

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1865

Dritter Abschnitt. Die Bergwerkmaschinen

[urn:nbn:de:bsz:31-278533](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-278533)

DRITTER ABSCHNITT.

Die Bergwerksmaschinen.**Aufgabe des Bergbaues.**

Die Aufgabe des Bergbaues besteht darin, die mannigfaltigen im Innern der Erde vorkommenden nützlichen und werthvollen Materialien an die Oberfläche der Erde zu bringen.

Diese Gesamtaufgabe, welche der Bergbau zu lösen hat, zerfällt naturgemäss in folgende Hauptabschnitte:

1. Die Untersuchung des Bodens hinsichtlich der in demselben vorkommenden nützlichen Materialien und über die Lagerung oder Schichtung derselben im Erdinnern.

2. Die Herstellung von Kanälen, um von der Oberfläche der Erde an bis zu den Stellen gelangen zu können, wo sich die zu Tage zu fördernden Materialien befinden, so wie auch, um diese Materialien selbst herauszuschaffen und alle hinderlichen oder störenden Vorkommnisse zu beseitigen.

3. Die Lostrennung der zu fördernden Materialien von den werthlosen, welche an Ort und Stelle zurückgelassen werden sollen.

4. Die Herstellung aller Einrichtungen, welche erforderlich sind, um sowohl die nützlichen Materialien, so wie auch alle die Arbeiten hindernden Stoffe aus dem Innern bis an die Oberfläche der Erde zu fördern.

5. Die Aufbereitung der gewonnenen Materialien, um dieselben von fremdartigen Substanzen zu sondern und in einen gleichförmigen zur weiteren Verwendung geeigneten Zustand zu versetzen.

Ueber diese fünf Hauptabschnitte des Bergbaues sollen die folgenden Nummern speziellere Erläuterung geben.

Die Bodenuntersuchung. Die erste Aufgabe des Bergbaues besteht in der Erforschung des einer bestimmten Stelle der Erdoberfläche

entsprechenden Erdinnern bis zu einer gewissen Tiefe hinab. Diese Erforschung hat die Geognosie und Geologie durchzuführen. Gewisse allgemeine geologische oder geognostische Gesetze lassen in der Regel mit einem gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit auf die im Innern der Erde vorkommenden Materialien und deren Uebereinander- und Nebeneinander-Lagerung schliessen. Um jedoch von diesen Lagerungsverhältnissen und den Materialien, welche die Lagerungen enthalten, eine so genaue Kenntniss zu erhalten, als durchaus nothwendig ist, um die Frage entscheiden zu können, ob die Anlage eines Bergbaues von Vortheil sein kann, und wenn diese Frage bejahend beantwortet ist, zu erkennen, wie der ganze Bergbau angelegt werden muss, sind in den meisten Fällen noch Bohrversuche nothwendig, durch welche die Uebereinanderlagerung der verschiedenen Schichten, ihre Mächtigkeit und ihr Materialgehalt auf das Bestimmteste ermittelt werden kann, wenn diese Bohrungen an einer grösseren Anzahl nicht zu weit von einander entfernten Stellen vorgenommen werden. Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, diesen geologischen Theil des Bergbaues im Speziellen zu verfolgen, wir müssen uns begnügen, den Satz auszusprechen, dass durch diese geologischen Studien das ganze Programm des durchzuführenden Bergbaues aufgestellt werden muss, denn wenn einmal der Boden ganz genau untersucht ist, ergibt sich daraus nicht nur der ganze Materialgehalt des Erdinnern für eine gewisse Stelle der Erdoberfläche, sondern man erfährt dadurch auch, wie die Materialien gelagert sind, welche Kanäle angelegt werden müssen, um zu den Materialien zu gelangen und um dieselben an den Tag zu fördern.

Der Grubenbau. Dieser umfasst den Inbegriff aller Arbeiten, durch welche die Kommunikationen zwischen dem Erdinnern und der Erdoberfläche hergestellt werden. Diese Kommunikationen zerfallen in drei Klassen. 1. Stollen, Gänge, Gallerien; darunter versteht man Kanäle, die genau oder annähernd horizontal nach dem Innern führen. 2. Schachte, d. h. Kanäle, die genau oder annähernd nach vertikaler Richtung in das Innere führen. 3. Kammern und Höhlungen im Innern zur Aufstellung von Maschinen, Ablagerung von Materialien, zu Versammlungsplätzen für Arbeiter. Die Länge der Stollen richtet sich nach der Entfernung der Punkte, welche dadurch in Kommunikation gesetzt werden sollen. Die Querschnitte nach der Quantität des Materials, welches durch dieselben gefördert werden soll. Stollen, welche nur dazu dienen, damit die Arbeiter in's Innere gelangen können, werden niedrig und schmal gehalten. Stollen, durch welche mittelst Schiebkarren oder Rollwagen Ma-

terialien gefördert werden, erhalten eine dem Querschnitt dieser Fahrzeuge entsprechende Weite und Höhe. Um den Einsturz der Wände und Decken zu verhüten, werden die Stollen entweder ausgezimmert oder selbst in grössern Bergbauanlagen ausgemauert. Am Boden wird zuweilen eine Rinne angebracht, um das Wasser abzurinnen zu machen.

Die Tiefe der Schächte richtet sich nach Lokalverhältnissen; es gibt solche bis zu 600 Meter Tiefe. Der Querschnitt richtet sich nach dem Zweck, für welchen der Schacht bestimmt ist. Es gibt Schächte 1. zum Ein- und Aussteigen der Arbeiter; 2. zur Ableitung der im Innern des Baues vorkommenden Gase (Ventilations-Schächte); 3. zur Heraus-schaffung des Wassers, welches sich im Innern des Bodens ansammelt (Schächte zur Wasserhaltung); 4. Schächte zur Heraus-schaffung der Materialien, welche vom Erdinnern losgebrochen werden. Um den Einsturz der Wände zu verhüten, werden die Schächte entweder ausgezimmert oder zuweilen sogar ausgemauert. Die Art und Weise, wie dieser Grubenbau, diese Herstellung der Stollen, Schächte und Kammern, bewerkstelligt wird, können wir hier nicht lehren, ist aber ein wichtiges Kapitel der Bergbaukunde; wir begnügen uns, hier die Grundsätze anzudeuten, welche beim Grubenbau maassgebend sind.

Die Richtungen, nach welchen die Schächte und Stollen zu treiben sind, werden durch das bergmännisch-geologische Programm bestimmt. Um diese Richtungen bei der Ausführung gehörig einhalten und treffen zu können, dient ein Theil der praktischen Geometrie, die sogenannte Markscheidekunst. Die Boussole, der Maasstab, die Messkette, sind die Instrumente, welche dabei gebraucht werden. Die Herstellung der Stollen und Gänge, so wie ihre Auszimmerung oder Ausmauerung erfolgt nach den Erfahrungen und Regeln, welche das Ingenieurfach für derlei Prozesse befolgt und aufgestellt hat.

Der Abbruch. Die Lostrennung der nützlichen Materialien von den werthlosen geschieht zuweilen durch Brecheisen, Hacken und ähnliche Werkzeuge oder durch Sprengung mit Pulver und überhaupt durch die verschiedenen Mittel, welche die Ingenieurkunst für alle Arten von Erd-, Stein- und Felsarbeiten ausgedacht und in Anwendung gebracht hat. Die werthvolleren Materialien, zu deren Gewinnung der Bergbau angelegt wird, sind: 1. Baumaterialien. 2. Metallerze, d. h. Steinarten, welche Metalle in oxidirtem Zustand oder in Form irgend einer andern chemischen Verbindung enthalten. 3. Steiniges Material, an welchem gediegene Metalle ankrystallisirt sind oder sich sonst durch mechanische Mittel ansetzen. 4. Steinkohlen

oder überhaupt geologische Brennstoffe. Baumaterialien werden jedoch selten durch Grubenbauten, sondern in der Regel durch Steinbruchbauten gewonnen. Der Werth derselben steht nicht hoch genug, um einen Grubenbau ertragen zu können. Die werthlosen Materialien, welche in der Regel ebenfalls losgebrochen werden müssen, um zu den werthvollen gelangen zu können, sind Sand, Kies, Steine und Felsen, welche keine Metalle, noch Mineralien enthalten. Dieses Material wird in der Bergmannssprache taubes Gestein genannt. Die Rentabilität eines Bergbaues richtet sich selbstverständlich nach dem Verhältniss zwischen der Quantität des nützlichen Materials und des tauben Gesteins, das losgebrochen und gefördert werden muss, um die nützlichen Materialien gewinnen zu können.

Die Aufbereitung. Die Materialien, welche durch den bergmännischen Betrieb gewonnen werden, sind unmittelbar nach ihrer Förderung noch nicht in dem Zustande, dass sie sogleich verwendet werden können. Sie sind in der Regel noch mit andern Materialien gemischt oder gemengt, die für die weitere Benützung störend oder hinderlich wären. Daher müssen gewisse Prozesse vorgenommen werden, um alles werthlose oder störende wie nachtheilige Material von dem werthvollen zu trennen, und diesem diejenige Gleichförmigkeit zu verschaffen, welche für die weiteren Verwendungen erforderlich ist. Diese Prozesse, welche sehr mannigfaltig sind, werden im Allgemeinen Aufbereitungen genannt, und sie geschehen meistens auf mechanistische Weise auf trockenem oder nassem Wege.

Die Transporteinrichtungen. Ist ein Grubenbau hergestellt, und soll derselbe betrieben werden, so sind, insbesondere bei ausgedehnteren Anlagen mit Stollen und Schächten, mannigfaltige Transporteinrichtungen nothwendig. Diese sind: 1. Einrichtungen zur Ein- und Ausbewegung der Arbeiter. 2. Ventilation oder Lufterneuerung. 3. Wasserförderung. 4. Förderung des Abbruchmaterials. Diese Einrichtungen sind rein mechanistischer Natur und sollen nun hier speziell behandelt werden.

Der Grubentwurf ist Sache der Geologie; der Grubenbau ist Sache der Ingenieurkunst; der Grubenbetrieb ist Sache des Maschinenbaues.

