





*L. Ammann*

25  
14

# Röhrenvortrieb

in

# wasserreichem Boden.

Von

**A. Haag,**  
Ingenieur.



**HANNOVER.**

Hofbuchdruckerei Gebrüder Jänecke.

1898.

70

*Ammann*

Röhrenvortrieb

Verfahren zur Herstellung von Röhren

STOWE

Verfahren zur Herstellung von Röhren

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300910





# Röhrenvortrieb in wasserreichem Boden.

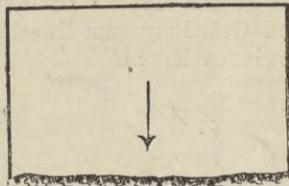
## I.

Die Frage der Ausführung wagerechter oder geneigter Röhrenvortriebe in wasserreichem Boden ist gleichbedeutend mit der Frage, den Innenraum einer Arbeitskammer unter Wasser in wagerechter oder geneigter Richtung zu vergrößern.

Ihre Lösung ergibt sich aus folgender ringartig sich schließender Reihe von Betrachtungen:

Die bei Brückenbauten zu Pfeilergründungen gewöhnlich verwendeten Senkkasten (Caissons) sind als Kasten ohne Boden anzusehen, welche in Folge des Ausschachtens und Entfernens der Erde an der offenen Sohle der Kasten in senkrechter Richtung nach abwärts bewegt werden (Fig. 1).

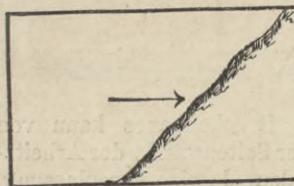
Fig. 1.



Das Wasser wird aus diesen Kasten durch einströmende Druckluft bis zur Unterkante der Umfassungswände verdrängt. Die Ausschachtungs- und Förderarbeiten werden in Druckluft ausgeführt.

Will man die Bewegungsrichtung eines solchen Kastens ändern und den Kasten beispielsweise statt in senkrechter Richtung abwärts in wagerechter Richtung vorwärts bewegen, so liegt nahe, den Kasten, anstatt am Boden, an der in der Richtung der beabsichtigten Bewegung gelegenen Seitenwand offen zu lassen (Fig. 2).

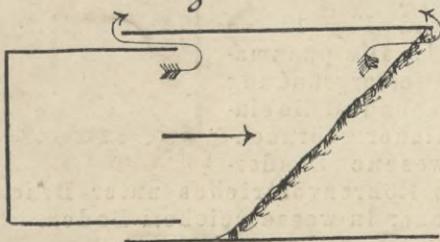
Fig. 2.



Will man zudem den Hohlraum des Kastens in der Bewegungsrichtung verlängern, so muss man von der kastenförmigen Gestaltung der Arbeitskammer zu deren teleskoprohrartiger Gestaltung übergehen (Fig. 3).

Bei beiden in den Figuren 2 und 3 schematisch dargestellten Konstruktionsformen der Arbeitskammer lagert sich der Boden unter natürlicher Böschung im Innenraum der Arbeitskammer ab. Die Formen sind aber praktisch

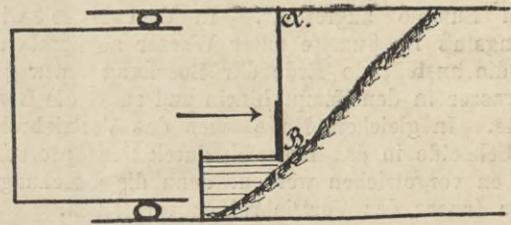
Fig. 3.



unbrauchbar, denn die in den Arbeitsraum zur Ausführung der Förderarbeiten eingeführte Druckluft würde zwischen den Wänden und am vorderen offenen Ende der Arbeitskammer in der Richtung der Pfeile (Fig. 3) nach oben entweichen und dabei durch ihre aufwühlende Wirkung in den meisten Fällen noch Schaden verursachen.

Auf offenen Landstrecken oder unter Flussläufen werden solche schädigende Wirkungen der austreibenden Luft weniger in Betracht kommen als beispielsweise bei Ausführungen unter den Verkehrsadern einer Stadt.

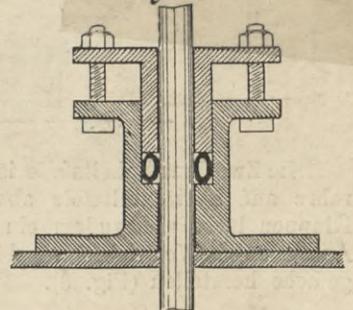
Fig. 4.



Gegen das Entweichen der Druckluft zwischen den Wänden schützt eine zwischen dieselben eingelegte Schlauchdichtung (Fig. 4) in genau der gleichen Weise, wie der in eine gewöhnliche Maschinen-Stopfbüchse (Fig. 5) um die Kolbenstange herumgelegte Dichtungsring (Packing) das Entweichen des Dampfes, Wassers oder Gases während der Bewegung der Kolbenstange aus dem Cylinder verhütet.

Die Packing einer Stopfbüchse wird durch äußeren, von den Schrauben der Stopfbüchse erzeugten und regelbaren Druck zwischen die Innenwandfläche der Stopfbüchse und die Außenfläche der Kolbenstange bedarfsgemäß eingepresst.

Fig. 5.



Der zwischen die Innenwandfläche des mit der Stopfbüchse an einem in Bewegung befindlichen Dampfzylinder vergleichbaren Vortriebsrohres und die Außenwandfläche der mit der feststehenden Cylinderstange vergleichbaren Tunnelröhre eingelegte Dichtungsschlauch wird dagegen durch regelbaren inneren Druck an die Wandflächen angedrückt.

Fig. 6.



Wird der Schlauch in eine sackartige, an die Wand des Vortriebsrohres angeheftete, aus Stoff, Leder, Gummi oder dergleichen Stoffen bestehende Hülle eingeschlossen (Fig. 6), welche bei dichter Ausführung selbst als Schlauch dienen kann, und dauernd mit Druckwasser oder Druckluft gefüllt, so kann die Abdichtung des Raumes zwischen bewegten und unbewegten Konstruktionstheilen ebenso wie bei jeder Dampfmaschinen-Stopfbüchse erhalten bleiben.

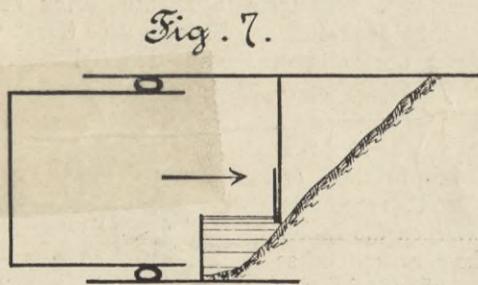
Genügt ein Dichtungsring nicht, so können zwei oder mehrere Ringe hintereinander um die Tunnelröhre gelegt werden. Diese Ringe werden gegen die Gefahr des Zerdrückens außer durch in die Tunnelwand eingeschraubte Stehbolzen noch durch eine an der Wand des Vortriebsrohres hinter den Ringen im Bedarfsfalle anzubringende senkrechte Rippe (Fig. 6) gesichert.

Der Eintritt des Grundwassers in den Arbeitsraum und das Entweichen der Druckluft in der Richtung des Tunnelvortriebes werden durch den Einbau der Querwand  $AB$  und dauernden Wasserverschluss der Oeffnung am unteren Ende dieser Wand verhütet (Fig. 4).

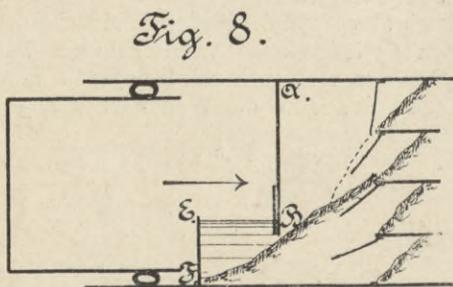
Ueberschüssige Druckluft darf nur durch Ventile und besondere Ausführungsrohre aus dem Arbeitsraum ins Freie entweichen.

Der Fuß der unter Wasser liegenden Böschung ist vom Arbeitsraum aus in dem an der Oeffnung bei  $B$  gebildeten Sumpfe angreifbar. In dem Maße wie der Böschungsfuß im Sumpfe unter Wasser abgegraben wird, rieselt die anstehende Erde der Böschung entlang unter Grundwasser in den Sumpf hinein und rückt die Böschung vorwärts. In gleichem Maße muss das Vortriebsrohr mit seiner Schneide in das Erdreich durch Druckpressen oder Schrauben vorgetrieben werden, denn die Böschung muss stets im Innern des Vortriebsrohres verbleiben.

