

Die Verbrennungsmaschinen.

Von Dr. A. Witt, Berlin-Friedenau.

A. Einleitung.

Schon am Ende des 18. und besonders in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Versuche gemacht, die bei der Verbrennung von Gasluftgemischen in einem Zylinder entstehenden hochgespannten heißen Verbrennungsgase zum Antriebe von Maschinen zu verwenden. Erst 1860 gelang es Lenoir, eine brauchbare *Gasmaschine* zu konstruieren. Seine Maschine ist der doppeltwirkenden Dampfmaschine nachgebildet. Während des ersten Teiles eines jeden Hubes wirkt die in dem Schwungrade aufgespeicherte lebendige Kraft treibend auf den Kolben und saugt durch diesen ein Gemisch aus brennbarem Gas und Luft an, das alsdann durch eine elektrische Zündvorrichtung zur Entzündung gebracht wird, wodurch die Spannung auf 5—6 Atmosphären steigt. Die heißen Druckgase leisten im Zylinder durch Expansion Arbeit, bis kurz vor Beendigung des Hubes der Auslaßkanal durch einen Schieber freigelegt wird, so daß die Gase ins Freie entweichen können. Zur Verhinderung schädlicher Erwärmung wird der Zylinder mit einem Wassermantel gekühlt. Auf der anderen Seite des Kolbens findet derselbe Vorgang statt, nur mit dem Unterschied, daß, während auf einer Seite Ansaugen und Verbrennen eintritt, auf der anderen das Ausschieben der expandierten Verbrennungsgase vor sich geht. Im Anfang bürgerte sich diese Maschine sehr gut ein, jedoch änderte sich dies bald, da sich herausstellte, daß sie nicht, wie angegeben, für die effektive Pferdestärkenstunde 0,5 cbm Leuchtgas, sondern deren 3 verbrauchte, wozu noch ein sehr starker Schmierölverbrauch kam. Ein weiterer Übelstand war der, daß sie bei jedem Versagen der Zündung, das nicht selten erfolgte, sofort stehenblieb. Der Bau der Lenoir-Maschine wurde wegen dieser Übelstände bald aufgegeben.

Kurze Zeit darauf erregte 1867 die atmosphärische Gasmaschine der deutschen Firma Otto & Langen in der Pariser Weltausstellung großes Aufsehen. Bei dieser Maschine wird ähnlich wie bei der atmosphärischen Dampfmaschine der Druck der Treibgase dazu benutzt, einen Unterdruck herzustellen. Als eigentliche treibende Kraft wirkt dann der Druck der äußeren Atmosphäre. Durch die Explosion des Gasluftgemisches wird ein in einem stehenden Zylinder frei beweglicher Kolben in die Höhe geworfen, der emporsteigt, bis seine lebendige Kraft aufgezehrt ist. Hierbei entsteht unter dem Kolben ein Unterdruck, so daß der äußere Luftdruck den Kolben niederdrückt, der nunmehr mittels eines Gesperres mit der Maschinenwelle gekuppelt wird. Diese Maschine war bedeutend wirtschaftlicher als die Maschine von Lenoir, denn sie verbrauchte für die effektive Pferdestärkenstunde nur 0,8 cbm Gas. Aber auch sie war nicht frei von Mängeln; einerseits war ihr Betrieb mit großem Geräusch verbunden, andererseits wurden ihre Abmessungen bei größeren Leistungen sehr groß. Trotzdem fand sie für das Kleingewerbe große Verbreitung, bis 1878 dieselbe Firma die *Viertaktmaschine* auf den Markt brachte, die wohl die bedeutsamste

bisher im Gasmaschinenbau gemachte Erfindung ist. Drei Merkmale sind es, durch die diese Maschine sich von den vorhergehenden unterscheidet, nämlich:

1. das Gasluftgemisch wird vor der Entzündung verdichtet,
2. die Entzündung findet im Totpunkte statt, und
3. die Maschine dient während eines Hin- und Herganges als Verdichtungspumpe für das Gasluftgemisch.

Wenngleich das Viertaktsystem an sich schon von dem Eisenbahningenieur Beau de Rochas 1862 beschrieben worden war, muß Otto doch das Verdienst bleiben, diese Idee praktisch verwirklicht zu haben.

