

Maschinen Verwendung finden können. Hiernach kann man folgende Unterscheidung machen:

1. Offene Maschinen mit offener Feuerung, als deren Vertreter die Ericsson'sche Maschine anzusehen ist.

2. Geschlossene Maschinen mit offener Feuerung. Hierzu gehört unter andern die Maschine von Lehmann.

3. Maschinen mit geschlossener Feuerung, die der Natur der Sache nach nur als offene Maschinen ausgeführt werden können. Hierhin sind alle Gasmaschinen zu rechnen.

Faßt man den Vorgang in einer geschlossenen Maschine ins Auge, wobei ein und dieselbe Luftmenge abwechselnd Wärme aus der Feuerung erhält und dadurch zur Ausdehnung und Arbeitsabgabe an den Kolben genöthigt wird, und dann Wärme an den Kühler abgibt, wenn der Kolben die Luft vor sich herschiebt und dadurch comprimirt, so folgt, daß diese Vorgänge während eines ganzen Kolbenspiels einem Kreisproceß entsprechen, wie er in §. 221 besprochen worden ist. Es sind daher hierbei die Bedingungen erfüllt, unter denen man eine möglichst große Arbeit aus der zugeführten Wärme erlangen kann, denn wenn auch selbstredend ein vollständig umkehrbarer Kreisproceß niemals erzielt werden kann, so ist doch darin ein namhafter Vortheil zu erkennen, daß es in den geschlossenen Maschinen nicht nöthig ist, stets neue, der Atmosphäre entnommene Luftmengen anzuwärmen, wie dies bei den offenen Maschinen der Fall ist. Die letzteren würden in dieser Beziehung nur in dem Falle gleich vortheilhaft mit den geschlossenen Maschinen arbeiten, wo es gelänge, die zur Wirkung gebrachte Luft während ihrer Arbeitsverrichtung bis auf die Temperatur der Atmosphäre abzukühlen, aus welcher die neue Luftmenge entnommen werden muß. Dies ist im Allgemeinen nicht möglich, die ausgestoßene Luft hat vielmehr bei allen calorischen Maschinen eine nicht unbedeutend höhere Temperatur als die der Atmosphäre.

Der hier gedachte Vortheil der geschlossenen Maschinen ist aber meist verschwindend gegen den Nachtheil, welcher diesen Maschinen daraus erwächst, daß dieselben nur mit offenen Feuerungen versehen werden können. In Folge hiervon nämlich kann die aus dem Brennmaterial erzeugte Wärme an die Luft nur durch die Wandungen des die Luft umschließenden Gefäßes übertragen werden, in derselben Weise, wie es bei den Dampfkessel-Feuerungen geschieht. Hiermit sind natürlich eben solche Verluste wie bei den letzteren verbunden, es wird sogar der durch den Schornstein veranlaßte Wärmeverlust hierbei größer ausfallen müssen, als bei den Dampfkesseln, weil die Luft auf höhere Temperaturen gebracht wird, als der Dampf, und daher die abziehenden Verbrennungsproducte auch mit höheren Temperaturen entweichen. Ueber den hierdurch veranlaßten Wärmeverlust können dieselben

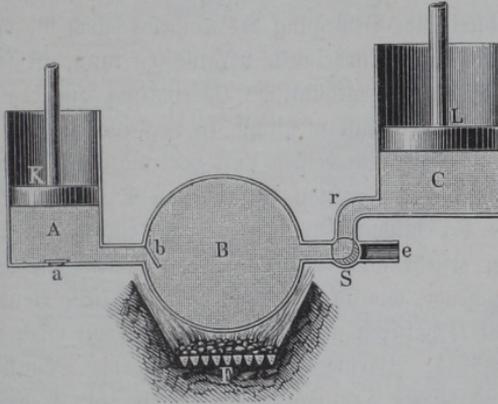
Betrachtungen angestellt werden, wie in §. 320. Dieser Verlust durch den Schornstein aber, ebenso wie die durch die Abkühlung des Ofengemäuers entstehenden, werden vermieden, wenn die Maschine mit einer geschlossenen Feuerung versehen ist, deren Verbrennungsproducte, direct in den Cylinder tretend, ihre ganze Wärme dahin mitbringen. Der hiermit verbundene Vortheil überwiegt den oben gedachten, aus der Unvollständigkeit des Kreisprocesses der offenen Maschinen entspringenden Nachtheil meistens bedeutend, so daß man aus diesem Grunde von den offenen Maschinen, vorausgesetzt, daß sie mit einer geschlossenen Feuerung versehen sind, eine größere Leistungsfähigkeit erwarten kann, als von den geschlossenen Maschinen. Die Erfahrung hat dies auch bestätigt, indem man z. B. bei gewissen Gasmaschinen bis zu 12 Proc. der in der Wärme enthaltenen Arbeit gewonnen hat, mehr also, als selbst bei den vollkommensten Dampfmaschinen. Freilich muß hierbei bemerkt werden, daß das in den Gasmaschinen zur Verbrennung kommende Gas schon zu seiner Darstellung Wärme erfordert und Kosten verursacht hat, so daß der ökonomische Vortheil doch immer wesentlich auf Seite der Dampfmaschinen liegt. Es möge nun zunächst eine Besprechung der vorzüglicheren, im Laufe der Zeit bekannt gewordenen Heißluft- und Gasmaschinen folgen.

§. 322. **Ericsson's Maschinen.** Die von Ericsson ausgeführten Maschinen sind offene Luftmaschinen mit offener Feuerung, und leiden daher an den im vorigen Paragraphen angegebenen Nachtheilen, so daß dieselben heute nur noch ein historisches Interesse für sich in Anspruch nehmen und nicht mehr ausgeführt werden. Bei diesen Maschinen ist außer dem eigentlichen Arbeitskolben, welcher die Arbeit der erhitzten Luft aufzunehmen vorgesehen ist, noch ein zweiter sogenannter Speisekolben vorhanden, der dazu dient, als Pumpenkolben zu wirken, und bei jedem Hube das benöthigte Luftquantum aus der Atmosphäre anzusaugen und nach dem Treibcylinder zu befördern. Auf diesem Wege wird die Luft einer Erwärmung durch eine geeignete Feuerung ausgesetzt, so daß sie in Folge der dadurch erlangten Pressung den Treibkolben vor sich her schieben kann. Die auf diese Weise zur Wirkung gekommene Luft wird beim Rückgange des Treibkolbens aus dem Treibcylinder entlassen, und zwar wurde dieser Rückgang bei den ersten Maschinen Ericsson's mit stehenden Cylindern durch das Eigengewicht des Treibkolbens bewirkt, während bei den späteren horizontalen Maschinen der Rückgang des Treibkolbens durch die Wirkung des auf der Kurbelwelle befindlichen Schwungrades veranlaßt wurde. Diese Maschinen waren daher einfachwirkend.

Die Wirkungsweise einer solchen Maschine ist aus Fig. 694 ersichtlich, in welcher *C* den Treibcylinder, *A* den Pumpencylinder und *F* die Feuerung

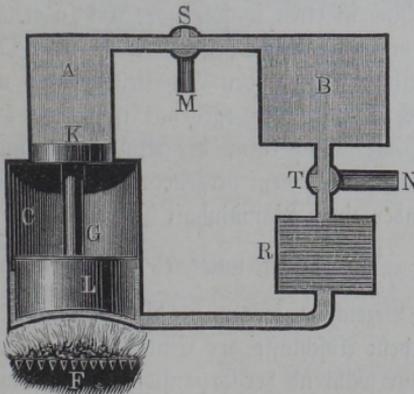
zur Erwärmung der Luft vorstellt. Beim Aufgange des Speisefolbens *K* wird durch das Saugventil *a* atmosphärische Luft angezogen, welche bei dem demnächstigen Kolbenniedergange durch das Druckventil *b* hindurch nach dem Behälter *B* befördert wird, in welchem die Erhizung der Luft durch das Feuer in *F* bewirkt wird. Der Treibcylinder *C* steht mit dem Luftbehälter

Fig. 694.



*B* durch das Rohr *r* in Verbindung, und zwar kann mit Hülfe des Steuerhahnes *S* die Luft je nach Erforderniß aus *B* in den Cylinder geleitet werden, um den Kolben *L* zum Aufsteigen zu bringen, oder es wird die gebrauchte Luft durch *e* entlassen, wenn der Kolben *L* niedergehen soll.

Fig. 695.



Luft durch *e* entlassen, wenn der Kolben *L* niedergehen soll.

Nach diesem Principe hatte Ericsson die erste seinerzeit viel besprochene Maschine in der durch die Skizze Fig. 695 versinnlichten Art ausgeführt. Hier ist der Treibkolben *L* mit dem Speisefolben *K* durch eine gemeinsame Kolbenstange *G* verbunden, und es ist der Feuerherd *F* direct unter dem Treibcylinder *C* angebracht. Das Gefäß *B* dient zur Aufnahme der durch den Kolben

*K* beschafften Luft. Anstatt mit Ventilen ist die Pumpe hiev mit dem Dreiweghahn *S* versehen, welcher der atmosphärischen Luft den Eintritt in *A* beim Niedergange der Kolben gestattet, und welcher beim Kolbenaufgange in die in der Figur gezeichnete Stellung gebracht wird, um die Luft nach *B* zu

leiten. Außer dem Hahn  $S$  für die Pumpe ist noch ein zweiter  $T$  zur Steuerung des Treibcylinders angebracht, welcher ebenso wie  $S$  von der Maschine aus seine regelrechte Bewegung erhält. Dieser Hahn gestattet für die in der Figur gezeichnete Stellung der Kolben den Uebertritt der Luft aus  $B$  nach dem Treibcylinder, während eine Drehung des Hahnes um  $90^\circ$  die Verbindung des Treibcylinders  $C$  mit der Atmosphäre herstellt, wenn der Treibkolben unter dem Einflusse seines Eigengewichtes niedergehen soll. Daß diese auf- und absteigende Bewegung des Kolbens durch die bekannten Hilfsmittel die Drehung einer Kurbelwelle veranlassen kann, ist selbstverständlich.

Bei  $R$  ist noch eine eigenthümliche Vorrichtung angebracht, welche den Zweck hat, den Wärmeverlust möglichst zu vermindern, der mit dem Austritte der immer noch ziemlich heißen Luft verbunden ist. Zu dem Ende ist der Behälter  $R$  mit einer größern Anzahl von Drahtgeflechten oder Sieben angefüllt, welche der hindurchstreichenden Luft eine sehr große Oberfläche darbieten. Man ersieht aus der Figur, daß sowohl die aus dem Treibcylinder  $C$  entweichende, wie auch die aus dem Behälter  $B$  neu hinzutretende Luft den Apparat  $R$  passiren muß. In Folge hiervon wird die entweichende Luft ihre überschüssige Wärme größtentheils an die Metalldrähte absetzen, wodurch diese eine höhere Temperatur annehmen, die sie befähigt, die aufgenommene Wärme nachher der aus  $B$  hindurchtretenden Luft wieder abzugeben. Diese Einrichtung, welche also den Zweck hat, die gedachte Wärme der abziehenden Luft wieder zu gewinnen, zu regeneriren, führt den Namen des Regenerators. Bei den neueren Maschinen hat man, von wenigen Ausnahmen abgesehen, den Regenerator nicht verwendet.

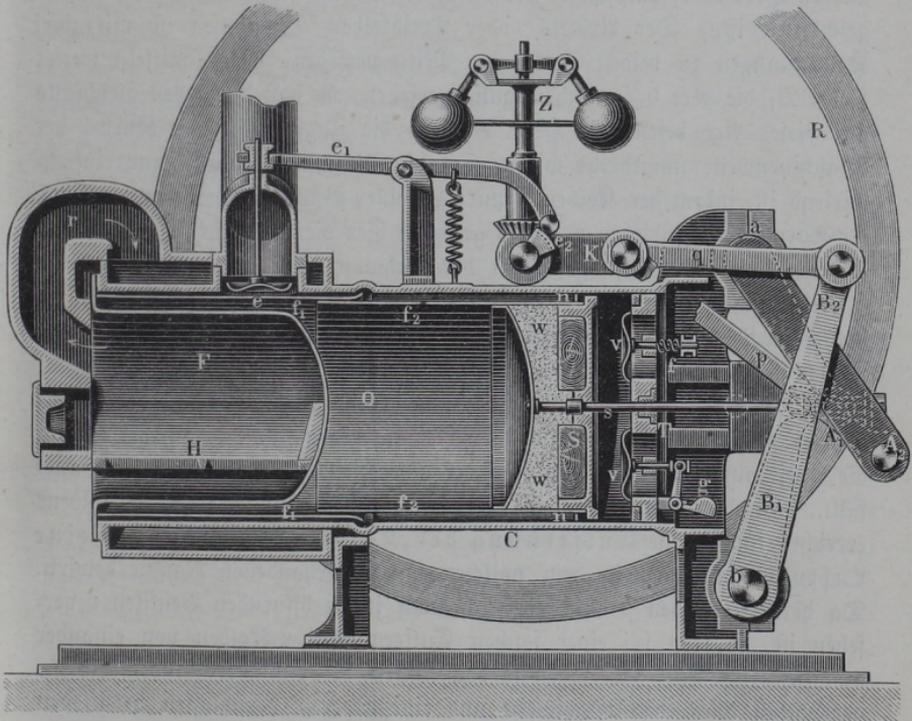
Die Wirkungsweise dieser Maschine ist etwa in folgender Art zu erklären. Bei jedem Aufgange der Kolben befördert der Speisekolben  $K$  vom Querschnitte  $F$  ein Volumen atmosphärischer Luft in den Behälter, welches unter Vernachlässigung der Verluste durch  $V = Fl$  ausgedrückt ist, wenn  $l$  den Hub der Kolben bedeutet. Ist  $t_0$  die Temperatur der Atmosphäre und  $t_1$  diejenige der aus dem Arbeitscylinder nach dem Regenerator entweichenden Luft, so hat man dem Treibcylinder einen Rauminhalt zu geben, der sich durch  $V_1 = V \frac{273 + t_1}{273 + t_0} = V \frac{T_1}{T_0}$  ausdrückt, unter  $T_0$  und  $T_1$  die absoluten Temperaturen verstanden. Bezeichnet ferner  $p_1$  die Spannung der Luft unter dem Treibkolben vor dem Abschlusse der Eintrittsöffnung, und nimmt man an, daß die Temperatur während der Expansion durch die Wirkung der Feuerung auf constanter Höhe  $t_1$  erhalten bleibe, so findet man den vom Kolben vor der Absperrung durchlaufenen Raum  $\varphi V_1$  unter Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes zu

$$\varphi V_1 = V_1 \frac{p_0}{p_1} = V \frac{T_1}{T_0} \frac{p_0}{p_1},$$

wenn  $p_0$  die Spannung der Atmosphäre vorstellt. Setzt man  $\frac{p_0}{p_1} = \frac{T_0}{T_1}$  voraus, so wird  $\varphi V_1 = V$ , d. h. der vom Treibkolben bis zur Absperrung durchlaufene Raum ist gerade gleich dem Inhalte  $V$  des Pumpencylinders zu machen.

Die Temperatur  $T_1$  würde sich zu  $T_1 = \frac{p_1}{p_0} T_0$  ergeben, z. B. für  $\frac{p_1}{p_0} = 2$  und  $T_0 = 273 + 12 = 285$  zu  $T_1 = 570^\circ$ , d. h. die Luft müßte von

Fig. 696.



$12^\circ$  auf  $297^\circ$  C. erwärmt werden, wenn ihre Spannung unter dem Treibkolben 2 Atm. betragen sollte. Die von der Luft verrichtete Arbeit drückt sich dann durch

$$L = V p_1 l n \frac{p_1}{p_0}$$

aus.