Bewegung der Arbeiter. In den Stollen bewegen sich die Arbeiter in gewöhnlicher Weise und es ist in dieser Hinsicht nur dafür zu sorgen, dass der Boden der Stollen und Gänge gangbar einge-

richtet wird. Wegen des Wassers das sich in den Stollen sammelt, sind deshalb meistens auf Balken gelegte Bretterbedielungen notwendig. In den Schächten geschieht die Bewegung der Arbeiter häufig auf Leitern, allein dies ist bei grossen Tiefen äusserst ermüdend und zeitraubend, daher werden in grossen und tiefen Schachtbauten Aufzüge oder sogenannte Fahrkünste eingerichtet. Die Aufzüge können eine ähnliche Einrichtung erhalten, wie die Sackaufzüge in den Mahlmühlen, oder wie die Fördermaschinen für das Abbruchmaterial. Die rationellste Einrichtung einer Fahrkunst ist diejenige von *Warocqué de Mariemont*, Taf. XXI. Fig. 4 und 5.

$a a_1$ sind zwei unten durch einen Kanal communizierende mit Wasser gefüllte und mit Kolben versehene ausgebohrte Cylinder. Jeder Kolben ist mit einer Kolbenstange versehen, die unten durch eine Stopfbüchse geht und mit einem bis in die Tiefe des Schachtes hinabreichenden Gestänge versehen ist, das stellenweise geradlinig geführt wird.

$b c d e f$, $b_1 c_1 d_1 e_1 f_1$ sind kanzelförmige Stehbühen, die nach innen zu mit keinem Geländer versehen sind. A ist ein Dampfcylinder von beträchtlicher Höhe; wird der Kolben dieses Cylinders durch Dampf auf und ab bewegt, so werden durch Vermittlung des in den Cylindern a und a_1 enthaltenen nicht zusammendrückbaren Wassers beide Gestänge mit den Stehbühen auf und ab bewegt. Der Kolbenhub von A ist halb so gross, als die Entfernung zweier unmittelbar aufeinander folgenden Bühnen. Nehmen wir an, die Fahrkunst befinde sich in der Stellung Fig. 4 und es seien in diesem Moment die Bühnen b, c, d, e, f leer, auf jeder der Bühnen $b c d e f$ befinde sich ein Arbeiter. Nun tritt der Arbeiter bei b aus, tritt ein Arbeiter bei f ein und schreiten die Arbeiter aus c nach b_1 , aus d nach c_1 , aus e nach d_1 , aus f nach e_1 . Geht nun der Kolben von A in die Höhe, so kommt die Fahrkunst in die Stellung Fig. 5, der Arbeiter b kann austreten, bei f kann ein Arbeiter einsteigen, und die Arbeiter f, e, d, c können nach $e d c b$ übertreten etc.

Ventilation der Gruben. Die in den Gruben enthaltene Luft erleidet aus mannigfaltigen Ursachen Veränderungen, wodurch sie zur Athmung der Arbeiter untauglich wird. Ein Grubenbetrieb ist daher nur möglich, wenn diese verdorbene Luft beseitigt und durch reine Luft ersetzt wird. Diese Luftreinigung wird die Ventilation genannt.

Der Ursachen, welche die Luft verderben, gibt es mehrere. 1. Die Athmung und Ausdünstung der Arbeiter. 2. Das Pulvergas, wenn zum Lossprengen Pulver gebraucht wird. 3. Gasentwicklungen aus Mineralien, z. B. aus schwefelhaltigen Materialien. 4. Er-

hitzung der Steinkohlen in Kohlengruben. 5. Die Fäulniss des Holzes der Schachtzimmerung. 6. Gasentwicklungen durch den Stoss der Abbruchwerkzeuge oder Sprengwerkzeuge gegen Gesteine, welche Schwefel, Arsenik oder andere Substanzen enthalten. 7. Die Grubenlampen.

Die aus diesen Ursachen entstehenden Gase lagern sich in den Stollen und Schächten nach ihrem spezifischen Gewichte übereinander und zwar ist dasselbe für:

	Spez. Gewicht.
Kohlenhydrogen	= 0.558
Azotgas	= 0.976
Atmosphärische Luft	= 1.000
Schwefelhydrogen	= 1.191
Kohlensäure	= 1.524

Kohlensäure wirkt eingeathmet tödtlich. Die Kohlengase aller Art kommen insbesondere in den Kohlenbergwerken reichlich vor. Sie sind, weil mit atmosphärischer Luft gemischt, entzündlich, werden im Allgemeinen Grubengase oder schlagende Wetter genannt. Um ihre Entzündung zu verhüten, werden bekanntlich sogenannte Sicherheitslampen gebraucht. Arsenik- und Quecksilberdämpfe entstehen insbesondere durch den Stoss der Brechwerkzeuge gegen Gestein, das Arsenik etc. enthält. Das gefährlichste Gas ist das Kohlenwasserstoffgas (CH_4), das schlagende Wetter; wenn es sich in grösseren Massen vorfindet und durch Grubenlicht entzündet wird, erfolgt zunächst eine äusserst heftige Explosion. Zuerst eine heftige Ausdehnung, dann eine heftige Zusammenziehung. Die Mauern, die Schacht- und die Stollenzimmerungen werden erschüttert, zerbrochen, stürzen zusammen, wodurch auch Erdstürze entstehen können. Die Arbeiter werden verbrannt und das Feuer ergreift oftmals das Holzwerk oder in Kohlenbergwerken die Kohlenlager. Es entsteht eine so heftige Luftströmung, dass Arbeiter niedergeworfen, an die Wand geschleudert und daran zerschmettert werden, und an der Mündung des Schachtes fährt zuweilen der Luftstrom mit einer Vehemenz heraus, dass Steine, Erde, Sand und Holzstücke mit hinausgeschleudert werden. Dazu kommt noch, dass diejenigen Arbeiter, welche der mechanischen Wirkung der Explosion entgangen sind, nun in der grossen Quantität Kohlensäure, welche durch die Entzündung des Kohlenhydrogens entsteht, ersticken.

Damit sich diese schlagenden Wetter nicht bilden können, ist insbesondere in den Kohlenbergwerken eine sehr lebhaftere Lüftung und Luftcirkulation nothwendig. Die Ventilation ist ent-

weder eine natürliche oder eine künstliche. Die natürliche Ventilation macht sich durch die innere Erdwärme, wenn man zwei Ausmündungen anbringt, die in verschiedener Höhe liegen. Die kalte Luft dringt dann durch die tiefer liegende Mündung (z. B. durch einen Stollen) ein und entweicht durch die höher gelegene (z. B. durch die Mündung des Schachtes). Im Winter ist diese Cirkulation, ähnlich wie bei einem Kamin, lebhafter als im Sommer. Da die Temperatur der Erde im Innern mit je 30 Meter Tiefe um 1° zunimmt, und auf der ganzen Erde in einer Tiefe von 50 Meter 10 bis 12° beträgt, so ist dieselbe in einer Tiefe von 300 Meter 18 bis 20° . Wird nun ein Stollen hergestellt, der in einer Tiefe von 300 Meter in den Schacht mündet, so entsteht eine Luftströmung, wie in einem Kamin, in welchem Luft von 20° Temperatur aufsteigt. Auf diese Art kann jedoch nur dann eine Ventilation hervorgebracht werden, wenn der Schacht in einen Berg herabgetrieben ist und am Fusse desselben der Stollen eingetrieben wird. Ist der Schacht von einer ebenen Terrainfläche aus nach der Tiefe getrieben, so muss eine künstliche Ventilation hervorgerufen werden. Dies geschieht entweder durch Lufterhitzungen oder durch mechanische Kräfte. Im erstern Falle muss nebst dem Schacht A (Fig. 6) ein Kanal B hergestellt werden, durch welchen kalte Luft bis zu dem Feuerherd c eindringt. Die Luft wird in dem Schacht durch das Feuer erhitzt und steigt in dem Schacht auf.

Die natürliche Ventilation wie auch die Ventilation vermittelt erhitzter Luft bringt nur eine schwache Wirkung hervor, und ist für tiefe und ausgedehnte Schachtbauten nicht hinreichend, sondern man muss bei diesen ungünstigen Verhältnissen zur mechanistischen Ventilation seine Zuflucht nehmen. Dies geschieht durch Anwendung von Ventilatoren oder Luftsaugapparaten. Man stellt einen besonderen Schacht her, der mit allen inneren Stollen, Schächten und Gängen in Verbindung gebracht wird, und stellt an der Mündung dieses Schachtes (puit d'aérage) den Luftsaugapparat auf. Die besseren Apparate dieser Art sind folgende:

1. grosse Centrifugal-Ventilatoren von circa 3^m Diameter, die in einer Minute 200 Umdrehungen machen (Burat, Seite 290);
2. pneumatische Maschinen, wie Cylindergebläse eingerichtet, die durch Dampfmaschinen bewegt werden (Burat, S. 292);
3. der Ventilator von Fabry (Burat, Seite 294), dessen Leistungen sehr günstig sein sollen;
4. der Ventilator von Lemielle (Burat, Seite 298);
5. der Ventilator von Combes;
6. der Ventilator von Cadiat;
7. der Ventilator von Letoret;
8. pneumatische Schraube von Sauwartan;

} Armengaud,
2^e Vol., Pl. 27.

Transport in den Stollen und Gängen. Das Abbruchmaterial muss in den Stollen und Gängen nach den Förderschächten gebracht werden. Dieser Transport geschieht auf verschiedene Weise: 1. durch Tragen in Säcken oder Kübeln; 2. mit Schiebkarren; 3. mit Rollwagen (zuweilen Hunde genannt), auf Holzbahnen oder leichten Eisenbahnen; 4. mit Palmer'schen Eisenbahnen; 5. auf geneigten Bahnen mit balancirendem Train.

Die hierzu dienenden Einrichtungen und Apparate findet man in Burat, Géologie appliquée, Seite 318 bis 350 dargestellt und beschrieben.

Vertikal-Transport.

Schachtaufzüge mit Seilkörben oder Spulen. Um die Abbruchmaterialien aus den Schächten zu Tage zu fördern, werden sogenannte Fördermaschinen (Schachtaufzüge) angewendet. Die Materialien werden in der Tiefe des Schachtes in Tonnen oder in Rollwagen geladen. Oben am Schacht wird eine Seilwinde aufgestellt. An derselben sind zwei Trommeln vorhanden, um welche nach entgegengesetzter Richtung Seile gewickelt sind. An einem Seil hängt eine belastete, am andern eine leere Tonne. Wird die Axe der Trommel nach einer gewissen Richtung gedreht, so wird die belastete Tonne in die Höhe gewunden und wird gleichzeitig die leere Tonne in den Schacht hinabgelassen. Ist die gefüllte Tonne oben angekommen, so wird sie entleert und wird gleichzeitig die andere Tonne mit Material in der Tiefe des Schachtes gefüllt.

