

C. Konstruktion der Dampfkessel und Dampfmaschinen.

1. Bauart der Dampfkessel.

§ 20. Allgemeines. Die Kesselanlage steht in so enger Beziehung zu dem Arbeitszwecke der zugehörigen Dampfmaschine, daß man kein bestimmtes Kesselsystem als unter allen Umständen empfehlenswert bezeichnen kann. Wird die tägliche Arbeitsleistung nur während weniger Stunden erforderlich, so spielt die Ausgabe für das Anheizen eine verhältnismäßig erhebliche Rolle; es sind also für derartige Fälle Kessel mit geringem Wasserraum zweckmäßig, während diese als weniger ratsam erscheinen, wenn der Betrieb ein dauernder ist und überdies der Dampfbedarf oft und stark wechselt. Die Wassermenge wirkt bei variablem Betriebe regulierend, indem sie die Unterschiede zwischen der dem Kessel durch die Feuerung zugeführten und der mit dem Dampfverbrauch abgeführten Wärme ohne allzu große Temperatur- beziehungsweise Druckdifferenzen aufzunehmen oder abzugeben vermag.

Es würde wenig Nutzen gewähren, die Ausgleichung durch Vergrößerung des Dampfraums zu erzielen, denn die pro Volumeneinheit enthaltene Wärme ist für Wasser viel bedeutender als für Dampf. Bei vier Atmosphären Überdruck wiegt⁷⁴⁾ 1 cbm Dampf 2,64 kg und besitzt bei einer Temperatur von 150,99° Celsius eine Gesamtwärme von $652,55 \cdot 2,64 = 1722$ Wärmeeinheiten, während in 1 cbm Wasser von gleicher Temperatur $1000 \cdot 152,48 = 152480$ Wärmeeinheiten enthalten sind. Die Wärme, welche dem Kessel zugeführt werden muß, um die Temperatur von 1 cbm Wasser von Null auf 150,99° zu erhöhen, reicht demnach auch zur Bildung von $\frac{152480}{1722} \cong 88,5$ cbm Dampf von 4 Atm. Überdruck aus. Reichlicher Dampfraum ist zwar zu empfehlen, weil die minder heftige Strömung nach dem Dampfrohre hin dem Dampfe besser gestattet, die bei der Dampfbildung in den Dampfraum emporgeschleuderten Wasserteilchen wieder fallen zu lassen. Ein Kessel mit größerem Dampfraum liefert demnach im allgemeinen trockeneren Dampf.

Für Bauzwecke ist die Bequemlichkeit und Raschheit, mit welcher die Anlage verlegt werden kann, bei der Wahl des Kesselsystems von besonderer Wichtigkeit; daher kommen hier Kessel, deren Aufstellung besonderes Mauerwerk erfordert, verhältnismäßig wenig vor und dürften nur in solchen Fällen zweckmäßig sein, wo die Bauarbeiten längere Zeit in Anspruch nehmen und sich die Herstellung eines provisorischen Gebäudes zum Schutze der Maschine und des Kessels gegen die Einflüsse der Witterung lohnt.

Auch kommt die Güte, d. h. der Grad der Reinheit des Speisewassers in Betracht, indem für unreines Wasser Dampfkessel mit engen Zwischenräumen, welche durch Kesselsteinablagerung bald verstopft sein und an den betreffenden Stellen das Verbrennen der Kesselwand und häufige Reparaturen zur Folge haben würden, nicht geeignet sein können.

Die verschiedenen Dampfkesselsysteme haben ziemlich allgemein das cylindrische Rohr als konstruktives Element gemein⁷⁵⁾, welches in größeren Dimensionen als Kesselschale aus Blechplatten hergestellt wird, indem diese mittels Walzwerk cylindrisch gebogen und durch Vernietung oder Schweißung verbunden werden, und in kleineren Durchmessern, geschweisft oder gezogen, Gegenstand der Specialfabrikation ist. Dampfkessel für stationäre Anlagen werden vorwiegend aus größeren cylin-

⁷⁴⁾ Nach Fliegner's Dampftabellen in der 12. Aufl. der Hütte.

⁷⁵⁾ Ausnahmen bilden nur der zu Watt's Zeiten gebräuchliche Koffer- oder Wagenkessel, sowie die flachwandigen Schiffskessel, welche jedoch zahlreicher Verankerungen bedürfen und sich für hohe Dampfspannungen nicht wohl eignen; vergl. bezügliche Bemerkung S. 43—44.

drischen Körpern in mannigfacher Kombination gebaut oder es werden Cylinderkessel behufs Vermehrung der Heizfläche mit Röhren durchzogen, durch welche die Feuer-gase sich bewegen. Dampfkessel mit einer größeren Zahl solcher Röhren, sogenannte Siederohrkessel⁷⁶⁾, eignen sich auch für lokomobile Maschinen. Von derartigen Dampfkesselsystemen, deren Rohre außen von Wasser umgeben sind und von innen geheizt werden, unterscheiden sich wesentlich die unter dem Namen Sicherheitskessel in der Neuzeit vielfach ausgeführten Kombinationen von Röhren kleineren Durchmessers, welche das Wasser enthalten, also außen von der Feuerluft bestrichen werden; diese Typen sind als Wasserröhrenkessel zu bezeichnen.

Die im Bauwesen je nach den praktischen Umständen zur Verwendung kommenden, verschiedenen Dampfkesselsysteme sollen nachstehend durch Beschreibung der wichtigeren Konstruktionen erläutert werden.

§ 21. Der Cylinder- oder Walzenkessel repräsentiert die einfachste Dampfkesselkonstruktion. Die Böden werden, um denselben nicht erst durch Zugstangen oder Versteifungsbarren hinreichende Widerstandsfähigkeit gegen Ausbiegen geben zu müssen, halbkugelförmig oder mit Rücksicht auf die kostspielige Anfertigung der letzteren, sowie den ungeschickten Anschluss der Einmauerung des Dampfkessels, als flach kugelförmige Stirnwände hergestellt.

Der Durchmesser soll mindestens so groß sein, daß man zum Zwecke der Reinigung des Kessels das Innere bequem befahren kann, andererseits wird er nicht gern über circa 1,3 m genommen, indem sonst wegen der erforderlichen größeren Blechdicke sowohl das Kesselgewicht als auch die Wärmetransmission ungünstiger ausfallen. Als gewöhnliches Verhältnis von Länge zu Durchmesser ist 5 bis 8 anzunehmen. Für größeren Heizflächenbedarf bedient man sich wohl mehrerer über einander oder neben einander gelagerter Cylinderkessel, in letzterem Falle mit besonderen Feuerungen, welche Einrichtung jedoch sowohl hinsichtlich Bequemlichkeit des Betriebs als rationeller Verbrennung im allgemeinen einer einzigen größeren Feuerungsanlage um so mehr nachsteht, als letztere weniger Mauerwerk erfordert und durch dieses weniger Wärme durch Ausstrahlung verloren geht.

Diese Dampfkessel bieten im Verhältnis zu ihrer Heizfläche reichlichen Wasserraum und Dampfraum, sowie ausgedehnten Wasserspiegel für das Aufsteigen der Dampfblasen, sodaß ziemlich trockner Dampf erzeugt werden kann. Allerdings sind andererseits zum Anheizen mehr Kohlen erforderlich und kann dasselbe nicht sehr rasch stattfinden, doch treten diese Umstände bei kontinuierlichem Betriebe zurück, für welchen derartige Kessel besonders dann recht geeignet sind, wenn der Dampfkonsum sehr schwankt, in welchem Falle das Wasser im Kessel als Wärmereservoir einerseits gegen zu rasche Druckabnahme bei reichlichem Dampfverbrauch, andererseits gegen gefährliche Drucksteigerung bei vorübergehender Reduktion der Dampfnahme und fortwährender Heizung ausgleichend wirkt.

Zur Lagerung des Kessels dienen entweder untergesetzte Kesselträger oder oben angenietete Konsolen (Tragpratzen), welche auf das seitliche Mauerwerk zu ruhen kommen. Die Feuer-gase werden zweckmäßig durch einen einzigen bis etwas über die Hälfte des Kessels hinaufreichenden Kanal längs desselben geleitet.

⁷⁶⁾ In der Nomenclatur der Deutschen Reichsstatistik werden dieselben, wie dies fernerhin auch hier geschehen möge, als „Heizröhrenkessel“ bezeichnet, während unter „Siederohrkesseln“ diejenigen Kessel verstanden werden, welche wir „Wasserröhrenkessel“ nennen.

Hierbei werden allerdings verschiedene Temperaturen der Kesselschale vorn und hinten, sowie unten und oben bedingt und nimmt infolge des letzteren Umstands der Kessel eine in der Vertikalebene gekrümmte, nach oben konkave Gestalt an⁷⁷⁾, doch fallen die aus den Temperaturdifferenzen sich ergebenden Deformationen und Beanspruchungen des Kessels nicht so ungünstig aus, als dies dann der Fall ist, wenn die nach hinten geleiteten Feuergase in entsprechenden Kanälen auf der einen Seite wieder nach vorn und auf der anderen zurück endlich nach dem Kamin geführt werden. Bei dieser Anordnung geht übrigens durch den Anschluß des zwischen den Feuerzügen stehenden Mauerwerks an den Kessel ein Teil der sonst verfügbaren Heizfläche desselben verloren.

Der einfachen Form und der leichten Herstellung, sowie der bequemen Instandhaltung dieser Kessel entspricht ihre hohe Dauerhaftigkeit, welche von anderen Dampfkesselsystemen kaum erreicht wird; der Raumbedarf hingegen ist verhältnismäßig größer.

Der bei Verwendung nicht gereinigten Wassers sich bildende Kesselstein setzt sich einerseits infolge der Erwärmung des Wassers gleich beim Eintritt in der Umgebung der Speiserohrmündung und dann hauptsächlich am Boden der über dem Feuer liegenden Partie (der direkten Heizfläche) des Kessels an, indem hier die lebhafteste Verdampfung stattfindet und durch das zuströmende Wasser suspendierte erdige Bestandteile noch herbeigeschwemmt werden. Bei Unterfeuerung, sehr unreinem Wasser und nicht sorgfältiger Wartung kann somit ein Durchbrennen des Kessels gerade über dem Roste leicht vorkommen⁷⁸⁾, weshalb die Anordnung der Feuerung vor dem Kessel (Vorfeuerung) nicht selten vorgezogen wird.

Das Speisewasser ist an einer dem Schornstein nahe liegenden Stelle in den Kessel einzuführen, denn nicht allein werden hierbei die beim Einpumpen des Speisewassers infolge der Abkühlung des Kessels eintretenden Spannungsdifferenzen in der Kesselschale geringer ausfallen und vermöge der Gegenströmung die Wärmeaufnahme vorteilhafter stattfinden, sondern auch die hier erfolgende Kesselsteinablagerung nicht mit der Gefahr des Durchbrennens der Bodenbleche verbunden sein. Zur Verminderung der Kesselsteinbildung an den vorderen gefährlicheren Partien giebt man dem Kessel wohl auch etwas Neigung nach hinten, wodurch zugleich der mittels des hier anzubringenden Ablaufhahns periodisch erfolgenden Entleerung des Kessels besser entsprochen wird. Es empfiehlt sich, während des Betriebs von diesem Hahn zum Ausblasen der schlammigen Niederschläge zeitweise Gebrauch zu machen. Besser ist es, das Speisewasser zunächst in einen besonderen, den Feuergasen nicht ausgesetzten Behälter (Schlamm sack) zu leiten, welcher leichter gereinigt werden kann.

Während des Betriebs bleibt infolge der Wallungen ein wesentlicher Teil der erdigen Bestandteile im Wasser suspendiert, welcher sich dann beim Stillstande, wenn das Wasser zur Ruhe kommt, niederschlägt und zwischen den schon unten liegenden Kesselsteinbrocken absetzt, sodaß bei entsprechender chemischer Beschaffenheit eine zusammenhängende feste Kruste gebildet wird. Hierdurch erklärt sich die Erfahrung, daß bei Röhrenkesseln der Kesselstein weniger fest haftet als bei Kesseln mit großem Wasserinhalte. Dem steht jedoch außer der unbequemerer Reinigung der viel wichtigere Nachteil ersterer entgegen, daß infolge der Produktion feuchteren Dampfes durch diesen ein nicht unbedeutender Teil der erdigen Bestandteile mit fortgeschleppt und in die Dampfmaschine gebracht wird, wo starke Abnutzung der Gleitflächen im Schieberkasten und Cylinder und störende Ablagerungen in den schädlichen Räumen die Folge sind.

§ 22. Die Dampfkessel mit Siedern (Bouilleurkessel) und die Gegenstromkessel entstanden dadurch, daß man bei größeren Dampfkesseln, um unpraktisch große Längen zu vermeiden, zu dem Hauptkessel einen oder mehrere durch Rohrstutzen mit ihm verbundene Walzenkessel (Unterkessel) hinzufügte, womit auch eine entsprechende Vermehrung des Wasserraums verbunden ist, während

⁷⁷⁾ Hierbei wird die Verteilung des Gewichtes des Kessels auf seine Stützpunkte verändert und eine entsprechende Biegungsbeanspruchung desselben herbeigeführt, zu deren Verminderung elastische Aufhängung in Vorschlag gebracht worden ist.