Das Vortriebsrohr kann zur Verringerung des Reibungswiderstandes im Erdreich an seinem vorderen Ende parallel zur natürlichen Böschung der Erde unter Grundwasser abgeschragt werden (Fig. 7).



Im Zweckmäßigkeitssalle ist die Böschung im Vortriebsrohre auf Horizontaltafeln abzufangen. Mit beweglichen Klappen lässt sich zudem ein Verschluss der bei dieser Anordnung im Vortriebsrohre gebildeten Materialablagerungsfache herstellen (Fig. 8).

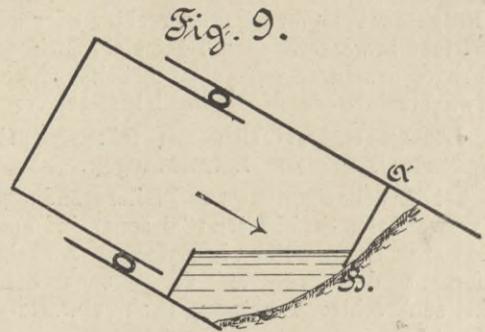


Vortriebe durch leicht verdrängbaren Boden oder Wasser können mit vorn geschlossenem Vortriebsrohr ausgeführt werden.

Bei wenig abwärts geneigter Tunnelrichtung wird die Abschlusswand  $AB$  niedriger (Fig. 9).

Mit größerer Neigung oder für senkrecht abwärts gerichteten Tunnelvortrieb wird die Wand  $AB$  entbehrlich (Fig. 10 und 11).

Die Seitenwände eines nach dem Schema der Fig. 11 gebauten Pfeilersenkkasten würden sich — von Bedenken wegen des entstehenden zu großen Auftriebes und im Verhältnis zu der geringen Vortrieftiefe zu mühsamer



und kostspieliger Anbringung und Wiederverwendung der Druckpressen im Arbeitsraume abgesehen — durch Ausziehen des Mantels aus dem Boden nach der Versenkung und Gründung zum Zwecke weiterer Verwendung wiedergewinnen lassen.

Fig. 10.

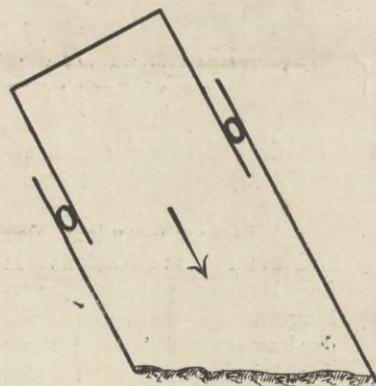
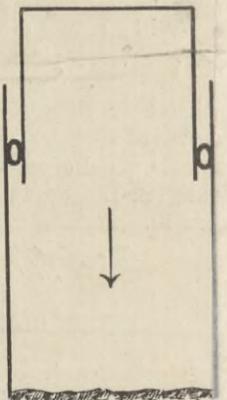


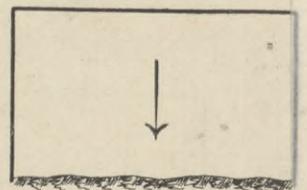
Fig. 11.



Bei Pfeilergründungen des Brückenbaues kann von der teleskopartigen Gestaltung der Seitenwände der Arbeitskammer Abstand genommen werden, da eine Veranlassung, die Decke der Arbeitskammer (Fig. 11) an derselben Stelle zu halten oder den Arbeitsraum unter dem Pfeiler mit fortschreitender Versenkung der Schneide zu vergrößern nicht vorliegt.

Es wird Fig. 12 = Fig. 1, d. h.: Die pneumatische Pfeilergründung im Brückenbau ist die einfachste bisher gebräuchlich gewesene Sonderform des Röhrenvortriebes unter Druckluft im Wasser oder in wasserreichem Boden.

Fig. 12.



## II.

Bei den bisher zur Anwendung vorgeschlagenen und beim Bau zum Theil versuchten Vortriebapparaten hat man entweder ein vorn offenes Vortriebsrohr angenommen und die Böschung des in das Rohr hineingepressten Bodens unmittelbar unter Druckluft gesetzt oder man hat Quer- und Abschlusswände vorn in das Vortriebsrohr eingebaut, an welchen sich das Erdreich stauen sollte, um Einstürze zu verhüten.

Im ersteren Falle gehen große Mengen von Druckluft infolge Entweichens in das Erdreich nutzlos verloren und es besteht dabei fortwährend die Gefahr, dass die entweichende Druckluft das überstehende Erdreich aufwühlt und schädlichste Wirkungen verursacht. Die Quer- und Abschlusswände setzen dagegen dem Vortreiben großen, von den Druckpressen zu überwindenden Widerstand entgegen, beeinflussen durch ihre Form und Stellung die

Fig. 1.

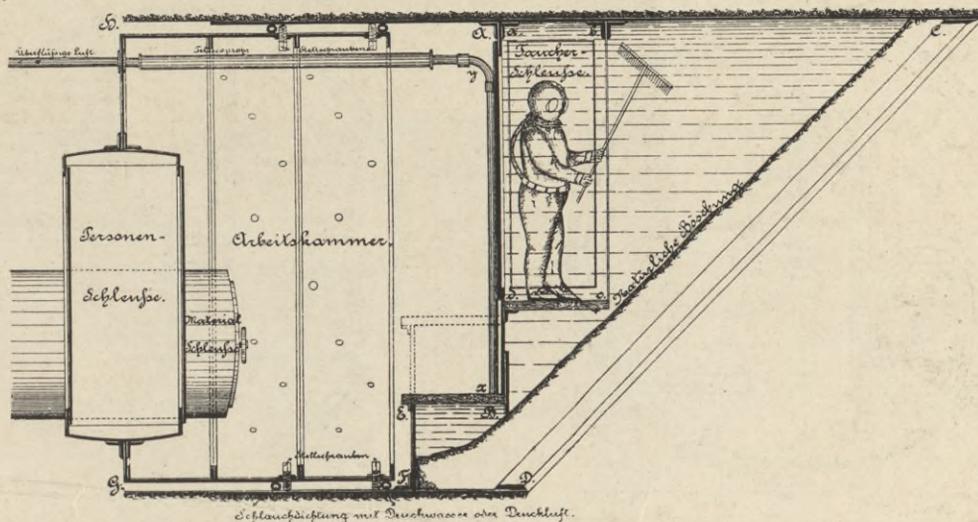
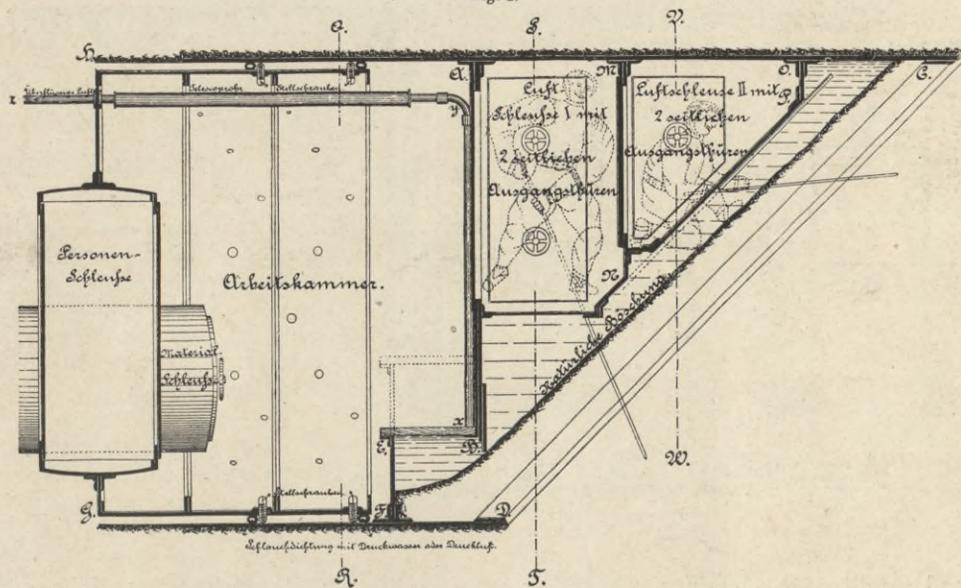


Fig. 2.



Richtung des Vortriebes und sind Formänderungen ausgesetzt. Sind Thüren in diesen Wänden angebracht, welche geöffnet werden müssen, um die hinter den Wänden angestaute Erde zu entfernen, so geht bei solchem Öffnen auch hier viel Druckluft unter der Gefahr zerstörender Wirkung verloren.