Wird hierauf die Axe der Trommeln nach einer Richtung gedreht, die jener entgegengesetzt ist, nach welcher früher die Bewegung erfolgte, so erfolgt abermals eine Erhebung der gefüllten und eine Niedersenkung der leeren Tonne. Die Maschine, welche die Trommelaxe bewegt, muss also die Einrichtung haben, dass sie abwechselnd nach entgegengesetzter Richtung treibt, und dass sie leicht jedesmal abgestellt werden kann, wie die eine Tonne oben und die andere Tonne unten angekommen ist, und dass sie leicht und sicher in Gang gesetzt werden kann, nachdem die Tonnen belastet und entleert worden sind. Damit die Auf- und Niederbewegung der Tonnen sicher erfolgt, bringt man bei besseren Einrichtungen Bahnen an, so dass die Tonnen oder die Bühnen, auf welche sie gestellt sind, geführt werden.

Um den Folgen zu entgehen, die durch einen Seilbruch unvermeidlich entstehen, werden Fangwerke angebracht, vermittelst welcher die Tonnen oder Bühnen an den Führungsbahnen hängen bleiben,

so wie sie niederzufallen beginnen. Wenn der Schacht sehr tief ist, haben die beiden Seile ein beträchtliches Gewicht, und da die in den Schacht hinabhängenden Seile während der Bewegung eine veränderliche Länge haben, so sind die Gesamtgewichte der auf- und niedergehenden Körper während des Ganges veränderlich. Um nun mit einer konstanten Kraft diese veränderlichen Widerstände zu überwinden, werden entweder konische Seiltrommeln oder werden Spulen angewendet.

Als Motor wird angewendet: 1. Menschenkraft vermittelt eines Tummelbaumes, an welchem die Seiltrommeln angebracht sind; 2. Pferdekraft mit Göpel; 3. Wasserkraft vermittelt Kehrrädern, d. h. solchen Wasserrädern, die doppelte Schaufelungen nach entgegengesetzter Richtung haben und durch das Wasser nach der einen oder nach entgegengesetzter Richtung gedreht werden; 4. Dampfkraft mit Maschinen, deren Bewegungsrichtung leicht gewechselt werden kann.

Sind die Schachte nicht tief, so wird Menschen- oder Pferdekraft gebraucht. Sind sie im Gegentheil sehr tief, so wendet man gegenwärtig meistens Dampfkraft an, denn es ist selten der Fall, dass die Lokalverhältnisse die Anwendung der Wasserkraft gestatten.

Was hier im Allgemeinen über die Einrichtung von Schachtaufzügen gesagt wurde, soll nun im Speziellen erklärt werden.

Fig. 7, Beispiel eines Schachtaufzuges für Menschenkraft mit Spillenrad.

Fig. 8, Beispiel eines Schachtaufzuges für Pferdebetrieb mit konischen Seilkörben.

Fig. 9, Beispiel eines Schachtaufzuges für Wasserkraft mit Kehrrädern.

Taf. XXII. Fig. 1, Beispiel eines Schachtaufzuges mit Dampfmaschine, mit konischen Seilkörben.

Fig. 2, Beispiel eines Schachtaufzuges mit zwei gekuppelten Dampfmaschinen, mit Seilspulen.

Theorie des Schachtaufzuges mit konischem Seilkorb.

Es sei Fig. 3 eine ideale oder theoretische Darstellung des Schachtaufzuges für den Moment, wenn die Erhebung einer gefüllten Tonne *a* beginnt. In diesem Augenblick ist das Seil *b* für *a* vom Korb ganz ab-, das Seil *b*, für *a*, auf den Korb ganz aufgewickelt. Das Seil *b* hängt am kleinen, das Seil *b*, am grossen Halbmesser des Korbes. Wählt man zur Berechnung die Seite 323

der „Resultate“ zusammengestellten Bezeichnungen und nennt noch M das statische Moment der Kraft, welches erforderlich ist, um die Axe des Seilkorbes zu drehen, wenn die Tonnen in der in Fig. 3 angegebenen Stellung sind, so ist:

$$M = (T + L + S) r - T R (1)$$

Ist die Hebung der Tonne a vollbracht, so hängt a am Halbmesser R , a , am Halbmesser r und das Drehungsmoment ist dann:

$$(T + L) R - (T + S) r$$

Diese beiden Momente sind gleich gross, wenn

$$(T + L + S) r - T R = (T + L) R - (T + S) r$$

Hieraus folgt:

$$\frac{R}{r} = \frac{L + 2 S + 2 T}{L + 2 T} (2)$$

Gerstner hat sich die Aufgabe gestellt, den Seilkorb so zu formen, dass das Drehungsmoment der Axe des Seilkorbes während der ganzen Erhebungsdauer einen constanten Werth hat. Der Seilkorb, welcher dieser Bedingung entspricht, hat nicht eine konische Form, sondern hat die Form einer gewissen Rotationsfläche, die jedoch von einem Konus nicht viel abweicht. Für die praktischen Zwecke genügt es, die konische Form zu wählen, aber die Abmessungen so zu nehmen, dass wenigstens am Anfang und am Ende der Erhebung die Momente gleiche Grössen haben, und dies ist der Fall, wenn die Halbmesser R und r der Bedingungsgleichung (2) entsprechen. Die absoluten Werthe von R und r und die Höhe des Konus werden durch die aufzuwickelnde Seillänge, d. h. durch die Erhebungshöhe H bestimmt.

Denkt man sich die Seite des Kegels aufgeschnitten und dann die Umfangsfläche des Kegels abgewickelt, so findet man leicht, dass diese Oberfläche durch $\frac{(R^2 - r^2) \pi}{\sin \alpha}$ ausgedrückt wird. Allein diese muss gleich sein der Fläche $H \delta$ des Seil-Längenschnittes, daher hat man:

$$\frac{(R^2 - r^2) \pi}{\sin \alpha} = H \delta$$

woraus folgt:

$$R = \sqrt{\frac{H \delta \sin \alpha}{\pi \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]}} (3)$$

Diese Gleichung bestimmt den absoluten Werth von R , wenn α bekannt ist. Dieser Winkel muss angenommen werden, und zwar so klein, dass das Seil an dem Konus nicht abgleitet. Man darf nehmen:

$$\alpha = 8 \text{ bis } 10^\circ \text{ circa} \dots \dots \dots (4)$$

Nun ist ferner:

$$s = \frac{R - r}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (5)$$

Die Zeit einer Hebung beträgt $\frac{H}{c}$, die Pause zum Laden und Entladen der Tonne ist A . Die Nutzlast, welche während einer Periode $\frac{H}{c} + A$ gehoben wird, ist demnach $\left(\frac{H}{c} + A\right) l$. Demnach hat man:

$$L = l \left(\frac{H}{c} + A \right) \dots \dots \dots (6)$$

Für die Geschwindigkeit c kann man 2 bis 4 Meter in Rechnung bringen; 2 Meter, wenn die Tonnen nicht geführt werden, 4 Meter, wenn sie geführt werden. Das Seil ist am stärksten in Anspruch genommen, wenn der Aufzug einer beladenen Tonne beginnt. In diesem Moment hat der oberste Querschnitt des Seiles, an welchem die belastete Tonne hängt, eine Kraft $T + L + \gamma \Omega H$ auszuhalten, man hat daher:

$$T + L + \gamma \Omega H = \mathfrak{A} \Omega$$

woraus folgt:

$$\Omega = \frac{T + L}{\mathfrak{A} - \gamma H} \dots \dots \dots (7)$$

Für Hanfseile ist zu setzen: $\gamma = 1500$, $\mathfrak{A} = 1000000$.
($\frac{1}{5}$ der absoluten Festigkeit).

Für Drahtseile ist: $\gamma = 8000$, $\mathfrak{A} = 10000000$.
($\frac{1}{7}$ der absoluten Festigkeit).

Nun ist für ein Hanfseil $\frac{\delta^2 \pi}{4} = \Omega$, demnach wegen (7):

$$\delta = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{T + L}{\mathfrak{A} - \gamma H}} \dots \dots \dots (8)$$

Dagegen ist für ein Drahtseil aus 36 Drähten und wenn man die Festigkeit der Hanfseele des Seiles vernachlässigt:

$$36 \left(\frac{\delta_1}{10} \right)^2 \frac{\pi}{4} = \Omega$$

Demnach :

$$d_1 = 10 \sqrt{\frac{T + L}{36 \frac{\pi}{4} (\mathfrak{A} - \gamma H)}} \dots \dots \dots (9)$$

wobei in Rechnung gebracht ist, dass der Durchmesser des Drahtes eines solchen Seiles 10 mal kleiner ist, als der Durchmesser des Seiles.

Die wahre mittlere Geschwindigkeit der Tonnenbewegung tritt in dem Moment ein, wenn das Seil am mittleren Halbmesser $\frac{R+r}{2}$ des Korbes hängt; man hat daher :

$$2 \times \frac{R+r}{2} \pi \times n = 60 \text{ c}$$

demnach :

$$n = \frac{60 \text{ c}}{\pi (R+r)} \dots \dots \dots (10)$$

Die Nebenhindernisse der Bewegung können zum Voraus nicht verlässlich berechnet werden; für die Bestimmung der nöthigen Betriebskraft ist es hinreichend genau, wenn man die Nebenhindernisse zu $\frac{1}{4}$ der Last L in Anschlag bringt. Unter dieser Voraussetzung hat man :

$$75 N_n = L \text{ c} \left(1 + \frac{1}{4} \right)$$

demnach :

$$N_n = L \text{ c} \frac{\left(1 + \frac{1}{4} \right)}{75} \dots \dots \dots (11)$$

Hiermit sind nun alle zur Berechnung eines Schachtaufzuges mit Seilkorb nöthigen Bestimmungen getroffen. Diese Ergebnisse sind Seite 323 bis 325 der „Resultate“ zusammengestellt.

Fördereinrichtung mit Spulen und Bändern.