Die später von Ericsson seinen Maschinen gegebene Einrichtung ist aus der Fig. 696 zu ersehen. Bei diesen Maschinen, welche eine Zeit lang mehrfach Anwendung in der Kleinindustrie fanden, ist ein gemeinschaftlicher Cylinder C für den Treibkolben T und den Speisekolben S angeordnet. Am

linken Ende dieses Cylinders ist der Feuerherd  $H$  in dem gußeisernen Feuer-  
topfe  $F$  enthalten, von welchem aus die Verbrennungsproducte in das Ab-  
zugsrohr  $r$  und nach der Esse gelangen, nachdem sie zuvor den Cylinder  $C$   
am linken Ende umzogen haben, um ihre Wärme möglichst vollständig ab-  
zugeben. Die Kolbenstange  $s$  des Speisekolbens  $S$  geht in der Cylinderaxe  
durch eine Stopfbüchse des Treibkolbens hindurch und steht außerhalb des  
vorn offenen Cylinders durch einen Hebel  $A_1$  mit der Axe  $a$  in Verbindung,  
welche eine schwingende Bewegung von der Kurbelwelle vermittelt eines  
andern Hebels  $A_2$  empfängt, der durch die Stange  $p$  an die Kurbel  $K$  an-  
geschlossen ist. Der Arbeits- oder Treibkolben  $T$  dagegen ist mit zwei  
Kolbenstangen zu beiden Seiten der Mitte versehen, welche mittelst zweier  
Hebel  $B_1$  die Axe  $b$  in Schwingung versetzen, so daß durch den gleichfalls  
auf dieser Axe befestigten Hebel  $B_2$  und die Zugstange  $q$  die Kurbel der  
Maschinenwelle umgedreht wird. Da die Maschine ebenfalls nur einfach-  
wirkend ist, indem der Kolben  $T$  nur bei seiner Bewegung nach außen durch  
die warme Luft getrieben wird, so geschieht hier die Rückführung des Treib-  
kolbens durch die lebendige Kraft des Schwungrades  $R$ , welches zu dem  
Zwecke auch noch an einer Stelle mit einem Bleigewichte ausgerüstet ist,  
das beim Anlassen der Maschine zur Wirkung kommen soll, so lange das  
Schwungrad noch keine hinreichende Geschwindigkeit erlangt hat.

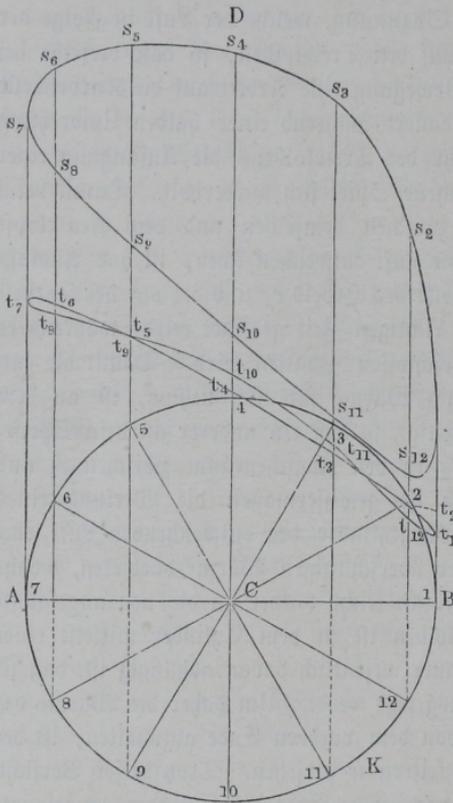
In Folge der angegebenen Verbindung der beiden Kolben mit der Kurbel  
nehmen die ersteren eine relative Verschiebung gegen einander an, der zufolge  
die Entfernung derselben von einander abwechselnd größer und kleiner aus-  
fällt. Hierdurch wird zunächst die saugende Wirkung des Speisekolbens  
erreicht, indem eine Entfernung der Kolben von einander eine  
Luftverdünnung in dem zwischen ihnen vorhandenen Raume bewirkt.  
Da der Treibkolben  $T$  mit zwei sich nach innen öffnenden Ventilen  $v$  ver-  
sehen ist, so tritt bei einer solchen Entfernung der Kolben von einander  
atmosphärische Luft von außen in das Innere des Cylinders, indem die für  
gewöhnlich durch das Gewicht  $g$  und eine Feder  $f$  verschlossen gehaltenen  
Ventile sich öffnen, sobald die Verdünnung im Innern eine genügende Größe  
erlangt hat. Wenn hierauf die Kolben sich wieder nähern, so wird die an-  
gesaugte Luft durch den Treibkolben in den Raum  $O$  zwischen dem Speise-  
kolben  $S$  und dem Feuertopfe  $F$  befördert. Zu diesem Zwecke ist der  
Speisekolben  $S$  ebenfalls mit einer Durchlaßöffnung versehen, die so lange  
geschlossen bleibt, als dieser Kolben sich nach dem Feuertopfe hin bewegt,  
dagegen bei der entgegengesetzten Bewegung sich öffnet, so daß nun die Luft  
aus dem Raume zwischen den Kolben an den Feuertopf treten kann, um  
dort erwärmt zu werden. Die Durchgangsöffnung im Speisekolben ist durch  
den ringförmigen Zwischenraum zwischen dem Kolben  $S$  und der innern  
Wand des Cylinders gebildet, zu welchem Zwecke der Speisekolben etwas

kleiner im Durchmesser gehalten ist, als der Cylinder. Zum Verschlusse dieser Oeffnung dient ein entsprechender Ring  $n$ , welcher an der Bewegung des Kolbens  $S$  theilnehmend, gegen denselben eine geringe axiale Verschiebung annehmen kann, wie sie zum Verschließen und Oeffnen des ringförmigen Zwischenraumes genügt. Vermöge dieser Anordnung wird der Ring  $n$  in Folge der Reibung an der Cylinderwandung etwas zurückbleiben, sobald der Speisefolben seine von innen nach außen gerichtete Bewegung beginnt. Von diesem Augenblicke an stehen die Räume zu beiden Seiten des Speisefolbens  $S$  in Verbindung, und die größere Spannung, welche der Luft in Folge der Erhitzung mitgetheilt wird, wirkt auf den Treibkolben, so daß derselbe bei seiner jetzt nach außen gerichteten Bewegung eine Arbeit auf die Kurbelwelle übertragen kann. Diese Wirkung dauert während einer halben Umdrehung der Kurbel, wonach bei der Umkehr des Treibkolbens die Ansaugung einer neuen Luftmenge, sowie das besprochene Spiel sich wiederholt. Damit beim Rückgange des Speisefolbens die zwischen demselben und dem Feuertopfe befindliche, zur Wirkung gekommene Luft entweichen kann, ist das Auslassventil  $e$  angeordnet, welches vermittelt des Hebels  $e_1$  und des auf der Kurbelwelle befindlichen Daumens  $e_2$  zur richtigen Zeit geöffnet wird, während es für gewöhnlich durch eine Feder geschlossen gehalten wird. Damit die entweichende heiße Luft möglichst wenig Wärme mit sich nehme, ist an dem Feuertopfe ein Blechcylinder  $f_1$  befestigt, so daß ein anderer an dem Speisefolben angebrachter Blechcylinder  $f_2$  in den Zwischenraum zwischen  $f_1$  und den Feuertopf eintritt. Hierdurch ist gewissermaßen die Wirkung eines Regenerators erzielt, indem die Blechcylinder der entweichenden Luft eine große Oberfläche behufs Abgabe der überschüssigen Wärme darbieten, welche andererseits wegen dieser großen Fläche leicht wieder an die neu angesaugte Luft abgegeben wird. Der Treibkolben ist in dem Cylinder mittelst einer Ledermanschette gedichtet, deren Dauer wesentlich davon abhängig ist, daß sie einer starken Erwärmung nicht ausgesetzt werde. Um daher die Wärme des hintern Cylindertheiles möglichst von dem vordern Ende abzuhalten, ist der Speisefolben mit schlechten Wärmeleitern  $w$  versehen. Trotz dieser Vorsicht, und trotzdem die unablässig durch das offene Ende des Cylinders angesaugte kalte Luft eine gewisse Kühlung bewirken muß, zeigte sich bei diesen Maschinen gerade die bedeutende Erwärmung aller Theile als ein großer Uebelstand, welcher nicht nur die gute Delung erschwerte, sondern auch die Ledermanschetten schnell zerstörte. Der Schwingregulator  $Z$  hat den Zweck, einem zu schnellen Gange der Maschine bei geringer gewordener Belastung derselben dadurch vorzubeugen, daß die ausschlagenden Kugeln ein kleines, auf dem Cylinder angebrachtes Ventil öffnen, und hierdurch der Luft einen theilweisen directen Ausgang ins Freie ermöglichen.

§. 323. Theorie der Ericsson'schen Maschine. Obwohl die im vorhergehenden Paragraphen beschriebene Maschine eine Anwendung in der Praxis heute nicht mehr findet, empfiehlt es sich doch, die Verhältnisse derselben etwas näher ins Auge zu fassen.

Um zunächst von der gegenseitigen Bewegung der Kolben zu einander eine deutliche Anschauung zu erhalten, ist in Fig. 697 ein Diagramm ge-

Fig. 697.



zeichnet, welches die Bewegung der Kolben veranschaulicht. Zu dem Ende ist der Kurbelkreis  $K$  in eine Anzahl (in der Figur zwölf) gleicher Theile getheilt, und aus der Zeichnung des in Fig. 696 dargestellten Bewegungsmechanismus sind für diese Kurbelstellungen die Wege des Speisefolbens sowohl wie des Treibkolbens entnommen. Diese Wege sind als Ordinaten senkrecht über der Axe  $AB$  in denjenigen Punkten aufgetragen, welche die Projectionen der zugehörigen Kurbelstellungen vorstellen, und die so erhaltenen Theilpunkte sind für jeden Kolben durch eine fortlaufende Curve verbunden. In der Figur gehört die Linie  $s_1 - s_{12}$  der Bewegung des Speisefolbens und  $t_1 .. t_{12}$  derjenigen des Treibkolbens an. Man erkennt aus dem Verlaufe dieser Curven, daß die beiden Kolben in einer zwischen

11 und 12 befindlichen Kurbelstellung einander am meisten genähert sind, in welcher der Speisefolben nahezu am Ende seines Weges sich befindet, während der Treibkolben etwa noch um  $\frac{1}{4}$  seines Weges von dem Ende des Cylinders zurück steht. In der Kurbelstellung bei 12 etwa wird ein Eröffnen der Saugventile im Treibkolben stattfinden, worauf der Speisefolben auf dem Wege  $s_1 s_2 s_3$  dem Treibkolben bedeutend voraneilt, wie es zur Saugwirkung erfordert wird. In der Nähe der innersten Stellung verharret der Speisefolben während eines längern Kurbelweges durch die

Stellungen  $s_3 \dots s_6$ , wogegen der Treibkolben eine Bewegung annimmt, welche von derjenigen nur wenig verschieden ist, die dem Kreuzkopfe einer gewöhnlichen Kurbel zukommt. (Bei einer directen Kurbelbewegung und unendlich langer Lenkerstange würde die Curve  $t$  wie in Fig. 686 in eine gerade Linie übergehen.) Die parallel mit  $CD$  gemessenen Abstände zwischen den beiden Curven geben direct auch die zugehörige Entfernung der Kolben an, so daß man aus dem Diagramme leicht die Kurbelstellung ( $s_3$ ) bestimmen kann, in der die Vergrößerung des Abstandes und damit die saugende Wirkung aufhört.

Um die Leistung der Luft zu bestimmen, kann man nach Zeuner etwa folgende Rechnung anstellen. Es bedeute  $F$  den Kolbenquerschnitt,  $l$  die Länge des ganzen Hubes für den Treibkolben und  $s$  diejenige des Speisefolbens, ferner sei  $y$  der veränderliche Abstand der beiden Kolben für irgend eine Stellung, und es habe dieser Abstand im Anfange, d. h. wenn der Treibkolben am innern Ende seines Hubes steht, den Werth  $y_0$ . In dieser Anfangsstellung sei das Luftvolumen zwischen dem Speisefolben und dem Feuertopfe gleich einem Cylinder von dem Querschnitte  $F$  und der Länge  $s_0$ . Der in irgend einem Augenblicke zwischen beiden Kolben vorherrschende Druck sei mit  $p$  und der atmosphärische Luftdruck mit  $p_0$  bezeichnet, die absolute Temperatur soll zwischen den Kolben  $T_2$  und zwischen dem Feuertopfe und dem Speisefolben  $T_1$  sein. Denkt man sich jetzt den Arbeitskolben unter der Einwirkung des Druckes  $p$  im Innern um eine sehr kleine Länge  $\partial l$  verschoben, so ist die dabei von der Luft geleistete Arbeit durch

$$\partial L = F p \partial l$$

ausgedrückt. Während dieser Bewegung ist ein gewisses Gewicht der im Innern des Cylinders vorhandenen Luft von der einen Seite des Speisefolbens auf die andere übergetreten, welches mit  $\partial G_1$  bezeichnet werden kann, wenn unter  $G_1$  überhaupt das Gewicht der Luft verstanden wird, die sich zwischen dem Feuertopfe und dem Speisefolben befindet. Ebenso bedeute  $G_2$  das Gewicht der kalten, auf der andern Seite des Speisefolbens zwischen diesem und dem Treibkolben befindlichen Luft, so daß man für das ganze in dem Cylinder eingeschlossene Luftquantum  $G$  die Beziehung  $G = G_1 + G_2$  hat.

Nach §. 210 gilt für 1 kg atmosphärischer Luft vom Volumen  $v$ , der Spannung  $p$  und der absoluten Temperatur  $T$  die Gleichung  $v p = R T$ , worin  $R$  eine constante Größe, für atmosphärische Luft  $R = 29,272$  bedeutet. Nach dieser Gleichung hat das übergetretene Luftquantum vom Gewichte  $\partial G_1$  auf der einen Seite des Speisefolbens ein Volumen

$$v_1 \cdot \partial G_1 = R \frac{T_1}{p} \partial G_1,$$

während das Volumen derselben Luft, wenn sie auf der entgegengesetzten Seite des Speisekolbens sich befindet, durch

$$v_2 \cdot \partial G_1 = R \frac{T_2}{p} \partial G_1$$

bestimmt ist. Der gedachte Uebertritt dieser Luft muß daher mit einer Veränderung des ganzen Cylindervolumens verbunden sein, welche gleich der Differenz

$$(v_1 - v_2) \partial G_1 = R \frac{T_1 - T_2}{p} \partial G_1$$

ist, und da die Veränderung des Cylindervolumens in Folge der Bewegung des Treibkolbens  $F \cdot \partial l$  beträgt, so folgt die Gleichung:

$$F \partial l = R \frac{T_1 - T_2}{p} \partial G_1 \quad \text{oder} \quad R(T_1 - T_2) \partial G_1 = F p \partial l = \partial L.$$

Aus  $G = G_1 + G_2$  ergibt sich

$$0 = \partial G_1 + \partial G_2, \quad \text{also} \quad \partial G_1 = - \partial G_2;$$

auch hat man

$$G_2 v_2 = F y \quad \text{oder} \quad G_2 = F \frac{y}{v_2} = F \frac{p y}{R T_2},$$

woraus durch Differentiiren

$$\partial G_2 = \frac{F}{R T_2} \partial (p y) = - \partial G_1$$

folgt. Dieser Werth liefert, in obigen Ausdruck für die elementare Arbeit der Luft  $\partial L$  eingesetzt:

$$\partial L = - F \frac{T_1 - T_2}{T_2} \partial (p y).$$

Aus dieser Gleichung findet sich weiter durch Integration

$$L_1 = - F \frac{T_1 - T_2}{T_2} p y + \text{Const.}$$

Für die innerste Stellung des Speisekolbens hat man  $y = y_0$  und die Pressung ist dabei gleich der atmosphärischen  $p_0$ , so daß man hierfür

$$0 = - F \frac{T_1 - T_2}{T_2} p_0 y_0 + \text{Const.}$$

erhält, wodurch die constante Größe bestimmt ist. Durch Subtraction erhält man nämlich:

$$L_1 = F \frac{T_1 - T_2}{T_2} (p_0 y_0 - p y).$$

Um hierin die unbekannte Spannung  $p$  durch die Anfangsspannung  $p_0$  und die Kolbenwege zu bestimmen, dient die Beziehung:

$$G = G_1 + G_2 = \frac{F s_0}{v_1} + \frac{F y_0}{v_2} = F \frac{p_0}{R} \left( \frac{s_0}{T_1} + \frac{y_0}{T_2} \right)$$

für die innerste Stellung des Speisefolbens, und

$$G = G_1 + G_2 = F \frac{s_0 + x}{v_1} + F \frac{y}{v_2} = F \frac{p}{R} \left( \frac{s_0 + x}{T_1} + \frac{y}{T_2} \right)$$

für irgend eine Stellung, in welcher der Speisefolben den Weg  $x$  zurückgelegt hat. Die Gleichsetzung dieser beiden Ausdrücke für  $G$  liefert:

$$p = p_0 \frac{s_0 T_2 + y_0 T_1}{(s_0 + x) T_2 + y T_1}$$

und daraus

$$p_0 y_0 - p y = p_0 T_2 \frac{y_0 (s_0 + x) - y s_0}{(s_0 + x) T_2 + y T_1};$$

so daß hiermit die von der Luft verrichtete Arbeit zu

$$L_1 = F p_0 (T_1 - T_2) \frac{y_0 (s_0 + x) - y s_0}{(s_0 + x) T_2 + y T_1}$$

folgt.