⁷⁸⁾ Deshalb war hier im früheren preussischen Dampfkesselregulativ größere Blechdicke vorgeschrieben.

bei den, im folgenden Paragraphen beschriebenen Flammrohrkesseln der Gewinn an Heizfläche durch Einfügung der Rohre auf Kosten des Wasserinhalts erzielt wird. Die Unterkessel werden Sieder (Bouilleurs) oder Vorwärmer genannt, je nachdem die Feuergase zuerst zu ihnen gelangen oder die erste Hitze an den Oberkessel abgegeben wird.

Beide Kesselarten kommen zwar für das Baumaschinenwesen wohl nur selten in Betracht, weil sie zu schwer und zu voluminös ausfallen, für die Bildung der Züge verhältnismäßig viel Mauerwerk erfordern und vermöge ihres großen Wasserinhalts entsprechend viel Brennmaterial und Zeit zum Anheizen verwendet werden muß, doch mögen sie sowohl mit Rücksicht auf ihre früher sehr ausgedehnte und jetzt noch bedeutende Anwendung bei stationären Anlagen, als auch wegen ihrer eigentümlichen Nachteile, wegen welcher sie stark in Abnahme gekommen sind, hier Erwähnung finden.

Letzteres gilt besonders von den Kesseln mit Siedern, auch Bouilleurkessel oder Elefantenkessel genannt. Bei der intensiven Dampfproduktion in den Siedern werden diese an den Stellen, wo innen die Dampfblasen nach dem Oberkessel hinstrichen oder bei unzuweckmäßiger Kesselkonstruktion stagnieren, infolge der schlechten Wärmeleitung des Dampfes zu stark erhitzt, während an den tiefer liegenden Partien durch die Ablagerung der erdigen Bestandteile des Wassers gleichfalls das Verbrennen der Bleche leicht herbeigeführt wird; so sinkt die anfänglich befriedigende ökonomische Leistung solcher Kessel bald auf ein geringes Maß herab und fällt der Betrieb durch die häufigen Reparaturen sehr kostspielig aus.

Mit Rücksicht auf die zu gewärtigende Erneuerung der Sieder hat man diese abnehmbar mit geteilten Verbindungsstutzen ausgeführt, welche mit Muffendichtung versehen und mittels einer centralen starken Ankerschraube fest zusammenge-spannt werden.

Gegenstromkessel heißen die Kessel der zweiten Art (mit Vorwärmer), indem die Speisung so erfolgt, daß sich das Wasser im Kessel den Feuergasen entgegengesetzt bewegen muß, diesen also vor dem Entweichen in den Kamin zur Wärmeabgabe an die kühleren Vorwärmerflächen die vorteilhafteste Gelegenheit geboten wird. Der in Fig. 5 u. 6, Taf. II, dargestellte Kessel verwirklicht das Gegenstromprinzip insofern unvollkommen, als das an dem unteren vorderen Ende⁷⁹⁾ des Vorwärmers eingeleitete Speisewasser teilweise schon durch den Stutzen *a* nach dem Oberkessel gelangen kann; es müßte also ein gußeiserner Stuhl zur Stützung des letzteren substituiert werden. Ein weiterer Verstoß beruht aber noch darin, daß die Feuergase, nachdem sie an der Unterseite des Hauptkessels hingestrichen sind, sich nur auf der rechten Seite des Vorwärmers nach seinem vorderen Ende dem Speisewasser entgegen bewegen und hier umkehren, um die Heizfläche erst am entgegengesetzten Ende des Vorwärmers zu verlassen.

Behufs gehöriger Ableitung des Dampfes aus dem Unterkessel ordnet man diesen nach den Verbindungsrohren hin ansteigend an und sollte das über den Stutzen *b* hinausragende Stück nur geringe Länge erhalten oder mit einem Knick angeschlossen werden, wenn man es behufs Anbringung eines Mannlochs bis zur Außenfläche des Mauerwerks fortsetzen will.

⁷⁹⁾ Bei stationären Kesselanlagen ist die Bedeutung von „vorn“ derjenigen bei Lokomotivkesseln entgegengesetzt, indem bei diesen der Standort des Heizers als hinten gilt, während bei ersteren die mit der Einfeuerung versehene Stirnwand als vorderes Ende betrachtet wird.

Sind Oberkessel und Unterkessel durch zwei oder mehrere Rohrstützen mit einander verbunden, was für die Dampf- und Wassercirkulation, sowie für die Lagerung des Oberkessels vorteilhaft ist, so wirkt die verschiedene Ausdehnung und Relativbewegung des Unterkessels biegender auf die Rohrstützen, welche Beanspruchung man dadurch einzuschränken sucht, daß letztere thunlichst lang⁸⁰⁾ ausgeführt und in mäfsigem Abstände angeordnet werden. Ausserdem erfahren die Rohrstützen in ihrer Längsrichtung eine veränderliche Beanspruchung, indem sie im kalten Zustande durch das Gewicht des Oberkessels samt Wasserinhalt belastet sind, während des Betriebs hingegen eine Kraft gleich dem Rohrquerschnitt mal Dampfdruck entgegengesetzt wirkt, sodafs je nach Dimensionen und Dampfdruck die Druckbeanspruchung in Zugbeanspruchung übergehen kann. Infolge dieser während der Betriebs- und Ruhezeit in häufigem Wechsel auftretenden Erscheinungen haben die Verbindungen viel zu leiden und werden daher nicht selten undicht. Zum Schutze der vorderen Rohrstützen gegen die Stichflamme empfiehlt es sich, dieselben auf der betreffenden Seite mit Mauerwerk zu umgeben.

Die bei derartigen Dampfkesseln vermöge des Gegenstroms durch bessere Ausnutzung der Verbrennungswärme erzielbaren Ersparnisse an Brennmaterial werden jedoch in erheblichem Grade durch die sowohl äufseren als inneren Korrosionen der Vorwärmer und die dadurch bedingten Reparaturkosten wieder aufgewogen. Bei großer Heizfläche des Gegenstromkessels im Verhältnis zur stündlich verbrannten Steinkohlenmenge ergibt es sich nicht blos, daß das an undichten Stellen des Vorwärmers entrinnende Wasser von den bis auf eine geringe Temperatur ausgenutzten Heizgasen nicht mehr verdampft werden kann, sondern es schlägt sich sogar ein Teil des in letzteren enthaltenen Wasserdampfs an den kühleren Partien der Heizfläche nieder, besonders in der Nähe der Einleitung des Speisewassers und hauptsächlich während der Perioden der Speisung, sodafs unter Hinzutritt der in den Verbrennungsprodukten der Steinkohle stets enthaltenen Säuren das Blech, vorwiegend an den Seitenwänden, allmählich tief einrostet.

Im Innern des Vorwärmers scheidet die im kühlen Speisewasser enthaltene Kohlensäure in dem Mafse aus, wie die Erwärmung vor sich geht, und bleibt am Bleche haften, um an den betreffenden Stellen gleichfalls die Korrosion einzuleiten. Hierzu kommt noch der schädliche Einflufs der Fettsäuren, welche im Speisewasser vorkommen, wenn dasselbe durch den Auspuffdampf der Dampfmaschine direkt vorgewärmt wird, denn dieser schleppt das in die Dampfmaschine gelangende Schmiermaterial mit sich.⁸¹⁾

Innere Inkrustation findet bei den Gegenstromkesseln nicht in bedenklicher Weise statt, da sich die erdigen Bestandteile hauptsächlich an der tiefsten Stelle des Vorwärmers ansammeln und hier durch zeitweises Abblasen zum großen Teil bequem entfernt werden können. Als ein Vorteil im Vergleich mit den Flammrohrkesseln ist noch die Zulässigkeit geringerer Blechstärken anzuführen, da die Bleche ausschliesslich auf Zugfestigkeit beansprucht werden und man nicht auf so große Durchmesser angewiesen ist, wie sie für die Unterbringung der Flammrohre erforderlich sind.

§ 23. Kessel mit Flamm- oder Feuerrohren. Um innerhalb desselben Raums mehr Heizfläche zu gewinnen, ist man dazu übergegangen, durch den Wasserraum des Cylinderkessels ein oder zwei Rohre zu legen, welche Flamm- oder Rauchrohre genannt werden, wenn die Feuergase erst nach der Feuerung sie durchstreichen, Feuerrohre hingegen, wenn der Rost in denselben untergebracht ist, und unterscheidet demnach Einflammrohr- und Zweiflammrohrkessel, beziehungsweise Cornwall- und Lancashirekessel bei Anwendung von Innenfeuerung. Derartige Kessel sind für kontinuierlichen Betrieb bei nicht sehr unreinem Speisewasser

⁸⁰⁾ Es empfiehlt sich, den Verbindungsstützen eine Länge von wenigstens 500 mm zu geben; zur Ermöglichung des Durchschlüpfens beim Reinigen soll ihr Durchmesser mindestens 450 mm betragen.

⁸¹⁾ Eine auf praktischen Erfahrungen beruhende Beleuchtung dieser Punkte siehe in dem Aufsätze von Ingenieur Rochow. Zur Wahl der Dampfkesselbauarten. Gewerbebl. f. Hessen. 1881. S. 105. Mit Abb.

recht gut geeignet und sowohl für stationäre Anlagen als auch auf Schiffen allgemein beliebt.

Einflammrohrkessel mit Unterfeuerung; Fig. 1 u. 2, Taf. II. Die Feuergase kehren, nachdem sie den Kessel unten bestrichen haben, durch das Flammrohr nach vorn zurück und verteilen sich hier in die beiden Seitenkanäle, um dann nach dem Schornstein zu gelangen. Über der Feuerstelle, wo infolge der hohen Temperatur der Verbrennungsgase und der strahlenden Wärme die lebhafteste Verdampfung stattfindet und dem entsprechend sich am meisten Verdampfungsrückstände absetzen, wird der Außenkessel stark in Anspruch genommen, sodafs bei nicht sorgfältigem Betrieb leicht Reparaturen nötig werden.

Einflammrohrkessel mit Vorfeuerung; Fig. 3 u. 4, Taf. II. Hier durchstreichen die Feuergase zunächst das Flammrohr, kehren auf der Unterseite des Kessels in dem Kanale *a* nach vorn zurück und gelangen dann, vorn zu beiden Seiten des Kessels emporsteigend, in den Zug *b*, um hier noch den oberen Teil der Kesseloberfläche, welcher den Dampfraum umschliesst, zu heizen, während der vorhergehend beschriebene Kessel hier frei liegt und der Abkühlung ausgesetzt ist oder diese durch geeignete Umhüllung⁸²⁾ doch nur eingeschränkt wird. Diese Einrichtung, welche zulässig ist, wenn die Feuergase vor der Berührung mit der Dampfheizfläche sich soweit abgekühlt haben, dafs ein Erglühen des Kesselblechs nicht mehr stattfinden kann⁸³⁾, ermöglicht es, nahezu trockenen Dampf zu liefern, was als ein wesentlicher Vorteil anzuschlagen ist.

Die Vorfeuerung empfiehlt sich durch die bessere Ausnutzung des Brennmaterials, hauptsächlich für geringere Kohlensorten, indem der Verbrennungsprozess mit Vermeidung sofortiger Wärmeabgabe bei höherer Temperatur und demnach vollkommener stattfinden kann als bei Innenfeuerung; insbesondere kommt auch die in dem umgebenden Mauerwerk aufgespeicherte Wärme regulierend vorteilhaft zur Geltung. Allerdings erfordert diese Anlage mehr Raum und geht durch die vermehrte Oberfläche des Kesselmauerwerkes ein entsprechender Mehrbetrag der gewonnenen Wärme wieder verloren.

Die Erwärmung und Ausdehnung des Kessels erfolgt gleichförmiger als bei Unterfeuerung, hingegen ist als Nachteil anzuführen, dafs bei Wassermangel das oben frei liegende Flammrohr eher glühend wird und Deformationen oder gar Explosionen leichter stattfinden können als bei der vorhergehenden Anordnung, wo die Feuergase durch vorherige Wärmeabgabe auf eine weniger gefährliche Temperatur gesunken sind.

Zur Schonung der Verbindung des Feuerrohrs mit der Stirnwand des Kessels ist diese bis über die innere Nietreihe von dem Mauerwerk überdeckt.

Die **Innenfeuerung**, siehe Fig. 8 bis 10 und 17, 19, Taf. II, wegen der Einfachheit ihrer Anordnung sehr beliebt, lässt sich erst bei Feuerrohren von mindestens

⁸²⁾ Asche oder Schlacke darf hierzu nicht verwendet werden, weil bei vorkommenden Undichtigkeiten der Nietnähte oder der Flanschenverbindungen am Dampfdom das Kondensationswasser des austretenden Dampfes Salze löst, welche das Eisen korrodieren.

⁸³⁾ Nach den für das deutsche Reich geltenden Vorschriften vom 29. Mai 1871 ist die Gefahr des Erglühens in der Regel als ausgeschlossen zu betrachten, wenn die vom Wasser bespülte Heizfläche, welche von den Feuergasen vor Erreichung der den Dampfraum umschliessenden Kesselfläche bestrichen wird, bei natürlichem Luftzuge mindestens das Zwanzigfache, bei künstlichem Luftzuge mindestens das Vierzigfache der Rostfläche ausmacht.

600 mm Durchmesser zweckentsprechend unterbringen.⁸⁴⁾ Man gibt dem Roste etwas Neigung nach hinten, indem hierdurch einerseits der Luftzutritt unter dem Roste erleichtert, andererseits über der Feuerbrücke der für die Verbrennungsgase erforderliche Durchgangsquerschnitt besser erhältlich wird.