Diese für Seile und konische Körbe aufgefundenen Resultate gelten auch für Spulen und Bänder aus Hanf oder aus Draht. Man hat nur allein die Regeln (8) und (9) wegzulassen und in der Regel (3) $\alpha = 90^\circ$ zu setzen, so wie d in dem Sinne zu nehmen, dass es die Dicke des Bandes ausdrückt. R ist ferner in diesem Falle der Halbmesser der Seilmasse, wenn auf die Spule das Seil von der

Länge H aufgewickelt ist und r bedeutet den Halbmesser der Spule, auf welche die Aufwicklung stattfindet.

Seile und Bänder (Cables d'extraction). Zum Aufziehen der Lasten werden Seile oder Bänder angewendet (Rundseile und Flachseile). Die Rundseile lassen sich leicht anfertigen, sind dauerhafter als Flachseile, weil sie eine geringere Oberfläche haben, verursachen aber mehr Biegungswiderstand und erfordern bei tiefen Schächten die Anwendung von konischen Körben. Die Flachseile sind im Gegentheil schwieriger und kostspieliger anzufertigen, nützen sich schneller ab, verursachen aber weniger Biegungswiderstand und gestatten deshalb die Anwendung von Spulen.

Für Hanfseile gelten folgende Bestimmungen:

- Durchmesser des Seiles in Centimetern $d = 0.113 \sqrt{P}$ (bei $\frac{1}{8}$ der absoluten Festigkeit);
- Steifheit des Seiles $0.26 \frac{d^2}{D} P = 0.0033 \frac{P^2}{D}$ (D Durchmesser der Trommel in Centimetern).
- Gewicht von 1 Meter Seil-Länge $= 0.0015 P = 0.1177 d^2$ Kilg.
- Preis von 1 Meter Länge $= 0.0006 P = 0.04708 d^2$ Frcs.
- Dauer des Seiles 1 bis 1.5 Jahre bei oft wiederholter Be-theuerung.

Für Drahtseile hat man dagegen:

- Durchmesser des Seiles in Centimetern $d = 0.05 \sqrt{P}$.
- Steifheit des Seiles $0.58 \frac{d^2}{D} P = 0.0014 \frac{P^2}{D}$.
- Gewicht von 1 Meter Länge $0.00056 P = 0.224 d^2$ Kilg.
- Preis von 1 Meter Länge $0.0004 P = 0.16 d^2$ Frcs.
- Dauer des Seiles. 1.5 bis 2 Jahre.

Eine Vergleichung dieser Resultate zeigt:

- Der Durchmesser des Drahtseiles ist für gleiche Lasten halb so gross als der eines Hanfseiles.
- Der Steifheitswiderstand ist (für gleiche Werthe von P und D), für Drahtseile $\frac{0.0014}{0.0033} = 0.4$ von jenem der Hanfseile.
- Das Gewicht von 1 Meter Länge ist bei Drahtseilen $\frac{0.00056}{0.0015} = \frac{1}{3}$ von jenem eines Hanfseiles.
- Der Preis eines Seilstückes von 1 Meter Länge ist für ein Drahtseil $\frac{0.0004}{0.0006} = \frac{2}{3}$ von jenem eines Hanfseiles.
- Die Betriebskosten, welche die Seile verursachen, sind zu be-

urtheilen nach dem Quotienten aus dem Preis für 1 Meter Länge und der Dauer ihrer Brauchbarkeit. Dieses Verhältniss ist:

$$\text{für Hanfseile } \frac{0.0006}{1} = 0.0006$$

$$\text{„ Drahtseile } \frac{0.0004}{1.5} = 0.0003$$

Der Betrieb mit Drahtseilen kostet demnach nur halb so viel, als jener mit Hanfseilen.

Hieraus geht der entschiedene Vortheil der Drahtseile hervor, denn sie sind dünner, erfordern daher nicht so grosse Trommeln, verursachen einen geringern Steifheitswiderstand, und der Betrieb mit denselben ist halb so kostspielig als mit Hanfseilen.

Tonnen, Büten, Rollwagen, Fördergehäuse. Zur Förderung der Abbruchmaterialien werden entweder Tonnen oder Rollwagen angewendet. Letztere insbesondere beim Horizontaltransport der Materialien, der sowohl in den Gängen und Stollen, wie auch ausserhalb des Schachtes auf Eisenbahnen geschieht. In ausgedehnteren Grubenanlagen werden gleichzeitig mehrere, 2 bis 4 Tonnen oder Rollwagen gefördert, und in diesem Falle werden Gehäuse (Cages) gebraucht, auf welche die Tonnen oder Wagen gestellt werden. Eine verlässliche Förderung erfordert immer, dass diese Gehäuse an Bahnen geführt werden und in diesem Falle kann die Fördergeschwindigkeit bis zu 4 Meter per Sekunde gesteigert werden, während sie nur höchstens 2 Meter betragen darf, wenn solche Führungen fehlen. Um das Herabstürzen der Tonnen und Gehäuse zu verhüten, für den Fall, dass ein Seil reisst, werden eigene Fangwerke angebracht, die sich in die Führungsbalken einhaken, nachdem das Herabfallen begonnen hat. Wenn eine Tonne oder ein Gehäuse oben an der Mündung des Schachtes angekommen ist, wird die Maschine in einer später zu beschreibenden Weise angehalten und werden Einrichtungen angebracht, welche verhindern, dass das Gehäuse nicht mehr in den Schacht niedersinken, sondern sicher aufsitzen kann.

Einrichtungen, wie die so eben beschriebenen, zeigen die nachstehenden Figuren auf Taf. XXII:

Fig. 4 Förderung mit Tonnen, die an Gehäusen hängen, welche geführt werden.

Fig. 5 Rollwagen für Kohlenförderung.

Fig. 6 Fördergehäuse für 4 Rollwagen.

Fig. 7 Führung des Gehäuses und Fallriegel zur Unterstützung des gehobenen Gehäuses.

Fig. 8 Fangwerk mit Sicherheitshaken.

Fig. 9 Fangwerk mit verzahnten Excentriks.

Rollengerüste. Ueber der Mündung des Schachtes, in einer Höhe von 8 bis 16 Metern befinden sich die Rollen, welche die Seile nach den Trommeln des Aufzuges leiten. Um diese Rollen zu lagern, muss ein Gerüste hergestellt werden.

Taf. XXIII. Fig. 1 und 2 ist ein einfaches Gerüste dieser Art.

Fig. 3 und 4 ist ein grösseres Gerüst, das nach aussen zu geschlossen wird, um das Innere gegen Wind und Wetter zu schützen.

Construction der Spulen und Seilkörbe. Die Construction der Spulen und der Seilkörbe ist mit keiner Schwierigkeit verbunden, wenn man Gusseisen zu Hilfe nimmt. Fig. 5 und 6 zeigt eine Spule. Der mittlere Theil besteht aus zwei Arm-Rosetten, in welche hölzerne Arme eingelegt werden. Aussen werden diese Arme durch Bögen aus leichtem Winkeleisen verbunden.

Die Seilkörbe werden gebildet, indem man auf die Axe drei eiserne Armrollen aufkeilt und mit einer Brettverschalung umgibt.

Dampfmaschine zum Fördern (Förder-Dampfmaschine). Die Bedingungen, welchen diese Förderdampfmaschinen zu entsprechen haben, sind im Wesentlichen folgende:

1. Eine der Last und Erhebungsgeschwindigkeit angemessene Kraft.
2. Die Möglichkeit, die Maschine aus jeder beliebigen Ruhestellung nach entgegengesetzten Richtungen leicht in Gang setzen zu können.
3. Die Möglichkeit, die Maschine beinahe momentan aus der Bewegung in Ruhe zu bringen.
Am besten erreicht man diese Anforderungen:
 1. Durch Doppelmaschinen mit zwei Cylindern, welche auf eine Axe einwirken, die mit zwei unter rechtem Winkel gegeneinander gestellte Kurbeln versehen ist. Die Axe erhält kein Schwungrad.
 2. Taschensteuerung zur Richtungsänderung der Bewegung oder auch Ventilsteuerung, die leicht gehandhabt werden kann.

Eine Doppelmaschine kann aus jeder Stellung gleich leicht in Gang gebracht werden, während eine Maschine mit nur einem Cylinder nicht in Gang zu setzen ist, wenn der Kolben am Ende des Hubes steht. Die Ingangsetzung erfolgt auch rasch, wenn kein Schwungrad vorhanden ist. Die Weglassung dieses letzteren ist aber vorzugsweise wünschenswerth, um die Maschine so rasch als möglich anhalten zu können, denn es soll augenblicklich Stillstand eintreten, so wie die Tonnengehäuse über den Vorschieb- oder Fallriegeln angekommen sind. Eine leichte Umsteuerung ist nothwendig, um die Gehäuse, nachdem sie ihre geeignete Höhe erreicht haben, ohne Zeitverlust auf die Vorschiebriegel niederlassen zu können. Bei schwächeren Maschinen genügt zu diesem Behuf eine Schiebersteuerung mit Taschen, bei grossen mächtigen Maschinen ist eine Ventilsteuerung angemessen, weil zur Handhabung derselben weniger Kraft erforderlich ist. Aber es müssen Doppelsitzventile angewendet werden.

Behandlung der Maschine beim Aufziehen. Die Maschine ist neben dem Schacht aufgestellt in einem besonderen Hause. Der Maschinist, welcher die Maschine bedient, sieht nicht, was im Schacht vorgeht, und doch muss er davon Kunde erhalten, um die Maschine führen zu können. Es sind deshalb Einrichtungen nothwendig, durch welche der Maschinist erfährt, wie er die Maschine handhaben soll. Dazu dienen Lärmsignale, die durch die Arbeiter, welche die Tonnen bedienen, sowie auch durch die auf- und absteigenden Tonnen selbst in Bewegung gesetzt werden. Soll der Aufzug beginnen, so wird durch den Arbeiter, welcher die obere Tonne entleert hat, geschellt. Hierauf wird die Maschine in Gang gesetzt. Nähert sich die aufsteigende Tonne bis auf eine gewisse Entfernung der Mündung des Schachtes, so stösst sie an einen Schellenzug, worauf der Maschinist den Gang der Maschine ermässigt. Ist die Tonne an einem zweiten Punkt angekommen, so wirkt sie auf einen zweiten Signalapparat mit Schelle und gibt das Zeichen, dass die Maschine nun abgestellt werden muss, damit eine Bewegungsverzögerung eintritt, die damit endigt, dass die aufgezogene Tonne genau an der Stelle in Ruhe kommt, welche verlangt wird, d. h. an einer solchen Stelle, dass sie durch langsame Rückwärtsbewegung der Maschine nur um circa 0.2 bis 0.3 Meter niederzusinken braucht, um auf den Fall- oder Schiebriegeln aufzusitzen. Zur Vorsicht ist es immer gut, wenn die Fördermaschine auch mit einer Bremsrolle versehen ist, um das rechtzeitige Anhalten selbst

dann bewirken zu können, wenn die Tonnen mit zu grosser Geschwindigkeit oben ankommen. Wie schon früher gesagt wurde, erfolgt das prompte Anhalten der Maschine mit einer Doppelmaschine viel leichter, als mit einer einzylinderigen Maschine, weil erstere kein Schwungrad erfordert, letztere aber nothwendig ein solches bedarf. Die Stellen, wo die Signale gegeben werden müssen, sind natürlich durch einige Versuche zu ermitteln, und dass einiges Geschick und Uebung erforderlich sind, um die Maschine richtig zu führen, ist selbstverständlich.