Von dieser Arbeit ist natürlich die zur Ueberwindung des äußern Luftdruckes erforderliche in Abzug zu bringen mit

$$L_0 = F p_0 (x + y - y_0).$$

Für  $n$  Spiele der Maschine in der Minute ist das Gewicht der verbrauchten Luft pr. Secunde bei einem maximalen Kolbenabstande gleich  $y_1$ :

$$G = Q \gamma = F (y_1 - y_0) \frac{p_0 \cdot n}{R T_2 \cdot 60}$$

und daher die theoretische Leistung der Maschine pr. Secunde

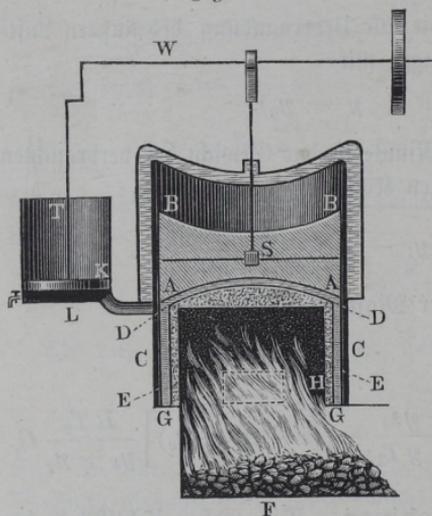
$$\begin{aligned} L &= \frac{n}{60} (L_1 - L_0) \\ &= \left[ (T_1 - T_2) \frac{y_0 (s_0 + x) - y s_0}{(s_0 + x) T_2 + y T_1} - (x + y - y_0) \right] \frac{R T_2}{y_1 - y_0} G. \end{aligned}$$

**Geschlossene Heißluftmaschinen.** Die großen Uebelstände der §. 324. Ericsson'schen offenen Maschinen sind hauptsächlich die Ursache gewesen, weshalb man sich vielfach mit der Ausführung von geschlossenen Maschinen befaßt hat, welche übrigens schon seit lange bekannt waren, denn schon im Jahre 1827 wurde eine geschlossene Maschine von den Gebr. Stirling ausgeführt, welche in Dundee einige Jahre in Betrieb war und eine Leistung von 21 Pferdekraft gehabt haben soll. Das Wesen der geschlossenen Maschinen wurde bereits im §. 321 dahin angegeben, daß in denselben immer dasselbe Luftquantum zur Verwendung kommt, welches abwechselnd

erwärmt und wieder abgekühlt werden muß. Hierbei wird der erwärmten Luft Gelegenheit zur Ausdehnung und Aeußerung ihrer Expansionsarbeit gegeben, während bei der darauf folgenden Compression durch die Abkühlung der Widerstand gegen den die Compression bewirkenden Kolben vermindert wird, so daß die geleistete Expansionsarbeit die zur Compression erforderliche um den Betrag der Nutzleistung übertrifft.

Man hat solche Maschinen, in denen die abwechselnde Erhizung und Abkühlung der Luft in demselben Cylinder geschieht, in welchem der Treibkolben sich bewegt, und auch solche, bei denen ein besonderes Gefäß zur Erwärmung und Abkühlung verwendet wird. In neuerer Zeit sind endlich auch Maschinen mit zwei Cylindern, einem geheizten und einem gekühlten, bekannt geworden, die mit einander in Verbindung stehen, und in denen ein abwechselndes Uebertreten der Luft aus einem in den andern durch das Spiel der in den Cylindern bewegten Kolben veranlaßt wird. Bei den Maschinen, welche die Erwärmung und Abkühlung in demselben Behälter vornehmen, sei es der Treibcylinder oder ein besonderes Gefäß, bedient man sich eines

Fig. 698.



sogenannten Verdrängers, d. i. eines Kolbens, welcher in dem betreffenden Gefäße beweglich ist, jedoch nicht dichtschießend, sondern welcher einen gewissen Spielraum zwischen sich und der Cylinderwandung beläßt, durch welchen die Luft von einer Seite des Kolbens nach der andern übertreten kann. Der Cylinder wird dem entsprechend an dem einen Ende durch eine Feuerung erhitzt, während das andere Ende einer stetigen Kühlung durch eine Umhüllung mit Wasser unterworfen wird.

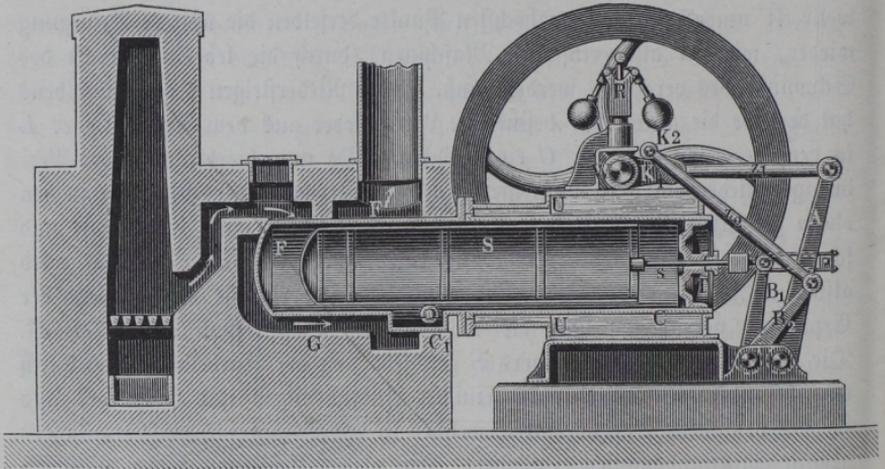
Hierher gehört die Maschine von Laubereau, von welcher in Fig. 698 eine Skizze gegeben ist. Der beiderseits concav ausgehöhlte Verdränger S bewegt sich hier in dem verticalen Cylinder C mit Spielraum an den Seiten auf und nieder. Der Cylinder C ist oberhalb mit doppelter Wandung versehen, so daß in dem Zwischenraume zwischen den Wandungen Kühlwasser circuliren kann, das von einer besondern Pumpe fortwährend hindurchgedrückt wird. Der untere Theil des Cylinders C dagegen nimmt eine Feuerung F auf, deren aufsteigende Gase den concaven Deckel D des

Feuertopfes und hierauf absteigend den innern Mantel des cylindrischen Einfaßes  $G$  bestreichen. Der Verdränger  $S$  ist zur bessern Wärmeübertragung noch mit dem nach unten vorstehenden Blechcylinder  $E$  versehen, welcher in den ringförmigen Zwischenraum zwischen  $C$  und  $G$  hineintritt. Hiernach ist es ersichtlich, wie bei einer Erhebung des Verdrängers die über demselben befindliche Luft durch den seitlichen Zwischenraum hindurch nach dem untern geheizten Theile des Cylinders  $C$  gelangt, womit eine Erwärmung dieser Luft verbunden ist. Diese Luft wirkt alsdann vermöge ihrer Expansivkraft treibend auf den Kolben  $K$  ein, dessen Cylinder ununterbrochen mit dem Lustraume  $C$  in Verbindung steht. In Folge hiervon wird die Kurbelwelle  $W$  umgedreht, bis im höchsten Punkte derselben die weitere Bewegung wieder, wie bei allen einfachen Maschinen, durch die lebendige Kraft des Schwungrades veranlaßt werden muß. Beim Niedersteigen des Treibkolbens hat derselbe die unter ihm befindliche Luft wieder aus dem Treibcylinder  $L$  in den Verdrängercylinder  $C$  einzudrücken. Da nun hierbei auch der Verdränger niedersteigt, so wird hierdurch die unterhalb befindliche Luft in den obern gekühlten Raum  $B$  treten, was einer Abkühlung dieser Luft und somit einer Spannungsverminderung entspricht. In Folge hiervon wird also eine Arbeit gewonnen, welche gleich dem Ueberschusse der während der Expansion verrichteten über die während der Compression aufgezehrte ist. Die Bewegung des Verdrängers  $S$  geschieht von der Kurbelwelle aus durch eine besondere Kurbel oder bei einigen Ausführungen mit Hülfe des aus §. 302 bekannten Bogendreieckes, welches in der Bewegung des Verdrängers gewisse Stillstandspausen ermöglicht. Ein großer Uebelstand dieser Maschine besteht darin, daß der Treibcylinder stetig mit dem heißen Theile des Verdrängercylinders in Verbindung steht, in Folge wovon die Erhitzung des Treibcylinders und Kolbens die schon im vorigen Paragraphen angeführten Nachtheile herbeiführt. Es sind auch diese Maschinen nicht zu dauernder Verwendung gekommen.

Eine größere Verbreitung hat sich vornehmlich die Heißluftmaschine von Lehmann verschafft, welche daher etwas eingehender besprochen werden soll. Diese Maschine arbeitet mit einem Cylinder, in welchem gleichzeitig der Treibkolben  $T$ , Fig. 699 (a. f. S.), wie auch der Verdränger  $S$  beweglich sind. Der mit einer Ledermanschette gedichtete Treibkolben bewegt sich nur in dem vordern Stücke des vorn offenen Cylinders  $C$  und überträgt seine Bewegung mittelst zweier Schubstangen durch den Hebel  $A$  und die Schubstange  $s_1$  auf die Kurbel  $K_1$  der Welle  $W$ , so daß einer Umdrehung derselben ein Hin- und Hergang entspricht. Von dieser Welle erhält der Verdränger  $S$  seine hin- und hergehende Bewegung mittelst einer andern Kurbel  $K_2$ , deren Schubstange  $s_2$  den Hebel  $B_1 B_2$  in schwingende Bewegung versetzt, mit welchem die durch eine Stopfbüchse im Treibkolben hindurchgehende Stange  $s$

des Verdrängers verbunden ist. Der letztere besteht hier aus einem längern, beiderseits durch Deckel geschlossenen Blechcylinder, welcher auch im Innern noch durch Zwischenböden versteift ist. Der Cylinder *C* nimmt am geschlossenen Ende den Feuertopf *F* auf, welcher ringsum von den von dem Koste aufsteigenden Feuergasen bestrichen wird. Der aus der Feuerung *G* herausragende Theil des Cylinders dagegen ist mit einer Umhüllung *U* versehen, durch welche ununterbrochen kaltes Wasser behufs der Abkühlung dieses Cylindertheiles geleitet wird. Die Erweiterung des Cylinders bei *C*<sub>1</sub> hat

Fig. 699.

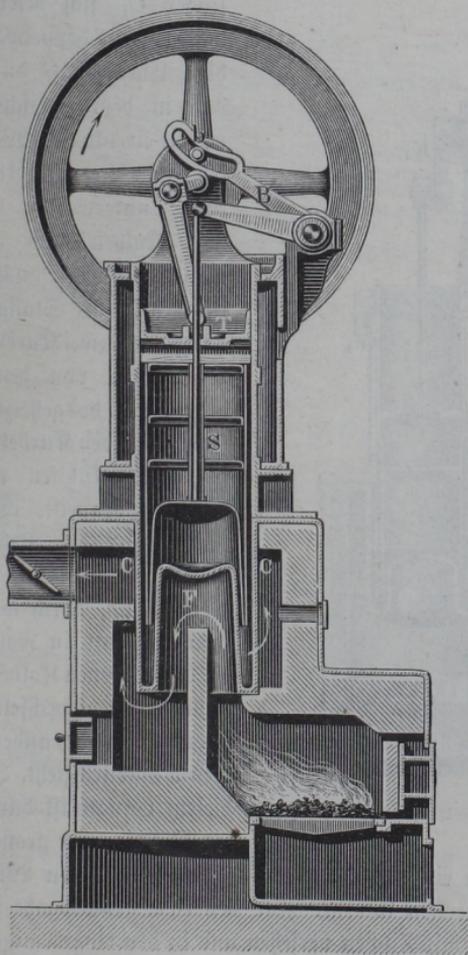


den Zweck, die Einbringung einer kleinen Walze zur Unterstützung des Verdrängers *S* zu gestatten. Der Schwingkugelregulator *R* hat, wie bei der Ericsson'schen Maschine, die Aufgabe, bei einem zu schnellen Gange der Maschine ein kleines Ausgangsventil für die Luft zu öffnen.

Die Wirkungsweise der Maschine ist nach dem Vorangegangenen leicht ersichtlich, und es ergibt sich, daß eine Bewegung des Verdrängers nach innen, d. h. in der Richtung nach dem Feuertopfe hin, eine Abkühlung der eingeschlossnen Luft und die entgegengesetzte Bewegung eine Erhitzung zur Folge haben muß. Ein großer Vorzug der Lehmann'schen Maschine, der oben gedachten Laubereau'schen gegenüber, besteht darin, daß bei ihr der Treibkolben immer nur in dem gekühlten Theile des Cylinders sich bewegt, und in Folge hiervon eine lange Dauer der Ledermanschette erzielt wird. Diese Manschette ist nur einfach ausgeführt, so daß sie nur das Entweichen der Luft aus dem Innern des Cylinders nach außen verhindert, während in dem Falle einer Verringerung des innern Druckes unter den der Atmosphäre das Eindringen neuer Luft von außen

in den Cylinder nicht ausgeschlossen ist. Eine solche Verkleinerung des Druckes im Innern unter den atmosphärischen tritt immer in Folge der Undichtigkeiten ein, wenn nicht für einen Ersatz der entwichenen Luft gesorgt wird. Ein Entweichen findet erfahrungsmäßig hauptsächlich durch die Wandungen des Feuertopfes statt, da das Gußeisen bei der Temperatur der dunkeln Rothgluth, die sich einstellt, immer mehr oder weniger durchlässig für Luft ist. Ehe die Wirkungsweise der *Lehmann'schen* Maschine näher besprochen wird, mögen noch einige andere, in neuerer Zeit ebenfalls in An-

Fig. 700.



wendung gekommene Heißluftmaschinen angeführt werden.

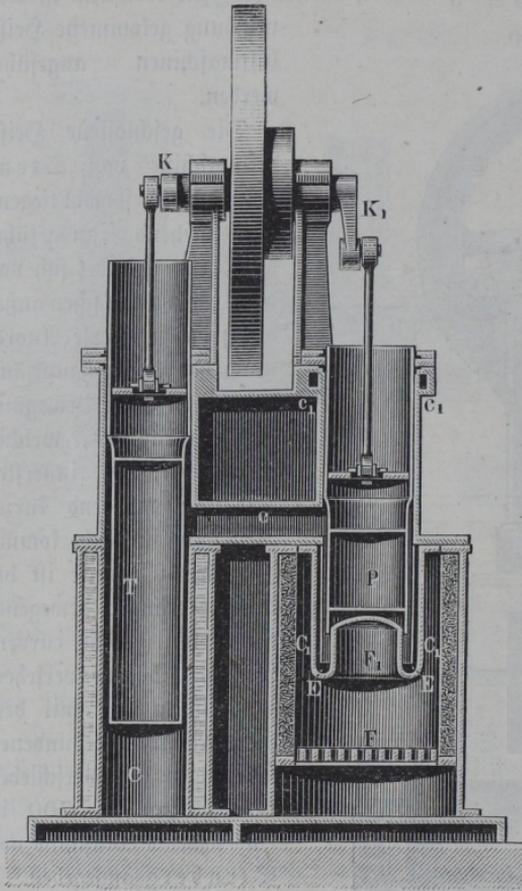
Die geschlossene Heißluftmaschine von *Stenberg*, welche sowohl liegend wie stehend ausgeführt wird, unterscheidet sich von der *Lehmann'schen* außer durch die geänderte Anordnung der Welle hauptsächlich nur durch die Bewegung des Verdrängers, welcher hierbei in der innersten Stellung während kurzer Zeit ganz in Ruhe kommt. Zu diesem Zwecke ist der den Verdränger bewegende Hebel mit einem curvenförmigen Schlitz versehen, in welchem das mit dem Verdränger verbundene Gleitlager sich verschieben kann. In Fig. 700 ist eine stehende Maschine von *Stenberg* angegeben. *F* ist der Feuertopf in dem Treibcylinder *C*, in welchem der Treibkolben *T* und der Verdränger *S* sich bewegen.

Der Antrieb des Verdrängers geht von dem Hebel *B* aus, dessen curvenförmiger Schlitz bei *b* den angeführten Zweck hat.

Die Maschine von Kennes zeigt wieder wie die Laubereau'sche einen besondern Verdrängercylinder und einen oscillirenden Treibcylinder, ohne sonst etwas Bemerkenswerthes darzubieten.

