. S. 268, 273.