Nachstehende Tabellen von Dampfkesseln der Maschinenbaugesellschaft Egestorff in Linden bei Hannover gewähren eine Übersicht über die Hauptdimensionen. Als Betriebsdampfspannung ist 4 Atmosphären Überdruck angenommen. Die relativ grössere Heizfläche der Dampfkessel für kleinere Dampfmaschinen entspricht dem geringeren Güteverhältnis derselben, beziehungsweise dem grösseren Dampfkonsum pro Pferdestärke.

Flammrohrkessel mit Vorfeuerung oder Unterfeuerung.

Anzahl der Pferdestärken.	Länge in mm.	Durchmesser		Heizfläche in qm.	Gewicht in kg.
		des Aussenkessels in mm.	des Flammrohrs in mm.		
1	1100	750	250	2,3	600
2	1800	850	300	4,4	750
3	2300	900	350	6,4	900
4	2750	950	400	8	1050
5	3400	950	400	10	1350
6	3650	1100	450	12,2	1650
8	4500	1100	450	15,2	2000

Dampfkessel mit Feuerrohren (Innenfeuerung).

Anzahl der Pferdestärken.	Anzahl der Feuerrohre.	Länge des Hauptkessels in mm.	Durchmesser des Hauptkessels in mm.	Durchmesser des Flammrohrs in mm.	Heizfläche in qm.	Gewicht in kg.
6	1	3000	1400	700	12	2250
8	1	3700	1400	700	15	2750
10	1	4400	1400	700	18	3500
12	1	5000	1400	700	21,7	4000
14	1	5500	1500	750	24,6	4500
15—16	1	6000	1500	750	27,1	5000
18—20	1	6600	1500	750	30,1	5500
25—30	2	6400	1900	700	45,4	7500
33—36	2	7500	1900	700	53,5	9000
40—45	2	8000	2050	750	61	10500
50	2	9800	2050	750	75,5	11500

Die sonstigen wichtigeren Dampfkesselkonstruktionen finden sich im „Anhang“ (S. 472) beschrieben, in welchem auch das Erforderliche über „Speisewasservorwärmer und Speisepumpen“ und „Konstruktion der Dampfmaschinen (stationäre Dampfmaschinen, transportable Dampfmaschinen und Lokomobilen)“, ferner eine „Litteraturübersicht“ enthalten ist.

⁸⁴⁾ Diesem kleinsten Durchmesser entspricht bei einem für die Vermeidung von Verstopfungen durch Kesselstein und zur Reinigung jedenfalls erforderlichen Zwischenraum von 120 mm unten zwischen Feuerrohr und Aussenkessel und einer für das Befahren des Kessels notwendigen freien Höhe von etwa 480 mm über dem Feuerrohre ein minimaler Durchmesser des Kessels von circa 1200 mm, für welchen die Innenfeuerung noch anwendbar erscheint. Bei einem äusseren Durchmesser von ungefähr 1700 mm kann zur Anwendung zweier Feuerrohre übergegangen werden. Für die Produktion geringer stündlicher Dampfmen gen fallen die Dampfkessel mit Innenfeuerung wegen der erforderlichen Grösse des Durchmessers des Aussenkessels unpraktisch kurz aus.

Als kleinster Durchmesser der Flammrohre ist etwa 240 mm anzunehmen. Nimmt man nämlich bei Steinkohlenfeuerung den Schornsteinquerschnitt gleich $\frac{1}{4}$ der Rostfläche und den Querschnitt der Züge mindestens eben so groß oder besser $\frac{1}{3}$ der Rostfläche, so ergibt sich (vergl. § 8, S. 56) für die, etwa einer vierpferdigen Dampfmaschine entsprechende Verbrennung von 8 kg Steinkohlen pro Stunde als Zugquerschnitt $\frac{1}{3} \frac{8}{60} \cong 0,045$ qm oder rund 0,24 m als Durchmesser des Flammrohrs.

Dritter Teil.

Sonstige Kraftmaschinen.

Bearbeitet von **E. Brauer,**

Ingenieur und Dozent an der k. technischen Hochschule in Berlin.

(Hierzu Tafel VII und 8 Holzschnitte.)

§ 1. Übersicht. Bei Bauten sind aus den S. 15 erörterten Gründen den ökonomisch arbeitenden Dampfmaschinen gegenüber auch solche Motoren konkurrenzfähig, welche denselben zwar an Billigkeit des Betriebes etwas nachstehen, sie aber an Bequemlichkeit in Aufstellung und Bedienung übertreffen. Letzteres ist der Fall bei den neuerdings auch auf anderen Gebieten, hauptsächlich in den Kleingewerben vorteilhaft eingeführten kalorischen Maschinen oder Heißluftmaschinen (wir nennen sie kurz Luftmaschinen) und den Gasmaschinen, welche, da sie eines Dampfkessels nicht bedürfen, im Betriebe viel gefahrloser sind als Dampfmaschinen, übrigens auch von weniger vollkommen geschulten Wärtern bedient werden können und, was besonders wichtig ist, einer Konzessionsverpflichtung bei der Anlage nicht unterliegen.

Die Gasmaschinen werden vorübergehend nur da angewendet, wo ohnehin schon Gasleitung vorhanden ist, denn die provisorische Anlage einer kleinen Gasanstalt oder einer längeren Leitung würde unrentabel sein. Die Heißluftmaschinen sind in dieser Hinsicht unabhängiger, bedürfen jedoch der Mehrzahl nach geringer Mengen fließenden Kühlwassers.

Windräder, welche zum Wasserheben neuerdings in sehr vollendeten Formen in der Landwirtschaft zur Anwendung gelangen, würden zur Entwässerung von Baugruben bei größeren Bauten recht gut empfohlen werden können, wenn ihre Wirksamkeit etwas zuverlässiger und regelmässiger wäre. Man ist jetzt eifrig bestrebt, sie zu verbreiten, z. B. auch Windräder mit fahrbaren Gerüsten zu konstruieren.

Die Ausnutzung von größeren Wasserkraften ist in der Regel mit ziemlich bedeutenden Anlagekosten für Gerinnebauten verbunden, auch sind hydraulische Motoren, da sie meist für jeden Fall besonders zu konstruieren sind, nicht in ähnlicher Weise Marktwaren wie die verschiedenen Wärmemotoren; deshalb sind diejenigen Fälle, in denen die Anlage hydraulischer Motoren für Bauten vorteilhaft ist, ziemlich selten, ja sie dürften vorläufig auf einige große Tunnelbauten beschränkt sein, bei denen die Kraft von Turbinen oder Wasserrädern an einem Orte für mehrere Jahre gebraucht wird. Die disponible Arbeitsstärke (Intensität) einer Wasserkraft wird durch das Produkt aus Wassermenge pro Sekunde und Gefällhöhe gemessen. Da nun die Anlagekosten eines Wassermotors samt Gerinne im allgemeinen vorwiegend mit dem sekundlichen Zufluss steigen, so wird es noch eher rentabel

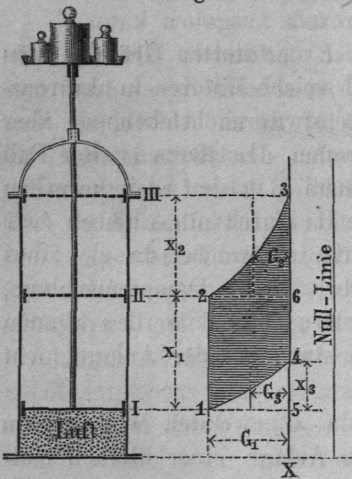
sein, Wasserläufe mit sehr hohem Gefälle (Gebirgsbäche) für Bauzwecke nutzbar zu machen, als wenig fallende Gewässer der Ebene mit großen Wassermassen.

Die Benutzung der elektrischen Motoren zum Betrieb von Baumaschinen befindet sich zur Zeit in dem Stadium intensiver Versuche, welche nicht aussichtslos zu sein scheinen; vergl. das Kapitel: „Verwendung der Elektrizität im Bauwesen“ in der zweiten Abteilung dieses Bandes.

a. Luftmaschinen.

§ 2. Die Arbeitsprinzipien der Luftmaschinen. Wird eine Quantität irgend eines permanenten Gases, z. B. atmosphärischer Luft, in einem luftdicht geschlossenen Gefäß erwärmt, so nimmt mit zunehmender Temperatur der innere Druck ebenfalls zu und äußert das Bestreben, das Gefäß zu erweitern. Die Erweiterung kann erfolgen, wenn das Gefäß elastische oder bewegliche Wände hat, z. B. wenn es, wie

Fig. 1.



Figur 1 zeigt, die Gestalt eines Cylinders hat, dessen oberer Boden durch einen auf und ab beweglichen, luftdicht schließenden Kolben gebildet wird. Ist dieser Kolben durch Gewichte G_1 belastet, so muß schon in kaltem Zustande die Luft so stark komprimiert sein, daß ihr Druck auf den Kolben den Gewichten gleich kommt, eine Bewegung desselben kann jedoch erst dann eintreten, wenn infolge von Erwärmung der innere Druck größer ist als die Summe aus dem äußeren Druck auf den Kolben und aus dessen Belastung. Jede infolge des Drucküberschusses stattfindende Bewegung des Kolbens bedingt aber sofort eine Vergrößerung des Gasvolums, mit welcher eine Spannungsverminderung verbunden ist, sodafs schon nach einer ganz geringen Hebung wieder Gleichgewicht eintreten würde,

wenn dasselbe nicht durch weitergeführte Erwärmung abermals gestört würde. Stellt man sich nun vor, daß infolge fortgesetzter Wärmezuführung diese Druckvermehrungen und Ausgleichungen in unendlich kleinen Zeiteinheiten sich wiederholen, so ist der Erfolg ein allmähliches Heben des Gewichtes G_1 und Vergrößerung des Luftvolumens unter dem konstanten Druck, welcher bereits vor der Erwärmung in dem Gas vorhanden war. Nehmen wir an, daß auf diese Weise der Kolben aus der Stellung I in die punktierte Stellung II gelangt sei, so ist das Gewicht G_1 um ein gewisses Stück x_1 gehoben worden, was eine durch Wärme geleistete Arbeit $G_1 x_1$ darstellt. Hört jetzt die Wärmezuführung (Heizung des Cylinders) auf, so kann eine weitere Hebung des Gewichtes nicht stattfinden, und der Kolben bleibt in dieser Höhe, wenn keine Wärme verloren geht. Vermindert man hierauf die Kolbenbelastung durch Wegnahme eines Gewichtsstückes, so wird der Kolben etwas gehoben und mit ihm das noch gebliebene Gewicht. Durch Ausdehnung der Luft folgt aber wieder Druckverminderung, also sofortige Wiederherstellung eines Gleichgewichtszustandes, bis durch abermalige Verminderung des Gewichtes derselbe von neuem gestört wird. Man wird also durch allmähliche Verminderung der Kolbenbelastung im stande sein, einen Teil des Gewichtes G_1 noch höher zu heben als bis in die Stellung II. Die hierdurch geleistete Arbeit wird unter allmählicher Druckverminderung (Expansion) der Luft ausgeübt; wir können dieselbe somit der ersten Volldruck-

arbeit $G_1 x_1$ gegenüber als Expansionsarbeit $G_2 x_2$ bezeichnen, wenn unter G_2 ein mittlerer Wert der Belastung bei der Expansion, unter x_2 die vertikale Erhebung des Gewichtes in dieser Periode verstanden wird. Eine Hebung des Kolbens wird nur so lange möglich sein, als noch ein den Atmosphärendruck übersteigender Druck unter dem Kolben wirkt. Es tritt indessen ein Moment ein, in welchem trotz der höheren Temperatur die Luft sich so stark ausgedehnt hat, daß ihre Spannung der atmosphärischen gleicht und damit ist die natürliche Grenze für die Expansion angezeigt. Das Gewicht ist dann Null geworden und kann mithin keine nutzbare Arbeit mehr aufnehmen. Von der der Luftmenge in dem Cylinder mitgeteilten Wärme ist jetzt alle Arbeit, welche dieselbe unter atmosphärischem Gegendruck zu leisten imstande ist, wirklich geleistet worden, und damit ist der einmalige Arbeitsprozeß der Maschine beendet. Bei den Luftmaschinen soll nun aber dieser Prozeß nicht nur einmal, sondern, so lange die Maschine geht, in fortwährenden Wiederholungen geleistet werden. Hierzu ist erforderlich, daß der Prozeß auf den Anfangszustand zurückführt, damit von diesem Punkte ein neuer Arbeitsprozeß ausgehen kann.