Eigenthümlich dagegen ist die Heißluftmaschine von Rider<sup>\*)</sup>, deren Einrichtung durch Fig. 701 veranschaulicht wird. Hier fehlt der Verdränger ganz, und die beabsichtigte Wirkung wird durch die beiden Kolben *T* und *P* erzielt,

Fig. 701.



von denen *P* in dem unterhalb durch die Feuerung *F* geheizten Cylinder *C*<sub>1</sub> sich bewegt, während der doppelwandige Cylinder *C* durch das in dem Zwischenraume circulirende Wasser einer steten Abkühlung unterworfen ist. Die Kolben sind als hohle Plunger ausgeführt und ihre Stangen hängen mit zwei Kurbeln zusammen, von denen diejenige *K*<sub>1</sub> des geheizten Cylinders der Kurbel *K* für den gekühlten um ca. 90° voraneilt. Die beiden Cylinder stehen durch den Canal *c* in Verbindung, durch welchen die Luft in Folge der verschiedenen Kolbenbewegungen abwechselnd in dem einen oder andern Sinne hindurchzieht. In diesem Canale ist durch die Einlage einer großen

Anzahl dünner eiserner Platten ein Regenerator hergestellt, dessen Wirkungsweise nach dem oben Bemerkten klar ist. Zur bessern Wärmeabgabe ist die Wandung des Heiztopfes *F*<sub>1</sub> mit Rippen versehen und in den ringförmigen

<sup>\*)</sup> Siehe Dingler's Pol. Journ., Bd. 222, S. 409, und Ztschr. d. Vereins deutsch. Ing., 1881.

Zwischenraum zwischen  $C_1$  und  $F_1$  der Einsatz  $E$  gehängt, der die Luft zu inniger Berührung des Heizcylinders zwingt. Damit die Ledermanschette des geheizten Cylinders nicht durch übermäßige Erhitzung leide, ist dieser Cylinders bei  $c_1$  mit einem Ringcanal umgeben, durch welchen gleichfalls Kühlwasser geleitet wird.

**Theorie der geschlossenen Heißluftmaschine.** Um die Wirkungsweise der geschlossenen Heißluftmaschine zu untersuchen, möge die Theorie der Lehmann'schen Maschine in der von Slaby\*) angegebenen Art hier angeführt werden. §. 325.

Es bedeute  $G$  das Gewicht der in der Maschine eingeschlossenen Luft, deren Volumen mit  $v$  und deren Spannung mit  $p$  bezeichnet werde. Das constante Gewicht  $G$  setzt sich jederzeit aus zwei Theilen, nämlich demjenigen  $G_h$  der heißen und dem  $G_k$  der kalten Luft zusammen, welche beide Luftmengen die veränderlichen Rauminhalte  $v_h$  und beziehungsweise  $v_k$  haben mögen. Es sei ferner  $T_1$  die absolute Temperatur der heißen und  $T_2$  diejenige der kalten Luft. Man hat dann nach (15) §. 210 in irgend einem Augenblicke

$$G_h = \frac{v_h p}{R T_1} \quad \text{und} \quad G_k = \frac{v_k p}{R T_2},$$

woraus

$$G = G_h + G_k = \frac{p}{R} \left( \frac{v_h}{T_1} + \frac{v_k}{T_2} \right)$$

folgt. Als die Fundamentalgleichung der geschlossenen Luftmaschinen erhält man daher

$$\left( \frac{v_h}{T_1} + \frac{v_k}{T_2} \right) p = \text{Const.}$$

oder, wenn man das Verhältniß  $\frac{T_1}{T_2} = \text{tang } \alpha$  setzt,

$$(v_h \cotg \alpha + v_k) p = \text{Const.}$$

Den Winkel  $\alpha$ , dessen trigonometrische Tangente gleich dem Verhältnisse der absoluten Temperaturen  $\frac{T_1}{T_2}$  ist, nennt Slaby den Temperaturwinkel; dieses Verhältniß spielt, wie aus dem Nachfolgenden sich ergeben wird, in der Theorie der geschlossenen Luftmaschinen eine wichtige Rolle.

Man kann zunächst die obige Hauptgleichung auch  $x p = \text{Const.}$  schreiben, worin  $x = v_h \cotg \alpha + v_k$  zu denken ist, und dann stellt diese Gleichung eine gleichseitige Hyperbel vor, deren Abscissen durch  $x = v_h \cotg \alpha + v_k$

\*) Verhandlungen des Ver. z. Bef. d. Gewerbefl., 1878.

und deren Ordinaten durch  $p$  ausgedrückt werden. Diese letztere Beziehung macht es leicht, die Wirkung der Luft durch eine graphische Darstellung festzustellen, denn da eine gleichseitige Hyperbel bestimmt ist, sobald die Coordinaten von einem ihrer Punkte bekannt sind, so kann man in dem vorliegenden Falle die Spannung  $p$  für jede Stellung der Maschine, d. h. für je zwei zugehörige Werthe von  $v_h$  und  $v_k$  ermitteln, sobald man die Spannung  $p_1$  nur für eine Stellung und außerdem den Temperaturwinkel kennt. In welcher Weise der letztere gefunden werden kann, wird sich wie folgt ergeben.

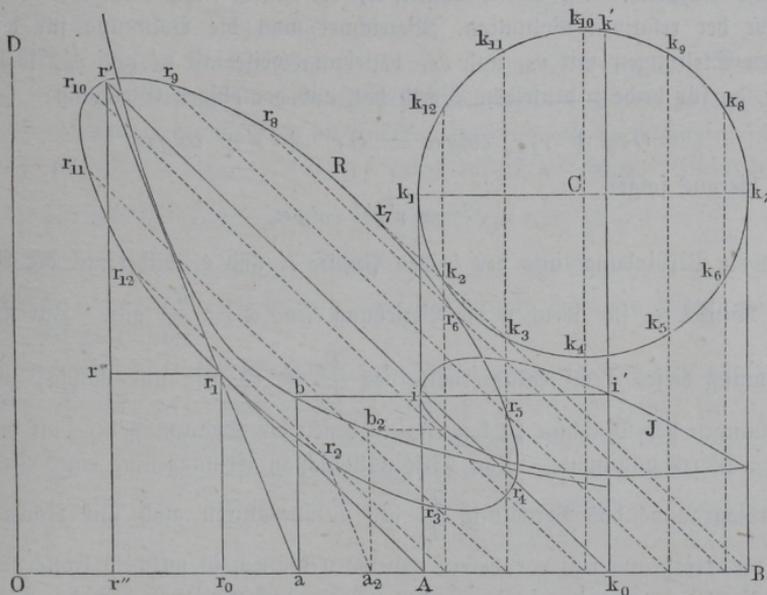
Denkt man sich im Folgenden immer die betreffenden Volumen der heißen und kalten Luft durch Cylinder dargestellt vom Querschnitte  $F$  des Treibkolbens, so geben die entsprechenden Längen dieser Cylinder das Maß für diese Volumina. Aus der Zeichnung des Bewegungsmechanismus ist es immer leicht, für jede Stellung der Treibkurbel die Verschiebung des Kolbens und des Verdrängers zu bestimmen, und hierdurch die Inhalte der heißen und kalten Luft für jede Kurbelstellung zu ermitteln, etwa in der Weise, wie es gelegentlich der Zweicylindermaschinen in §. 315 gezeigt wurde, und hier nicht wiederholt werden soll. Man kann sich hierbei den Verdränger ebenfalls als einen Kolben vorstellen, welcher in der Mitte seiner Länge  $l$  oder besser an einer solchen Stelle angebracht ist, daß durch ihn die in dem Spalte zwischen Cylinder und Verdränger befindliche Luft in demselben Verhältnisse in zwei Theile getheilt wird, in welchem die Heizfläche zur Kühlfläche steht. Man hat alsdann den einen dieser Theile der heißen und den andern der warmen Luft hinzugefügt zu denken. Ist etwa  $F_1$  der Querschnitt des Verdrängers, dessen Länge  $l$  ist, und bedeutet  $F$  den Querschnitt des Cylinders, so ist, wenn  $H$  die Heizfläche und  $K$  die Kühlfläche bedeutet, dem heißen Lufttraume der Antheil des Spaltes im Betrage  $(F - F_1) l \frac{H}{H + K}$ , und der kalten Luft der Betrag  $(F - F_1) l \frac{K}{H + K}$  zuzutheilen.

Es stelle nun in Fig. 702 die Abscisse  $OA$  das ganze Luftvolumen  $v$  in seinem kleinsten Betrage vor, also wenn der Treibkolben ganz in den Cylinder hineingeschoben ist, und ebenso bedeute  $OB$  dieses Volumen für die größte Ausdehnung in der äußersten Kolbenstellung, so daß  $AB = 2r$  den Kolbenhub oder die doppelte Kurbellänge bedeutet. Sieht man für diese Untersuchung von dem Einflusse der beschränkten Länge der Venterstange ab, so hat man nur über  $k_1 k_7 = AB$  als Durchmesser den Kurbelkreis zu zeichnen, und erhält für jede Kurbelstellung wie  $k'$  in der Projection  $k_0$  der Kurbelwarze auf die Axe die zugehörige Stellung des Treibkolbens und in dem Abstände von  $O$  das Maß für das Luftvolumen  $v$ .

Der Umfang des Kurbelkreises werde nun in eine nicht zu geringe Anzahl

gleicher Theile (in der Fig. 12) getheilt, welche mit  $k_1, k_2 \dots k_{12}$  bezeichnet sind, und man ermittle für alle diese Kurbelstellungen die Stellung des Verdrängers, wodurch auch für jede Stellung das zugehörige Volumen  $v_h$  der heißen und dasjenige  $v_k$  der kalten Luft bestimmt ist. Trägt man dann die kalten Lufträume  $v_k$  von  $O$  aus als Abscissen und senkrecht dazu die zugehörigen heißen Luftvolumina  $v_h$  als Ordinaten auf, so erhält man in der Verbindung der so gefundenen Punkte eine Curve  $R$ , welche für den Fall einer unendlich langen Venterstange eine Ellipse wird, wie man unschwer nachweisen kann. Diese Curve, welche Slaby als die Curve der relativen Volumina bezeichnet,

Fig. 702.



gibt ein bequemes Mittel an die Hand, für jede Stellung der Kurbel den Werth von  $v_h \cotg \alpha + v_k$  zu bestimmen, sobald man das Verhältniß  $\frac{T_1}{T_2} = \tan \alpha$  kennt. Denkt man sich nämlich von irgend einem

Punkte  $r_1$  dieser Curve eine gerade Linie  $r_1 a$  unter einem Winkel  $O a r_1 = \alpha$  gegen die Axe gezogen, so hat man in  $O a = r_1 r_0 \cotg \alpha + O r_0$  die betreffende Größe  $v_h \cotg \alpha + v_k$  gefunden. Denkt man sich in dem so erhaltenen Punkte  $a$  als Ordinate die zugehörige Spannung  $p = a b$  aufgetragen, so muß der Punkt  $b$  in der durch die Grundgleichung dargestellten gleichseitigen Hyperbel gelegen sein. Um nun diese Hyperbel zu verzeichnen, benutz Slaby ein Indicatorgramm der betreffenden Maschine, welches

in der Figur mit  $J$  bezeichnet worden ist. Aus diesem Diagramme ist die Spannung der Luft in der innern Todtstellung  $Ok_1$  der Kurbel zu  $p_1 = Ai$  zu entnehmen, und wenn man durch  $i$  eine Horizontale legt, so findet man in dem Schnittpunkte  $i'$  diejenige Stellung, für welche die Spannung denselben Werth  $p_1$  hat. Diese beiden Angaben genügen dann zur Bestimmung der fraglichen Hyperbel. Sucht man nämlich zu der Kolbenstellung  $i'$  die zugehörige Stellung  $k'$  der Kurbelwarze, so findet man daraus den entsprechenden Punkt in der Curve der relativen Volumina, wenn man  $k'$  auf  $AB$  projectirt, und von der Projection  $k_0$  eine Gerade  $k_0r'$  unter  $45^\circ$  gegen  $OB$  zieht. Der Durchschnitt  $r'$  dieser Geraden mit der Curve  $R$  entspricht dann der Kurbelstellung in  $k'$ , wie aus der ganzen Construction sich ergibt. Ebenso entspricht dem todten Punkte  $k_1$  der Kurbel der Punkt  $r_1$  in der Curve der relativen Volumina. Bezeichnet man die Volumina für diese beiden Stellungen mit  $v_{n1}$  und  $v_{k1}$  beziehungsweise mit  $v'_h$  und  $v'_k$ , so hat man, da für beide  $p$  denselben Werth hat, aus der obigen Gleichung:

$$Or_0 + r_1r_0 \cotg \alpha = Or'' + r'r'' \cotg \alpha,$$

und hieraus folgt:

$$r_0r'' = r'r''' \cotg \alpha,$$

d. h. die Verbindungslinie der beiden Punkte  $r'$  und  $r_1$  bildet mit der Axc den Winkel  $\alpha$ , für welchen die Beziehung  $\tan g \alpha = \frac{T_1}{T_2}$  gilt. Zur Bestimmung dieses Temperaturverhältnisses  $\frac{T_1}{T_2}$  ist es also nur nöthig, zwei Stellungen der Maschine zu kennen, in denen die Spannung der Luft denselben Werth annimmt. Man hätte natürlich in Ermangelung eines Indicatorgramms das Verhältniß  $\frac{T_1}{T_2}$  der Temperaturen auch mit Rücksicht auf die Erfahrung von vornherein annehmen können, in welchem Falle man den Punkt  $r'$  dadurch gefunden haben würde, daß man von dem der Todtlage entsprechenden Punkte  $r_1$  eine Gerade unter dem Winkel  $\alpha$  gegen  $OA$  gezogen hätte, dessen trigonometrische Tangente gleich  $\frac{T_1}{T_2}$  ist.

Hat man in der angegebenen Weise den Winkel  $\alpha$  bestimmt, so trägt man in dem gefundenen Punkte  $a$  die Ordinate  $ab$  gleich der Spannung  $p_1$  in  $A$  auf, und zeichnet durch den so erhaltenen Punkt  $b$  die gleichseitige Hyperbel, deren Azen in  $OD$  und  $OB$  hineinfallen. Diese Hyperbel giebt dann nach dem Vorangegangenen das Mittel, für jede beliebige Stellung der Kurbel, z. B. für die in  $k_2$ , die Spannung zu bestimmen. Zu dem Ende sucht man zunächst den zu  $k_2$  im Kurbelkreise gehörigen Punkt  $r_2$  in der Curve der relativen Volumina auf, zieht von  $r_2$  aus eine Parallele mit  $r'r_1$

unter dem Winkel  $\alpha$  gegen die Aze und findet senkrecht über dem Durchschnitte  $a_2$  derselben mit der Aze in der Hyperbel denjenigen Punkt  $b_2$ , dessen Ordinate  $a_2 b_2$  die gesuchte Spannung in der Kolbenstellung  $k_2$  vorstellt. Führt man diese Construction für hinreichend viele Punkte aus, so läßt sich das Indicator-diagramm theoretisch ermitteln. Die in solcher Art von Slaby gefundenen Diagramme zeigten eine schöne Uebereinstimmung mit den durch Indicatormessungen direct bestimmten. Das Verhältniß der Temperaturen fand sich bei regelrechtem Betriebe für Lehmann'sche Maschinen zu etwa 2,25 und man wird diesen Werth bei der Beurtheilung einer neu zu entwerfenden Maschine daher zu Grunde legen dürfen. Nimmt man etwa eine Temperatur der kalten Luft von  $100^\circ \text{C.}$  oder  $T_2 = 373^\circ$  an, so ergibt sich mit diesem Verhältnisse diejenige der heißen Luft zu  $T_1 = 2,25 \cdot 373 = 839^\circ$  oder  $566^\circ \text{C.}$

Die durch den Flächeninhalt  $f$  des Diagramms  $J$  dargestellte Arbeit ist als indicirte Leistung für jede Kurbelumdrehung anzusehen, so daß bei  $n$  Umdrehungen in der Minute die indicirte Leistung wie bei Dampfmaschinen (s. §. 317) durch  $n L_i = n F f u \lambda$  mkg ausgedrückt wird. Ebenso erhält man den mittlern Druck aus dem Indicator-diagramme zu  $p_m = \frac{f u \lambda}{2 r}$ , unter  $2 r$  den Hub des Treibkolbens verstanden. Bei den Versuchen von Slaby und Brauer ergab sich hierfür im Durchschnitte etwa ein Werth von  $p_m = 0,5 \text{ kg.}$

Die indicirte Arbeit entspricht der Wärmemenge  $Q = A L_i$  und da zu dieser Arbeit diejenige Wärmemenge aufgewendet werden muß, die zur Erwärmung des nach Abzug der schädlichen Räume verbleibenden wirkenden Luftquantums  $G_w$  von der Temperatur  $T_2$  auf diejenige  $T_1$  erfordert wird, so ergibt sich die an das Kühlwasser abgegebene Wärme durch  $Q_2 = G_w c_p (T_1 - T_2) - A L_i$ . In Wirklichkeit wird die Erwärmung des Kühlwassers geringer ausfallen, als dieser Wärmemenge entspricht, weil hier die Verluste durch Abkühlung und Strahlung nicht berücksichtigt worden sind. Die Versuche haben dies auch gezeigt. Die hauptsächlichsten Resultate der oben angegebenen Versuche sind in der folgenden Zusammenstellung angegeben, im Uebrigen muß auf die Quelle\*) verwiesen werden.