Wenige Jahre später wurden schon Versuche gemacht, die Viertaktmaschine dadurch in eine Zweitaktmaschine umzuwandeln, daß die Ladung durch eine besondere Pumpe komprimiert und in den Zylinder gedrückt wird. Auch entstanden in jener Zeit die Maschinen, bei denen mit Benzin und Petroleum karburierte Luft als Betriebsstoff angewendet wird. Ferner fallen in diese Zeit die Versuche Daimlers, Gewicht und Größe der Motoren durch Anwendung eines sehr reinen Gasgemisches sowie durch Einführung einer sehr hohen Umdrehungszahl der Kurbelwelle beträchtlich zu verringern. Immer noch wurden aber die Gasmaschinen nur für kleine Leistungen gebaut. Noch 1894 galt eine Gasmaschine von 160 PS für etwas Außergewöhnliches. Aber auch dies änderte sich bald durch die Nutzbarmachung der Hochofen- und Koksofengase sowie durch die Anwendung der Generator- und Kraftgase, wodurch die Industrie der Großgasmaschinen geschaffen wurde. Schließlich sei noch die Gleichdruckmaschine erwähnt, um deren Ausbildung sich besonders Diesel (1897) verdient gemacht hat. In allerneuester Zeit wird auch an der Schaffung einer brauchbaren Gasturbine lebhaft gearbeitet.

Allgemeines.

Im Gegensatz zu den Dampfmaschinen werden bei den Gasmaschinen die in den Brennstoffen schlummernden Wärmemengen erst an den Stellen geweckt, an denen sie in nutzbringende Arbeit umgesetzt werden sollen, nämlich im Innern des Arbeitszylinders. Es werden also bei der Gasmaschine die heißen Verbrennungsgase unmittelbar zur Arbeitsleistung verwendet, während sie bei der Dampfmaschine erst zur Erzeugung eines Zwischenmittels, des Dampfes, dienen. Schon hieraus geht hervor, daß die Gasmaschine in wärmetechnischer Hinsicht vorteilhafter arbeiten muß; denn alle Verluste, die in der Dampfmaschine bei der Erzeugung und Fortleitung des Dampfes entstehen, fallen bei ihr fort. Ferner läßt sich durch gasförmige Brennstoffe eine viel vollkommene Verbrennung im Zylinderinnern erreichen als durch die zur Kesselfeuerung gewöhnlich benutzten festen Brennstoffe.

Die für den Betrieb der Verbrennungsmaschinen dienenden Gase werden entweder vorhandenen Gasanstalten entnommen oder in eigens für die Maschinen bestimmten Anlagen erzeugt oder als Nebenprodukt gewonnen. Vorzugsweise werden benutzt: Steinkohlengas (Leuchtgas), Kraftgas (Dowsongas, Generatorgas), Hochofengichtgas und Koksofengas, Braunkohlen- und Torfgas. Azetylen findet nur vereinzelt für kleinere Maschinen Verwendung.

Bei allen Verbrennungsmaschinen wird jetzt das Gasgemisch vor der Zündung verdichtet, wodurch die Arbeitsfähigkeit des Gases besser ausgenutzt wird, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht. Zwei Mengen eines explosibeln Gasgemisches von gleicher Zusammensetzung und gleichem Gewicht seien in Gefäße von 2 und 1 Liter Inhalt eingeschlossen, derart, daß in dem größeren eine Spannung von 1 Atmosphäre, in dem kleineren eine Spannung von 2 Atmosphären vorhanden ist. Entzündet man diese Gasgemische, dann wird in beiden Gefäßen annähernd dieselbe Drucksteigerung stattfinden, die etwa das Zehnfache betragen möge, so daß die Spannung im größeren Gefäß 10 Atmosphären, im kleineren 20 beträgt. Nimmt man an, daß die Verbrennungsgase in beiden Fällen sich unter Arbeitsverrichtung bis zu 1 Atmosphäre ausdehnen, so ist klar, daß das kleinere Volumen um so viel mehr Arbeit leisten kann, als bei der Expansion von 20 auf 10 Atmosphären entsteht. Von dieser Mehrarbeit würde nur die verhältnismäßig geringe

Arbeit abzuziehen sein, die vor der Entzündung zur Verdichtung des Gasgemisches von 1 auf 2 Atmosphären erforderlich war. Durch die Verdichtung wird das Gasluftgemisch auch zündfähiger; denn trotzdem sich Gas und Luft sehr gut miteinander mischen, ist es doch bei der geringen, hierfür zur Verfügung stehenden Zeit sehr leicht möglich, daß die Mischung die gewünschte Vollkommenheit nicht erreicht. Dieser Mangel wird durch die Verdichtung beseitigt, welche die einzelnen Gas- und Luftteilchen eng aneinander bringt, so daß sich die Zündung rascher von einem Teilchen zum anderen fortpflanzt. Infolgedessen können auch stärker verdünnte Gasgemische angewendet werden, was ein Sinken der Anfangstemperatur und damit der durch das Kühlwasser abgeführten Verlustwärme nach sich zieht. Schließlich geht die Verpuffung des verdichteten Gemisches in einem kleineren Raume vor sich als die des unverdichteten, wodurch wegen der kleineren Wandungsfläche die schädliche Wärmeableitung durch die Wandung herabgemindert wird.