Dieser Rückgang kann nun in verschiedener Weise stattfinden. Da die Luftmenge in dem Cylinder die anfängliche geblieben ist, so scheint es am naturgemäßesten, sie auch in dem Cylinder zu lassen, zunächst durch Abkühlung ihre Temperatur bis auf den Anfangswert zu verringern, wobei der Kolben ohne Arbeitsleistung niedersinkt, da über und unter demselben stets gleicher Druck herrscht, und hierauf die anfangs vorhanden gewesene Kompression durch allmähliches Aufsetzen von Gewichtsstücken zu erzeugen, wobei, wenn G_3 die mittlere Belastung, x_3 den Kolbenweg während der Kompression bezeichnet, die Arbeit $G_3 x_3$ aufgewendet werden muß, welche um so kleiner sein wird, je besser es gelingt, die Temperaturerhöhung, welche im allgemeinen bei einer Kompression eintreten würde, durch Abkühlung zu vermeiden. Während dieses auf seinen Anfangszustand zurückgekehrten Prozesses (Kreisprozesses) wurden die Arbeiten $G_1 x_1 + G_2 x_2$ durch Hebung von Gewichten verrichtet, hingegen die durch Sinken des Gewichtes G_3 geleistete Arbeit $G_3 x_3$ verbraucht. Die während eines vollen Kolbenspieles wirklich gewonnene Arbeit ist daher $G_1 x_1 + G_2 x_2 - G_3 x_3$. Durch Wiederherstellung des Anfangszustandes geht also ein Teil der geleisteten Arbeit wieder verloren. Auf der Linie X, siehe Fig. 1, sind die einzelnen Kolbenwege als Abscissen und die zugehörigen Kolbentberdrücke als Ordinaten aufgetragen. So bedeutet das Rechteck 1 2 6 5 die Volldruckarbeit, d. h. das Produkt $G_1 x_1$, die Fläche 2 3 6 die Expansionsarbeit, sowie die Fläche 1 4 5 die Kompressionsarbeit. Die Fläche 1 2 3 4 stellt mithin die überhaupt produzierte nutzbare Arbeit, d. h. das ideelle Indikatordiagramm dar. Die Gewichte G_2 und G_3 , welche wir oben Mittelwerte nannten, erscheinen hier als Höhen von Rechtecken, welche mit den kurvenförmig begrenzten Flächen 2 3 6 resp. 1 4 5 den Inhalt, sowie die Grundlinien 3 6 resp. 4 5 gemein haben.

Bei dem geschilderten Prozeß bleibt dieselbe Luftmenge in dem Cylinder eingeschlossen. Man nennt daher Maschinen, welche nach diesem Prozeß arbeiten, geschlossene Luftmaschinen.

Ihnen stehen die offenen Luftmaschinen gegenüber, welche in der Wirkungsweise beim Vorgang des Kolbens zwar mit den geschlossenen übereinstimmen, beim Rückgang hingegen sich insofern unterscheiden, als nach Beendigung der in der Regel nicht sehr weit getriebenen Expansion die erhitzte Luft den Cylinder durch ein Ventil verläßt. Unmittelbar darauf wird von der in Bewegung bleibenden Maschine

frische Luft angesaugt und in kaltem Zustande auf die erforderliche Anfangsspannung komprimiert, um dann durch Erwärmung Arbeit zu verrichten.

Bei diesen Maschinen kommt also mit jedem Kolbenhub ein neues Luftquantum zur Wirkung; sie werden von der arbeitenden Luft durchströmt und können daher mit Recht offene Luftmaschinen genannt werden.

In diese Klasse gehören auch die sogenannten Feuerluftmaschinen oder offenen Luftmaschinen mit geschlossener Feuerung, bei denen nicht atmosphärische Luft, sondern die Verbrennungsgase der Feuerung in dem Cylinder zur Wirkung gelangen, in welchen sie von dem Feuerraum aus mit einer beträchtlichen Spannung eintreten, wie der Dampf aus dem Dampfkessel in den Cylinder der Dampfmaschine. Die zur Verbrennung erforderliche atmosphärische Luft wird durch eine besondere Luftpumpe in den luftdicht schließenden Feuerraum gepresst, in welchem die Verbrennung unter 2 bis 3 Atmosphären Druck stattfindet.

Ogleich die offene Luftmaschine mit offener Feuerung durch die Konstruktion des 1803 in Schweden geborenen Kapitäns John Ericsson für die Heißluftmaschinen Bahn gebrochen hat, konnte sich dieses System auf die Dauer nicht halten und hat jetzt mit sämtlichen späteren Versuchen (Redtenbacher, Wilcox u. a.) derselben Richtung nur noch historisches Interesse. Zur Zeit ist die geschlossene Luftmaschine als die herrschende zu betrachten. Dieser Gattung gehören unter anderen an die hier näher zu besprechenden Maschinen von Lehmann, Stenberg, Rider, Rennes.

§ 3. Die Lehmann'sche Luftmaschine, Fig. 3, 4 und 9, T. VII. Die Wirkungsweise der Lehmann'schen Luftmaschine (D. R. P. No. 3058 und 6403) unterscheidet sich von dem soeben geschilderten theoretischen Prozeß der geschlossenen Luftmaschine nur insofern, als die einzelnen Prozesse nicht so scharf von einander getrennt sind, sondern wie aus dem in Fig. 9, Taf. VII, dargestellten Indikator-diagramm einer 1 pferdigen Lehmann'schen Luftmaschine hervorgeht, allmählich in einander übergehen. Der Punkt *a* entspricht dem kleinsten Luftvolum, d. h. dem einen Todpunkt des Kolbens; während derselbe sich in Bewegung setzt, findet etwa bis zum Punkte *b* Erwärmung statt, hierauf Expansion der nicht mehr oder nur noch wenig erwärmten Luft bis zum zweiten Todpunkt *c*; von hier an wird die Luft soweit abgekühlt, daß trotz des Kolbenrückganges eine Kompression nicht stattfindet bis zum Punkte *e*, in welchem die Luft die Temperatur des Kühlwassers nahezu erreicht hat und deshalb bei weiterer Volumenverminderung, sofern sie sich nicht weiter abkühlen kann, eine Kompression bis auf die anfängliche Spannung im Punkte *a* erfährt.

Die abwechselnde Erwärmung und Abkühlung erfolgt in der Weise, daß die Luft durch einen leicht konstruierten luftdicht geschlossenen Blechcylinder *VV*, siehe Fig. 3, Taf. VII, genannt Verdränger, welcher sich mit etwas Spielraum in dem Cylinder hin und her bewegen kann, abwechselnd in einen durch den Ofen *O* geheizten, heißen Raum *H* und in einen durch Wassermantel gekühlten kalten Raum *K* gedrängt wird, um die jedesmal daselbst herrschende Temperatur anzunehmen. Dieser Temperatureaustausch wird dadurch sehr erleichtert, daß die Luft bei ihrer Bewegung, während sie den engen ringförmigen Spalt zwischen dem Verdränger und den Cylinderwänden passiert, als dünne Schicht mit letzteren in Berührung kommt. Trotzdem wird der Wechsel zwischen höchster und niedrigster Temperatur kein plötzlicher sein, da die Bewegung des Verdrängers schon an und für sich einer gewissen Zeit bedarf; die genaue theoretische Verfolgung des Arbeitsprozesses erheischt daher ein-

gehende Berücksichtigung des Bewegungsgesetzes der Maschine¹⁾. Während sich die Luftspannungen zu beiden Seiten des Verdrängers infolge des zwischen ihm und den Cylinderwandungen enthaltenen Spielraumes jederzeit ausgleichen können, erfährt der zur Übertragung der Arbeit auf die Schwungradwelle bestimmte, sogenannte Arbeitskolben *A* nur von einer Seite den veränderlichen Druck der erhitzten Luft, während er von der andern Seite dem konstanten Druck der Atmosphäre ausgesetzt ist. Verdränger *V* und Arbeitskolben *A* haben eine solche Relativbewegung, als wären sie die Kolben einer Zwillingsdampfmaschine mit um 65 bis 75° versetzten Kurbeln. Dies wird durch den in Fig. 3, Taf. VII, ersichtlichen Hebelmechanismus bewirkt, welcher den Arbeitskolben mit dem Kurbelzapfen *a*, den Verdränger mit dem Zapfen *v* einer Gegenkurbel in Verbindung bringt, welche letztere der Hauptkurbel um circa $32\frac{1}{2}^\circ$ vorausseilt. Bei der Konstruktion der relativen Bewegung würde hierzu noch der Winkel zwischen den beiden Hebeln *c* und *d* zu addieren sein, welche auf gemeinsamer Welle sitzen und daher als ein Winkelhebel wirkend, dem Verdränger die Kurbelbewegung vermittelt der centralen Stange mitteilen. Der Winkel *cd* beträgt circa $32\frac{1}{2}^\circ$ und die relative Kolbenbewegung entspricht daher einer ideellen Kurbelversetzung um $32\frac{1}{2} + 32\frac{1}{2} = 65^\circ$. Der Arbeitskolben hat zwei kurze Kuppelstangen *h h*, durch welche er auf die in Fig. 4 sichtbaren Hebel *g g* und durch diese auf den Hebel *f* wirkt, während durch seine mittlere Stopfbüchse die Kolbenstange des Verdrängers hindurch geht. Der Arbeitskolben kommt vorteilhafter Weise nie mit heißer Luft in Berührung, seine Liderung gegen inneren Druck kann daher durch einen Lederstulp *i i* bewirkt werden, welcher gleichzeitig den Zweck hat, bei event. Verminderung des Druckes unter den atmosphärischen Druck den Eintritt frischer Luft zu gestatten und so einen Ersatz für die durch Undichtigkeiten des Kolbens oder des glühenden Heiztopfes entwichene Luft zu gewähren. Der Verdränger bewegt sich zur Vermeidung gleitender Reibung auf der Rolle *k*. Die Regulierung der Maschine wird von dem Centrifugalregulator *l* eingeleitet und erfolgt durch Bremsung am Schwungrad, also durch Vernichtung überschüssiger Kraft.²⁾ Obgleich sehr unökonomisch, genügt diese Regulierung in den meisten Anwendungsfällen der Maschine bei nicht sehr veränderlichem Kraftbedarf vollkommen und wird auch bei diesem System schwerlich durch einen anderen Regulierungsmodus ersetzt werden können. Der Kohlenverbrauch schwankt nach Versuchen des Verfassers³⁾ zwischen 4 u. 5 kg Steinkohlen mittlerer Qualität pro Stunde und effektive Pferdestärke, während zum Anheizen bei der 1 pferdigen Maschine 20 kg, bei der 2 pferdigen $32,6$ kg Steinkohlen erforderlich waren. Der Kühlwasserverbrauch beträgt noch nicht 200 kg pro Stunde und Pferd.

Der gusseiserne Heiztopf der Lehmann'schen Luftmaschine hat eine Dauer von 3 bis 5 Jahren; bei unverständiger Feuerung kann er jedoch viel schneller zerstört werden. Neuerdings werden daher die Feuertöpfe seitens der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft dauerhafter in Gufsstahl ausgeführt.

Zum Vergleich der Wirkungsweise der Maschine mit dem in § 2 geschilderten theoretischen Vorgang, bei welchem auf vorhandene Schwungmassen nicht Rücksicht genommen wurde, um die ganze Arbeit der Maschine unmittelbar in der Hebung und

¹⁾ Dr. Slaby macht diese Untersuchungen auf graphischem Wege selbst für komplizierte Bewegungsgesetze leicht durchführbar, s. Verh. d. Ver. zur Bef. d. Gewöfl. in Preussen 1878, S. 375—409 mit Abb.

²⁾ Siehe Einleitung, S. 6: „Die Regulierung der Geschwindigkeit der Maschinen.“

³⁾ Vergl. Versuche über Leistung und Brennmaterialverbrauch von Kleinmotoren von E. Brauer und Dr. A. Slaby, Heft I. Berlin, Julius Springer.

Senkung eines Gewichtes darstellen zu können, bedarf es noch der Bemerkung, daß durch das thatsächlich vorhandene Schwungrad m , welches während der Volldruckperiode überschüssige Arbeit aufnimmt und während der Expansion und des Kolbenrückganges wieder an die Arbeitsmaschine abgibt, sowie die Kompression der Luft zu Ende des Rückganges bewirkt, die Ausgleichung zwischen der variablen Arbeitsleistung und dem gleichförmigen Widerstand der Maschine während eines Umganges vollzogen wird.

Die Lehmann'sche Maschine erhält im Verhältnis zur geleisteten Arbeit ziemlich beträchtliche Dimensionen, da der nutzbare mittlere Überdruck, wie er sich aus dem Indikatordiagramm ergibt, kaum über 0,8 kg pro qem beträgt.

§ 4. Die Stenberg'sche Luftmaschine, Fig. 7, 8 u. 10, Taf. VII. Stenberg hoffte durch schnelleren Rückgang des Verdrängers, durch welchen das Einströmen der heißen Luft in den kalten Raum beschleunigt werden sollte, sowie durch Einschaltung einer Ruhepause am Ende dieser Bewegung, den anfänglichen Druck und damit auch die nutzbare Mittelspannung erhöhen zu können. Der Erfolg der in der Maschinenfabrik der Gebrüder Sachsenberg nach diesem Prinzip erbauten Maschinen (D. R. P. No. 2489) zeigte aber, daß mit Erhöhung des Anfangsdruckes bei der Vorwärtsbewegung des Arbeitskolbens auch die Kompression beim Rückgang desselben gesteigert und eine nennenswerte Vergrößerung der Nutzspannung nicht erzielt wurde. Den Beweis hierfür liefert das Indikatordiagramm, Fig. 10, Taf. VII, einer 1- bis $1\frac{1}{2}$ pferdigen Stenberg'schen Maschine, welches trotz der Anfangsspannung von 1,75 Atm. Überdruck, doch nur 0,549 Atm. nutzbare Mittelspannung ergibt. Fig. 7, Taf. VII, zeigt einen Längsschnitt der Stenberg'schen Maschine, aus welchem ersichtlich ist, daß die Verdrängerbewegung hier durch eine Bogenschleife a mit größerer Geschwindigkeit nach links erfolgt, als nach rechts, wenn die Schwungradwelle sich in der Richtung des Pfeiles dreht, und daß in der Position links der Verdränger eine Ruhepause erhält. Der Heiztopf t hat eine Einstülpung und wird hierdurch für gleiche Heizfläche kürzer als bei Lehmann. Der Kohlenverbrauch ist von dem der Lehmann'schen Maschine nicht wesentlich verschieden, der Kühlwasserverbrauch ist jedoch größer.