\*) Versuche über Leistung und Brennmaterial-Verbrauch von Kleinmotoren ausgeführt von G. Brauer u. Dr. A. Slaby

Maschine	Kolben- durch- messer	Kolben- hub	Um- drehung pro Minute	Ruhbare Mittel- fran- nung	Judicirte Leistung	Effectiv Leistung	Wir- kungs- grad	Steinfehle pro Pferdekraft und Stunde	Kühlwasser pro Pferdekraft und Stunde
	m	m		kg pro qem	Pferde- kraft	Pferde- kraft		kg	Liter
Lehmann . . .	0,372	0,175	105	0,516	2,36	1,31	0,55	4,5	163,4
" . . .	0,525	0,220	89	0,557	5,42	2,30	0,42	4,3	357,6
" . . .	0,680	0,260	85	0,649	11,99	5,47	0,46	4	180,5
Stenberg . . .	0,350	0,200	83	0,586	2,17	1,26	0,58	5,3	—
Rennes . . . .	0,261	0,297	97	0,284	1,00	0,58	0,58	7,3	—
Brown . . . .	0,406	0,415	78	—	2,89	2,17	0,75	4,43	—

§. 236. Aeltere Gaskraftmaschinen. Zur Erzeugung geringerer Betriebskräfte insbesondere für die Zwecke der Kleinindustrie, sowie in Fällen, wo die Aufstellung eines Dampffessels nicht möglich oder räthlich erscheint, hat man in der neuern Zeit vielfach Gasmaschinen ausgeführt, d. h. solche Kraftmaschinen, in denen die zur Kraftgewinnung erforderliche Wärme durch die Verbrennung von Gas und zwar in der Regel von Leuchtgas erzeugt wird. In allen diesen Maschinen, welche neuerdings in großer Anzahl ausgeführt werden, dienen die aus der Verbrennung des Gases hervorgehenden Verbrennungsproducte als das zur Verschiebung des Kolbens dienende Mittel, so daß alle diese Maschinen als offene Heißluftmaschinen mit geschlossener Feuerung anzusehen sind, wie schon früher bemerkt worden. Die ersten Maschinen dieser Art waren in ähnlicher Weise wie die doppeltwirkenden Dampfmaschinen gebaut, indem ein in einem Cylinder beweglicher Kolben dadurch hin- und herbewegt wurde, daß man abwechselnd zu beiden Seiten desselben ein zuvor in den Cylinder eingeführtes Gemenge von Leuchtgas und atmosphärischer Luft entzündete. In Folge der hohen Temperatur der Verbrennungsproducte haben dieselben eine bedeutende Spannung, vermöge deren sie treibend auf die Fläche des Kolbens wirken, auf dessen entgegengesetzter Seite die von der vorherigen Verbrennung vorhandenen Gase in die Atmosphäre entlassen werden. Es war nicht zu vermeiden, daß der Cylinder, Kolben und alle damit in directer Verbindung stehenden Theile in Folge der wiederholten Verbrennungen hohe Temperaturen annahmen, zu deren Beseitigung die angewendeten und vorgeschlagenen Mittel meist nicht genüigten. Zum Zwecke der Abkühlung wandte man zuerst eine Umhüllung des Treibcylinders mit stetig circulirendem Wasser

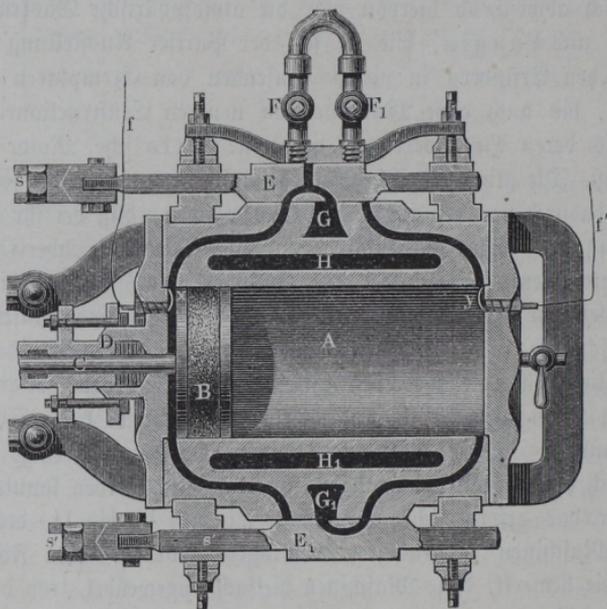
an, doch war hierfür eine bedeutende Menge Kühlwasser nöthig, wie sie meist nicht ohne Schwierigkeiten zu beschaffen war. Auch war hiermit natürlich ein großer Verlust an Wärme verbunden, so daß der Aufwand an Brennmaterial bei diesen älteren Gasmaschinen sehr bedeutend ausfiel. Auch das Einspritzen von Wasser in den Treibcylinder, durch welches man außer der Kühlung gleichzeitig eine bessere Ausnutzung der Wärme anstrebte, hat die gedachten Mängel nicht beseitigen können. Die Bewegung dieser Maschinen war allerdings eine geräuschlose, wenn man genügend schwere Schwungmassen anordnete, um die Explosionswirkungen bei den Verbrennungen aufzunehmen. Die hier gedachte Einrichtung zeigten die Maschinen von Lenoir und die von Hugon.

Wesentlich abweichend hiervon war die atmosphärische Gaskraftmaschine von Otto und Langen, wie sie seit der Pariser Ausstellung im Jahre 1867 von den Erfindern in vielen Tausenden von Exemplaren ausgeführt worden ist, bis auch diese Maschine von neueren Constructionen überholt wurde, als deren Hauptvertreter der neue Otto'sche Motor angesehen werden muß. Die atmosphärische Gaskraftmaschine unterscheidet sich zunächst principiell dadurch von den früheren Lenoir'schen, daß bei ihr die Explosionswirkung des Gases nicht direct auf die Triebwelle übertragen wird, sondern dazu dient, einen frei im Cylinder beweglichen Flugkolben emporzuschleudern und dadurch unterhalb desselben einen luftverdünnten Raum zu schaffen, in Folge dessen dann die auf die obere Seite des Kolbens wirkende Atmosphäre diesen Kolben mit einer von dem Grade der Verdünnung abhängigen Kraft niederdrückt und hierbei den Umtrieb einer Schwungradwelle veranlaßt. Diese Maschinen zeigten eine nur geringe Erhitzung, welche durch einfache Mittel genügend herabgezogen werden konnte, und bei ihnen war das erforderliche Brennmaterial auf  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  des von den früheren Maschinen verbrauchten verringert worden. In Folge dessen wurden, wie bemerkt, diese Maschinen vielfach angewendet, trotz des sehr geräuschvollen Ganges, an dem sie litten. Dieser letztere Uebelstand wurde zwar durch die verbesserte Construction von Gilles beseitigt, jedoch zu einer Zeit, wo die neue Construction von Otto bekannt wurde, die wiederum die frühere directe Wirkung benutzte, und durch welche alle früheren Systeme beinahe vollständig beseitigt worden sind. Die Maschinen von Lenoir und von Hugon, sowie die atmosphärische Maschine haben hiernach nur noch ein historisches Interesse, und sollen demnach auch nur kurz besprochen werden.

Von der Lenoir'schen Maschine, welche im Allgemeinen in ihrer Bauart mit einer liegenden Dampfmaschine viel Ähnlichkeit hat, zeigt Fig. 703 (a. f. S.) den Treibcylinder *A*, in welchem der Kolben *B* hin- und herbewegt wird. Der Cylinder ist an jeder Seite mit einem vollständigen Canalsysteme wie ein

Dampfcylinder versehen, und es befindet sich auch an jeder Seite ein Schieber, der durch ein Excenter von der Kurbelwelle in bekannter Art seine Bewegung erhält. Der Schieber  $E_1$  dient nur zur Abführung der verbrannten und zur Wirkung gebrachten Gase, welche in der aus der Figur ersichtlichen Weise durch den im Schieber befindlichen Canal nach dem Austrittscanale  $G_1$  und in die Atmosphäre entweichen können. Der Schieber  $E$  dagegen hat den Zweck, für jeden Kolbenlauf eine bestimmte Menge Leuchtgas, sowie atmosphärische Luft in den Cylinder einzuführen. Das Leuchtgas tritt aus den Röhren  $F$  und  $F_1$  hinzu und gelangt durch den im Schieber enthaltenen Canal in den Cylinder, während aus dem mittlern Canale  $G$  atmosphärische

Fig. 703.



Luft angesaugt wird, sobald der Kolben  $B$  durch die Wirkung des Schwungrads sich über den todten Punkt hinweg bewegt. Die Einrichtung und Bewegung des Schiebers ist so getroffen, daß bei einer bestimmten Kolbenstellung der Eintrittscanal  $G$  abgeschlossen und dadurch die Menge der angesaugten Luft bestimmt ist; die Menge des Leuchtgases läßt sich durch Hähne in den Zuführungsröhren reguliren. Das Verhältniß zwischen Luft und Gas wählte man bei diesen Maschinen etwa zwischen 9 : 1 und 12 : 1.

Die Entzündung des Gasgemenges geschah bei diesen Maschinen durch elektrische Funken, welche an den Poldrähten  $x$  und  $y$  übersprangen, sobald in der betreffenden Leitung, deren Drähte in  $f$  und  $f'$  gezeichnet sind, ein Contact hergestellt oder unterbrochen wurde. Das letztere geschah von dem

Kreuzkopfe der Maschine in dem Augenblicke, in welchem nach geschehener Füllung der Canal  $G$  vom Cylinder abgesperrt war. Der den Cylinder umgebende Hohlraum  $H$  war stetig vom Kühlwasser durchflossen.

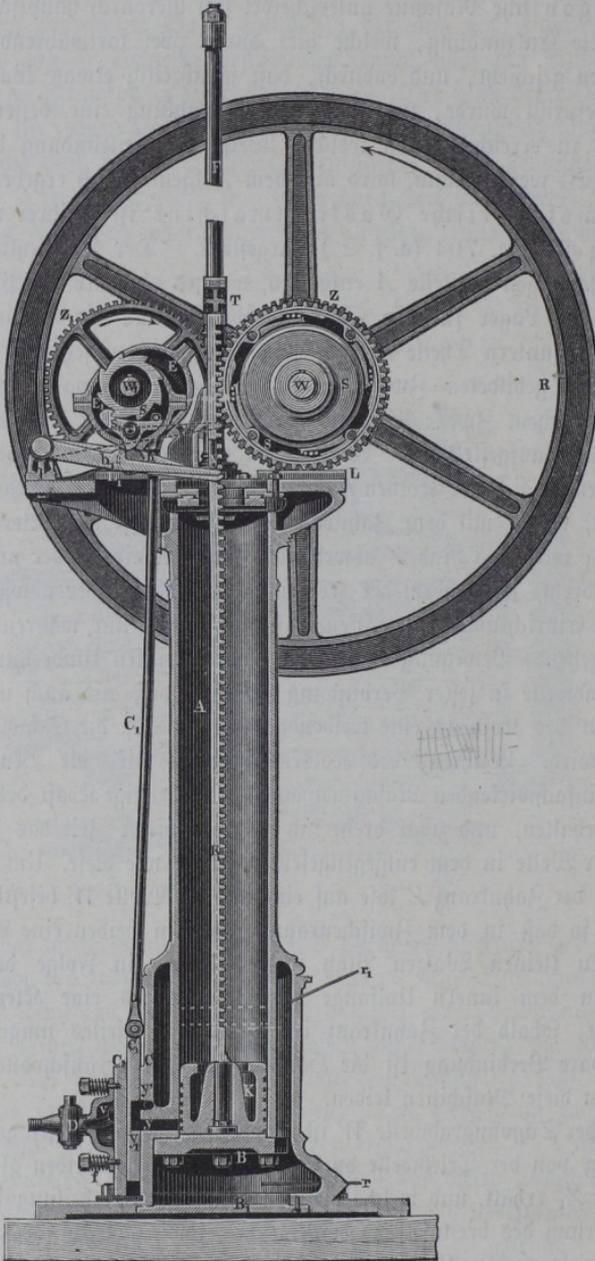
Die Hugon'sche Maschine unterscheidet sich hierdurch hauptsächlich durch die geänderte Entzündung, welche hier durch zwei fortwährend brennende Gasflammen geschieht, und dadurch, daß gleichzeitig etwas Wasser in den Cylinder gespritzt wurde, um außer der Abkühlung eine bessere Wärmeausnutzung zu erreichen. In welcher Weise die Entzündung durch Gasbrenner erzielt werden kann, wird aus dem Folgenden sich ergeben.

Die atmosphärische Gaskraftmaschine ist in ihrer wesentlichen Einrichtung in Fig. 704 (a. f. S.) dargestellt. Der Treibcylinder ist in dem säulenförmigen Gestelle  $A$  enthalten, welches oberhalb die Platte  $L$  zur Aufnahme der Lager für die Schwungradwelle und die Steuerungstheile zeigt, und im untern Theile mit doppelter Wandung versehen ist, um durch den hierdurch gebildeten Zwischenraum  $r_1$  stetig Kühlwasser hindurch zu leiten, zu welchem Zwecke seitwärts in einiger Höhe über dem Cylinder ein Wasserbehälter aufgestellt ist. In dem der ganzen Länge nach ausgebohrten Cylinder bewegt sich der Kolben  $K$ , der mit einer gezahnten Kolbenstange  $K_1$  versehen ist, welche mit dem Zahnrade  $Z$  im Eingriffe ist. Vermöge dieser Einrichtung wird das Rad  $Z$  abwechselnd nach der einen oder andern Richtung umgedreht, je nachdem der Kolben sich aufwärts oder abwärts bewegt, doch ist die Einrichtung so getroffen, daß das Rad  $Z$  nur während der durch die niedergehende Bewegung des Kolbens veranlaßten Umdrehung mit der Schwungradwelle in fester Verbindung steht, so daß also auch nur bei dem Niedergehen des Kolbens eine treibende Wirkung auf die Schwungradwelle ausgeübt wird. Während des Kolbenaufganges wird die Bewegung wie bei allen einfachwirkenden Maschinen durch die lebendige Kraft des Schwungrades unterhalten, und zwar dreht sich während dieser Zeit das Zahnrad  $Z$  lose auf der Welle in dem entgegengesetzten Sinne wie diese. Um dies zu erreichen, ist der Zahnkranz  $Z$  lose auf eine auf der Welle  $W$  befestigte Scheibe  $S$  gesetzt, so daß in dem Zwischenraume zwischen beiden eine Anzahl von cylindrischen kleinen Walzen Platz findet, welche in Folge der schrägen Flächen an dem innern Umfange des Zahnkranzes eine Klemmwirkung verursachen, sobald der Zahnkranz im Sinne des Pfeiles umgedreht wird. Diese lösbare Verbindung ist die Hauptursache des geräuschvollen Ganges, an welchem diese Maschinen leiden.

Neben der Schwungradwelle  $W$  ist eine Steuervelle  $W_1$  gelagert, die ihre Umdrehung von der Triebwelle durch Vermittelung der beiden gleich großen Zahnräder  $Z_1$  erhält, und welche die Bewegung des Vertheilungsschiebers  $C_1$  zur Zuführung des brennbaren Gasgemisches, sowie zur Abführung der Verbrennungsgase nach vollbrachter Wirkung mit Hülfe des Excenters  $E$  zu be-

forgen hat. Außerdem wird durch diese Welle ein Anheben des Kolbens aus seiner tiefsten Stellung bewirkt, wie ein solches erforderlich ist, um das

Fig. 704.