Wesentlich für die Zündfähigkeit des Gases ist das richtige Mischungsverhältnis von Luft und Gas, das sich nach dem Heizwert des Gases richtet, d. h. nach der Wärmemenge, die 1 cbm Gas bei vollständiger Verbrennung entwickelt. Vgl. die nachstehende Tabelle.

Bezeichnung des Gases	Mischungsverhältnis in Raumteilen Gas : Luft	Gebräuchliche Verdichtungsspannung in Atmosphären	Verpuffungsspannung in Atmosphären
Leuchtgas	1:6—1:7	3—4	12—18
Koksofengas			
Fettgas	1:1—1:2	8—12	15—22
Kraftgas			
Gichtgas			

Der Gasverbrauch ist abhängig von dem Heizwert des Gases und von der Maschinengröße. Er wird angegeben für die indizierte oder die effektive Leistung, und zwar in Kubikmetern für 1 Pferdestärke und für 1 Stunde. Bezogen auf die effektive Leistung beträgt der Gasverbrauch bei Maschinen von ungefähr 5—100 Pferdestärken für Leuchtgas 0,68—0,35, Koksofengas 1—0,75, Fettgas 0,35—0,3, Kraftgas 3,6—2,3, Gichtgas 3,8—2,8 cbm. Diese Angaben gelten für annähernd volle Belastung der Maschinen. Bei abnehmender Beanspruchung wächst der Gasverbrauch.

Neben den gasförmigen Brennstoffen finden auch flüssige Brennstoffe, wie Petroleum, Benzin, Spiritus, Paraffinöl usw., Verwendung, die jedoch vor der Verbrennung verdampft werden; hierauf vollzieht sich der Kreisprozeß in der Maschine ebenso wie bei den mit gasförmigen Brennstoffen betriebenen Maschinen. Der Verbrauch beträgt an Petroleum 0,55—0,2 Liter, an Benzin 0,35 bis 0,25 Liter, an Rohspiritus 0,5—0,42 Liter für jede effektive Pferdestärke und Stunde.

Nach Vorstehendem verbraucht eine kleine Gasmaschine für die effektive Stundenpferdestärke etwa 0,6 cbm Leuchtgas. Wird der Heizwert des Leuchtgases zu 5000 WE angenommen, so sind das $0,6 \cdot 5000 = 3000$ WE. Andererseits entspricht aber eine Stundenpferdestärke einer Wärmemenge von 637 WE. Beides verglichen, ergibt einen thermischen Wirkungsgrad $\frac{637}{3000} = 0,212 =$ rund 21 Proz.

Es wird also etwa $\frac{1}{5}$ der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge in Arbeit umgesetzt, während der Rest verloren geht. An sich ist diese Wärmeausnutzung ungünstig, aber im Vergleich mit den Dampfmaschinen, bei denen etwa 10—17 Proz. der im Brennstoff aufgespeicherten Wärme in Arbeit umgesetzt werden, ist sie als gut zu bezeichnen. Denn der vorstehend berechnete Wirkungsgrad bezieht sich auf kleine Gasmaschinen und stellt sich bei den großen bedeutend besser. Wenn es trotzdem der Gasmaschine nicht gelungen ist, die Dampfmaschine aus dem Felde zu schlagen, so liegt das daran, daß der Erwerber der Maschine nicht nach deren thermischen Wirkungsgrade fragt, sondern danach, wie hoch die Kosten für die effektive Stundenpferdestärke sind. Hierin ist aber die Gasmaschine der Dampfmaschine nur für kleine Leistungen überlegen; bei größeren Leistungen ist, abgesehen von dem Betriebe mit Kraftgasanlage, Gicht- und Koksofengasen, die Dampfmaschine vorteilhafter. Die beiden letztgenannten Gasarten wurden früher zur Beheizung von Dampfkesseln verwendet; bei ihrer unmittelbaren Ausnutzung in Großgasmaschinen hat sich herausgestellt, daß zur Erzielung derselben Leistung nur der dritte Teil der Gase

aufgewendet zu werden braucht, der sonst zur Beheizung der Dampfkessel verbraucht wird. Es ist also hier die Aufstellung von Gasmaschinen bedeutend vorteilhafter als die von Dampfmaschinen.