Die folgende Tabelle gibt die Hauptdaten über mehrere Förder-
einrichtungen.

Zusammenstellung
über
bestehende Fördermaschinen.

Namen der Grube.	Schachttiefe.	Gewicht der Schale mit leerem Wagen.	Gewicht der Fällung.	Mittlere Aufzuge- geschwindigkeit.	Pause	Gewicht von 1 Meter Seil- länge.	Art des Seiles und Dimensionen	Durchmesser der Rollen	Durchmesser der Trommel.	Bemerkungen.
	Meter.	Kilg.	Kilg.	Meter.	Sek.	Kilg.	in Centim.	Meter.	Meter.	
Bleiberg . . .	110	100	200	1'2	—	—	f H $\frac{3}{8}$	—	—	Erzförderung.
Altenberg . .	32	940	600	0'64	30	—	f H $\frac{3}{10}$	—	1'20	Tagbau.
Kronprinz . .	276	1006	754	3	—	4'5	f D $1\frac{3}{7}, 8$	—	—	Kohlenfrdg.
Wilhelmina .	366	1000	754	4	—	4'5	f D $1\frac{3}{2}, 8$	—	—	Kohlenfrdg.
Fried. Wilh	306	1000	754	3	—	4'5	f D $1\frac{3}{2}, 8$	—	—	Kohlenfrdg.
Immenkeppel	52 96	700	618	—	—	—	—	—	—	Erzförderung.
Bassin de Co- mentri . . .	100	652	1700	1'2	120	—	f H $3\frac{5}{14}$	1'3	—	Erzförderung.
Cornwall . .	520	140	224	2	120	—	—	—	—	Erzförderung.
Cornwall . .	300	300	700	3	120	—	—	—	—	Kohlenfrdg.
Julien	120	300	800	—	—	—	r D 1'8	—	1'8	Erzförderung.
Julien	300	130	700	—	—	4'26	f H $\frac{3}{13}$	—	—	—
Rive de Gière	400	230	800	—	—	3	—	—	—	—
Anzin	—	130	700	—	—	4'19	—	—	—	Kohlenfrdg.
Gauley	240	280	600	1'7	—	3'34	—	—	1'60	—
Worm	208	300	608	1	—	1'46	r D 2'4	1'25	2'5	—
Bensberg . .	60	300	500	—	—	—	r D 2'5	2'0	2'0	Erzförderung.
Langenberg .	145	—	—	—	—	—	r D 1'96	0'86	—	—
Apfel	—	—	—	—	—	—	r D 2'5	1'50	1'5	Erzförderung.
Centrum . . .	—	—	—	—	—	—	r D 3	—	2'4	Kohlenfrdg.
Grand Hornu	—	350	—	—	—	—	—	2'50	2'2	Kohlenfrdg.
Bassin de Bressac	150 300	130	700	—	—	4'26	f H $\frac{3}{13}$	—	—	—

f bedeutet flaches Seil, r rundes Seil, H Hanf, D Draht.

Grubenentwässerungsmaschinen, Wasserhaltungsmaschinen.

Allgemeines. In den Gruben sammelt sich jederzeit Wasser, das beseitigt werden muss, um den Abbruch und sonstige Arbeiten in der Tiefe fortsetzen zu können. Dieses Sammelwasser rührt her: 1. vom Regen; 2. vom Durchsickern; 3. von Quellen; 4. aber insbesondere an manchen Lokalitäten von inneren Wasserströmungen. Wenn nämlich in einer gewissen Tiefe unter dem Erdboden wasser-dichte Thonschichten vorkommen, sammelt sich an denselben alles in die Erde eingedrungene Wasser, und fließt nach denjenigen Richtungen ab, welche den geringsten Widerstand veranlassen. Wird nun bei einem Grubenbau eine solche Thonschicht durchstoßen, so ergießt sich dann ein Wasserstrom in den Schacht, und liefert in denselben oftmals beträchtliche Wassermengen. Die Wassermenge, welche sich zu verschiedenen Jahreszeiten und bei verschiedenen Witterungszuständen in den Tiefen der Schächte ansammelt, ist vom Bergmann (welcher den Grubenbau und deren Betrieb leitet), zu ermitteln. Die Anlage der Grubenpumpen richtet sich nach dieser Wassermenge, nach der Grubentiefe, Beschaffenheit (Reinheit oder Unreinheit) des Wassers.

Pumpeinrichtungen. Zur Wasserförderung werden stets Pumpen angeordnet. Das Wasser wird aber fast niemals durch eine einzige Pumpe aus der Tiefe bis zur Höhe getrieben, sondern die ganze Schachttiefe wird in Stockwerke eingetheilt, und jedes derselben wird mit einer Pumpe versehen, welche das Wasser durch dieses eine Stockwerk bis in's nächst höhere treibt. Die unterste Pumpe im untersten Stockwerk ist eine Saugpumpe (Brunnenpumpe). Die Pumpen der übrigen Stockwerke sind Druckpumpen. Die Kolben sämtlicher Pumpen befinden sich an dem sogenannten Schachtgestänge und gehen mit demselben auf und nieder. Diese Einrichtung findet in Folgendem ihre Begründung. Dass mehrere Pumpen übereinander gestellt werden, hat seinen Grund darin, dass es zu schwierig ist, Kolben und Ventile herzustellen, die bei einer Drucksäule von der Tiefe eines Schachtes hinreichend schliessen. Für die unterste Pumpe wird ein Saugwerk oder Brunnenpumpe angewendet, wegen des oft sehr veränderlichen Wasserstandes in der Tiefe des Schachtes. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Pumpen stets Wasser und nie Luft einsaugen, denn wenn das letztere geschieht, werden die Pumpencylinder beim Aufziehen des Gestänges mit Luft statt mit Wasser erfüllt, und wenn dann später das Gestänge mit seinem oft kolossalen Gewicht niedersinkt, leistet diese eingesaugte

Luft zunächst keinen Widerstand, das Gestänge stürzt nieder und kann den ganzen Bau beschädigen oder selbst zerstören. Wendet man für die unterste Pumpe eine Brunnenpumpe oder eine Saugpumpe an, und lässt das Saugrohr bis nahe an den Grund des Schachtes hinabreichen, so versichert man sich, dass bei jedem Wasserstand in der Grube Wasser gefördert werden muss.

Dampfmaschinen. Zur Bewegung des Gestänges mit den daran befestigten Kolben werden heut zu Tage fast immer Dampfmaschinen angewendet, und nur ausnahmsweise Wasserräder oder Wassersäulenmaschinen. Wir sprechen zunächst von den Dampfmaschinen. Diese sind nur einfach wirkend, ziehen das Gestänge mit den Kolben in die Höhe (wobei die Druckpumpen nur einsaugen und beinahe keinen Widerstand verursachen, während die untere Saugpumpe Wasser einsaugt und gleichzeitig Wasser hebt, also Widerstand verursacht), und überlassen es hierauf sich selbst, so dass es durch sein Gewicht niedersinkt und die Kolben in die Cylinder treibt, was zur Folge hat, dass die Druckpumpen Wasser heben, dass dagegen die Saugpumpe nicht arbeitet. Die Dampfmaschine hebt also eigentlich nur das Gestänge, überlässt es hierauf sich selbst, und dieses treibt dann die Pumpen durch sein Gewicht.

Es werden mehrere Arten von Dampfmaschinen gebraucht. Das Gemeinsame derselben ist: 1. dass bei allen der Dampf kondensirt wird; 2. dass sie mit einem sogenannten Catarakt versehen sind; 3. dass sie mit Ventilsteuerungen versehen werden. Die Unterschiede bestehen theils in der Aufstellung des Cylinders, theils darin, dass der Dampf ohne oder mit Expansion in einem oder in zwei Cylindern wirkt. Hierüber sind einige Erklärungen zu geben.

Catarakt. Die zu hebenden Wasserquantitäten sind, je nach der Jahreszeit, sehr verschieden. Bei trockener Witterung ist wenig, bei Regenwetter ist viel Wasser zu heben. Wegen der kolossalen Massen des Gestänges und der Wassermenge in den Steigröhren ist es nicht zulässig, die Pumpenkolben bald langsam, bald schnell gehen zu lassen, es müssen also bald grosse, bald kleine Wasserquantitäten bei stets gleichbleibender Geschwindigkeit des Gestänges gehoben werden, und dies wird bewirkt, indem man die Einrichtung trifft, dass das Gestänge nach jedem Niedergang eine Pause macht, d. h. eine Zeit lang ganz ruht. Der Catarakt ist nun ein Apparat, durch welchen die Dauer dieser Pause ganz nach Belieben und nach Erforderniss verändert werden kann. Ist wenig Wasser zu

heben, so wird der Catarakt, dessen Einrichtung später beschrieben werden soll, so gestellt, dass die Pause lang währt. Ist viel Wasser zu heben, so wird die Pause sehr abgekürzt.

Condensation. Die Condensation wird stets angewendet, weil es bei einer Wasserförderungsmaschine an Condensationswasser nicht fehlt, und weil es durch Condensation möglich wird, selbst mit Dampf von verhältnissmässig niedriger Spannkraft eine vortheilhafte Verwendung des Dampfes zu erzielen.

Ventilsteuerungen (deren Einrichtung später beschrieben werden soll), werden angewendet, weil eine zur Bewegung von Schiebern erforderliche rotirende Bewegung nicht vorhanden ist.