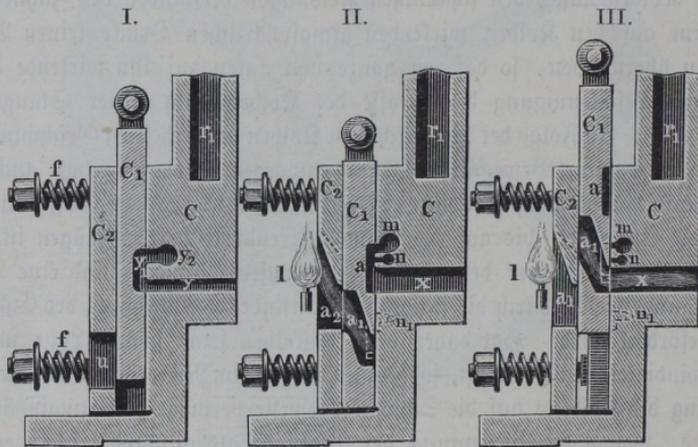
brennbare Gasgemisch in den Cylinder einzuführen. Hierzu dient der Hebel  $h$ , welcher die Kolbenstange  $F_1$  an einem Knaggen ergreift und daran emporhebt, sobald dieser Hebel in die punktiert gezeichnete Lage durch ein zweites Excenter  $E_1$  gebracht wird. Das Excenter ist mit der Steuervelle nur zeitweilig fest verbunden durch das auf der Welle festgekeilte Sperrrad  $s$ , in dessen Zähne ein an dem Excenter  $E_1$  befindlicher Sperrhaken  $s_1$  eingreift. Durch das Anstoßen eines an diesem Sperrhaken befindlichen Dauemens gegen den Ansatz des Hebels  $h_1$  wird der Haken  $s_1$  aus dem Sperrrade  $s$  rechtzeitig ausgelöst, so daß alsdann die Excenter und der Schieber stillstehen, bis die Einklinkung von Neuem durch den niedergehenden Kolben bewirkt wird. Bei der durch die Explosion erzeugten aufsteigenden Bewegung hat der Kolben außer den schädlichen Reibungswiderständen des Zahnkranzes und dem auf den Kolben wirkenden atmosphärischen Drucke keinen Widerstand zu überwinden, so daß der ganze von unten auf ihn wirkende Ueberdruck zur Beschleunigung der Masse des Kolbens mit seiner Stange verwendet wird. In Folge der hierdurch dem Kolben mitgetheilten Geschwindigkeit wird derselbe seine Bewegung wie ein emporgeworfenes Geschloß auch über den Punkt hinaus noch fortsetzen, in welchem der Druck der Gase unterhalb durch die Expansion bis auf den Atmosphärendruck herabgegangen ist. Es entsteht hierdurch unter dem Kolben eine Luftverdünnung und eine Druckermäßigung, welche durch die inzwischen stattfindende Abkühlung des Cylinders noch befördert wird. Hat daher der Flugkolben seine höchste Lage mit der Geschwindigkeit Null erlangt, so beginnt bei seinem Niedergehen die treibende Wirkung des Kolbens auf die Schwungradwelle vermöge des atmosphärischen Druckes, wovon die Benennung der Maschine als atmosphärische herrührt. Offenbar wird diese antreibende Wirkung nicht während des ganzen Kolben-niederganges, sondern nur so lange andauern, bis der Druck der unter dem Kolben noch befindlichen Verbrennungsproducte den Betrag der atmosphärischen Pressung erreicht hat, und es kann erst von diesem Augenblicke an die Entlassung der Verbrennungsproducte in die Atmosphäre geschehen.

In welcher Weise die Zuführung des Gasgemenges und dessen Entzündung, sowie die Abführung der verbrannten Gase mittelst des Schiebers bewirkt wird, ist aus Fig. 705 (a. f. S.) zu ersehen. In der mittlern Schieberstellung  $I$  tritt, während der Treibkolben das Ende seines Niederganges erreicht, das verbrauchte Gas durch den Canal  $y$  und die Schieberhöhlung  $y_1$  nach  $y_2$ , von wo es nach dem Austragrohre gelangt, in welchem ein selbstthätig nach außen sich öffnendes Rückschlagventil befindlich ist, um der Atmosphäre den Eintritt in den Cylinder so lange zu verwehren, als der Druck unter dem Kolben kleiner ist als der atmosphärische. Wird hierauf der Kolben durch die erwähnte Vorrichtung angehoben, so tritt der Schieber in seine tiefste Stelle  $II$ , wobei er den Zutritt der aus  $m$  kommenden Luft und des durch  $n$  einge-

föhrten Leuchtgas in den Canal  $x$  und unter den Kolben gestattet. Gleichzeitig gelangt ein geringer Theil Leuchtgas durch das Canälchen  $m_1$  in die Kammer  $a_1$  des Schiebers, worin dieses Gas durch die fortwährend brennende Gasflamme  $l$  entzündet wird. Durch diese in der Kammer  $a_1$  brennende Interimssflamme wird auch das unter dem Kolben befindliche Gasgemenge entzündet, sobald der Schieber in seine höchste Stellung III gebracht wird, in der die Verbindung der Kammer  $a_1$  mit dem Canale  $x$  hergestellt ist.

Die Geschwindigkeit der Maschine wird durch einen Centrifugalregulator und zwar derart regulirt, daß bei einem zu schnellen Gange die Hölse des

Fig. 705.

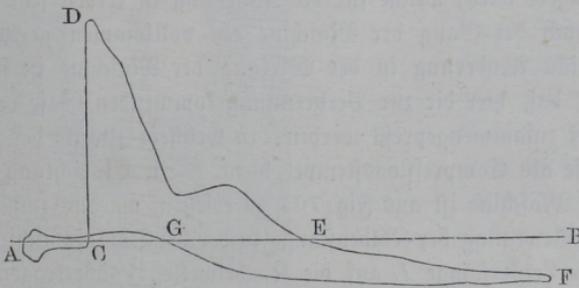


Regulators auf die Sperrklinke  $s_1$  einwirkt und deren Einspringen verhindert; in Folge hiervon bleibt für den nächsten Kolbenhub die Gaszufuhr und Explosion aus, während das Mischungsverhältniß des Gases und der Luft ungeändert dasselbe bleibt. Die zweckmäßigste Geschwindigkeit der Maschine kann auf 90 bis 120 Umdrehungen und das Verhältniß des Gases zu der Luft etwa zu 1 : 10 angenommen werden. Nach den Angaben von Musil, dessen Werke „Die Motoren für das Kleingewerbe“ auch das Indicatorgramm, Fig. 706, entnommen ist, soll sich der Verbrauch an Gas zu 0,75 cbm für jede effective Pferdekraft und Stunde stellen und die effective Arbeit gleich 0,80 bis 0,85 der indicirten sein, was einen sehr hohen indicirten Wirkungsgrad vorstellen würde. Nach anderen Angaben ist der Gasverbrauch auf 1 cbm für die Pferdekraft und Stunde zu veranschlagen.

Das Indicatorgramm, Fig. 706, ist leicht verständlich. Hierin stellt  $AB$  die atmosphärische Linie vor, unter welche die Indicatorlinie während

des Anfaugens von Luft und Gas auf dem Wege  $AC$  etwas heruntergeht, um in Folge der Explosion in  $C$  plötzlich auf  $CD = 2,5$  bis  $3,5$  Atm. zu steigen. In  $E$  ist die Spannung der Gase auf den Betrag der atmosphärischen Pressung gesunken, und bei der weiteren Bewegung des Kolbens in Folge seiner Geschwindigkeit findet eine Ermäßigung des Druckes bis zu  $0,6$  bis  $0,7$  Atm. am Ende des Hubes bei  $F$  statt. Der Antrieb durch die Atmosphäre dauert während des Rückganges bis zu der Stellung in  $G$ ; daß diese Lage nicht mit derjenigen  $E$  übereinstimmt, in welcher bei dem Aufsteigen der Druck der Gase dem atmosphärischen gleich ist, hat in der Abkühlung des Cylinders seinen Grund. In  $G$  erhebt sich die Indicatorlinie

Fig. 706.



über die atmosphärische entsprechend dem Widerstande, welchen die austretenden Gase finden. Diese Maschinen, welche in verschiedenen Größen bis zu 3 Pferdekraft vielfach ausgeführt wurden, sind heute durch die im folgenden Paragraphen zu besprechenden Maschinen so gut wie gänzlich verdrängt.

Es kann bemerkt werden, daß diese Maschine von Gilles insoweit verändert wurde, als außer dem eigentlichen Treibkolben ein besonderer Flugkolben in demselben Cylinder angebracht war, so daß dabei der Treibkolben in ununterbrochener Verbindung mit der Triebaxe blieb und hierdurch die Hauptursache des lauten Geräusches beseitigt war, an welchem die besprochenen Maschinen litten. Auch die in Fig. 704 angegebene Bewegung der Steuerung wurde später in anderer Weise bewirkt; ein Eingehen hierauf scheint unnötig, da diese Maschinen nicht mehr ausgeführt werden.

**Neuere Gaskraftmaschinen.** Die große Bedeutung, welche die §. 327. Gaskraftmaschinen in der neueren Zeit für die Kleinindustrie, sowie namentlich zu Zwecken der elektrischen Beleuchtung und überall da erlangt haben, wo die Aufstellung von Dampfkesseln nicht thunlich erscheint, geht aus der bedeutenden Anzahl von Gasmaschinen verschiedener Anordnung hervor, welche in dem letzten Jahrzehnt bekannt geworden sind. Als der haupt-

fächlichste Vertreter aller dieser Maschinen, welcher bisher nicht durch andere Constructionen übertroffen worden ist, muß die Gasmaschine von Otto, wohl auch Otto'scher Motor genannt, betrachtet werden. Es soll daher hier auch vorzugsweise diese Maschine besprochen werden.

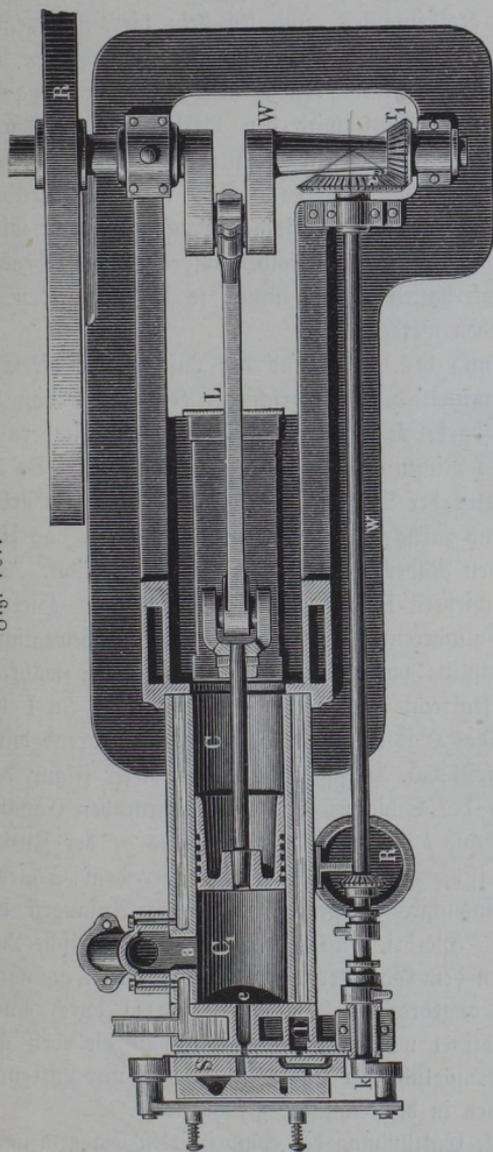
Bei dem Otto'schen Motor ist wieder auf die directe Wirkung zurückgegriffen, doch ist dabei die Plöglichkeit der Explosionswirkung, wie sie bei der Lenoir'schen Maschine so nachtheilig war, dadurch gemildert, daß das zur Verbrennung gelangende Gas mit einem Theil der von der vorhergegangenen Explosion zurückgebliebenen Verbrennungsproducte zusammengebracht wird. Hierdurch wird gewissermaßen eine Verdünnung des Explosionsgemisches herbeigeführt, in Folge deren die Verbrennung eine langsamere und nachhaltigere wird, welche für die Umsetzung in Arbeit sehr vortheilhaft wirkt, wie auch der Gang der Maschine ein vollkommen geräuschloser ist. Eine wesentliche Aenderung in der Wirkung der Maschine ist ferner darin zu erkennen, daß hier die zur Verbrennung kommenden Gase vor der Entzündung stark zusammengepreßt werden, zu welchem Zwecke der Treibkolben selbst zeitweise als Compressionsstempel dient. Die Einrichtung der liegend angeordneten Maschine ist aus Fig. 707 zu ersehen, woraus zunächst hervorgeht, daß die Bewegung der Kolbenstange in der bei Dampfmaschinen üblichen Art durch die Pleuerstange *L* auf die Kurbelwelle *W* übertragen wird, die neben dem Schwungrade *R* eine zur Kraftübertragung dienende Nimmerscheibe trägt, und von welcher aus durch die conischen Räder  $r_1$  und  $r_2$  die Umdrehung der Steuervelle *w* erfolgt. Die Wirkung der Maschine ist so, daß während zwei ganzen Umdrehungen der Welle, also während vier einfachen Kolbenläufen, nur einmal der Antrieb des Explosionsgemisches auf den Kolben erfolgt, so daß man die Maschine eine halbwirkende nennen kann. Der vorn offene Cylinder *C* ist an seinem hintern Ende mit einer halbkugeligen oder cylindrischen Fortsetzung versehen, die von dem Kolben nicht ausgefüllt wird und zur Aufnahme einer gewissen Menge der aus der Verbrennung zuvor entstandenen Producte dient. In diesen hintern Theil münden auch die Canäle *e* zur Einführung von Gas und Luft, sowie *a* zur Abführung der verbrannten Gase. Die Wirkung während der gedachten vier zu einem Spiele gehörigen einfachen Kolbenläufe stellt sich in folgender Weise dar.

Wenn der Kolben zu Beginn eines solchen Spieles seinen ersten Hingang von dem hintern Ende  $C_1$  des Cylinders nach dem vordern vollführt, so folgen ihm zunächst die noch von der vorhergegangenen Verbrennung herührenden in dem Raume  $C_1$  befindlichen verbrannten Gase, worauf ferner durch *l* atmosphärische Luft und zuletzt ein Gemenge von solcher und von Leuchtgas angezogen werden, indem der Schieber *S* durch die in ihm vorhandenen Canäle zuerst der Luft und dann dem Explosionsgemenge den

Zutritt gestattet. Bei der darauf folgenden Umkehr des Kolbens preßt derselbe alle in den Cylinder getretenen Gase in den gedachten Raum am Ende des Cylinders, womit eine beträchtliche Compression verbunden ist. Es wird zwar hierbei in Folge der Diffusionsfähigkeit von Gasen eine gewisse Vermengung der eingeführten Stoffe nicht zu vermeiden sein, jedoch wird jedenfalls in der kurzen Zeit des gedachten Vorganges eine homogene Mischung nicht zu Stande kommen, und man wird daher am hintersten Ende die an

brennbaren Gasen reichste Schicht haben, während nach dem Kolben hin die Füllung mehr und mehr aus schon verbrannten Gasen bestehen wird. Hierdurch ist nicht nur ein elastisches Polster von Gasen zwischen den Kolben und den eigentlichen Explosionsherd gebracht, sondern es wird auch die beim Beginn des dritten Kolbenlaufes statt habende Entzündung nicht plötzlich über die ganze Gasmasse sich erstrecken, sondern ein langsames Verbrennen und

Fig. 707.



ein sogenanntes Nachbrennen stattfinden. Daß dies in der That eintritt, lehren die Indicatorgramme, indem dieselben nicht nur ein weniger plötzliches Ansteigen der Drucklinie bei der Entzündung zeigen, sondern auch

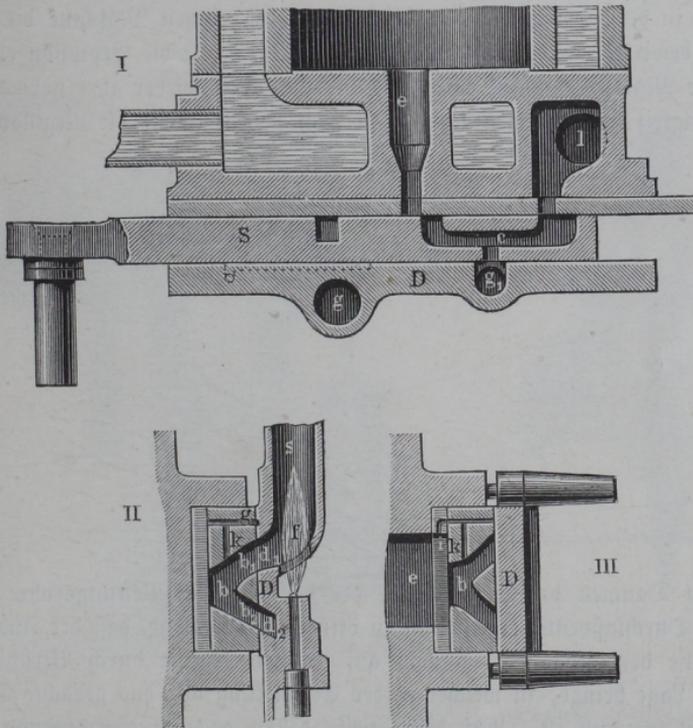
die Abnahme der Spannung bei der darauf folgenden Expansion langsamer vor sich geht, die Expansionslinie im Diagramme daher weniger steil gegen die Aze abfällt. Die treibende Wirkung der expandirenden Gase erfolgt während des ganzen dritten Kolbenlaufes, und bei dem hierauf folgenden zweiten Rückgange des Kolbens hat derselbe die vor ihm befindlichen verbrannten Gase bis auf den in  $C_1$  zurückbleibenden Rest durch die Abgangsöffnung  $a$  auszustoßen. Der Austritt wird den Verbrennungsproducten durch ein von der Welle  $w$  bewegtes Ventil gestattet, das sich rechtzeitig öffnet. Es ist hieraus ersichtlich, daß innerhalb eines vollen Spieles der Maschine der Kolben nur während eines einfachen Laufes treibend wirkt, und die Bewegung während der übrigen drei Kolbenläufe durch die lebendige Kraft des Schwungrades unterhalten werden muß, so daß demselben die dazu erforderliche Masse gegeben werden muß.