Diese Uebelstände werden bei dem durch die bestehenden Zeichnungen (Fig. 1—6) schematisch veranschaulichten, patentirten Verfahren vermieden.

Die Böschung des vom Vortriebsrohr aus dem Erdreich herausgeschnittenen Bodenkerne lagert sich hier

im Innern des Vortriebsrohres unter Grundwasser frei ab und das Grundwasser bildet selbst einen dauernden Wasserverschluss am unteren Rande der Abschlusswand *AB* im Vortriebsrohre gegen das Entweichen von Druckluft aus dem Arbeitsraum nach vorn und oben (Fig. 1, 2, 5 u. 6).

Im Bedarfsfalle kann die Oeffnung *B* noch mit einer Thür oder Schütze theilweise oder ganz mechanisch verschlossen werden.

Der Fuß der Böschung reicht durch die Oeffnung *B* in den im Arbeitsraum vor der Abschlusswand *AB* gebildeten und durch die verstellbare niedrige Wand *EF*

(Fig. 1, 2 u. 6) eingedämmten Grundwassersumpf hinein, wo er mit Baggern, Schaufeln, Sandpumpen und dergl. Geräthen abgegraben werden kann.

Der Vortrieb geschieht mit Hilfe von Pressen oder Schrauben dermaßen, dass die Böschung immer im Innern des Vortriebsrohres verbleibt. Der Neigung der Böschung entsprechend wird die Öffnung *B* vergrößert oder verkleinert und die Dammwand *EF* in ihrer Höhe verändert oder verstellt. Im Arbeitsraum hinter der Wand *EF* sich sammelndes Grundwasser ist leicht in den Sumpf zu fördern.

Der Abgrabung des Böschungsfußes im Sumpfe folgend, rieselt die Erde unter Grundwasser der Böschung entlang in den Sumpf herunter. Von hier aus wird sie nach dem Aushub aus dem Sumpf durch Förderschleusen, die in der rückwärtigen Tunnelwand oder an sonst geeigneter Stelle sich befinden, zu Tage gefördert, wie dies bei pneumatischen Pfeilergründungen und Arbeiten in Taucherglocken geschieht.

Die Dichtung des Raumes zwischen der Außenfläche der Tunnelröhre und der Innenfläche des Vortriebsrohres ist mittelst der Tunnelröhre umfassender, mit Druckwasser

Fig. 3.  
Ansicht der Wand *G-H* Querschnitt *Q-R* durch  
von Außen. Die Arbeitskammer.

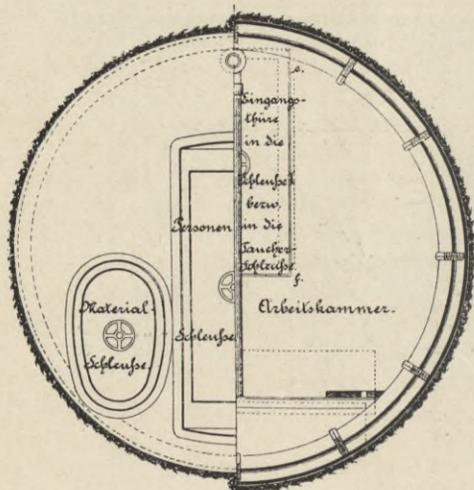


Fig. 4.  
Querschnitt *S-T* durch Schleuse I. Querschnitt *V-W* durch Schleuse II.

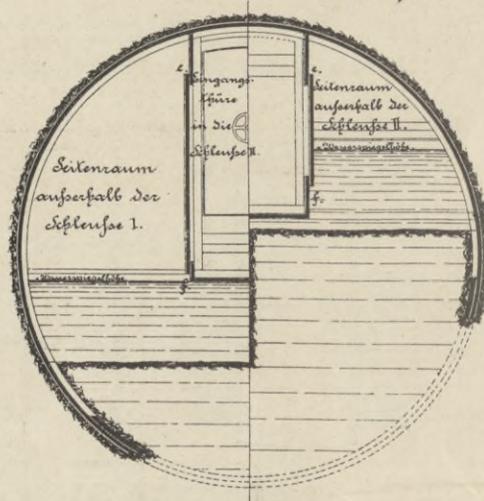
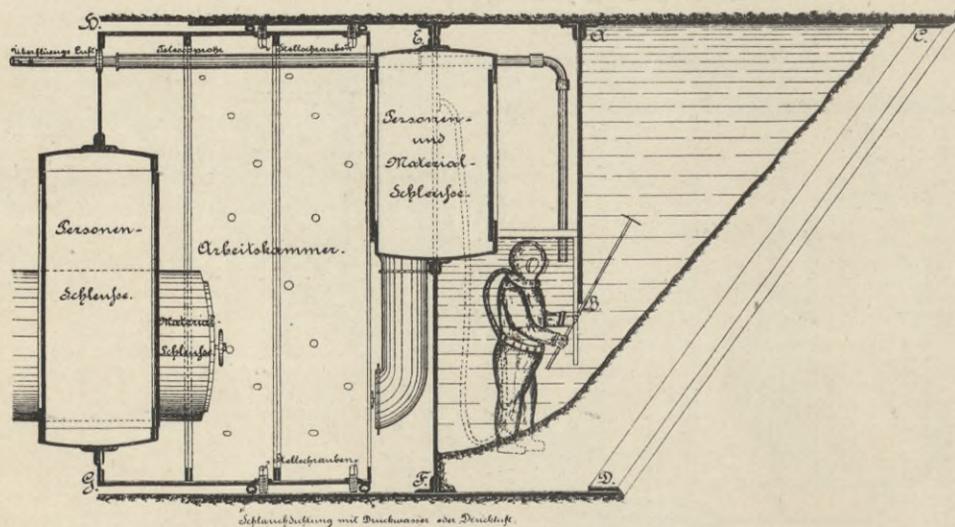


Fig. 5.



oder Druckluft dauernd gefüllter Schlauchringe, wie früher beschrieben, bewirkt gedacht.

Mit Stellschrauben kann die Größe dieses Zwischenraumes geregelt werden.

Es ist dafür zu sorgen, dass im Innern der Tunnelröhre während des Vortriebes stets derjenige Luftdruck herrscht, welcher erforderlich ist, um das Grundwasser im Sumpfe über dem Böschungsfuß auf bestimmter Höhe und die Öffnung bei *B* dauernd durch das Grundwasser gegen Luftausbrüche verschlossen zu halten. Ueberschüssige und verbrauchte Druckluft kann durch das Rohr *xyz* aus dem Arbeitsraum in's Freie entweichen, sobald der Luftdruck im Arbeitsraum so groß wird, dass der Wasserstand

im Sumpfe die festgesetzte Höhe erreicht. Es können auch Sicherheitsventile in der Wand *G H* oder an anderer geeigneter Stelle angebracht werden, welche den Luftdruck genau auf vorgeschriebener Höhe halten (s. auch Abschnitt VI).

Das Auftreten treibender Bewegungen in dem zu durchfahrenden Boden — in der Regel als das Vorkommen von Trieb sand, fließendem Moor oder ähnlich bezeichnet — ist ausgeschlossen, weil der Vorraum *ABC* stets mit Wasser gefüllt bleibt und die Gleichgewichtslage der Materialtheile des Erdreichs durch Pumpen oder andere Vorkehrungen nie in gewaltsamer Weise gestört wird.