Aufstellung. Aufstellungsarten gibt es zweierlei. Direkte ohne Balancier; indirekte mit Balancier. Bei der ersteren steht der Cylinder unmittelbar über der Mündung des Schachtes auf einem Brückenbau aus Eisen, Holz oder Stein, und an der durch den unteren Cylinderdeckel gehenden Kolbenstange hängt unmittelbar das Gestänge. Diese Aufstellung ist wegen der Fundamentirung schwierig, sonst aber äusserst einfach und solid, indem wenn die Brücke gut gemacht ist, an der Maschine gar kein Bestandtheil vorkommt, der brechen könnte. Bei der indirekten Aufstellung ist das Schachtgestänge an einen Balancier angehängt, und auf das zweite Ende desselben wirkt die Dampfkraft. Der Cylinder steht also hier nicht unmittelbar über dem Schacht, sondern neben demselben, was die Fundamentirung zwar sehr erleichtert, jedoch den Nachtheil herbeiführt, dass ein Balancier erforderlich ist, der sehr starke Dimensionen erhalten muss, und der, wie die Erfahrung lehrt, sehr schwer gegen Verletzungen und Zerbrechung geschützt werden kann. Gegenwärtig werden vorherrschend direkt wirkende Maschinen ohne Balancier angewendet.

Expansion. Die Dampfmaschine hat (abgesehen von dem jederzeit geringen Widerstand der Saugpumpe) im Wesentlichen nichts zu thun, als das Gewicht des Gestänges zu heben, hat mithin einen ganz constanten Widerstand zu überwinden. Lässt man den Dampf ohne Expansion während des ganzen Kolbenhubes auf den Kolben einwirken, so kann man es leicht dahin bringen, dass der Dampfdruck stets nur um Weniges grösser ist, als der Widerstand, und kann so eine beinahe gleichförmige Geschwindigkeit des Kolbens herbeiführen. Richtet man ferner das Gestänge so ein, dass sein Gewicht etwas grösser ist, als der Widerstand, den das Pumpen-

system der Bewegung entgegengesetzt, wenn die Kolben niedergehen, so kann man wiederum bewirken, dass auch der Kolbenniedergang beinahe mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt. Diese Einrichtungen sind leicht zu treffen, und bieten keinerlei Schwierigkeiten dar, weil keine grösseren Massenbeschleunigungen vorkommen. Allein eine vortheilhafte Verwendung des Dampfes kann bei dieser Maschine nicht erwartet werden.

Will man Brennstoffökonomie erzielen, so kann die Expansion, und zwar eine sehr starke, nicht vermieden werden. Dann aber kommt man in praktische Schwierigkeiten. Denn wenn z. B. in einem Cylinder stark expandirt wird, muss die Einrichtung getroffen werden, dass der mittlere Werth des Dampfdruckes gleich ist dem Gestänggewicht, muss also der Dampfdruck gegen die Kolben aufwärts am Anfang des Kolbenschubes vielmal grösser sein, als das Gestänggewicht, muss also die Masse des Gestänges anfangs rasch beschleunigt, gleichsam in die Höhe geschleudert werden, und dieser Vorgang muss so geschickt ausgeführt werden, dass der Dampfkolben gleichsam bis an den oberen Cylinderdeckel hinauffliegt, ohne an den Deckel anzustossen.

Man hat es also bei expandirenden Maschinen mit der Bewältigung von möglicher Weise zerstörend wirkenden Massenstössen zu thun, und dies ist keine leicht zu lösende Aufgabe, insbesondere wenn sie ohne Mithilfe von Rechnungen, durch Versuche, durch Tasten und Probiren gelöst werden soll. Wegen dieser praktischen Schwierigkeit werden expandirende Wasserhaltungsmaschinen selten angewendet, sondern meistens nicht expandirende. Man verzichtet auf die vortheilhafte Verwendung des Brennstoffs, um eine leicht zu behandelnde Einrichtung zu erhalten. Wir werden aber in der Folge sehen, dass diese expandirenden Maschinen nicht so schwierig anzuordnen sind, wenn man dabei die Rechnung zu Hilfe nimmt. In England sind die expandirenden Maschinen in den Gruben sehr verbreitet, obgleich man dort die Schwierigkeiten durch Probiren überwindet und allen Rechnungen ausweicht.

Die Steuerungen. Die spezielle Einrichtung der Steuerungen wird später erklärt, einstweilen soll nur durch theoretische Zeichnungen erklärt werden, wie die Steuerungen bei verschiedenen Maschinen zu wirken haben.

Fig. 7 und 8 stellen eine nicht expandirende Maschine dar. Direkte Aufstellung. Fig. 7 den Kolbenaufgang. Fig. 8 den Kolbenniedergang. a der Dampfcyliner. b das Gestänge. c der Condensator und die Luftpumpe. d der Catarakt. e ein Balancier, der am Gestänge hängt

und rechts mit einem Gegengewicht f versehen ist, das eine zweifache Rolle zu spielen hat, indem es als Masse wirkt und dadurch zu heftige Beschleunigungen verhütet und anderseits dem Gewicht des Gestänges entgegenwirkt. Während des Hubes communizirt der untere Theil des Cylinders mit dem Kessel, der obere Theil mit dem Condensator (Fig. 7). Während des Niederganges ist der Cylinder sowohl vom Kessel als vom Condensator ganz abgesperrt, und communizirt der untere Theil des Cylinders mit dem oberen, so dass die Kraft der Maschine ganz aufgehoben ist (Fig. 8).

Wenn die Maschine mit einem expandirenden Cylinder versehen ist, finden diejenigen Communicationen statt, welche Fig. 9, 10, 11 zeigen. Vom Beginn des Hubes an, bis die Expansion eintritt, communizirt der untere Theil des Cylinders mit dem Kessel, der obere mit dem Condensator (Fig. 9). Vom Beginn der Expansion an bis an's Ende des Kolbenschubes ist der untere Raum des Cylinders abgeschlossen und communizirt der obere Raum fortwährend mit dem Condensator (Fig. 10). Während des Kolbenniederganges (Fig. 11) ist der Cylinder vom Kessel und vom Condensator ganz getrennt, und communizirt der untere Theil des Cylinders mit dem oberen.

Wenn *Woolf'sche* Maschinen gebraucht werden, findet folgende Einrichtung statt (Fig. 12). Das Gestänge hängt an der Kolbenstange des grossen Cylinders, und der kleine Cylinder wirkt mit seiner Kolbenstange auf den Gegengewichtsbalancier. Während des Kolbenhubes communizirt der untere Theil des kleinen Cylinders mit dem Kessel, der obere Theil des kleinen Cylinders mit dem unteren Theil des grossen Cylinders und der obere Theil des grossen Cylinders mit dem Condensator. Während des Kolbenniederganges communizirt in jedem der beiden Cylinder der untere Theil mit dem oberen, so dass beide Cylinder wirkungslos sind.

Am Anfang des Kolbenschubes heben sich die Dampfpresungen gegen die beiden Flächen des kleinen Kolbens auf und wird der grosse Kolben durch Kesseldampf aufwärts getrieben. Am Ende des Kolbenschubes ist die Spannung des Dampfes unter dem grossen Kolben beinahe gleich der Condensatorspannung, ist demnach der grosse Kolben wirkungslos; aber gleichzeitig wirkt auf den kleinen Kolben nach aufwärts Kesseldampf, nach abwärts schwach gespannter ausgedehnter Dampf, wird also der kleine Kolben aufwärts getrieben. Es ist also die Kraft, mit welcher die beiden Cylinder auf das Gestänge einwirken, zwar variabel, aber doch nicht in dem Maasse, als bei einer stark expandirenden eincylindrigen Maschine, bei welcher gegen das Ende des Kolben-

schubes hin die Kraft in der Regel ganz aufhört, während sie bei der *Woolf'schen* Maschine auch am Ende des Schubes noch beträchtlich bleibt.

Auch ohne alle Rechnung erkennt man hieraus, dass das *Woolf'sche* System einen geringeren Grad von Ungleichförmigkeit der Bewegung veranlasst, als die Expansionsysteme mit einem Cylinder.

Theorie der Wasserhaltungsmaschinen.

A. Maschine ohne Expansion. Wir wählen die Seite 328 der „Resultate“, 4te Auflage, zusammengestellten Bezeichnungen mit der Abänderung, dass wir die Gewichte des Gestänges und des Gegengewichtes mit G und G_1 bezeichnen.

Ueber diese Grössen ist Folgendes im Voraus zu bemerken.

Der Widerstand r , begreift in sich den Reibungswiderstand der Dampfmaschine und den über dem Kolben herrschenden Condensationsdruck (während des Kolbenhubes wirkend); r dagegen ist nur allein Maschinenreibung, indem beim Niedergang die Pressungen über und unter dem Kolben gleich sind. Die Widerstände w , und w_1 sind nach den Dimensionen der Pumpen und der Druckhöhen zu bestimmen. Auch muss für Reibungswiderstand Einiges in Rechnung gebracht werden, und ist zu beachten, dass die unterste Pumpe eine Saugpumpe oder eine Brunnenpumpe ist, die beim Hub des Kolbens Widerstand verursacht, beim Niedergang aber nicht. Die mittleren Geschwindigkeiten v und v_1 und die Maximalgeschwindigkeit sind von vornherein festzusetzen, wenn es sich um die Anlage eines solchen Pumpwerkes handelt.

Diese Bemerkungen vorausgesetzt, gehen wir nun zur Rechnung über.

Es ist $\frac{1}{v_1}$ die Zeit eines Kolbenhubes, $\frac{1}{v}$ die Zeit eines Niederganges, p die Dauer der Pause, demnach:

$$\tau = \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v} + p \right) \dots \dots \dots (1)$$

Es ist Ω die Wassermenge, die bei einem Kolbenhub, also in der Zeit τ gehoben wird; daher hat man:

$$\Omega = q \tau \text{ oder } \Omega = \frac{q \tau}{1} \dots \dots \dots (2)$$

Wenn der Kolben in die Höhe geht, wird er, wenn keine Expansion stattfindet, stets mit einer Kraft $O(p - r_1)$ getrieben und durch diese Kraft muss überwunden werden der kleine Widerstand w_1 , den beim Hub die Pumpen verursachen und die Differenz $G - G_1$ der Gewichte. Wir haben daher:

$$O(p - r_1) = W_1 + G - G_1 \dots \dots \dots (3)$$

Beim Niedergang des Gestänges muss durch das Gewicht $G - G_1$ überwunden werden: der grosse Widerstand w , den die Pumpen verursachen und der kleine Widerstand O_r der Maschinenreibung. Man hat daher:

$$G - G_1 = W + O_r \dots \dots \dots (4)$$

Aus (3) und (4) folgt durch Elimination von $G - G_1$:

$$O = \frac{W + W_1}{p - r - r_1} \dots \dots \dots (5)$$

Ist O berechnet, so findet man nun aus (4)

$$G - G_1 = W + O_r \dots \dots \dots (6)$$

Die Dampfmenge, welche bei einem Hub consumirt wird, ist $O l (\alpha + \beta p)$. Diese Consumption findet statt in der Zeit τ , man hat daher:

$$s = \frac{O l (\alpha + \beta p)}{\tau} \dots \dots \dots (7)$$

Hiermit sind nun die wesentlichsten Grössen für die Anordnung einer nicht expandirenden Maschine berechnet.