Die entsprechende Abführung des Gases und der Luft, sowie die Entzündung des Gemenges vermittelt der Steuerschieber  $S$ , welcher von der Steuerwelle  $w$  mittelst der Kurbel  $k$  am hintern Ende des Cylinders in einer zu dessen Aze senkrechten Richtung hin- und hergeführt wird. Da der Schieber während eines Spieles der Maschine, also während zwei Kurbelumdrehungen, einmal hin- und zurückgeführt werden muß, so ist das Umsetzungsverhältniß der conischen Räder  $r_1$  und  $r_2$  wie 1 : 2 gewählt. Die besondere Einrichtung des Schiebers ist aus Fig. 708 ersichtlich. Hiervon zeigt I den zwischen dem Cylinderende und einem Deckel  $D$  beweglichen Schieber  $S$  in einem Längsschnitte parallel zu seiner Bewegung, während Fig. II und III zwei dazu senkrechte Durchschnitte vorstellen. In I hat man sich in  $g_1$  das Rohr für das Gas einmündend zu denken, während durch  $l$  die atmosphärische Luft Zutritt hat. Man erkennt aus dieser Figur, daß bei einer geringen Bewegung des Schiebers nach links durch den Canal  $c$  im Schieber sowohl der Luft aus  $l$  wie auch dem Gase aus  $g_1$  der Zutritt nach dem Cylinder gestattet ist. Diese Stellung ist daher dem Schieber während des ersten Kolbenhinganges zu geben, wenn das Ansaugen der Füllung vor sich gehen soll. Hierbei kann aus  $l$  die atmosphärische Luft fortwährend eintreten, wogegen dem Gase der Eintritt erst gestattet ist, nachdem ein in der Gasleitung angebrachtes Durchlaßventil durch einen Knaggen der Steuerwelle geöffnet worden ist. Hierdurch ist die oben gedachte besondere Einführung ermöglicht, der zufolge anfänglich nur Luft und darauf Luft mit Gas zusammen in den Cylinder geführt wird.

Die Art und Weise, wie die Entzündung des comprimierten Gasgemenges durch eine Flamme bewirkt wird, ist mit Hilfe der beiden Querschnitte II und III des Schiebers zu erkennen. In beiden Figuren ersieht man den in dem Schieber enthaltenen Canal  $b$ , dessen äußere Oeffnungen  $b_1$  und  $b_2$  mit den entsprechenden  $d_1$  und  $d_2$  im Schieberdeckel zusammenfallen, wenn

der Schieber die in II vorausgesetzte Stellung einnimmt, wogegen die nach innen gerichtete Oeffnung in dieser Stellung durch den Schieberspiegel abgeschlossen ist und erst bei einer Verschiebung des Schiebers in III dem Eintrittscanale *e* in dem Cylinder gegenübertritt. Es geht hieraus hervor, daß durch die außerhalb des Deckels in dem Schornsteine *s* brennende Gasflamme *f* eine Entzündung des in die Kammer *b* eingeführten Gases bewirkt wird, wenn der Schieber die Stellung II einnimmt, da hier durch *a*<sub>2</sub> die zur Verbrennung nöthige atmosphärische Luft hinzutreten kann. Ebenso erkennt man dann, daß die in *b* brennende Vermittlungsflamme bei einer

Fig. 708.

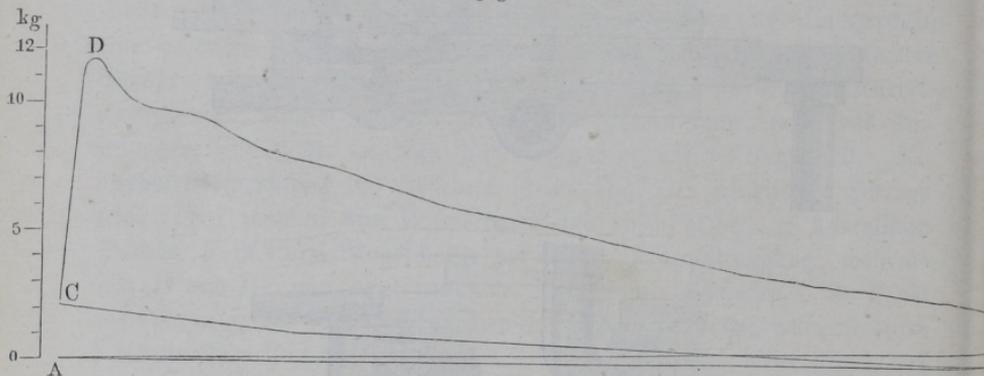


Bewegung des Schiebers aus der Stellung II in diejenige III eine Entzündung des im Cylinder vorhandenen Gasgemenges bewirken kann, sobald nur die Pressung in der Kammer *b* nicht kleiner ist als im Cylinder, da sonst das Eintreten der Flamme in den Cylinder erschwert wäre. Um dieser Bedingung zu genügen und um überhaupt die Kammer mit Gas zu füllen, dient der feine Canal *k*, welcher bei *g* Gas aus der Gasleitung empfängt und in die Kammer *b* führt. Da an der Stelle *g* der Deckel mit einer länglichen Vertiefung in der Richtung der Schieberbewegung versehen ist, so findet die Speisung der Vermittlungsflamme in *b* auch während der Be-

wegung des Schiebers aus der Stellung II in diejenige III keine Unterbrechung, so daß diese Flamme während dieser Bewegung weiter brennt. Man ersieht nun aus Fig. III, daß in dem Augenblicke, in dem die Zündung erfolgen soll, oder unmittelbar zuvor durch das Canälchen  $k$ , welches mit der Bohrung  $i$  im Cylinderboden zusammentrifft, eine Ausgleichung der Pressungen in der Kammer  $b$  und im Cylinder bewirkt wird.

Diese Maschine macht etwa 180 Umdrehungen in der Minute, während welcher Zeit also im normalen Gange 90 Füllungen gegeben werden. Damit die Maschine etwa in Folge des verminderten Widerstandes keine unzulässig große Geschwindigkeit annimmt, ist ein Regulator angebracht, welcher in derselben Weise wie bei der atmosphärischen Maschine die Regulirung bewirkt, dadurch nämlich, daß in diesem Falle die Explosion ein oder mehrere Male verhindert wird, bis die Maschine wieder ihre normale Geschwindigkeit angenommen hat. Zu dem Zwecke wirkt die Regulatorhülse

Fig. 709.



auf den Daumen der Steuerwelle, der das im Gaszuleitungsrohre angebrachte Durchlaßventil regelmäßig zu öffnen hat, so zwar, daß der Ausschlag der Hülse den gedachten Daumen auf der Steuerwelle durch Verschiebung in eine Lage bringt, in welcher er der Einwirkung auf das gedachte Durchlaßventil entzogen ist. Auf diese Weise behält das zur Verwendung kommende Explosionsgemenge stets dieselbe als die vortheilhafteste erkannte Zusammensetzung, und es muß aus diesem Grunde diese Art der Regulirung als eine zweckmäßige erachtet werden.

In Fig. 709 ist das Indicator diagramm einer zweipferdigen Otto'schen Maschine abgebildet, wie es von Brauer und Slaby abgenommen ist. Hierin stellt  $AB$  die Linie während des Ansaugens,  $BC$  diejenige während der Compression vor, welche bis zu 2 Atm. am Ende  $C$  des Kolbenhubs sich erhebt. Die aufsteigende Linie  $CD$  gilt für die Explosion, woraus man erkennt, daß, wenn auch hierbei eine schnelle Steigerung der Spannung ein-

tritt, dieselbe doch nicht so plötzlich erfolgt, wie in dem Diagramme der atmosphärischen Maschine, Fig. 706, was in dem Vorstehenden seine Erklärung findet. Ebenso ist die Linie *DE*, die den Verlauf der Expansion anzeigt, zwar im Allgemeinen abfallend, aber nicht in so hohem Maße, wie es einer adiabatischen Zustandsänderung entsprechen würde; man hat dies dem Nachbrennen während der Expansion zuzuschreiben. Die Linie *EA* endlich entspricht dem Ausstoßen der Verbrennungsproducte. Der Gasverbrauch stellte sich bei dieser Maschine zu 1,005 cbm für jede gebremste Pferdekraft und Stunde heraus; der mittlere indicirte Wirkungsgrad war 0,72.

Fig. 710.

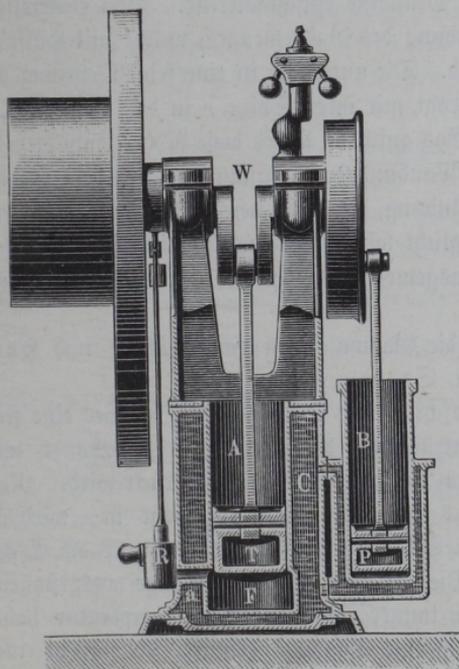
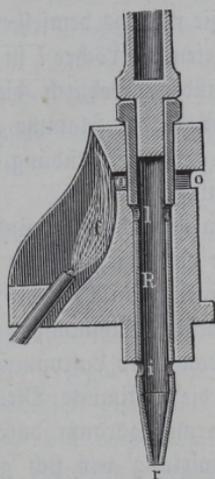


Fig. 711.



Man hat in der neueren Zeit diese Maschinen mehrfach abzuändern versucht, namentlich hat man zur Compression des Verbrennungsgemisches eine besondere Pumpe angebracht, welche neben dem Arbeitscylinder befindlich, von einer zweiten Kurbel der Schwungradwelle betrieben wird. Der Kolben dieser Pumpe saugt beim Hingange die Verbrennungsgase an und comprimirt sie beim Rückgange bis zu gewissem Grade, worauf dieselben in den Arbeitscylinder übertreten, in welchem sie mit den von der vorherigen Explosion zurückgebliebenen Verbrennungsproducten zusammentreffen. Eine solche Anordnung ist z. B. die von Körting, Fig. 710, bei welcher die beiden Cylinder vertical neben einander aufgestellt sind. Es ist hierbei *A* der

Arbeitscylinder und *B* der Pumpencylinder, beide in dem Kühlgefäße *C* befindlich. Die Kolben werden von zwei gleichgestellten Kurbeln der Schwungradwelle *W* bewegt, so daß beide zu gleicher Zeit in der untersten Lage ankommen, in welcher die Entzündung in *F* vorgenommen wird. In Folge hiervon wirken die expandirenden Gase treibend auf den Arbeitskolben *T*, während der Pumpkolben *P*, dessen Cylinder durch ein Rückschlagsventil von *A* abgeschlossen wurde, beim Aufwärtsgehen das Verbrennungsgemisch ansaugt. Die verbrannten Gase werden beim Niedergehen der Kolben durch *a* bis auf denjenigen Theil ausgestoßen, welcher für die folgende Entzündung zurückgehalten wird. Da hierbei eine Explosion bei jedem Kolbenaufgange stattfindet, so ist die Maschine einfachwirkend. Von Interesse ist hierbei noch die Art der Entzündung des Gasgemenges, welche mit Hilfe der Fig. 711 (a. v. S.) deutlich wird. Die unterhalb in eine feine Oeffnung auslaufende cylindrische Röhre *R* ragt mit ihrer Spitze *r* in den Gascanal, so daß sie sich aus demselben mit Gas anfüllt. Wird diese Röhre emporgezogen, so treten die Löcher *l* in ihrer Wandung den Einschnitten *o* in dem Gehäuse gegenüber, wodurch die Entzündung des von der Röhre aufgenommenen Gases an der Flamme *f* ermöglicht wird, und worauf ein Niedergehen der Röhre die Entzündung des Gasgemenges durch die Oeffnungen *i* hindurch veranlaßt.

In ähnlicher Art sind auch die Gasmaschinen von Wittig und Hees, sowie von Buß, Sombart u. Co. eingerichtet.

Eigenthümlich ist die Gasmaschine von Simon, bei welcher eine stetig brennende Gasflamme zur Entzündung des Gemenges angewandt wird, das von einer Luftpumpe in den Verbrennungsraum gedrückt wird. Nachdem die bestimmte Menge Gas zur Verbrennung gelangt ist, wird der Verbrennungsraum durch einen Schieber abgeschlossen, worauf die Expansionswirkung vor sich geht. Die bei dem Kolbenrückgange ausgestoßenen Producte, die in Gasmaschinen immer noch eine hohe Temperatur haben, werden bei dieser Maschine durch eine Schlange geführt, die sich in einem kleinen über der Maschine angebrachten Dampfkessel befindet. Es soll hierdurch die Wärme der abgehenden Gase zur Erzeugung von Wasserdämpfen benutzt werden, die in den Arbeitscylinder geführt werden, eine ähnliche Wirkung also, wie sie schon in der Maschine von Hugon versucht worden war. Auch hat man vorgeschlagen, die Verbrennung des Gasgemenges in einem besondern von dem Arbeitscylinder getrennten Behälter vorzunehmen, und die gespannten Gase von diesem Behälter der Maschine zuzuführen, etwa wie den Dampf aus dem Kessel einer Dampfmaschine. Anstatt des Leuchtgases hat Siemens die Verwendung von Generatorgas vorgeschlagen, andererseits hat man Petroleum als Brennmaterial verwendet.

Nach den erwähnten Versuchen von Brauer und Slaby gebrauchte

ein vierpferdiger Otto'scher Motor, dessen Kolbendurchmesser 0,170 m und dessen Hub 0,345 m ist, bei 159 Umdrehungen in der Minute für jede Pferdekraft stündlich 1,07 cbm Leuchtgas, und es ergab sich die gebremste Arbeit zu 3,98 Pferdekraft, die mittlere Spannung zu 4,39 kg pr. Quadratcentimeter und der indicirte Wirkungsgrad zu 0,66.