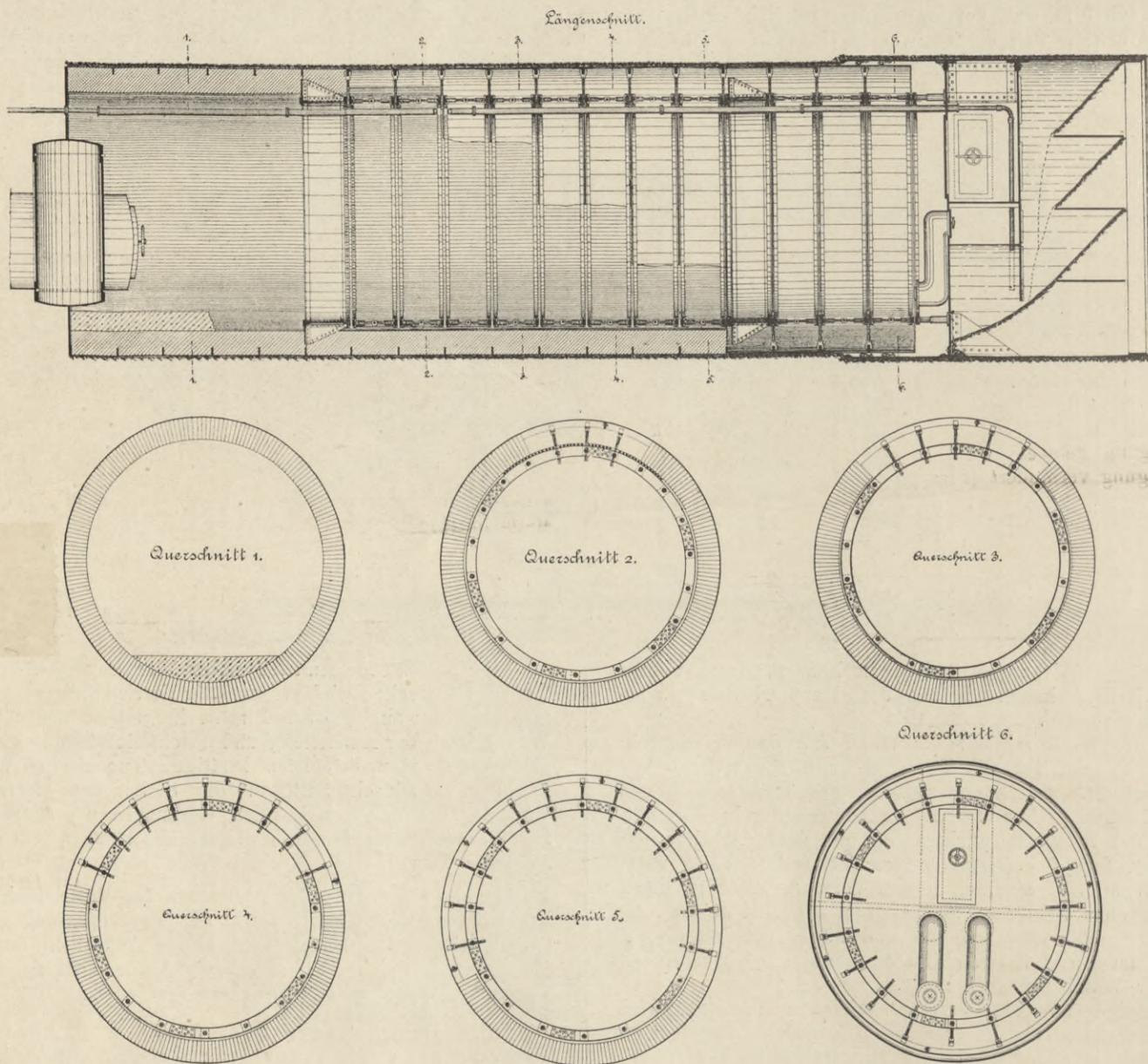
## III.

Die zu verlängernde Tunnelmantelröhre muss stark gebaut werden, wenn sie die Last der über ihr lagernden Erde tragen und auch dem wagerechten Drucke der Vortriebpressen widerstehen soll. Ueberträgt man aber die Erdlast mit geeigneten Stützen auf eine Anzahl in den Tunnelarbeitsraum eingebauter Lehrgerüstbinder und den Pressendruck auf das rückwärts im Arbeitsraum

fertiggestellte Wandmauerwerk, so bedürfen die Tunnelmantelbleche nur geringer Stärken.

Die Ausführungskosten langer Tunnelstrecken verringern sich durch derartige Lastabtragungen, besonders bei Tunneln von großen Querschnittsabmessungen.

Die Querschnittsform der Tunnelröhre ist für die bisherigen und folgenden Betrachtungen gleichgültig.



In vorstehenden Figuren ist die Rohrwand des Tunnelmantels als aus gekrümmten Blechen mit Verbindungsflanschen an den Rändern bestehend gedacht.

Die Lehrgerüstbinder sollen aus je zwei neben einander gestellten, der Tunnelquerschnittsform entsprechend gekrümmten  $\Gamma$ -Trägern gebildet werden. Zwischen die Stege dieser Träger sind Gussklötze mit Muttergewinde gelagert, durch welche in radialer Richtung Stockspindeln gedreht sind, die die Abstützung des Tunnelmantels bewirken.

Zum Zwecke der Uebertragung des Pressendruckes auf das rückwärtige Tunnelmauerwerk sind ferner zwischen dieselben Mutterklötze wagerecht liegende Stockwinden

eingesetzt. Durch Festdrehen dieser Stockwinden erhält das korbartige Lehrgerüstgebilde auch in wagerechter Richtung Spannung. Ein Theil der Stockwinden wird durch Holzstempel mit Antriebskeilen an den Enden ersetzt werden dürfen.

Stellenweise muss anstatt einer Reihe in den gleichen Tunnelring einzusetzender Stockwinden oder Stempel eine liegende Röhrentrommel zwischen zwei benachbarte Lehrgerüstbinder eingebaut werden, an deren Außenfläche zur Absetzung des Pressendruckes auf das umliegende Mauerwerk fußartige Stützen befestigt sind. Die Stärke dieser Röhrentrommeln ist nach den angreifenden Momenten der Pressenkräfte zu berechnen.

Parallel zur Vortriebrichtung lassen sich im Arbeitsraume noch alle sonst erforderlichen Verstrebungen zwischen die Lehrgerüstbinder einbauen. Senkrecht zur Vortriebrichtung auftretende, verhältnismäßig geringe Seitenkräfte des Pressendruckes werden jedoch in der Regel schon in der die Tunnelröhre umhüllenden Erde ausreichendem Widerstand begegnen und Verbiegungen der Tunnelröhre in ihrer Längsrichtung werden daher auch beim Fehlen solcher Verstrebungen selten zu befürchten sein.

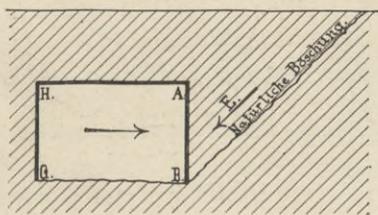
Der Auftrieb einer Röhrenstrecke muss dauernd aufgewogen werden durch das Gewicht des Röhrenmantels und in denselben eingebauter Theile, ferner durch die Last der überliegenden Erde, des ausgeführten Tunnel-

IV.

Zu dem Ergebnis, dass der Röhren- oder Tunnelvortrieb in wasserreichem Boden die Erweiterung des bekannten Druckluft-Gründungsverfahrens ist, führen auch die folgenden Betrachtungen:

Ein unter die Erdoberfläche versenkter, mit Druckluft erfüllter Arbeitskasten mit offenem Boden kann seitwärts nicht verschoben werden, weil der Erddruck  $E$  auf die in der Richtung der beabsichtigten Seitwärtsbewegung gelegene feste Wand  $AB$  des Kastens diese Bewegung verhindert (Fig. 1).

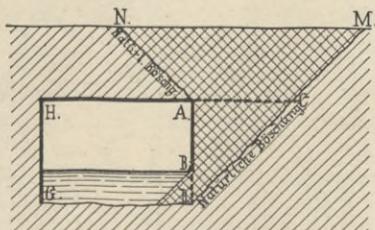
Fig. 1.



Würde diese Seitenwand an ihrem unteren Ende von  $B$  bis  $B_1$  (Fig. 2) geöffnet werden, so würde sich der Wasserstand im Arbeitsraum auf der Höhe  $B_1$  einstellen.

Alle innerhalb des im Längenschnitt (Fig. 2) durch die doppelt schraffierte Fläche  $ABMN$  gekennzeichneten Raumes vor der Wand  $AB$  gelegene Erde müsste bei fortdauernder Abgrabung des im Arbeitsraum bei  $B$  unter Wasser sich bildenden Böschungsfußes allmählich durch die Oeffnung  $BB_1$  in den Arbeitsraum einfallen.

Fig. 2.



Damit nur der unterste Theil  $ABC$  dieser Erdmassen (Fig. 2), welcher zum Zwecke der Verlängerung des Arbeitsraumes in der Vortriebrichtung auf alle Fälle

mauerwerks und in den Arbeitsraum nach Bedarf geförderter und daselbst vertheilter Belastungsmassen. Letztere werden gewöhnlich und vortheilhaft aus im Arbeitsraum ohnedies abzulagernden Vorrathsmengen von Mauermaterialien bestehen.

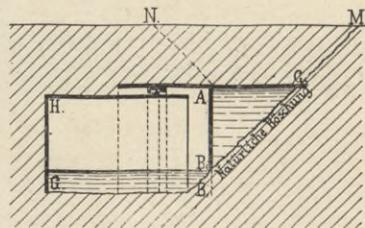
Die Lehrgerüstbinder dienen außer zu den erwähnten Zwecken der Mantelaussteifung und der Uebertragung des Pressendruckes ferner noch zur Ausführung des Mauerwerks der Tunneldecke auf Schalung in üblicher Weise.