§ 5. Die Luftmaschine von D. W. van Rennes. Diese in Deutschland unter No. 4116 Herrn Fredenhagen patentierte Maschine, welche holländischen Ursprungs ist und schnell eine gewisse Verbreitung in ihrer Heimat erfahren hat, unterscheidet sich von den beiden vorigen Maschinen dadurch, daß der Verdrängercylinder mit dem Arbeitcylinder nicht verschmolzen ist, sondern beide neben einander meist mit vertikaler Axe angeordnet sind und nur durch ein Rohr mit einander in Verbindung stehen. Diese Anordnung hat den Nachteil, daß der schädliche Raum, welcher für das nicht zur Erwärmung und Abkühlung gelangende Luftquantum maßgebend ist, hier etwas größer ausfällt, als bei coaxialer Anordnung der Cylinder. Durch die vertikale Bewegung der Kolben wird deren Reibung jedenfalls sehr vermindert und man sollte auf einen ziemlich hohen Wirkungsgrad rechnen können, was durch die bisher angestellten Versuche jedoch nicht bestätigt wurde. Auch der Kohlenverbrauch dieser Maschine war ein relativ hoher, 7,3 kg Steinkohle pro Stunde und Pferdestärke.

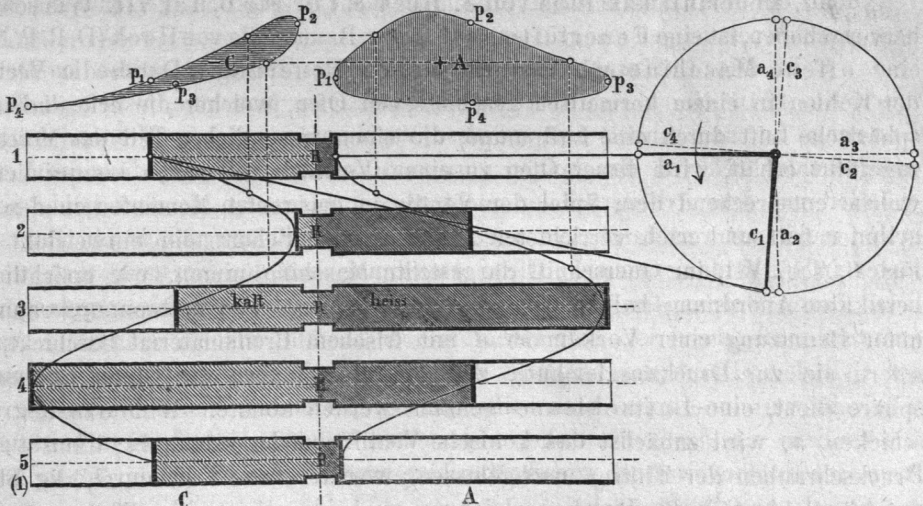
Neuerdings hat Rennes auf eine ganz andere Maschine ein Patent erhalten (D. R. P. No. 7732 vom 26. April 1879), welche sich am zutreffendsten als eine Lehmann'sche Zwillingmaschine mit vertikalen Cylindern charakterisieren läßt. Diese vielleicht recht zweckmäßige Konstruktion lehrt nur, daß Rennes von der

Trennung des Arbeitscyinders vom Verdrängercylinder zurückgekommen ist, da er das Lehmann'sche Prinzip der conaxialen Anordnung angenommen hat.

§. 6. Die Rider'sche Luftmaschine, Fig. 5, Taf. VII. Diese zweicylindrige Maschine unterscheidet sich von den bisher besprochenen geschlossenen Luftmaschinen dadurch, daß die Bewegung der Luft aus dem heißen in den kalten Raum und zurück nicht durch einen Verdränger, welcher von beiden Seiten gleichen Druck erfährt, sondern durch zwei Kolben bewirkt wird, welche, da sie von einer Seite dem Druck der eingeschlossenen Luft, von der anderen Seite dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt sind, beide für Arbeitskolben gehalten werden könnten. In der That ist ihre Wirkung nur eine quantitativ verschiedene, indem durch beide Kolben Arbeit auf die Kurbel übertragen wird, mit dem Unterschied jedoch, daß die Arbeit des einen Kolbens positiv, die des anderen hingegen negativ ist.

Der Kolben *A*, welcher positive Arbeit verrichtet, heißt Arbeitskolben, der andere *C* Kompressionskolben. Beide haben gleichen Durchmesser, aber ungleichen Hub und sind als Taucherkolben mittelst Ledermanschetten nach außen abgedichtet. Am oberen Ende sind sie nur soweit abgedreht, als der Hub es erfordert, während der untere Teil etwas geringeren Durchmesser hat und unbearbeitet ist. Zwischen diesem Teil und den Cylindern bleibt ein schmaler ringförmiger Raum, durch welchen beim Kompressionscylinder die Luft hindurch streichen muß und dabei Gelegenheit findet, sich schnell an den von einem Wassermantel umgebenen Wänden abzukühlen. Der Arbeitscylinder ragt mit einer Verlängerung *B* in den Feuerkopf *D*, ebenfalls einen schmalen ringförmigen Spalt bildend, durch welchen die Luft hindurch gedrängt und so an den glühenden Wandungen des Feuertopfes schnell erwärmt wird. Der Wärmewechsel wird noch durch einen Wärmeaustauschapparat, Regenerator genannt, erleichtert, welcher in dem Verbindungsrohre *E* angebracht ist und aus einem System von Gufseisenplatten besteht. Während die Luft dieselben beim Übergange aus einem Cylinder in den andern durchstreicht, soll sie, je nach ihrer Bewegungsrichtung, vorgewärmt oder vorgekühlt werden.

Fig. 2.



Nach vorstehendem Holzschnitt Fig. 2 läßt sich das Verhalten beider Kolben leicht übersehen. Die Cylinder sind hier conaxial statt parallel gezeichnet und der Kompressionscylinder *C* erscheint gegen den Arbeitscylinder *A* um 180° verdreht,

sodafs die Gröfse des Raumes zwischen beiden Kolben leicht beurteilt werden kann. Infolge dessen muß auch die Kurbel des Kompressionskolbens um 180° gedreht dargestellt werden, sodafs sie dem Arbeitskolben um 90° vor- statt nacheilt, wie es in Wirklichkeit geschieht; R sei der Regenerator, welcher den kalten vom heifsen Raum trennt.

Die Figur zeigt nun die 4 um je 90° von einander verschiedenen Stellungen der beiden Kurbeln und diejenigen der zugehörigen Kolben, deren Hub hier gleich grofs angenommen ist. Die Kurven (Sinuslinien), welche die 4 Stellungen jedes der beiden Kolben verbinden, lassen auch die Zwischenstellungen leicht verfolgen. In Stellung 1 beginnt der Arbeitskolben seinen Hub, während die Luft zwar vollständig im kalten Raum, in diesem jedoch mit dem Druck p_1 (s. Indikatordiagramm) stark komprimiert ist. In Stellung 2 ist das Luftvolum noch dasselbe, es befindet sich jedoch vollständig im heifsen Raum; somit wird der Druck bedeutend stärker geworden sein. Bis zur Stellung 3 verrichten nun beide Kolben nutzbare Arbeit; die Spannung verringert sich jedoch infolge der Luftexpansion und des teilweisen Überganges in den kalten Raum, sodafs der Kolben A seinen Rückgang bei nahezu atmosphärischem Druck auf beiden Seiten desselben beginnt. In Stellung 4 kehrt auch der Kompressionskolben um, hört also auf zu arbeiten und muß nun ebenso wie der Arbeitskolben behufs Kompression der Luft im kalten Raum Arbeit von der Schwungradwelle entnehmen und zwar mehr als er vorher geleistet hatte. Bei Stellung 5 oder 1 angelangt, wiederholt sich der beschriebene Vorgang von neuem. Die Diagramme $+A$ und $-C$ entsprechen den geleisteten und konsumierten Arbeiten, mithin ist die Differenz ihrer Flächen ein Maßstab für die an die Schwungradwelle wirklich abgegebene Arbeit.

Die Rider'sche Maschine nimmt im Grundrifs wenig Platz ein und soll, obgleich das Arbeitsprinzip theoretisch weniger vollkommen ist, als das der Verdrängermaschinen, z. B. der Lehmann'schen Maschine, ebenfalls ziemlich sparsam, d. h. mit 4–5 kg Steinkohle pro Stunde und Pferdestärke arbeiten.

§ 7. Feuerluftmaschine von J. Hock & Co. Fig. 6, Taf. VII. Wie schon in § 2 hervorgehoben, ist eine Feuerluftmaschine, z. B. auch die von Hock (D. R. P. No. 2047), eine offene Maschine mit geschlossener Feuerung. Durch die Verbrennung der Kohlen in einem hermetisch geschlossenen Ofen, welcher die erforderliche atmosphärische Luft durch eine Luftpumpe, die einen wesentlichen Teil des Motors bildet, zugeführt erhält, wird dieser Ofen zu einem Vorratsbehälter von komprimierter Luft, welche entsprechend dem Spiel der Ventile in geeigneten Momenten in den Arbeitscylinder tritt und nach verrichteter Arbeit in den Schornstein entweicht. Diese in Fig. 6, Taf. VII, im Querschnitt dargestellte Maschine nimmt, wie ersichtlich, ihrer vertikalen Anordnung halber wenig Grundfläche ein. Der Verbrennungsraum a wird unter Benutzung einer Vorkammer d mit frischem Brennmaterial beschickt, welche, sofern sie zur Druckausgleichung zwischen dem Innern des Ofens und der Atmosphäre dient, eine Luftschleuse genannt werden könnte. Will man den Rost beschicken, so wird zunächst das konische Ventil e niedergeschraubt; dann werden die Druckschrauben der Thür f nachgelassen, worauf etwas Luft durch die Thürspalte ausströmt, bis sich die Druckausgleichung zu beiden Seiten der Thür vollzogen hat. Nachdem ein in Scharnieren hängender Druckbügel sodann herunter geschlagen ist, läfst sich die Thür vollständig öffnen und das nötige Brennmaterial einwerfen, welches, nachdem die Thür wieder hermetisch geschlossen und das Ventil e geöffnet ist, auf den Rost hernieder fällt.

Der Arbeitscylinder *A* steht über dem Ofengehäuse und trägt die Lager für die Kurbelwelle, sowie den in seiner Verlängerung liegenden Luftpumpencylinder *L*, dessen Kolben *l* mit dem Arbeitskolben *a* in direkter Verbindung steht und daher denselben Hub hat wie letzterer. Der Durchmesser der Luftpumpe ist indessen kleiner als der des Arbeitscylinders. Da die Pleuelstange *g* zur Verbindung der Kolben mit der Kurbel ziemlich am tiefsten Punkte des Arbeitskolbens angreift, so wurde zum Schutze des betreffenden Zapfens ein leichter Blechmantel *b* mit dem Kolben verbunden, welcher sich mit wenig Spielraum in dem Cylinder bewegt und gleichzeitig die in der Figur nicht sichtbare Lederstüpliderung der direkten Hitze entzieht. Die durch die Luftpumpe angesaugte atmosphärische Luft wird durch ein ebenfalls nicht gezeichnetes Rohr in eine Regulierkammer gedrückt, von wo aus sie je nach der Stellung eines durch den Regulator beeinflussten Doppelventils entweder ganz oder teilweise unter den Rost geführt wird und so eine energische Verbrennung erzeugt oder, wenn die Verbrennung behufs geringerer Arbeitsleistung gemäßiget werden soll, zum größeren Teil unter Passierung eines Vorwärmers mit unvermindertem Druck in den Feuerraum gelangt, sodafs sie zwar die zu ihrer Kompression aufgewendete Arbeit wieder nutzbar macht, jedoch zur Wärmeentwicklung nicht beigetragen hat. Nur bei sehr plötzlicher Widerstandsveränderung genügt diese Art der Regulierung nicht, und es ist daher für diesen Fall noch ein Luftventil vorhanden, welches, bei zu grofser Geschwindigkeit vom Regulator geöffnet, das Ausströmen einer Quantität komprimierter Luft gestattet. Das Spiel der Ventile, welche die Ein- und Ausströmung der heifsen Luft aus dem Ofen in den Arbeitscylinder regeln, erfolgt durch eine kurze, von der Kurbelwelle mittelst Zahnrädern betriebene Welle *s*, welche gleichzeitig den Regulator durch konische Räder in Bewegung setzt. Durch Anwendung von Expansion kann der Kohlenverbrauch der Maschine sehr vermindert werden.