B. Maschine mit Expansion in einem Cylinder. Wird eine Expansionsmaschine mit einem Cylinder angewendet, so ist die treibende Kraft veränderlich, während der Widerstand constant bleibt, die Bewegung des Kolbenhubes kann daher nicht gleichförmig erfolgen. Allein wir verlangen, dass am Ende des Kolbenhubes das Gestänge keine Geschwindigkeit habe, es muss also die Wirkung, welche die Maschine während des Kolbenhubes entwickelt, gleich sein der Wirkung, welche in der gleichen Zeit durch die Widerstände consumirt wird. Dies ist nur möglich, wenn anfänglich die Dampfkraft stärker, gegen das Ende des Kolbenhubes hin schwächer wirkt als zur Ueberwindung des Widerstandes erforderlich ist, und folglich muss bei einer gewissen Stellung des Kolbens Kraft und Wider-

stand gleich gross werden. Bis zu dieser Stellung hin werden sämtliche Massen beschleunigt, über diese Stellung hinaus und bis an das Ende des Schubes werden die Massen verzögert, bis zuletzt die Geschwindigkeit ganz verschwindet. In jener Stellung selbst muss eine Maximalgeschwindigkeit eintreten. Das so eben Gesagte wird durch Fig. 13 anschaulich gemacht. A B C D ist der Cylinder. E H F stellt den constanten Widerstand dar. K J H G die veränderliche Kraft, mit welcher der Kolben getrieben wird. Die Flächeninhalte der Figuren A G H J K F C und A E F C sind die Wirkungsgrössen, welche während eines Schubes produziert und consumirt werden. Damit das Gestänge oben ohne Geschwindigkeit ankommt, müssen diese Wirkungen und mithin die Flächeninhalte gleich gross sein. C M ist der Weg, den der Kolben zurücklegt, bis Kraft und Widerstand gleich werden. Bis dahin findet Beschleunigung statt. D L B stellt die Geschwindigkeitskurve vor. C N ist der Weg bis zum Eintritt der Expansion.

Wir wenden uns nun zur Entwicklung der Theorie, wobei wir die Seite 328 der „Resultate“ zusammengestellten Bezeichnungen anwenden.

Es ist $\frac{1}{V_1}$ die Zeit eines Hubes, $\frac{1}{V}$ die Zeit eines Niederganges, p die Pause, demnach $\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V} + p$ die Zeit vom Beginn eines Kolbenschubes bis zum Beginn des nächstfolgenden; demnach:

$$\xi = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V} + p \dots \dots \dots (1)$$

Es ist ferner Ω die Wassermenge, welche bei einem Spiel, also in der Zeit ξ , geliefert wird, demnach hat man: $\Omega = q \xi$ oder:

$$\Omega = q \frac{\xi}{1} \dots \dots \dots (2)$$

Hierdurch ist der Querschnitt der Pumpen bestimmt.

Nennen wir y die Spannung des Dampfes unter dem Kolben, nachdem derselbe einen Weg $x > 1$, zurückgelegt hat, so hat man, weil von $x = 1$, an bis zu $x = 1$ immer gleich viel Dampf eingesperrt ist

$$(\alpha + \beta p) (O_1 + m O) = (\alpha + \beta y) (O x + m O)$$

demnach

$$y = \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \frac{1 + m l}{x + m l} - \frac{\alpha}{\beta} \dots \dots \dots (3)$$

Die Wirkung der Dampfmaschine während eines Kolbenschubes ist :

$$O (p - r_1) l_1 + \int_{l_1}^1 O (y - r_1) dx.$$

Die Wirkung aller Widerstände während eines Schubes ist dagegen

$$(G - G_1 + W_1) l$$

Die Bedingung, dass das Gestänge seine höchste Stellung ohne Geschwindigkeit erreicht, ist demnach :

$$O (p - r_1) l_1 + \int_{l_1}^1 O (y - r_1) dx = (G - G_1 + W_1) l.$$

Setzt man in diesem Ausdruck für y seinen Werth aus (3), verrichtet die Integration und gruppirt das Ergebniss in angemessener Weise, so folgt aus dieser letzten Gleichung :

$$O \left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \binom{k}{ll_1} - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right] = G - G_1 + W_1 \dots (4)$$

wobei zur Abkürzung gesetzt wurde :

$$\binom{k}{ll_1} = \frac{l_1}{l} + \left(\frac{l_1}{l} + m \right) \lognat \frac{1 + ml}{l_1 + ml} \dots (5)$$

Mit Berücksichtigung von (3) ist die Kraft, mit welcher der Kolben getrieben wird, nachdem er einen Weg $\xi > l$, zurückgelegt hat :

$$O \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \frac{l_1 + ml}{\xi + ml} - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\}$$

Im Momente, wenn das Maximum der Geschwindigkeit eintritt, ist aber diese Kraft gleich dem Widerstand $G - G_1 + W_1$; wir erhalten daher :

$$O \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \frac{l_1 + ml}{\xi + ml} - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\} = G - G_1 + W_1 \dots (6)$$

Durch Subtraktion von (6) und (4) ergibt sich eine Gleichung, aus welcher folgt :

$$\xi = l \left(\frac{\frac{l_1}{l} + m}{\binom{k}{ll_1}} - m \right) \dots (7)$$

Hierdurch ist nun die Stellung des Kolbens bestimmt, die der Maximalgeschwindigkeit entspricht.

Es ist:

$$O (p - r_1) \xi + \int_{l_1}^{\xi} O (y - r_1) dx$$

die Wirkung, welche die Dampfmaschine vom Beginne des Schubes an bis zu dem Moment entwickelt, wo die Maximalgeschwindigkeit eintritt; dagegen ist $(G - G_1 + W_1) \xi$ die Wirkung, welche in der gleichen Zeit durch die Widerstände consumirt wird. Die Differenz dieser Wirkungen ist aber gleich der lebendigen Kraft $\frac{G + G_1}{2g} C^2$ der Gestängmasse; wir erhalten daher:

$$O (p - r_1) \xi + \int_{l_1}^{\xi} O (y - r_1) dx - (G - G_1 + W_1) \xi = \frac{G + G_1}{2g} C^2$$

Setzt man für y seinen Werth aus (3), entwickelt die Integration und ordnet die Glieder, so findet man:

$$O \xi \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \left(\frac{k}{\xi l_1} \right) - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\} = (G - G_1 + W_1) \xi + \frac{G + G_1}{2g} C^2$$

oder:

$$O \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \left(\frac{k}{\xi l_1} \right) - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\} = G - G_1 + W_1 + \frac{G + G_1}{2g} \frac{C^2}{\xi} \quad \dots (8)$$

wobei zur Abkürzung gesetzt wurde:

$$\left(\frac{k}{\xi l_1} \right) = \frac{l_1}{\xi} + \frac{l_1 + ml}{\xi} \operatorname{lognat} \frac{\xi + ml}{l_1 + ml} \quad \dots (9)$$

Durch Subtraktion der Gleichungen (8) und (4) findet man einen Ausdruck, aus welchem folgt:

$$G + G_1 = \frac{2g\xi}{C^2} O \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \left[\left(\frac{k}{\xi l_1} \right) - \left(\frac{k}{l_1} \right) \right] \quad \dots (10)$$

Wenn das Gestänge niedersinkt, werden durch die Gewichts-differenz $G - G_1$ die Widerstände w und Or überwunden; man hat demnach:

$$G - G_1 = W + Or \quad \dots (11)$$

Setzt man diesen Werth von $G - G_1$ in die Gleichung (4) und sucht sodann O , so findet man:

$$0 = \frac{W + W_1}{\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right) \left(\frac{k}{l_1}\right) - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r + r_1\right)} \dots \dots \dots (12)$$

Hiermit sind nun alle, Seite 329 der „Resultate“ zusammengestellten Formeln abgeleitet.

Die Gleichung (1) bestimmt die Dauer der Periode, die Gleichung (2) gibt den Querschnitt einer Pumpe, die Gleichung (12) bestimmt den Querschnitt des Dampfzylinders, die Gleichung (5) den in (12) erscheinenden Werth von $\left(\frac{k}{l_1}\right)$, die Gleichung (7) bestimmt die Stelle, an welcher die Maximalgeschwindigkeit eintritt, die Gleichung (10) bestimmt die Summe, die Gleichung (11) die Differenz von dem Gestängegewicht und dem Gegengewicht, und man erhält somit diese Gewichte selbst durch:

$$\left. \begin{aligned} G &= \frac{1}{2} \left\{ (G + G_1) + (G - G_1) \right\} \\ G_1 &= \frac{1}{2} \left\{ (G + G_1) - (G - G_1) \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

Numerisches Beispiel. Die nachfolgende numerische Rechnung wird zeigen, wie mit dem Expansionsgrad die Massen G und G_1 wachsen:

Wir berechnen die Werthe von $G + G_1$ für verschiedene Expansionsgrade und nehmen dabei an:

$$\frac{\alpha}{\beta} = 3017, \quad m = 0, \quad r = 1000, \quad r_1 = 4000, \quad p = 4 \times 10333$$

Man findet für:

$\frac{l_1}{1}$	=	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$
$\left(\frac{k}{l_1}\right)$	=	0·8465	0·6995	0·5966	0·5218
$\frac{\xi}{1}$	=	0·5907	0·4765	0·4190	0·3033
$\frac{0 \left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)}{W + W_1}$	=	1·502	1·927	2·404	2·930
$\left(\frac{k}{\xi l_1}\right)$	=	0·9878	0·9495	0·8923	0·8597
$\frac{1}{1} \frac{C^2}{2g} \frac{G + G_1}{W + W_1}$	=	0·1254	0·2295	0·2977	0·3793

Nimmt man überdies an $l = 3$ Meter, $C = 2.5$ M., $\frac{C^2}{2g} = \frac{1}{3}$ (nahe), so erhält man:

$$\frac{G + G_1}{W + W_1} = 1.129 \quad 2.066 \quad 2.679 \quad 3.414$$

In dem Werke von Combes, Tome III., Pag. 546 ist angegeben:

Für die Maschine der consolidated mines:

$$\left. \begin{aligned} G + G_1 &= 139000 \\ W + W_1 &= 29000 \end{aligned} \right\} \text{also } \frac{G + G_1}{W + W_1} = 4.8$$

Für die Maschine Davey der united mines:

$$\left. \begin{aligned} G + G_1 &= 231000 \\ W + W_1 &= 38000 \end{aligned} \right\} \text{also } \frac{G + G_1}{W + W_1} = 6.1$$

Woolf'sches System.