Ist eine Röhrenstrecke soweit fertiggestellt, dass das Mauerwerk den Druck der Vortriebpressen aufnehmen kann, so wird der Lehrgerüsteinbau aus dieser Strecke entfernt, um an anderer Stelle wieder verwendet werden zu können.

entfernt werden muss, in den Arbeitsraum gelangt, der obere Theil  $ACMN$  aber in unveränderter Lage unterfahren werden kann, ist die Senkkastendecke in der Richtung  $AC$  schildartig zu verlängern und es sind ferner zum Schutze gegen seitliche Einbrüche der Erde in dem Raum  $ABC$  geeignet geformte Seitenwände an der Schilddecke anzubringen.

Schilddecke  $AC$  und Seitenwände  $ABC$  müssen beim Vortrieb über die Decke und die festen Seitenwände des Arbeitsraumes  $ABGH$  teleskopartig vorwärts geschoben werden. Die Abschlusswand  $AB$  ist in gleichem Maße mitvorzurücken (Fig. 3).

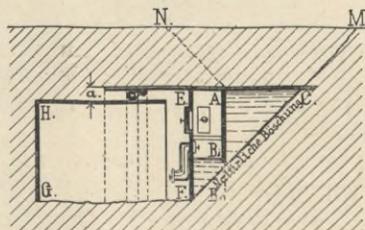
Fig. 3.



An Stelle der aus dem Raume  $ABC$  herausgenommenen Erde füllt sich dieser Raum mit Grundwasser.

Wird hinter der am unteren Ende offenen Wand  $AB_1$  in früher beschriebener Weise eine geschlossene Wand  $EF$  eingesetzt, so wird es möglich, den Arbeitsraum

Fig. 4.



wieder bis zur Unterkante der Umfassungswände durch Druckluft wasserfrei zu halten (Fig. 4).

Es können somit auch Röhren mit offener Sohle unter Wasser vorgetrieben werden.

Aus dieser Thatsache ergeben sich für die Ausführung Vortheile, von welchen die folgenden hier erwähnt seien:

- 1) Bei ungenügender Tragfähigkeit des durchfahrenen Bodens ist es möglich, im Arbeitsraum, durch Einrammen von Grundpfählen, Herstellung von Rosten, Versenkung von Brunnen und Pfeilern oder durch Ausführung ähnlicher Gründungsarbeiten, Funda-

mente bis auf den tragfähigen Untergrund niederzutreiben, über welchen der Tunnel seine Auflagerung finden kann.

- 2) An der Tunnelsohle ist das Mantelblech entbehrlich.
- 3) Die früher beschriebenen, in den Tunnelraum einzustellenden Lehrgerüste können an der offenen Tunnelsohle feste Unterstützungen auf Pfählen, Schwellen oder sonst geeigneten Stützpunkten finden.

Fig. 5.

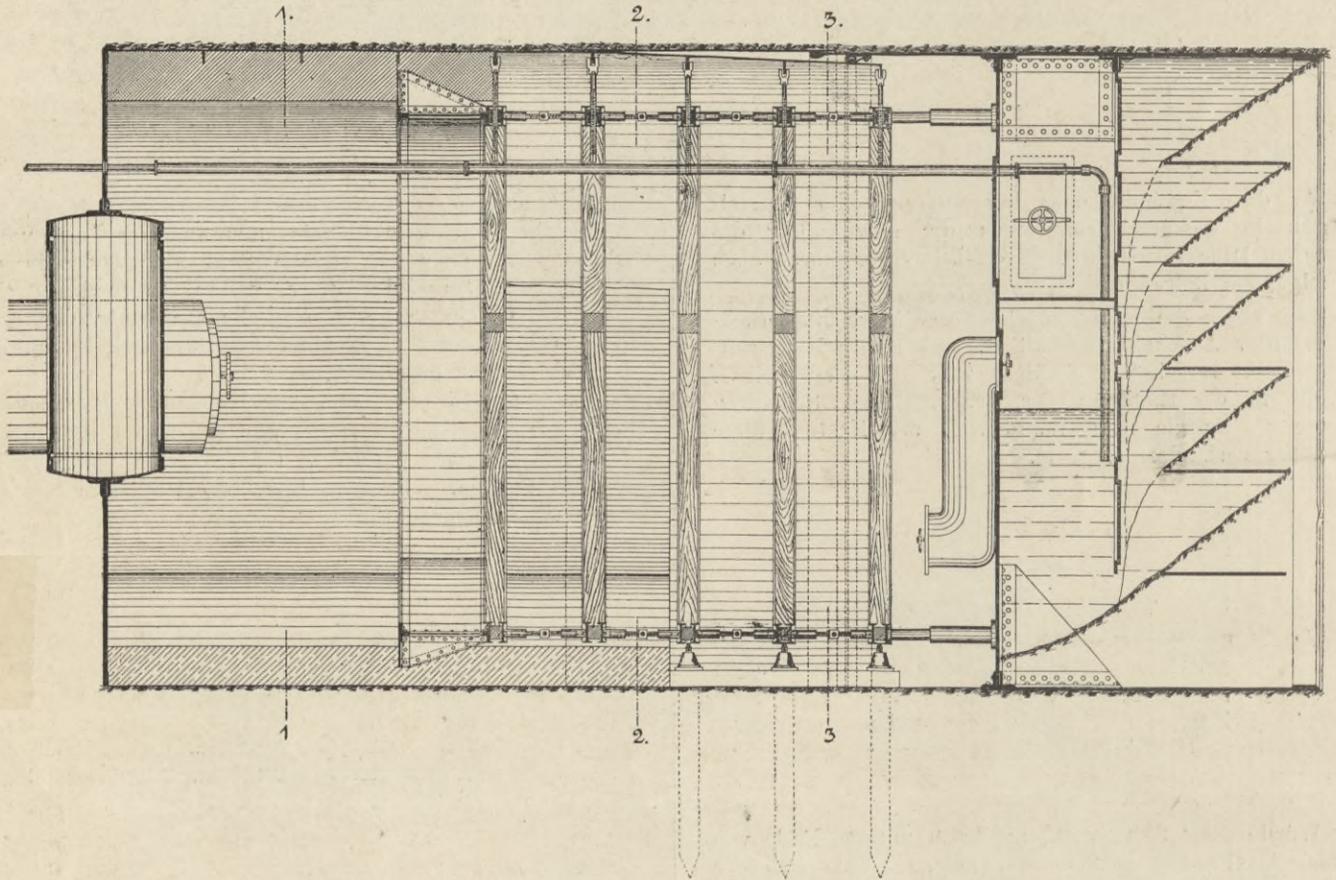
Längenschnitt.

Fig. 6.

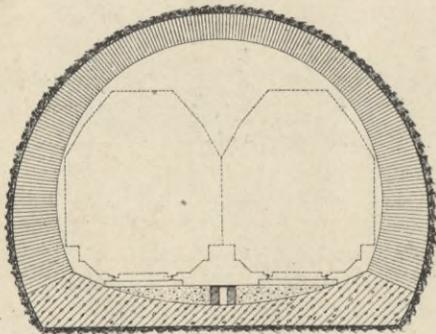
Querschnitt 1.

Fig. 7.

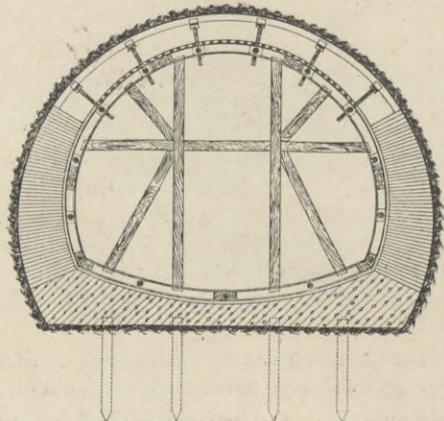
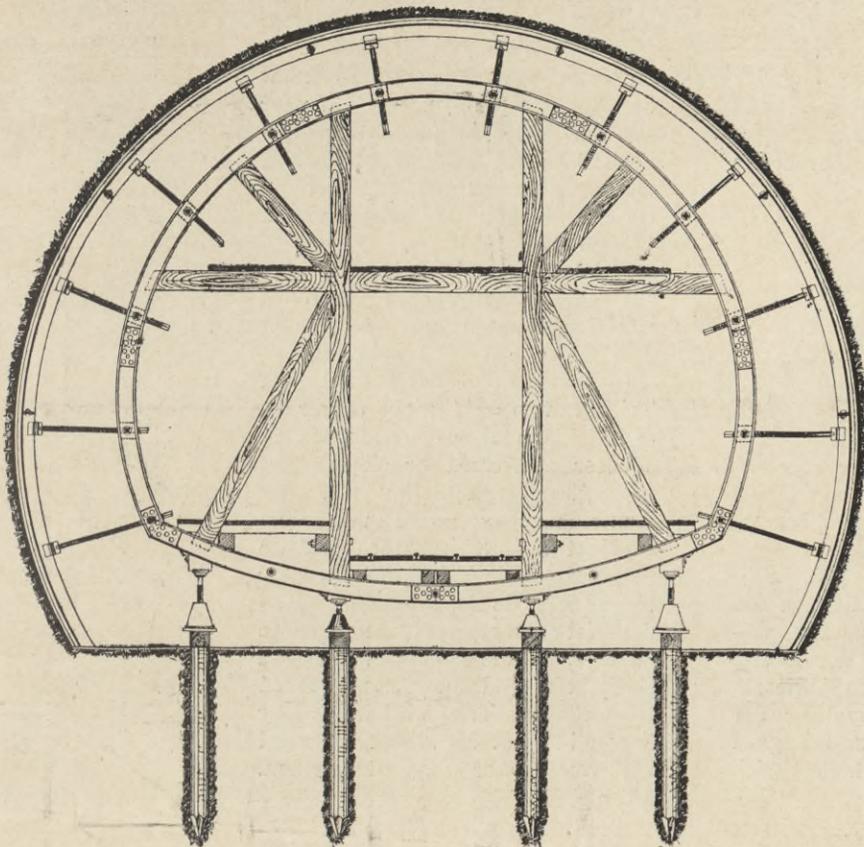
Querschnitt 2.