Der Hock'sche Motor mufs mit Coaks geheizt werden, da andere Brennmaterialien den Cylinder zu sehr verunreinigen würden. Nach Versuchen auf der Pariser Weltausstellung 1878⁴⁾ betrug der Coaksverbrauch 4,2 kg pro Stunde und Pferdestärke, so lange die Maschine ohne Expansion arbeitete, während nach Einrichtung der Expansion der Verbrauch auf 2 kg pro Stunde und Pferdestärke gesunken sein soll, eine Zahl, welche jedoch mit allem Vorbehalt hier wiedergegeben wird. 4,2 kg Coaksverbrauch fand auch Prof. Jenny in Wien als Mittel aus 13 Versuchen, ebenso Prof. Teichmann in Stuttgart 4,25 kg.⁵⁾

Der grösste Vorzug der Hock'schen Maschine, welcher namentlich für vorübergehende oder mit häufigen Ortsveränderungen verknüpfte Verwendungen wichtig ist, besteht in der Entbehrlichkeit des Kühlwassers. Die Ledermanschetten und die Ventile sollen sich bei nicht sehr vorzüglicher Wartung nicht dauerhaft erwiesen haben. Neuerdings werden statt der ersteren Metallringe zur Kolbenliderung angewendet.

⁴⁾ Vergl. Annuaire publié par le Comité de la Société des anciens Elèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers 1879, Tome premier p. 58. Ob die dort angegebenen Resultate wirklich auf der Ausstellung gewonnen sind, ist nach dem Wortlaut nicht ganz sicher.

⁵⁾ Dr. G. Seelhorst und L. Kröllner haben bei einem Versuch im bairischen Gewerbemuseum für einen auf 1,4 Pferdestärken gebremsten Hock'schen Motor einen stündlichen Coaksverbrauch von 1,5 kg ermittelt, haben dabei jedoch die Maschine 5 $\frac{1}{2}$ Stunden leerlaufen lassen und nur 1 $\frac{1}{2}$ Stunden auf 1,4 PS gebremst, trotzdem aber den gesamten Coaksverbrauch von 10,75 kg auf 7 Stunden gleichmäfsig verteilt ($\frac{10,75}{7} = 1,53$), was offenbar von dem wirklichen Brennstoffverbrauch pro Stunde und Pferdestärke ein ganz verzerrtes und zu Irrtümern geeignetes Bild ergibt. Leider hat dieses Resultat grofse Verbreitung gewonnen.

§ 8. Feuerluftmaschine von A. & F. Brown, Fig. 11 bis 15, Taf. VII. Die „Caloric engine“ von A. und F. Brown in New-York (D. R. P. No. 3928) wird in Amerika und England seit einiger Zeit für die Nebelhörner der Küstenstationen verwendet und ist auch für Bauzwecke, namentlich zur Entwässerung von Baugruben mehrfach, u. a. von Siemens und Halske in Berlin, in Anwendung gebracht worden.

Die Maschine unterscheidet sich, wie Fig. 11, Taf. VII, zeigt, prinzipiell von dem Hock'schen Motor nur insofern, als Luftpumpencylinder L und Arbeitscylinder A nicht coaxial angeordnet sind, sondern mit vertikalen Axen neben einander stehen, während die Kolben durch einen Balancier b mit einander verbunden sind. Auch der Ofen o steht neben dem Arbeitscylinder, sodafs sich die Maschine ziemlich breit baut, jedoch ihrer geringen Höhe wegen wieder in allen Teilen recht bequem zugänglich ist. Es ist eine sehr verbreitete Annahme, dafs bei diesen Feuerluftmaschinen, in welchen die Heizgase direkt Arbeit verrichten, die Wärme weit vollkommener ausgenutzt werde, als bei den geschlossenen und überhaupt solchen Maschinen, bei denen die Wärme durch Leitung auf die Arbeitsluft übertragen wird. Dr. A. Slaby⁶⁾ unterwarf nun die Brown'sche Maschine auf Grund von Brems- und Indikatorversuchen, welche er am 14. November 1878 in der Fabrik von Siemens und Halske in Berlin gemeinschaftlich mit dem Verfasser vornahm, einer wärmetheoretischen Untersuchung, welche das überraschende Resultat lieferte, dafs die in dem zugeführten Brennmaterial disponible Wärmemenge in der Feuerluftmaschine von Brown durchaus nicht besser ausgenutzt wird, als in den geschlossenen Maschinen. Namentlich unerwartet dürfte die Erscheinung sein, dafs der Wirkungsgrad des Ofens der Brown'schen Maschine nur 0,26 beträgt, während für die Feuerungen der Lehmann'schen und Stenberg'schen Maschine dieser Wirkungsgrad zu 0,5 berechnet wurde.⁷⁾ Nur dem Umstande, dafs zumeist infolge der vertikalen Anordnung der Maschine der sog. indizierte Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis zwischen indizierter und gebremster Arbeit, gröfser ist als bei den besprochenen geschlossenen Maschinen, ist es zu danken, dafs der Brennmaterialverbrauch pro effektive Pferdestärke nicht mehr beträgt als bei letzteren. Derselbe ergab sich bei den erwähnten Versuchen zu 7,4 kg Holzkohlen zum Anheizen, und zu 4,43 kg Coaks pro Stunde und effektive Pferdestärke. In den Figuren 13, 14 u. 15, Taf. VII, sind einige Indikatordiagramme dargestellt, welche während des Versuches entnommen wurden, und zwar zeigt Fig. 13 das Diagramm des Arbeitscylinders für 2fache Expansion, Fig. 14 dasjenige der Luftpumpe, während Fig. 15 das Ofendiagramm giebt, bei dessen Entnahme der Papiercylinder dem Pumpenkolben entsprechend bewegt wurde. Die Spannung im Ofen ist während der Saugperiode ziemlich konstant, da während derselben der Arbeitskolben leer zurückgeht. Während der Druckperiode der Luftpumpe findet zunächst eine Druckverminderung im Ofen statt, weil jetzt das Ventil zum Arbeitscylinder geöffnet ist, von der Luftpumpe aber noch keine Verbrennungsluft zugeführt werden kann, da dieselbe sich erst auf $\frac{1}{3}$ des anfänglichen Volumens komprimieren läfst, ehe sich das Druckventil öffnet. Im letzten Drittel steigt jedoch die Spannung, weil das Einlaßventil des Arbeitscylinders sich schließt, das Druckventil der Pumpe aber geöffnet ist. Das Regulierungsprinzip ist dasselbe wie bei dem Hock'schen Motor.

⁶⁾ Vergl. Dingler, polyt. Journ. 1879, Bd. 232, S. 200 u. ff.

⁷⁾ Vergl. Beiträge zur Theorie der geschlossenen Luftmaschinen von Dr. A. Slaby, Verh. d. Ver. zur Bef. d. Gewbfl. in Preußen 1878, S. 375 bis 409.

b. Gasmaschinen.

§ 9. Die Arbeitsprinzipien der Gasmaschinen. Die Gasmaschinen unterscheiden sich von den offenen Luftmaschinen mit geschlossener Feuerung prinzipiell nur durch die Form, in welcher das Brennmaterial zugeführt, und die Art, in welcher die Verbrennung bewirkt wird. Auch bei ihnen findet die Verbrennung des Brennstoffes (Leuchtgas) in einem luftdicht geschlossenen Raume statt, und die Feuergase kommen behufs Arbeitsverrichtung direkt mit dem Arbeitskolben in Berührung. Man könnte geneigt sein, auch eine mit Leuchtgas geheizte geschlossene Luftmaschine Gasmaschine zu nennen. Bis jetzt ist dies jedoch nicht üblich. Die Grenze zwischen beiden Wortgebieten ist indessen unbestimmt.

Die Verbrennung des Leuchtgas erfolgt besonders vollkommen, wenn es vor der Entzündung mit dem erforderlichen 9 bis 12fachen Volumen atmosphärischer Luft vermengt wird. Deshalb ist diese Art der Verbrennung bei allen mehr oder weniger bekannt gewordenen Gasmaschinen zur Anwendung gekommen, obgleich eine plötzliche, explosionsartige Verbrennung untrennbar damit verknüpft ist. Der hierbei spontan auftretende Druck ist nun möglichst schnell in mechanische Arbeit umzusetzen, um dadurch die sonst eintretende Wärmeausstrahlung zu verhüten. Diese schwierige Aufgabe bildet den eigentlichen Hauptzielpunkt für alle Gasmaschinenkonstruktoren und giebt eine natürliche Erklärung für die komplizierten Konstruktionen der meisten Gasmaschinen.

Bei der ältesten, einer gewöhnlichen Kolbendampfmaschine ähnlichen Gasmaschine von Lenoir, in welcher das bei Beginn des Kolbenhubes angesaugte Gas- und Luftgemenge nach Abschluß der Zuströmungskanäle durch einen elektrischen Funken entzündet wird, erfolgte wegen zu geringer Kolbengeschwindigkeit die Umsetzung der Wärme in Arbeit so langsam, daß der Cylinder nur durch einen kräftigen Strom fließenden Kühlwassers vor zu großer Erhitzung geschützt werden konnte. Ein großer Teil der Wärme ging daher, statt Arbeit zu verrichten, in das zwecklos erwärmte Kühlwasser über, dessen Verbrauch, 2—4 cbm pro Stunde und Pferd, die ohnehin schon beträchtlichen Kosten von 4 cbm Leuchtgas pro Stunde und Pferd noch erheblich steigerte.

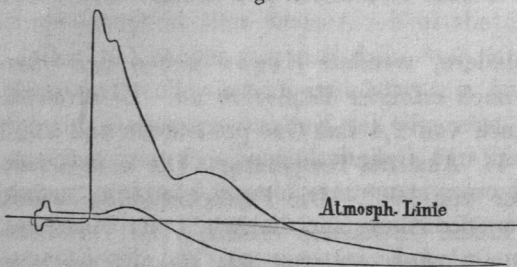
Um den Wasserverbrauch zu vermindern, wendete Hugon neben der Oberflächenkühlung, Einspritzung von Wasser nach erfolgter Explosion an. Er erreichte nach Versuchen von Tresca einen Verbrauch von 2,4 cbm Gas pro Stunde und Pferd und 0,6 cbm Wasser bei 19° Eintritts- und 44° Austritts-Temperatur. Die entweichenden Gase hatten eine mittlere Temperatur von 186°. Die Funkenzündung wurde durch eine mit Hochdruck eingetriebene kleine Gasflamme ersetzt. Die Verminderung des Gasverbrauchs erklärt sich dadurch, daß ein Teil der Explosionswärme zur Bildung von Wasserdampf verwendet und im weiteren Verlauf der Kolbenbewegung in Arbeit umgesetzt wird.

Ganz anders haben Otto und Langen durch ihre epochemachende „atmosphärische Gaskraftmaschine“ der hervorgehobenen Hauptschwierigkeit zu begegnen gesucht.

Indem sie der Ausdehnung der durch die Explosion entwickelten Gase als Widerstand nur das Eigenwicht des vertikal frei beweglichen Kolbens plus dem darauf lastenden Druck der Atmosphäre entgegensetzen, ermöglichen sie eine so rasche Expansion, daß eine erhebliche Temperatursteigerung nicht eintritt, sondern die Verbrennungswärme sofort nach ihrem Entstehen in mechanische Arbeit umgesetzt wird,

Die Maschine besteht aus einem oben offenen, senkrecht stehenden Cylinder, in welchem sich ein einziger Kolben bewegt. Dieser saugt bei Beginn jeder Arbeitsperiode, von dem laufenden Werk der Maschine getrieben, das explosive Gemenge von Leuchtgas und Luft an, dessen Eintritt durch den in der Nähe des Cylinderbodens befindlichen Steuerungsschieber geregelt wird. Hierauf wird das Gasgemenge durch eine kontinuierlich brennende Gasflamme entzündet. Es explodiert und schleudert, da die Einlaßkanäle am Cylinderboden vorher geschlossen werden, den Kolben in die Höhe. Dieser, durch den Mechanismus in keiner Weise am Aufwärtsgehen behindert, wird durch den Überdruck der Verbrennungsgase über Atmosphärendruck und Kolbengewicht so lange beschleunigt, bis infolge der Verdünnung unter dem Kolben dieser Überdruck Null wird. Die nutzbare Arbeit der Explosion ist jetzt größtenteils in lebendige Kraft des Kolbens umgesetzt, welche, indem der Kolben noch weiter fliegt, trotz des unter demselben entstehenden teilweisen Vacuums den Atmosphärendruck überwindet, bis die Geschwindigkeit aufgezehrt ist. Von diesem Augenblicke an würde der Kolben, durch den Atmosphärendruck und sein Eigengewicht getrieben, wieder herabfallen, wenn er sich auch nach unten völlig frei bewegen könnte. Daran wird er jedoch durch ein Klemmschaltwerk behindert, welches ein in die verzahnte Kolbenstange eingreifendes Zahnrad während des Kolbenniedergangs mit der Schwungradwelle verkuppelt und so dem niedergehenden Kolben den ganzen Widerstand der zu betreibenden Arbeitsmaschinen entgegengesetzt. Beim Niedergange wird mithin die Explosionsarbeit erst nutzbar gemacht. Es hat nun den Anschein, als müßten während des Kolbenniedergangs durch Kompression dieselben Spannungen unter dem Kolben hervorgerufen werden, welche beim Aufgang herrschten. Wie aus beistehendem Diagramm, Figur 3, hervorgeht, ist dies jedoch nicht der Fall. Das Vacuum unter dem Kolben hält sich vielmehr ziemlich lange konstant, und erst in der untersten Hälfte des Kolbenweges steigt der Druck bis auf eine Atmosphäre, worauf wegen der beginnenden Ausströmung der Verbrennungsrückstände eine wesentliche Drucksteigerung nicht mehr möglich ist. Dafs die Kompressionslinie so wesent-

Fig. 3.