C. Maschine mit Expansion in zwei Cylindern. Wir wählen zur Berechnung dieser Maschine die Seite 229 der „Resultate“ angeführten Bezeichnungen, vernachlässigen jedoch den schädlichen Raum der Maschine, sowie auch das Volumen des Verbindungsrohres zwischen dem kleinen und dem grossen Cylinder.

Zunächst erhalten wir auch hier, wie bei der früher berechneten Maschine die Beziehungen:

$$\mathfrak{z} = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V} + \nu \dots \dots \dots (1)$$

$$\Omega = q \frac{\mathfrak{z}}{1} \dots \dots \dots (2)$$

Nennen wir y die Spannung des Dampfes über dem kleinen und unter dem grossen Kolben, nachdem der kleine Kolben vom Anfang des Schubes an einen Weg x zurückgelegt hat, so erhalten wir zur Bestimmung von y als Funktion von x nachstehende Gleichung:

$$o_1 (\alpha + \beta p) = \left(o (1 - x) + o \frac{l}{1} x \right) (\alpha + \beta y)$$

Hieraus folgt:

$$y = \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \frac{1}{1 + \left(\frac{o l}{o_1} - 1 \right) x} - \frac{\alpha}{\beta} \dots \dots \dots (3)$$

Die Wirkung der beiden Maschinen während eines Schubes ist :

$$\int_0^1 (p - y) dx + \int_0^1 O (y - r_1) \frac{L}{1} dx$$

Die Wirkung der Widerstände während eines Hubes ist dagegen :

$$(G - G_1 + W_1) L.$$

Damit das Gestänge ohne Geschwindigkeit seine höchste Stellung erreicht, müssen diese Wirkungen gleich gross sein. Man erhält demnach :

$$\int_0^1 (p - y) dx + \int_0^1 O (y - r_1) \frac{L}{1} dx = [G - G_1 + W_1] L$$

Setzt man für y seinen Werth aus (3), verrichtet die Integrationen und ordnet das Ergebniss, so findet man ohne Schwierigkeit :

$$O 1 \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \left(1 + \lognat \frac{OL}{O 1} \right) - \frac{OL}{O 1} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\} = (G - G_1 + W_1) L$$

oder wenn man zur Abkürzung

$$1 + \lognat \frac{OL}{O 1} = k \dots \dots \dots (4)$$

setzt :

$$O 1 \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) k - \frac{OL}{O 1} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\} = (G - G_1 + W_1) L \dots (5)$$

Die Maximalgeschwindigkeit tritt auch hier ein, wenn Gleichgewicht zwischen den Kräften und Widerständen stattfindet. Nennt man v den Werth von y für x gleich ξ , so ist vermöge (3) :

$$v = \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \frac{1}{1 + \left(\frac{OL}{O 1} - 1 \right) \xi} - \frac{\alpha}{\beta} \dots \dots \dots (6)$$

Aber wenn ξ der Maximalgeschwindigkeit entspricht, ist :

$$O (v - r_1) + O (p - v) \frac{1}{L} = G - G_1 + W_1$$

Demnach wenn für v sein Werth aus (6) gesetzt wird und einige Reduktionen vorgenommen werden :

$$\frac{\alpha l}{L} \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \frac{1 \left(\frac{OL}{\alpha l} - 1 \right)}{1 + \left(\frac{OL}{\alpha l} - 1 \right) \xi} - \frac{OL}{\alpha l} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) + \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \right\}$$

$$= G - G_1 + W_1 \dots \dots \dots (7)$$

Durch Elimination von $G - G_1 + W_1$ aus (5) und (7) folgt eine Gleichung, welche gibt:

$$\frac{\xi}{l} = \frac{1}{k-1} - \frac{1}{\frac{OL}{\alpha l} - 1} \dots \dots \dots (8)$$

Hiermit ist nun die Stellung der Kolben bestimmt, bei welcher die Maximalgeschwindigkeit eintritt.

Nun ist:

$$\int_0^{\xi} (p - y) dx + \int_0^{\xi} O (y - r_1) \frac{L}{l} dx$$

die Wirkung, welche die beiden Maschinen entwickeln, bis die Maximalgeschwindigkeit eintritt, ist dagegen

$$(G - G_1) \xi \frac{L}{l} + W_1 \xi \frac{L}{l}$$

die Wirkung, welche gleichzeitig die Widerstände konsumiren, und ist endlich

$$(G + G_1) \frac{C^2}{2g}$$

die lebendige Kraft der Massen in dem Moment der Maximalgeschwindigkeit. Man hat daher:

$$\int_0^{\xi} (p - y) dx + \int_0^{\xi} O (y - r_1) \frac{L}{l} dx =$$

$$(G - G_1 + W_1) \xi \frac{L}{l} + (G + G_1) \frac{C^2}{2g}$$

Setzt man für y seinen Werth, verrichtet die Integration und ordnet das Ergebniss, so erhält man:

$$o \xi \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) \left[1 + \frac{1}{\xi} \operatorname{lognat} \frac{1 + \left(\frac{OL}{o1} - 1 \right) \xi}{1} \right] - \frac{OL}{o1} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r \right) \right\} \\ = (G - G_1 + W_1) \xi \frac{L}{1} + (G + G_1) \frac{C^2}{2g} \dots \dots \dots (9)$$

oder wenn man

$$1 + \frac{1}{\xi} \operatorname{lognat} \frac{1 + \left(\frac{OL}{o1} - 1 \right) \xi}{1} = h \dots \dots \dots (10)$$

setzt:

$$o \xi \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) h - \frac{OL}{o1} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r_1 \right) \right\} \\ = (G - G_1 + W_1) \xi \frac{L}{1} + (G + G_1) \frac{C^2}{2g} \dots \dots \dots (11)$$

Aus (5) und (11) folgt durch Elimination von $G - G_1 + W_1$:

$$o1 \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) (h - k) = (G + G_1) \frac{C^2}{2g} \frac{1}{\xi}$$

demnach:

$$G + G_1 = \frac{2g}{C^2} \xi o \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) (h - k) \dots \dots \dots (12)$$

Während des Kolbenniederganges sind die Maschinen ohne Kraft, und wird durch das Gewicht $G - G_1$ der Widerstand $w + Or$ überwunden. Man hat demnach:

$$G - G_1 = w + Or \dots \dots \dots (13)$$

Führt man diesen Werth von $G - G_1$ in (5) ein und sucht o , so findet man:

$$o = \frac{w + W_1}{L \left\{ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) k - \frac{OL}{o1} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r + r_1 \right) \right\}} \dots \dots \dots (14)$$

Hiermit sind nun wiederum alle für die Anordnung der Maschine erforderlichen Resultate gewonnen. Nur eines fehlt noch, nämlich die Berechnung des Dampfverbrauchs.

Es ist $o1(\alpha + \beta p)$ die Dampfmenge in Kilogrammen, welche in einer Periode ξ consumirt wird, man hat daher:

$$s = \frac{o1(\alpha + \beta p)}{\xi} \dots \dots \dots (15)$$

Um den Gebrauch der Formeln zu erleichtern, folgt noch eine Zusammenstellung derselben :

$$\mathfrak{z} = \frac{1}{V} + \frac{1}{V_1} + p$$

$$\Omega = q \frac{\mathfrak{z}}{1}$$

$$o = \frac{W + W_1}{\frac{1}{L} \left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) k - \frac{O L}{o l} \left(\frac{\alpha}{\beta} + r + r_1 \right) \right]}$$

$$k = 1 + \operatorname{lognat} \frac{O L}{o l}$$

$$\frac{\xi}{1} = \frac{1}{k-1} - \frac{1}{\frac{O L}{o l} - 1}$$

$$h = 1 + \frac{1}{\xi} \operatorname{lognat} \frac{1 + \left(\frac{O L}{o l} - 1 \right) \xi}{1}$$

$$G + G_1 = \frac{2 g \xi}{O^2} o \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) (h - k)$$

$$G - G_1 = W + O r$$

$$G = \frac{1}{2} \left[(G + G_1) + (G - G_1) \right]$$

$$G_1 = \frac{1}{2} \left[(G + G_1) - (G - G_1) \right]$$

$$s = \frac{o l (\alpha + \beta p)}{\mathfrak{z}}$$

Numerische Rechnung über eine Maschine nach Woolf'schem System.

Nehmen wir an :

$$\frac{\alpha}{\beta} = 3017, \quad r = 1000, \quad r_1 = 4000, \quad p = 4 \times 10333, \quad \frac{L}{1} = \frac{4}{3},$$

so finden wir für:

$\frac{O L}{o I}$	2	3	4	5
$k =$	1.6931	2.0986	2.3863	2.6094
$\circ \left(\frac{\alpha}{\beta} + p \right) =$	1.001	0.856	0.8002	0.781
$\frac{\xi}{1} =$	0.443	0.411	0.394	0.371
$h =$	1.828	2.435	2.980	3.453
$\frac{G + G_1}{W + W_1} \frac{C^2}{2g} \frac{1}{L} =$	0.039	0.092	0.140	0.183

oder wenn man wie früher $\frac{C^2}{2g} = \frac{1}{3}$, $L = 3$ Meter setzt:

$$\frac{G + G_1}{W + W_1} = 0.351 \quad 0.828 \quad 1.260 \quad 1.647$$

Vergleicht man diese Zahlenreihe mit der analogen für Maschinen mit einem Cylinder, so sieht man, dass bei *Wolf'schen* Maschinen der Quotient 2 bis 3 mal kleiner ausfällt.