Fig. 8.

Querschnitt 5.

- 4) Auf diesen festen Stützpunkten können mit Winden oder Schrauben die Lehrgerüstbinder und mit diesen das Tunnelmantelblech um das Maß  $a$  der zu befürchtenden Sackung des überliegenden Bodens (Fig. 4) im Scheitel gehoben werden. Das Tunnelmantelblech ist durch allmähliches Festdrehen der Lehrgerüstspindeln auch seitlich ausweitbar und kann an die umgebende Erde überall angepresst werden. — Schädliche Räume um den Tunnelmantel herum und nachtheilige Senkungen des Erdbodens hinter dem Vortriebsrohr lassen sich verhüten, zumal, wenn das Vortriebsrohr an seinem hinteren Ende noch eine Strecke weit über den Tunnelmantel hin verlängert wird.

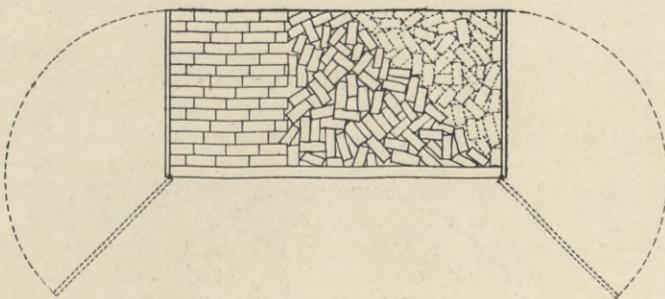
Der Einfluss der Reibung der Erde an der Außenwandfläche des Vortriebsrohres wird durch praktische Versuche festzustellen sein.

Die Figuren 5—8 stellen schematisch die Ausführung einer zweigleisigen unterirdischen Bahnstrecke in wasserreichem Boden nach dem gedachten Verfahren dar.

## V.

Triebsand ist feinkörniger Sand, welcher, dicht gelagert, ein guter Baugrund ist, in fließendem Wasser aber leichter in fortreibende Bewegung geräth, als Sand von gröberer Korngröße. Es ist getriebener, aber kein selbst treibender Sand. Die Sandkörner sind kleine Steinchen, deren spec. Gewicht größer ist als 1. Ohne treibende Bewegungen des Wassers oder des die Sandkörner sonst umhüllenden Mittels entsteht kein Triebsand.

Fig. 1.



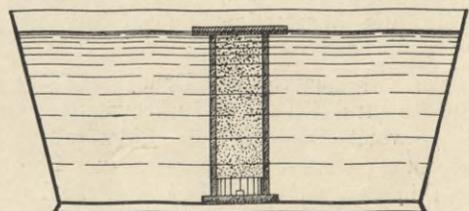
Wie jede Bodenart, so lagert sich auch feinkörniger Sand — Triebsand — in Ruhe unter natürlicher Böschung ab. Die Neigung der natürlichen Böschung gegen die Horizontale ist von der Form und Lagerung der Bodenbestandtheile, sowie vom Grade der Flüssigkeit und der Bindekraft des die Theile umgebenden Mittels — Wasser, Mörtel, Lehm, Thon oder dergl. — abhängig.

Füllt man einen Kasten, dessen Seitenwände nach außen umlegbar sind, mit Steinen von regelmäßiger Form, etwa Ziegelsteinen, in unregelmäßiger Lagerung, (wie

auf der rechten Seite der Figur 1 dargestellt ist) und klappt man hierauf die rechte Seitenwand des Kastens nach außen um, so fallen alle punkirt gezeichneten Steine aus dem Kasten heraus, weil sie ihre Schwerpunkts-Unterstützung verlieren. Die übrigen Steine bleiben unter der natürlichen Böschung der Steinschüttung im Kasten liegen.

Sind die Steine dagegen regelmäßig aufeinander geschichtet (wie in Figur 1 links gezeichnet), so fallen nach dem Umklappen der linken Seitenwand keine Steine aus dem Kasten heraus, sondern alle Steine bleiben unter senkrechter natürlicher Böschung im Kasten aufgeschichtet stehen.

Fig. 2.

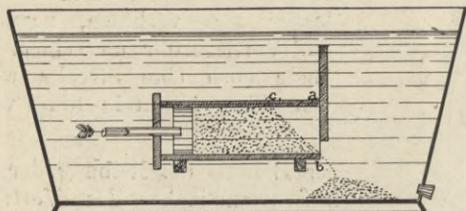


An diesem Vorgang ändert sich nichts, wenn der Kasten anstatt mit großen Steinen mit kleineren oder kleinsten Steinen (Sand) gefüllt wird. Es ändert sich auch nichts, wenn der Versuch, anstatt an der Luft, unter der Oberfläche eines Wasserbades, in welches der Steinkasten eingesenkt worden ist, ausgeführt wird.

Dreht man eine mit einer gesättigten Mischung von Wasser und feinem Sand gefüllte, aufrechtstehende Glas-

röhre mit durchsichtiger Wand, welche unten durch einen Kolben, oben mit einer Platte verschlossen ist, in einem Wasserbad um  $90^\circ$  in horizontale Lage um und öffnet man hierauf das durch die Platte verschlossene Ende der Röhre unter Wasser, so fällt der Sand aus dem in Figur 3 durch das Dreieck  $abc$  bezeichneten Raume — unter in wenigen Sekunden vorübergehender Trübung des Wassers — aus der Röhre heraus. Der übrige Sand bleibt in der Röhre unter natürlicher Böschung liegen. Drückt man alsdann den Kolben am linken Röhrenende

Fig. 3.



(Figur 3) tiefer in die Röhre hinein, so fließt aller Sand am rechten geöffneten Röhrenende allmähig aus der Röhre aus. Die natürliche Böschung des Sandes verbleibt dabei immer an der gleichen Stelle in der Röhre. Man kann das Abschalen der Böschung und das Abrieseln des Sandes unter Wasser unter die Glaswandung der Röhre hindurch beobachten. Wird die Glasröhre ganz langsam aus dem Wasser herausgehoben, so ändert sich

die Lage der natürlichen Böschung des Sandes in der Röhre wenig oder gar nicht. Geschieht dieses Herausheben der Röhre dagegen schnell, oder lässt man das Wasser aus dem Wasserbad in so kurzer Zeit auslaufen, dass das Wasser in der Röhre in fließende Bewegung geräth, so strömt der Sand theilweise mit dem Wasser aus der Röhre heraus. Die natürliche Böschung wird um so flacher, je feiner der Sand und je größer die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers ist, denn:

Wenn in fließendem Wasser auf ein würfelförmiges Sandkorn von der Kantenlänge  $s = 1$  und dem Gewicht  $q = 1$  senkrecht zu einer Seitenfläche des Würfels die Triebkraft  $p = 1$  wirkt (Figur 4), so wirkt in demselben fließenden Wasser auf einen Sandkornwürfel aus gleichem Material von der Kantenlänge  $s = 2$  und dem Gewicht  $Q = 8q$  senkrecht auf die Seitenfläche die Triebkraft  $P = 4p$  (Figur 5). Die Resultirende  $r$  aus  $p$  und  $q$  ist flacher gegen die Horizontale geneigt, als die Resultirende  $R$  aus Gewicht  $Q$  und der Seitenkraft  $P$ . Der größere Würfel wird im Wasser liegen bleiben, der kleinere Würfel wird vom Wasser weggespült werden.