Aus diesen und den im vorigen Paragraphen angegebenen Resultaten geht hervor, daß die Heißluftmaschinen, welche im günstigsten Falle 4 kg Kohlen stündlich für jede Pferdekraft gebrauchen in ökonomischer Beziehung weit hinter den Dampfmaschinen zurückstehen, wenn hierbei nur die Menge des verbrauchten Brennmaterials in Betracht gezogen wird. Es wird daher diesen Maschinen nur da eine zweckmäßige Verwendung beizumessen sein, wo die Betriebskraft nur gering ist, einerseits also die Aufstellung einer Dampfmaschine wegen der durch die nöthige Wartung derselben erwachsenden Kosten nicht gerathen erscheint, andererseits das Gas zum Betriebe einer Gasmaschine nicht zur Verfügung steht. Dagegen zeigen die Gasmaschinen eine sehr günstige Wirkung, falls man nur die aufgewendete Wärmemenge in Betracht zieht. Nimmt man nämlich die Heizkraft von 1 cbm Leuchtgas zu 5600 W.-E. an, so findet man beim Verbrauche von 1 cbm stündlich für 1 Pferdekraft einen Wärmeverbrauch von  $\frac{5600}{60 \cdot 60} = 1,555$  Einheiten in der Secunde, welcher mit einer mechanischen Arbeit von  $1,555 \cdot 424 = 660$  mkg äquivalent ist. Diese Maschinen machen also  $\frac{75}{660} = 0,114$  der in der aufgewendeten Wärme enthaltenen Arbeit nutzbar, und die indicirte Leistung bezieht sich bei einem Wirkungsgrade von  $\frac{2}{3}$  sogar zu 0,171. Es wurde im §. 320 gezeigt, daß bei unsern vollkommensten Dampfmaschinen diese Ausbeute nicht erlangt wird, und die Gründe des vortheilhaftern Arbeitens der Gasmaschinen sind nach dem Fröhern ebenfalls erkenntlich und in den höhern Temperaturen einerseits und in der geschlossenen Feuerung andererseits zu suchen. Weniger günstig stellt sich allerdings das Verhältniß, wenn man nicht nur die aufgewendete Wärme, sondern auch den Preis des Brennmaterials in Betracht zieht. Alsdann arbeiten natürlich die Gasmaschinen bei dem hohen Preise des Leuchtgases im Vergleich mit dem der Steinkohlen wesentlich theurer als die Dampfmaschinen, und daher wird unter den derzeitigen Verhältnissen das Anwendungsgebiet der Gasmaschine vornehmlich auf die Kleinindustrie und überhaupt auf diejenigen Fälle beschränkt sein, in denen die Aufstellung eines Dampfkessels nicht rathlich erscheint, wegen der für die kleine Betriebskraft unverhältnißmäßigen Kosten der Wartung oder in denen andere Rücksichten vorwiegend in Betracht kommen, z. B. die Möglichkeit, die Maschine jederzeit während kurzer Zeit schnell in Betrieb setzen zu können, ohne auch in den Pausen

des Stillstandes die fortlaufenden Kosten für die Kesselheizung tragen zu müssen.

Von der Wirkungsweise der Heißluftmaschine handelt das Werk Redtenbacher's „Die Lufterpansionsmaschine“, Mannheim 1853, ferner Boëtius, „Die Ericsson'sche calorische Maschine“. Von G. Schmidt findet sich in der Ztschrft. d. V. deutsch. Ing. eine Theorie der Lenoir'schen Gasmaschine, 1861, und der Lehmann'schen Heißluftmaschine, 1871. Ebenso findet man von der letztern die Theorie in Zeuner's „Grundzügen der mechanischen Wärmetheorie“. Ferner kann man nachlesen: „Mittheilungen über die neuesten Fortschritte bezüglich der Dampf-, Gas- und Heißluftmaschinen“ von Delabar, Dingler's polyt. Journ. 1869 und Grashof's Anhang zur 6. Aufl. von Redtenbacher's Resultaten f. d. Maschinenbau. Die Gasmaschinen finden eine ausführliche Behandlung in Schöttler's Werk: „Die Gasmaschine, Braunschweig 1882“, auch ist die Schrift von Musil: „Die Motoren für die Kleingewerbe“, Braunschweig 1883, anzuführen. Die von Brauer und Slaby angestellten Versuche sind in einer besondern Schrift, Berlin 1879, veröffentlicht, ebenso wie ein Vortrag von Slaby unter dem Titel: „Der geräuschlose Otto'sche Gasmotor“, in der Zeitschrift für Technische Hochschulen, 1878, abgedruckt ist.

# Alphabetisches Sachregister.

Die angeführten Ziffern geben die Seitenzahlen an.

## A.

- Abfalllatten, 195.  
Abkühlung, 808, 1217.  
Abkühlungsgeschwindigkeit, 812.  
Abkühlungsmethode, 699.  
Abkühlungsverlust, 1185.  
Ablassen, 149, 159.  
Ablaszhähne, ventile, 977.  
Ablenkung, 329, 806.  
Abrundung, 417.  
Abschläge, 158.  
Abschußdecke, 119.  
Absolute Ausdehnung, 688.  
Absolute Geschwindigkeit, 429.  
Absolute Temperatur, 694.  
Absoluter Nullpunkt, 694.  
Absoluter Wasserweg, 383.  
Absoluter Wirkungsgrad, 1193.  
Absorption, 581, 1116.  
Absorptionshygrometer, 804.  
Absperrventil, 992.  
Absteigen, 303.  
Abstellvorrichtung, 479.  
Abzugscanäle, 158.  
Accumulator, 623.  
Action, 336.  
Actionsgefälle, 379.  
Actionsturbinen, 336.  
Actuelle Energie, 666.  
Adiabatische Linie, 718, 1180.  
Admissionsspannung, 1153.  
Äquivalenz, 665.  
Aether, 665.  
Äußere Arbeit, 669.  
Äußere latente Wärme, 774, 1191.  
Äußere Steuerung, 550, 606.  
Äußere Turbinen, 317.  
Aichpfähle, 118.  
Alarmvorrichtung, 940.  
Amerikan. Tretwerk, 115.  
Amerikan. Windräder, 640.  
Anemometer, 646.  
Angewelle, 237.  
Anlauf, 6.  
Anjahring, 636.  
Aquäduct, 117, 153, 155.  
Arbeitsäquivalent, 707.  
Arbeitsgewinn, 289.  
Arbeitskolben, 1206.  
Arbeitsmaschinen, 270.  
Arbeitsverlust, 267, 590.  
Arbeitsvermögen, 82.  
Arbeitszeit, 82.  
Armstrong'sche Hebevorrichtung, 612.  
Äschenfall, 852.  
Asphaltröhren, 165.  
Aspirator, 803.  
Asymptoten, 419.

Aethermane Körper, 807.  
 Atmosphär. Dampfmaschine, 962.  
 Atmosphär. Gasmaschine, 1229.  
 Atmosphär. Linie, 46.  
 Atmosphär. Luft, 629, 712.  
 Atmosphär. Schmierung, 511.  
 Aufnehmer, 1131, 1164.  
 Aufschlagwasser, 116, 191, 542.  
 Aufstauen, 117.  
 Aufsteigen, 303.  
 Ausblaserohr, 961.  
 Ausdehnung, 691, 692.  
 Ausdehnungscoefficient, 678.  
 Ausdehnungskraft, 683.  
 Ausgußröhre, 169, 550.  
 Auslaßventil, 1039.  
 Auslösender Katarakt, 1096, 1099.  
 Auspuffmaschine, 961, 1159.  
 Ausschlag, 12.  
 Ausschlagswinkel, 13.  
 Ausstrahlung, 810.  
 Austragröhre, 536.  
 Austritt, 214, 331.  
 Austrittsgeschwindigkeit, 502.  
 Austrittssteuerventil, 565.  
 Ausweicher, 1066, 1081.  
 Autoclave Liederung, 546.  
 Augenreibung, 94.  
 Axialturbinen, 317, 374, 447, 461.

## B.

Bäche, 117.  
 Balancier, 573, 582, 970, 1108, 1138.  
 Balkenwehr, 125.  
 Bauwerk, 1.  
 Beaufschlagung, 349.  
 Beharrungszustand, 6.  
 Belebte Motoren, 82.  
 Beschleunigungsdruck, 1154.  
 Bewegliche Wehre, 125.  
 Bewegung des Wassers, 170, 207.  
 Bewegungswiderstände, 428.  
 Biegung, 230.  
 Blasrohr, 885.  
 Blattzapfen, 235.  
 Blechschaukeln, 314.  
 Bleiröhren, 165.  
 Bleuel, 235.

Bock, 634.  
 Bockmaschine, 1132.  
 Bockmühle, 632.  
 Böschung, 145.  
 Borda'sche Turbine, 321.  
 Bramah'scher Kolben, 545, 547.  
 Brand'sche Maschine, 610, 616.  
 Brechung, 806.  
 Bremsbacken, 71.  
 Bremsband, 72, 73.  
 Bremsdynamometer, 70, 77, 527.  
 Bremse, 637.  
 Bremshebel, 75.  
 Bremsversuche, 271, 313, 615.  
 Brennstoff, 821, 823, 829.  
 Briefwage, 29.  
 Brückenpfeiler, 117, 126.  
 Brückenwage, 18, 25, 60.  
 Brust, 119, 144.  
 Bügelmaschine, 974, 1147.  
 Bühnen, 117, 126, 128.  
 Burdin's Turbine, 323.

## C.

Cadiat'sche Turbine, 352, 400, 406, 477.  
 Calorie, 696.  
 Calorimeter, 821.  
 Calorische Maschine, 1201.  
 Canäle, 116, 151.  
 Canalgefälle, 160.  
 Centesimaltheilung, 672.  
 Centesimalwage, 19, 24.  
 Centrifugalkraft, 217, 453, 530.  
 Centrifugalpumpe, 386.  
 Chronometer, 681.  
 Collmann'sche Steuerung, 1057, 1128.  
 Combess'sches Reaktionsrad, 354.  
 Communicationsröhre, 537.  
 Compensationspendel, 681.  
 Compensationsröhren, 167.  
 Compoundmaschine, 970, 1129, 1163, 1171.  
 Compression, 784, 1002, 1007, 1153.  
 Compressionsverhältniß, 1157.  
 Comprimirte Luft, 611.  
 Concentrirung des Gefälles, 152.  
 Condensation, 798, 1098, 1112.

Condensationshygrometer, 804.  
 Condensationsmaschinen, 961, 1159.  
 Condensator, 799, 961, 1114.  
 Condensirtöpfe, 991.  
 Constante Axielgeschwindigkeit, 453.  
 Constante Dampfmenge, 779, 792, 1180.  
 Constante Reaction, 453.  
 Contraction, 163, 441.  
 Controlmanometer, 44.  
 Corlißsteuerung, 996, 1071.  
 Coulissenführung, 971.  
 Coulissenstücke, 245, 255, 271.  
 Coulissensteuerung, 1038.  
 Cylinderdeckel, 975.  
 Cylindergöpel, 106.  
 Cylinderteffel, 847.

## D.

Dänische Wage, 17.  
 Dämme, 117.  
 Däumlinge, 579.  
 Dammklügel, 145.  
 Dammkappe, 144, 148.  
 Dampfanäle, 975.  
 Dampfzylinder, 959, 974.  
 Dampfdichte, 774, 798.  
 Dampfdom, 952.  
 Dampfespritzre, 842.  
 Dampfgatter, 2.  
 Dampfhammer, 2.  
 Dampfkessel, 837, 897.  
 Dampfkolben, 959, 979.  
 Dampfkläffigkeitsverlust, 1185.  
 Dampfleitung, 987.  
 Dampfmantel, 977, 1151, 1185.  
 Dampfmaschine, 664, 959.  
 Dampfmenge, 1183.  
 Dampfpumpe, 2.  
 Dampfraum, 841.  
 Dampfspannung, 753, 768, 794.  
 Dampfstrahlgebläse, 885.  
 Dampfstrahlpumpe, 923.  
 Dampfüberdruck, 37.  
 Dampfwärme, 774.  
 Dampfwanndung, 838.  
 Danaide, 325.  
 Decimalwage, 17, 24.

Deckungskreise, 1008.  
 Deckungswinkel, 191.  
 Deichsel, 105.  
 Destillation, 798.  
 Deutsche Windmühle, 632.  
 Diagonalarne, 234.  
 Diathermane Körper, 807.  
 Dichte Wehre, 117.  
 Differentialanemometer, 649.  
 Differentialdynamometer, 61.  
 Differentialgetriebe, 61, 106.  
 Differentialmanometer, 39.  
 Diffuser, 502.  
 Diffusion, 807.  
 Dimissionsvermögen, 807.  
 Directe Heizfläche, 895.  
 Disgregationsarbeit, 669.  
 Distanzkreise, 1009.  
 Doppelfeuerung, 858.  
 Doppelindicator, 51.  
 Doppelsitzventil, 1021, 1043.  
 Doppelturbine, 372.  
 Doppeltwirkende Dampfmaschine, 960.  
 Doppeltwirkende Wasser säulenmaschine, 537, 551.  
 Drehbank, 99.  
 Drehschieber, 1063, 1084.  
 Dreicylindermaschine, 1148.  
 Dreifolbenstystem, 602.  
 Droßelklappe, 994.  
 Droßelung, 1013.  
 Drucklinie, 177.  
 Druckturbine, 318, 386, 422, 480.  
 Druckwirkung, 212, 263, 316, 332, 336.  
 Durchgang der Wärme, 815.  
 Durchlässigkeit, 1185.  
 Durchlaßwehr, 117.  
 Durchschnittsdruck, 1156.  
 Dynamograph, 34.  
 Dynamometer, 9, 29, 30, 34.  
 Dynamometr. Zapfenlager 58.

## E.

Economiser, 936.  
 Effect, 2.  
 Effectiver Leistung, 243, 269, 286, 516.  
 Effectiver Wirkungsgrad, 455, 519.  
 Eimerkette, 626.

- Cincylindermaschine, 1152.  
 Einfacher Kreisproceß, 732.  
 Einfachwirkend, 537, 960.  
 Einfalkasten, 536, 538.  
 Einfalldröhre, 346, 536, 538.  
 Einfalßwinkel, 805.  
 Einführung, 204, 252, 260.  
 Einlaßschleuse, 154.  
 Einlaßventil, 1039.  
 Einspielen, 9, 11.  
 Einsprizcondensator, 1112.  
 Einsprizen, 798.  
 Einstiefelige Wasserjulenmaschine, 537.  
 Eintritt, stoßfreier, 303.  
 Eintrittsstelle, 302.  
 Eintrittsteuerventil, 565.  
 Eintrittswinkel, 191, 198.  
 Eisbrecher, 120.  
 Elasticität, 685.  
 Elementenpaar, 1.  
 Elidirung, 1022.  
 Elidirungshähne, 551.  
 Ellipfenlenker, 52.  
 Emanationstheorie, 664.  
 Empfindlichkeit, 10, 12, 13.  
 Energie, 666.  
 Entlastete Schieber, 1016.  
 Entzündung, 1223, 1240.  
 Erdwinde, 104.  
 Erfahrungsergebnisse, 607, 659.  
 Erhaltung, 664, 670.  
 Ericson'sche Maschine, 1206, 1212.  
 Erwärmungskraft, 820.  
 Etagenräder, 486, 489.  
 Etagenrost, 858.  
 Evans'scher Lenker, 971, 1139.  
 Excenter, 999, 1047.  
 Expansion, 787, 1002, 1007.  
 Expansionsmaschine, 963, 1149.  
 Expansionschieber, 1023.  
 Expansionsventil, 1024.  
 Expansionsverhältniß, 964, 994.  
 Expansivkraft, 629, 756, 794.  
 Explosion, 837, 851, 956.  
 Fallblocksteuerung, 561.  
 Fallschützen, 117.  
 Federbelastung, 947.  
 Federdynamometer, 31.  
 Federmanometer, 36, 42.  
 Federstienen, 54.  
 Federsteuerung, 561.  
 Federwage, 9, 29, 30.  
 Federung, 1147.  
 Felgen, 186.  
 Ferntrieb, 620.  
 Festigkeit, 685.  
 Feuchte Luft, 801.  
 Feuchtigkeitsgrad, 802.  
 Feuerbrücke, 853.  
 Feuerbüchse, 876.  
 Feuerlohe Heizung, 795.  
 Feuerplatte, 852.  
 Feuerrohren, 806.  
 Feuerthür, 852.  
 Feuerung, 852.  
 Field'scher Kessel, 874.  
 Fischgerinne, 149.  
 Flächenausdehnung, 677, 687.  
 Flammloch, 853.  
 Flammröhren, 848.  
 Flanschen, 166, 540, 974.  
 Fließende Wasser, 117.  
 Flügelräder, 630.  
 Flügelwelle, 630, 634.  
 Flüsse, 117.  
 Flüssigkeitsmanometer, 36.  
 Flüssigkeitswärme, 773.  
 Flußstrecke, 151.  
 Fluther, 149, 150, 158.  
 Fördermaschine, 969, 1038.  
 Fontaine'sche Turbine, 361.  
 Formänderung, 2, 42.  
 Fortschieben, 146.  
 Fourneyron'sche Turbine, 346, 464, 530.  
 Francis'sche Turbine, 346, 467, 530.  
 Französische Federwage, 30.  
 Freier Katarakt, 1097, 1099.  
 Freiluther, 154.  
 Freihängen, 184, 291.  
 Frostpunkt, 672.  
 Füllungscoefficient, 190, 271.  
 Füllungsgrad, 966, 1025.  
 Fugbalken, 634.

## F.

Fachbaum, 119.  
 Fahrtheit'sche Eintheilung, 672.