Indikator-
diagramm einer atmosphärischen Gaskraft-
maschine von Otto u. Langen.

lich unter der Expansionslinie bleibt und daher die durch die Diagrammfläche gemessene Arbeit disponibel wird, hat seinen Grund in der Abkühlung der Gase durch die Cylinderwände, resp. den Wassermantel, welcher den untersten Teil des Cylinders umgiebt. In demselben braucht jedoch nicht fließendes Wasser zu circulieren, sondern durch Verbindung mit einem Kühlgefäß von mäfsigen Dimensionen kann die Wassertemperatur auf

30 bis 35° erhalten werden, so dafs ein Ersatz des Kühlwassers nicht erforderlich ist. Hieraus geht schon hervor, dafs während der Explosion kein grofser Wärmeverlust stattfinden kann. Wärmeausstrahlung während des Aufgangs ist Arbeitsverlust, deshalb ist es vorteilhaft, wenn der Aufgang möglichst schnell erfolgt. Beim Niedergang hingegen soll möglichst niedere Temperatur herrschen, da hierdurch das Vacuum vollkommener, also die Arbeitsleistung erhöht wird; in dieser Periode ist daher langsame Bewegung zweckmäfsig.

Die Regulierung der Maschine ist in verschiedener Weise bewirkt worden,

anfänglich dadurch, daß dem sinkenden Kolben auf dem letzten Teile seines Weges durch Drosselung der abziehenden Gase ein vom Regulator zu beeinflussender Widerstand entgegengesetzt und damit die Zeit zwischen zwei Kolbenflügen verändert wurde; später wurde jedoch am Ende jedes Kolbenniederganges eine wirkliche Hubpause eingeschaltet, welche so lange dauerte, bis durch Senken des Regulators infolge der Verzögerung der Schwungradbewegung der nächste Kolbenflug eingeleitet wurde.

Der Gasverbrauch dieser Maschine beträgt pro Stunde und effektive (gebremste) Pferdestärke 0,75 bis 1 cbm Leuchtgas, läßt also an Billigkeit des Betriebes kaum etwas zu wünschen übrig. Der einzige Übelstand des Systems ist ein höchst störendes Geräusch, von welchem jeder Kolbenflug begleitet ist. Dasselbe hat jedoch nicht verhindert, daß die Maschine innerhalb eines Zeitraumes von 10 Jahren in mehr als 4000 Exemplaren zur Ausführung gekommen ist.⁸⁾

Durch die Gasmaschine von Gilles (s. Musil a. a. O. 1878), welche auf demselben Arbeitsprinzip beruht, ist das Geräusch fast vollständig vermieden worden, indem zwei Kolben, nämlich ein Flugkolben und ein Arbeitskolben zur Verwendung kommen, von denen der erstere infolge der zwischen beiden stattfindenden Explosion emporgeworfen und durch ein Gesperre am Niedergang verhindert wird, während der letztere, welcher mittelst Pleuelstangen auf eine unter demselben liegende Kurbel wirkt, beim Niedergang einen Teil der Explosionsarbeit, beim Rückgang aber die durch das Vacuum erzeugte Arbeit auf die Welle überträgt.

Diese Maschine wurde bald nach ihrem Bekanntwerden durch den von der Deutzer Gasmotorenfabrik gebauten neuen Otto'schen Gasmotor überflügelt, welcher sich in kürzester Zeit sehr verbreitet hat und der früheren Otto'- und Langen'schen Konstruktion, wenn auch nicht hinsichtlich des Gasverbrauches, so doch durch ruhigen Gang bedeutend überlegen ist.

§ 10. Der Otto'sche Gasmotor, Fig. 1 u. 2, Taf. VII. Obgleich die Erfindearbeit auf dem Gebiete der Gasmaschinen eine sehr rege ist, so muß doch zur Zeit der Otto'sche Gasmotor (D. R. P. No. 532 u. 2735) als der eigentlich herrschende bezeichnet werden.

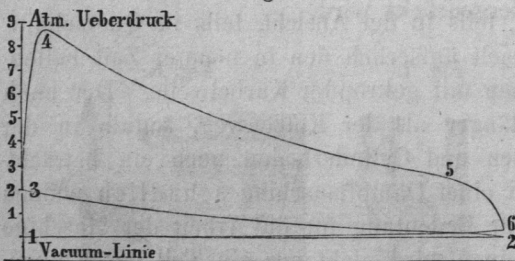
Die Maschine ist in Fig. 1, Taf. VII, teils in der Ansicht, teils im Querschnitt, in Fig. 2 im Grundriß dargestellt und ähnelt äußerlich den in neuerer Zeit beliebten kleinen schnellgehenden Dampfmaschinen mit gekröpfter Kurbelwelle. Der nach der Kurbel zu offene Cylinder ist etwas länger als der Kolbenweg, sodafs in der gezeichneten Kurbelstellung zwischen Kolben und Cylinderboden noch ein beträchtlicher Raum übrig bleibt, welchen man bei einer Dampfmaschine schädlich nennen würde, welcher jedoch hier von prinzipieller Bedeutung für die Arbeit der Maschine ist. Im Unterschied zu anderen Gasmaschinen wird nicht nur ein Teil des Kolbensusaugens zum Ansaugen des Gasmisches verwendet, sondern es dient hierzu ein voller Kolbenausgang. Die Entzündung erfolgt, nachdem durch den Kolbenrückgang das Gasmisch auf etwa 2 Atmosphären komprimiert worden ist, sodafs erst der folgende Kolbenausgang zur Arbeitsentwicklung verwendet wird. Diese Maschine ist daher, sofern sie nur bei dem zweiten Kolbenausgang Arbeit leistet, treffend als halbwirkend bezeichnet worden. Der Kolbenrückgang nach dem Arbeitshub dient zum Ausstoßen der Verbrennungsprodukte, sodafs zu dem vollen Arbeitsprozefs der Maschine 2 Kurbelumdrehungen erforderlich sind. Der in der gezeichneten Stellung

⁸⁾ Abbildungen und Beschreibung aller Details enthält ein Vortrag Reuleaux's in den Verh. d. Ver. zur Bef. d. Gewöf. in Preußen 1867, S. 198—209.

verbleibende Raum ist bei Beginn eines neuen Arbeitsprozesses noch vom vorhergehenden mit gasförmigen Verbrennungsprodukten von atmosphärischer Spannung gefüllt. Die Gas- und Luftzuströmung wird durch einen an dem Cylinderboden befindlichen Schieber in der Weise reguliert, daß während der ersten Hälfte des Kolbenhubes Luft allein in den Cylinder tritt, während bei dem zweiten Teil des Hubes eine Mischung von Gas und Luft eingesogen werden kann. Die so entstehende Schichtung, zufolge deren dicht an dem Kolben Verbrennungsrückstände, dann Luft und endlich ein Gemisch aus Luft und Gas sich befindet, bleibt auch während der Kompression noch insoweit erhalten, als das Gemisch in unmittelbarer Nähe des Cylinderbodens, wo die Zündung erfolgen soll, am meisten mit Gas gesättigt ist. Die Zündung selbst erfolgt, indem durch den Schieber eine Verbindung zwischen einer kleinen von außen herein transportierten Vermittlungsflamme und dem Innern des Cylinders hergestellt wird, unmittelbar nach Überschreitung des Todpunktes, verbreitet sich aber infolge der eigentümlichen Schichtung nicht mit derselben Schnelligkeit wie bei gleichmäßiger Füllung des Raumes durch die ganze Masse. Infolge dessen hat die Verbrennung nicht in gleichem Maße wie bei anderen Gasmaschinen den Charakter der Explosion, sondern sie erfolgt ruhiger und ohne so bedeutende Erhitzung als sonst, wozu der Umstand noch wesentlich mitwirkt, daß die Verbrennungsprodukte, selbst von der Kolbenbewegung abgesehen, sofort Gelegenheit finden, sich etwas auszudehnen, indem sie die in demselben Raume befindlichen Verbrennungsrückstände noch weiter komprimieren. Hierdurch wird natürlich die Spannungs- und somit auch die Temperaturzunahme der Gase bedeutend eingeschränkt, also die Wärmeausstrahlung reduziert.

In welcher Weise die Spannungen sich nach der Zündung und während des ganzen Kolbenweges verändern, läßt sich aus dem beistehenden Indikatordiagramm Fig. 4 leicht erkennen. Es entspricht die Linie 1 2 dem Ansaugen des Gasgemisches, 2 3 der Kompression, 3 4 der Zündung und Verbrennung, 4 5 der Expansion, 5 6 der Vorausströmung und 6 1 der Ausströmung beim Kolbenrückgang.

Fig. 4.

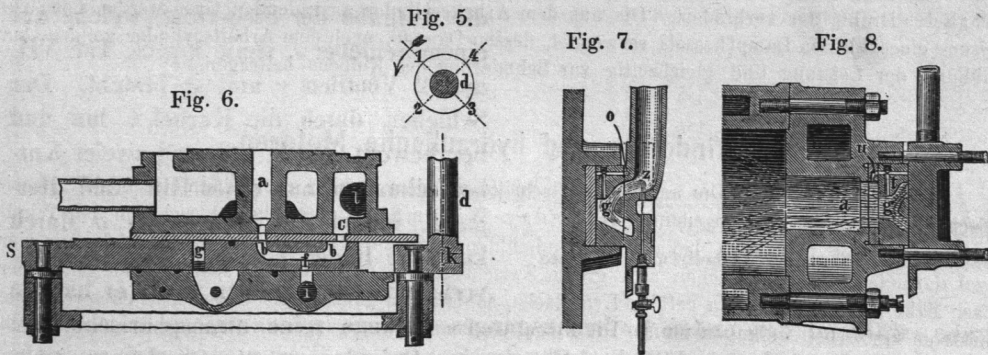


Indikatordiagramm eines 2-pferdigen Otto'schen Gasmotors.

Die richtige Ausführung dieser nacheinanderfolgenden Vorgänge ist die Aufgabe der Steuerung, welche aus einem Schieber *s*, siehe Fig. 2, Taf. VII, und 2 Ventilen *v* und *w* besteht. Der Schieber, durch die Kurbel *k* hin und her bewegt, macht während zweier Kurbeldrehungen nur einen Hin- und Hergang, indem die Steuerwelle *d* durch konische Räder *e e*, vom Übersetzungsverhältnis 1/2 getrieben wird; er hat die

Aufgabe, während des ersten Kolbenausganges anfangs reine atmosphärische Luft und dann ein Gemisch von Luft und Gas in den Cylinder eintreten zu lassen, während des Kolbenrückganges den Cylinder geschlossen zu halten, eine Vermittlungsflamme in einem seiner Kanäle an der kontinuierlich brennenden Entzündungsflamme zu entzünden und diese bei Beginn des zweiten Kolbenausganges nach vorheriger Druckausgleichung in das Innere des Cylinders zu übertragen. Das Ventil *v* dient zur Zulassung des Gases und gleichzeitig zur Regulierung der Maschine, während das Ventil *w* die Ausströmung der Gase aus dem Cylinder gestattet.

Während der Saugperiode durchläuft die Schieberkurbel den Quadranten 1—2, siehe Holzschn. 5, sodafs während dieser ganzen Zeit der innere Cyllinderraum durch die Kanäle *a*, *b*, *c*, siehe Holzschn. 6, mit dem Zuführungsrohre *l* atmosphärischer Luft kommuniziert. Gleichzeitig gestattet der nach dem Schieberdeckel führende Kanal *f* den Eintritt von Gas aus dem Gaszuführungsrohre *i*, wenn dieses selbst durch die Öffnung des Ventils *v* mit der Gasleitung in Verbindung gebracht ist, was, vergl. Fig. 1, Taf. VII, durch einen auf der Steuerwelle sitzenden Hebadaumen und den Winkelhebel *n n*, jedoch nur dann geschieht, wenn die Maschine so langsam geht, dafs eine neue Explosion erforderlich ist. Geht die Maschine infolge der Arbeitsleistung der vorhergehenden Explosion noch hinreichend schnell, so wird die Daumenmuffe durch den Regulator *r* so weit seitwärts verschoben, dafs sie den Hebel *n n* nicht trifft, mithin auch kein Gas in die Maschine einströmt. Die Maschine wird also durch das Ausbleiben einzelner Explosionen reguliert. Während der Compressionsperiode durchläuft die Schieberkurbel den Bogen 2—3 und der Kanal *g* des Schiebers tritt, wie aus dem Querschnitt, Holzschn. 7, ersichtlich ist, mit einer in der Schubrichtung laufenden Nut *o* in Verbindung, welche mit einem senkrecht durch den Schieberdeckel geführten Gasrohr kommuniziert. Gleichzeitig ist aber die Verbindung mit atmosphärischer Luft und einer Entzündungsflamme *z* hergestellt, sodafs sich in dem Kanale *g* eine Gasflamme bilden wird, welche im nächsten Moment, nach dem die Verbindung mit den Öffnungen des Schieberdeckels wieder unterbrochen ist, die Zündung bewirkt, indem die Kammer *g* mit dem Kanal *a*, Holzschn. 8, in Verbindung tritt. Zwischen beiden Momenten war es jedoch notwendig, den Druck in dem Kanal auf die Höhe des im Cylinder komprimierten Gemisches zu bringen; deshalb wird noch vor dem Zusammentreffen der Kanäle *g* und *a* die Kanalverbindung *g u* hergestellt, vermöge deren aus dem Cylinder Gas in den Kanal *g* eintritt und dort dieselbe Kompression hervorruft, welche im Cylinder herrscht, sodafs bei Herstellung der gröfseren Kommunikation zwischen Vermittelungsflamme und Cylinder durch die Kanäle *g* und *a*, die Gefahr des Verlöschens ausgeschlossen ist. Das Austrittsventil wird durch einen Hebel *p* geöffnet, welcher durch einen Hebadaumen regelmäßig nach je zwei Kurbeldrehungen niedergedrückt wird.