Fig. 4.

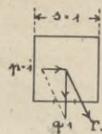
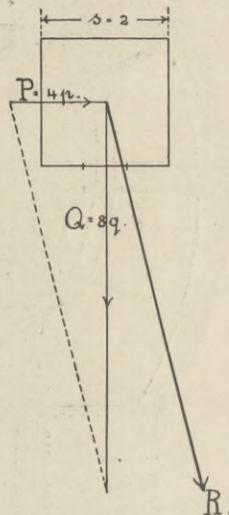


Fig. 5.



## VI.

Bei der Ausführung von Röhrenvortrieben in wasserreichem feinem Sandboden muss, zur Vermeidung treibender Bewegungen des Grundwassers, der Luftdruck im Arbeitsraum dem Druck des Grundwassers dauernd gleich gehalten werden. — Bei der Ausführung von Taucherarbeiten in wechselnder Wassertiefe wird die gleiche Forderung gestellt. Einzeltaucher werden darum mit Luftregulatoren in Tornisterform — im Handbuch der Ingenieurwissenschaften IV. Band, Kapitel XII, sind diese Luftregulatoren beschrieben — ausgerüstet, welche den Luftdruck im Taucherhelm in ebenso genauer wie einfacher Weise der Wassertiefe, in welcher der Taucher arbeitet, entsprechend reguliren.

Dasselbe Rouquayrol & Denayrouzé'sche Prinzip, welches der Konstruktion dieser Luftregulatoren für Einzeltaucher in so vorteilhafter Weise dient, würde auch bei der Herstellung größerer Apparate zur Regelung des Luftdruckes in den Arbeitsräumen von Senkkasten und Tunnelröhren Anwendung finden können.

An die Stelle des Taucherhelmes tritt der Tunnel- oder Senkkastenarbeitsraum. — Der auf dem Rücken des Einzeltauchers liegende, cylindrische Luftbehälter, welcher mit Vorrathsluft von höherer Spannung, als der Arbeitstiefe des Tauchers entspricht, gefüllt wird, ist bei Tunnel- und Senkkastenbetrieben durch einen ausreichend großen, auf der Baustelle gelagerten Luftsammler (Akkumulator)  $A$  für Druckluft von etwas höherer Spannung als zur Verdrängung des Wassers aus dem Tunnel- oder

Senkkastenarbeitsraum anzuwenden ist, zu ersetzen. Aus diesem Luftsammler  $A$ , welcher möglichst groß gewählt werden soll und aus Tunnelmantelblechen auf der Baustelle zusammengebaut werden kann, werden zweckmäßig auch die Personen- und die Materialschleusen gespeist werden, damit die durch die oftmaligen Füllungen der Schleusen mit Druckluft entstehenden Druckschwankungen nicht mehr, wie bei Senkkastenbetrieben bisher gebräuchlich, im Arbeitsraum, sondern in dem Akkumulator  $A$  auftreten. — Ventil und Ventilgehäuse des Regulators eines Einzeltauchers werden für Tunnel- oder Senkkastenbetriebe in größeren Abmessungen anzufertigen sein und am Grunde eines über dem Arbeitsraum oder in der Nähe der Arbeitsstelle befindlichen Schachtes angeordnet werden, welcher jeweils mit Wasser so hoch gefüllt zu erhalten ist, dass der Wasserdruck auf die auf- und niederspielende Ventilmantelplatte dem im Arbeitsraum und in der Ventilkammer  $B$  erforderlichen Luftdruck entspricht.

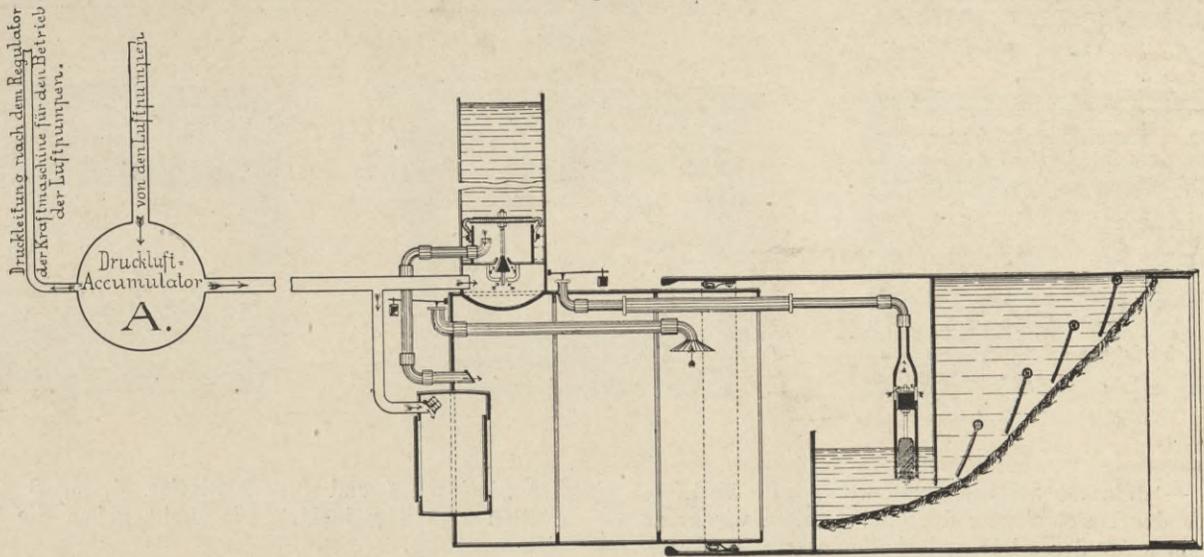
Sowohl Luftzuführung als Luftausführung können nach diesem Prinzip regulirt werden. In nachstehender Figur ist die Regulirung der Luftzuführung in einen Tunnelarbeitsraum schematisch dargestellt. Ueberschüssige und verbrauchte Luft wird durch Ventile in der Rückwand des Arbeitsraumes abgelassen.

Erscheint die Regulirung des Luftdruckes in Tunnel- oder Senkkastenarbeitsräumen durch die in den früheren Mittheilungen erwähnten und in den Zeichnungen sche-

matisch angedeuteten Luftabführungsröhren  $x y z$  als ausreichend, so müssen in den untersten, in das Grundwasser eintauchenden Enden dieser Röhren Schwimmer veränderlichen Gewichts auf- und abwärts sich be-

wegen, welche die höher liegenden Luftausströmungsöffnungen in der Wand der Röhren durch Ventile oder Kolben beim Sinken der Schwimmer mehr öffnen, beim Aufsteigen der Schwimmer mehr schließen.

Fig. 6.



Jedes gute Druckminderventil kann als Luftdruckregulator dienen.

Aus Sicherheitsgründen wird es sich empfehlen, Tunnel- und Senkkastenarbeitskammern je mit wenigstens 2 Luftdruckregulatoren auszurüsten. Durch Rückwirkung der Luftdruck-

schwankungen im Accumulator  $A$  auf den Regulator der Betriebsmotoren für die Druckluftherzeugung ist der Gang dieser Motoren dem jeweiligen Druckluftverbrauch entsprechend zu regeln.

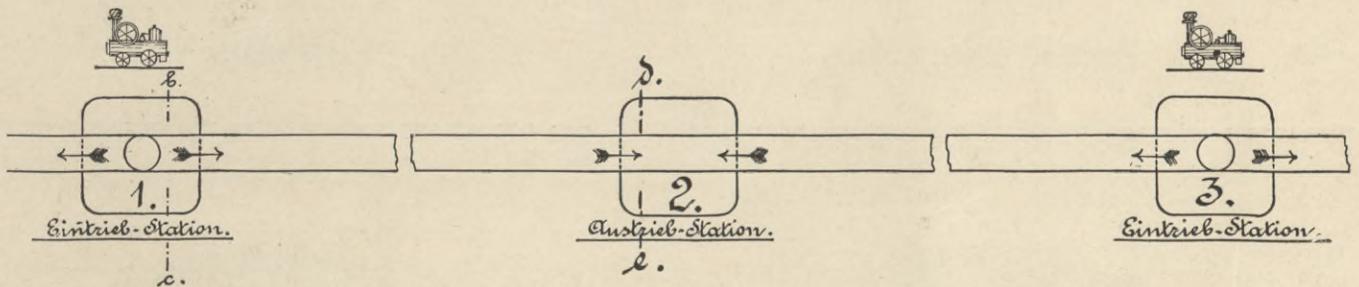
### VII.