Der Cylinder ist mit einem Wassermantel umgeben, durch welchen jedoch nicht, wie bei Lenoir, ein konstanter Strom kalten Wassers zu fließen braucht. Es genügt vielmehr, denselben, wie bei der atmosphärischen Gaskraftmaschine, mit Zu- und Abfluss von und nach einem geschlossenen Reservoir von mäßiger Gröfse zu versehen, um die Temperatur auf richtiger Höhe zu erhalten. Die Schmierung des

Cylinders wird durch ein kleines Schöpfwerk automatisch vollzogen. Der Ölverbrauch ist jedoch beträchtlich. Der Gasverbrauch beträgt nach vielen Versuchen 1 cbm pro Stunde und effektive (gebremste) Pferdestärke, ist jedoch von der Qualität des Gases nicht ganz unabhängig.

Der Otto'sche Motor ist anfänglich nur in kleinen Dimensionen, namentlich von 1 bis 6 Pferdestärken, ausgeführt worden; neuerdings hat indessen die Deutzer Gasmotorenfabrik schon Maschinen von 60 Pferdestärken gebaut.

Für Bauten ist der Otto'sche Motor namentlich deshalb ganz besonders zu empfehlen, weil er sehr schnell zu montieren ist und in jedem Augenblick in Betrieb gesetzt werden kann. Da er nicht länger Gas konsumiert, als er wirklich arbeitet, so sind namentlich in Fällen häufig unterbrochenen Betriebes die täglichen Kosten gering im Vergleich zu Maschinen, welche erst längerer Zeit zum Anheizen bedürfen und dann während des vorübergehenden Nichtgebrauchs unter Feuer gehalten werden müssen.

Unter den zahlreichen patentierten Gasmotoren verdienen noch zwei Konstruktionen kurzer Erwähnung. Es sind dies die Maschinen von Bisschop und von Simon.

Die erstere, im Deutschen Reich in verbesserter Form unter No. 7925 patentiert, ist nur für sehr kleine Kräfte, in der Regel weniger als 1 Pferdestärke, bestimmt und hat sich trotz ihres beträchtlichen Gasverbrauchs wegen ihrer großen Einfachheit in der Kleinindustrie eingebürgert. Sie arbeitet mit vertikalem Cylinder und braucht überhaupt kein Kühlwasser, da die erforderliche Kühlung des Cylinders vermöge der großen Ausstrahlungsfläche eines den Cylinder umgebenden Systems von gußeisernen Rippen in ausreichendem Maße durch die Luft erfolgt.

Einige Abänderungen dieses Systems enthält der Gasmotor von Bußs, Sombart und Co., D. R. P. No. 7896 und 8245.

Der Gasmotor von Simon, D. R. P. 2404, verdient wegen seines originellen Wirkungsprinzips besonderes Interesse. Bei dieser Maschine wird ein Gemisch aus Luft und Gas durch eine Kompressionspumpe auf ca. 5 Atmosphären verdichtet und so dem Arbeitscylinder zugeführt, in welchem es sich an einer unter Druck konstant brennenden kleinen Flamme allmählich entzündet und zunächst unter Volldruck, dann, nach Abschluß des Einströmungsschiebers, unter Expansion seinen Druck auf den Arbeitskolben überträgt.

Der Rückschlag der Entzündungsflamme in das Gaszuführungsrohr wird durch ein zwischen geschaltetes Drahtgitter verhindert. Die aus dem Arbeitscylinder austretenden Gase werden noch zur Speisung eines kleinen Dampfkessels verwendet, dessen Dämpfe, nach dem Arbeitscylinder geführt, zur Erhöhung der Leistung und gleichzeitig zur Schmierung des Kolbens beitragen.

c. Windräder und hydraulische Motoren.

§ 11. Windräder. Die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Windmotoren sind amerikanischen Ursprungs. Die sogenannte Halladay-Windmühle unterscheidet sich von den Windrädern der seither in Europa bekannten Windmühlen dadurch, daß sie dem Winde nicht nur vier Flügel darbieten, welche zwischen sich große Zwischenräume übrig lassen, sondern eine mit einer großen Zahl leichter Schaufeln gefüllte Kreisfläche, so daß der ganze dieser Kreisfläche entsprechende Windstrom zur Arbeit gelangen muß. Die Flügel sind mit Regulierungseinrichtungen versehen, durch welche sie automatisch aus dem Wind gestellt werden, wenn der Wind zu stark wird, so daß die Räder selbst bei starkem Sturm keinen Schaden leiden können. Das Halladay-Windrad hat sich auch in Europa in wenigen Jahren eingebürgert, vorzugsweise jedoch für dauernde Betriebe. Sein Auftauchen hat zahlreiche Abänderungen hervorgerufen, welche sich zumeist in Kl. 88 der deutschen Patente vorfinden.

§ 12. Hydraulische Motoren. Die hydraulischen Motoren für hohe Gefälle, welche für den vorübergehenden Betrieb von Baumaschinen hauptsächlich in Frage kommen, sind Turbinen und Wassersäulenmaschinen.

Unter den ersteren sind für hohe Gefälle besonders Partialturbinen, z. B. nach Zuppinger⁹⁾ oder Girard¹⁰⁾, zu empfehlen, welche sich leicht regulieren lassen und in allen Teilen bequem zugänglich sind. Man kann von ihnen bei guter Ausführung einen Wirkungsgrad von 70 bis 75% bestimmt erwarten. Beträgt der Wasserzufluß q Liter pro Sekunde und das Gefälle h Meter, so ist demnach die Leistung

$$N = \frac{q \cdot h}{75} \cdot 0,75 = 0,01 \cdot q \cdot h \text{ Pferdestärken.}$$

Diese Turbinen sind immer so anzuordnen, daß sie in freie Luft angefressen, und zwar um den Gefällverlust thunlichst zu beschränken, möglichst dicht über dem Unterwasserspiegel. Die Wasserzuführung kann in eisernen Röhren erfolgen, in denen eine um so größere Geschwindigkeit und mithin ein um so größerer Gefällverlust durch Reibungswiderstände noch statthaft ist, je weniger man Ursache hat, mit der Wasserkraft zu sparen. Durchschnittlich ist 0,75 bis 1 m als Zuleitungsgeschwindigkeit pro Sekunde anzunehmen und hiernach der Rohrdurchmesser zu berechnen.

Unter den Wassersäulenmaschinen kleineren Kalibers sind neuerdings diejenigen von Schmid in Zürich, sowie die von Haag in Augsburg besonders bekannt und vielfach angewendet worden. Sie sind im Mechanismus prinzipiell nicht verschieden von den oscillierenden Dampfmaschinen, bei denen die Oscillationszapfen des Cylinders als Steuerungshähne dienen.

In Fig 16 u. 17, Tafel VII, ist der Wassermotor von Haag in Vertikalschnitt und Grundrifs dargestellt, während Fig. 18 u. 19, Taf. VII, Schnitte durch einen der Zapfenschieber in verschiedenen Drehlagen darstellen. In Fig. 18 sind alle Kanäle geschlossen; die Kurbel befindet sich im Todpunkt z. B. links. Dreht sich nun das Schwungrad im Sinne des Pfeiles Fig. 16, so oscilliert der Cylinder zunächst in entgegengesetztem Sinne, wobei, wie Fig. 19 zeigt, der mit e bezeichnete mittlere Zuleitungskanal mit der linken Abteilung des hohlen Zapfens in Verbindung kommt, so daß das Druckwasser auf die linke Kolbenfläche zu wirken beginnt, während das auf der rechten in Wirkung gewesene Wasser durch den Kanal a_2 zum Austritt kommt. Diese Verbindungen bleiben so lange erhalten, bis der Kolben in den anderen Todpunkt, rechts, gelangt. In diesem Moment tritt wieder die Stellung Fig. 18 ein, als Übergang nach der zu Fig. 19 symmetrischen, in welcher die rechte Cylinderhälfte Druckwasser bekommt, während links durch den Kanal a_1 Auströmung stattfindet.

Die Wassersäulenmaschinen haben einen sehr hohen Wirkungsgrad (80–90%) und sind hinsichtlich der Wartung außerordentlich bequem; namentlich eignen sie sich im Anschluß an städtische Wasserleitungen für den Betrieb kleinerer Arbeitsmaschinen. Bei den gewöhnlichen Wasserpreisen werden jedoch die Betriebskosten ziemlich hoch.

⁹⁾ Vergl. Rühlmann, Allgemeine Maschinenlehre, Bd. 1, S. 328. Braunschweig 1862.

¹⁰⁾ Vergl. Girard, Utilisation de la force vive de l'eau, Paris, sowie die meisten Lehrbücher über Turbinen.

Litteratur.

a. Selbständige Schriften.

- F. Redtenbacher. Die Luftexpansionsmaschine. Mannheim 1853.
 H. Boëtius. Die Ericsson'sche kalorische Maschine und Lenoir's Gasmaschine. Hamburg 1861.
 A. Musil. Die Motoren für Kleingewerbe. Vortrag. Klagenfurt 1875.
 G. Kosak. Katechismus der Einrichtung und des Betriebes der Motoren für Kleinindustrie. Wien 1877.
 A. Musil. Die Motoren für das Kleingewerbe. Braunschweig 1878.
 P. Heil. Die wichtigsten Kleinkraftmaschinen. Braunschweig 1878.
 E. Brauer und A. Slaby. Versuche über Leistung und Brennmaterialverbrauch von Kleinmotoren. Heft I. Berlin 1879.
 F. W. Bork. Die Kraftmaschine für das Kleingewerbe und ihre Prüfung auf Leistungsfähigkeit und Betriebskosten auf der Fachausstellung von Kraft- und Arbeitsmaschinen zu Erfurt. Berlin 1880.

b. Abhandlungen in Zeitschriften.

- Die Luftmaschine von Shaw. *Mechan. magazin*. Vol. 61. S. 98. 1854.
- Tresca. Expériences sur une machine à air chaud d'Ericsson. *Annales du Conservatoire des arts et métiers*. Vol. 1. S. 832. 1861.
- Theorie der Lenoir'schen Gasmaschine von G. Schmidt. Vortrag. *Zeitschr. des österr. Ing.- u. Arch.-Ver.* Heft IV u. V. S. 85. 1861.
- Cazin. Théorie élémentaire des machines à air chaud. *Annales du Conservatoire des arts et métiers* Vol. V. S. 651. 1864.
- Roper's Heißluftmaschine von G. Delabar. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 178. S. 249. 1865.
- Tresca. Expériences sur une machine à air chaud de Belou. *Bull. de la soc. d'encourag.* S. 9. 1867.
- Ziembinski. Zur Theorie der Gasmaschinen. *Civiling.* S. 147. 1868.
- Delabar. Mitteilungen über die neuesten Fortschritte bezüglich der Dampf-, Gas- und Heißluftmaschinen. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 194. S. 1—14, 169—188, 257—284 u. 361—388. 1869.
- Leclert. Théorie élémentaire de la machine à air. *Ann. du génie civil.* S. 769. 1871.
- G. Schmidt. Theorie der Lehmann'schen Heißluftmaschine. *Zeitschr. des Ver. Deutsch. Ing.* S. 1 u. 97. 1871.
- Air engines. *Engng.* Vol. 19. S. 200, 241, 287, 355, 417 u. 504. 1875.
- Wüst. Neuere Luftmaschinen. *Zeitschr. des Ver. Deutsch. Ing.* S. 407. 1877.
- Hock's Heißluftmaschine. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 225. S. 227. 1877.
- Machine à air chaud de Rider. *Ann. du génie civil.* S. 113. 1877.
- A. Slaby. Der geräuschlose Otto'sche Gasmotor. Vortrag. *Verh. d. Ver. zur Bef. d. Gewbfl. in Preussen.* Sitzungsbericht. S. 46. 1878.
- A. Slaby. Zur Theorie der geschlossenen Luftmaschinen. *Verh. d. Ver. zur Bef. d. Gewbfl. in Preussen.* S. 375. 1878.
- A. Slaby. Die Kleinmotoren auf der Pariser Weltausstellung 1868. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 230. S. 289 u. 373. 1878.
- Die Gasmaschine von Bisschop. *Revue ind.* S. 351. 1878.
- Stenberg's Heißluftmaschine. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 228. S. 391. 1878.
- A. Slaby. Theorie der Heißluftmaschine von Rennes. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 231. S. 119. 1879.
- A. Slaby. Neuere Gasmaschinen (Simon u Bisschop). Vortrag. *Verh. d. Ver. zur Beförderung d. Gewbfl. in Preussen.* Sitzungsbericht. S. 38. 1879.
- A. Slaby. Neuerungen an Luft- und Gasmaschinen. *Dingl. polyt. Journ.* Bd. 236. S. 1. 1880.
- A. Slaby. Die Kleinmotorenfrage und ihr augenblicklicher Standpunkt. Vortrag gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Ingenieure in Köln am 25. August 1880. *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* S. 497. 1880.
- R. Schöttler. Über die Heißluftmaschine von Rider. *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* S. 633. 1881.
-