Die in Abschnitt VI erwähnte Aufstellung eines Druckluftbehälters  $A$  auf der Baustelle und die Aufspeicherung einer Vorrathsmenge von Druckluft darin von etwas höherer Spannung, als der Tiefe der Arbeitskammer unter Wasser entspricht, lässt einen Theil der zur Verdichtung der Luft geleisteten Maschinenarbeit — nämlich denjenigen Theil,

welcher beim Einströmen der Druckluft in den Arbeitsraum durch die Expansion der Luft aufgebraucht wird — als nutzlos aufgewendet erscheinen.

Aber abgesehen davon, dass die Regulierung des Luftdrucks durch ein Druckminderventil das ununterbrochene Nachströmen der Druckluft und darum die höhere Spannung

Fig. 1.



der Vorrathsdrukluft erfordert, bietet die Anordnung des Druckluftbehälters  $A$  den Vortheil, dass mit einer Motorenanlage und aus einem Druckluftbehälter gleichzeitig mehrere Arbeitsstellen mit Druckluft versorgt werden können.

Längere Tunnelstrecken werden daher zweckmäßig in eine Anzahl gleichzeitig auszuführender kürzerer Einzelstrecken eingetheilt werden, nach welchen der zur Aus-

führung erforderliche Bedarf an Druckluft von Centralstationen aus durch Rohrleitungen hingeleitet wird.

Bei gleichzeitigem Vortreiben zweier Vortriebsrohre in entgegengesetzter Richtung heben sich die Druckkräfte der Vortriebspresen beim Beginn der Arbeiten ganz oder theilweise gegenseitig auf und sind Abstützungen der Pressenkräfte gegen rückliegende Erdkörper, Mauern, Pfahlgruppen oder dergl. weniger erforderlich.

In Fig. 1 (s. vor. Seite) stellen die mit ungerader Nummerzahl bezeichneten Stationen einer Tunnelstrecke die Eintriebstationen — d. h. diejenigen Stationen, bei

welchen Betriebsmaschinen, Druckluftbehälter und Vortriebapparate aufzustellen sein würden — die mit gerader Nummer bezeichneten Stationen dagegen die Austrieb-

Fig. 2.

Längenschnitt.

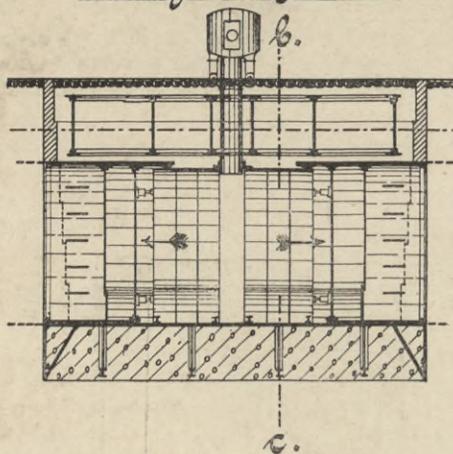


Fig. 3.

Querschnitt b-c.

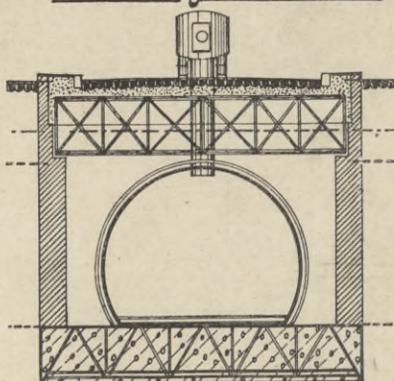
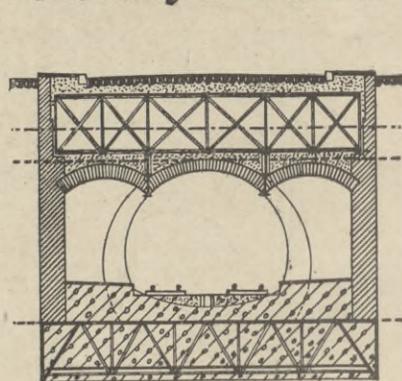


Fig. 4.

Querschnitt d-e.



stationen — d. h. die Stationen, auf welchen die Vortriebsrohre nach der Durchföhrung der Theilstrecken wieder zu Tage kommen — dar. Die auöerhalb des rechten Blatt- randes (Figur 1) fallenden Stationen 5, 7, 9 usw. sind

den Stationen 1 und 3, die Station 4, 6, 8 usw. der Station 2 gleichgedacht. Die Pfeile geben die Vortriebs- richtungen an.

VIII.

Verbindungen gegenüberliegender Ufer einer Wasser- fläche können — soweit die Wassertiefen die Ausführung von Arbeiten in Druckluft gestatten — entweder auf der

geebneten Sohle des zu unterföhrnden Flusslaufes oder Meeresarmes oder im Kerne einer die Ufer verbindenden Grundschwelle geschaffen werden. (Figur 1—3.)

Fig. 1.

Längenschnitt.

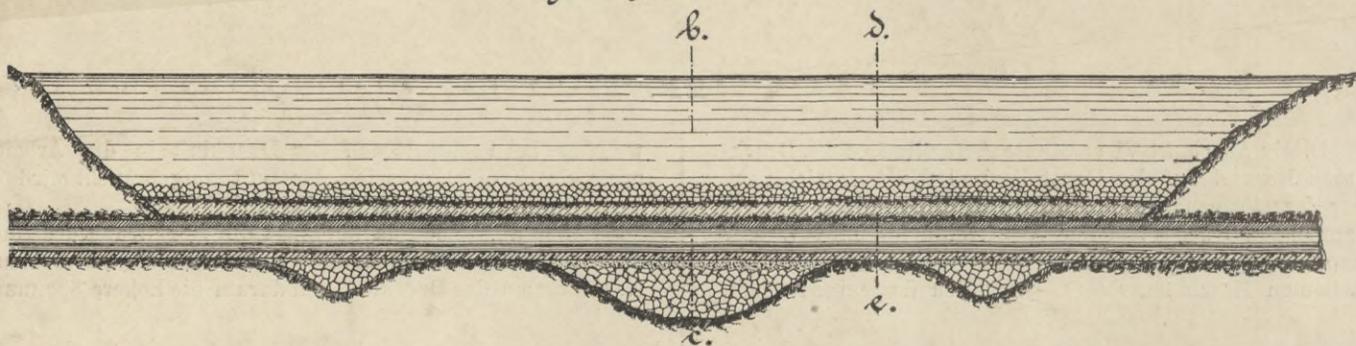


Fig. 2.

Querschnitt b-c.

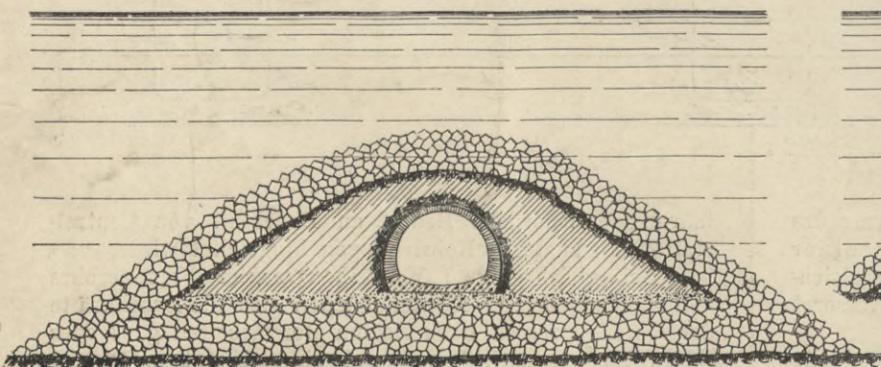
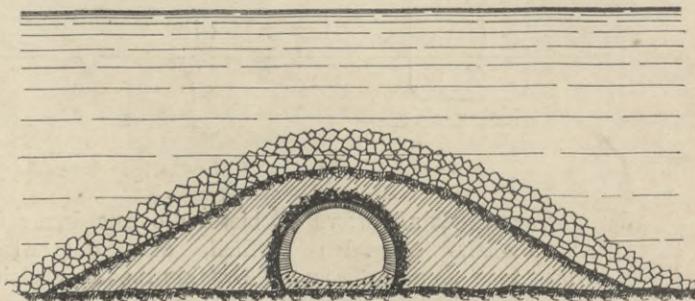


Fig. 3.

Querschnitt d-e.



Berlin, im Januar 1898.

A. Haag, Ingenieur.





POLITECHNIKA KRAKOW  
BIBLIOTEKA GLOW.



1828

L. inw.

18280

Kdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300910

B

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-18280

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300910