Da die Gasmaschine der Dampfmaschine für kleine Leistungen überlegen ist, ist sie besonders für Kleinbetriebe geeignet. Ein weiterer Vorteil liegt in den niedrigeren Anschaffungskosten. Nicht nur fällt die gesamte Kesselanlage fort, auch der Raum für diese sowie der Heizer werden gespart. Ferner ist sie stets betriebsbereit; ein Dampfkessel, der erst angeheizt werden müßte, ist nicht vorhanden, wenige Handgriffe genügen, um sie in und außer Betrieb zu setzen. Betriebspausen werden bei ihr weniger störend empfunden als bei der Dampfmaschine, da der hierbei entstehende Wärmeverlust nahezu Null ist. Andererseits ist ein Nachteil der Gasmaschine, daß sie ohne besondere Hilfsmittel nicht anläuft. Viel wichtiger und oft für die Wahl zwischen Gasmaschine und Dampfmaschine ausschlaggebend ist der Umstand, daß die Leistung der ersteren nicht annähernd in gleichem Maße steigerungsfähig ist wie die der letzteren. Bei einem vorübergehend größeren Kraftverbrauch als normal oder bei einer Betriebsvergrößerung ist bei der Dampfmaschine eine Erhöhung der Leistung in weiten Grenzen sehr einfach durch Vergrößerung der Zylinderfüllung zu erreichen. Bei der Gasmaschine ist dagegen nur eine verhältnismäßig geringe Steigerung der Leistung möglich. Schließlich erfordert die Gasmaschine trotz ihrer Einfachheit wegen der hohen Temperaturen, die in ihr vorkommen, eine sorgfältigere und sachgemäßere Bedienung.

Hinsichtlich der Bezeichnung und Einteilung der Verbrennungsmaschinen sind die mannigfaltigsten Vorschläge gemacht worden. Am einfachsten erscheint das nachstehende, von v. Ihering aufgestellte Schema.

A. Maschinen mit hin und her gehendem Arbeitsaufnehmer oder Hubmaschinen.

I. Verpuffungsmaschinen.

1. Viertaktmaschinen.

- a) ohne Verdichtung der Ladung,
- b) mit Verdichtung der Ladung.

2. Zweitaktmaschinen.

3. Sechstaktmaschinen.

II. Gleichdruckmaschinen.

1. Viertaktmaschinen.

2. Zweitaktmaschinen.

B. Maschinen mit umlaufendem Arbeitsaufnehmer oder Kreiselmotoren.

I. Verbrennungsmaschinen mit einem oder mehreren umlaufenden Kolben.

II. Verbrennungsturbinen.

Von diesen Maschinen haben die weitaus größte Bedeutung die Hubmaschinen, und es sei daher im wesentlichen nur auf diese eingegangen.

Das gebräuchlichste Arbeitsverfahren ist der in den Fig. 194—202 erläuterte *Viertaktprozeß*, bei dem während zweier Kolbenhin- und -hergänge nur innerhalb eines einzigen Kolbenhinganges Arbeit auf den Kolben übertragen wird. Die vollständige Arbeitsperiode einer Zylinderseite der *Viertaktmaschine* verlangt also zwei Kurbelumdrehungen. Während des ersten Taktes, des Saughubes, bewegt sich der Kolben durch die Wirkung des Schwungrades in der Pfeilrichtung (Fig. 195) und saugt durch das Einlaßventil, das durch die Saugwirkung oder eine mechanische Steuerung geöffnet wird, das Gasgemisch an, bis der Zylinder damit gefüllt ist (Fig. 196). Der vor Anfang des Saughubes zwischen Kolben und Zylinderboden befindliche Raum wird Laderaum der Maschine genannt. Er ist, wenn sich das Einlaßventil öffnet, mit heißen Auspuffgasen gefüllt, die einerseits das anzusaugende Gemisch verdünnen, es andererseits aber erwärmen und hierdurch eine innigere Mischung und Verbesserung der Zündfähigkeit bewirken. Im Diagramm (Fig. 194) ist dieser Takt durch die Linie 1—2 versinnbildlicht. Bei dem nun folgenden zweiten Takte, dem Kompressionshube, sind Ein- und Auslaßventil geschlossen, so daß das eingeschlossene Gasgemisch von dem durch das Schwungrad rückwärts getriebenen Kolben komprimiert wird (s. Fig. 197 und 198 und im Diagramm Linie 2—3). Wie auseinandergesetzt, ist eine hochgetriebene Verdichtung für den Wirkungsgrad der Maschine

von großem Vorteil, doch darf diese nicht so weit getrieben werden, daß infolge der Kompressionswärme eine vorzeitige Selbstentzündung eintritt, da der hierdurch hervorgerufene heftige Stoß auf das Maschinengestänge dem Kolben entgegenwirkt und sogar zu einer Zerstörung der Maschine führen kann. Verdünntere Gasgemische und Brennstoffe von geringerem Heizwert erfordern höhere Verdichtung, die durch geeignete Bemessung des Laderaumes erreicht wird.

Der dritte Takt (Fig. 199 und 200) wird durch die im inneren Totpunkt erfolgende Entzündung des Gasgemisches eingeleitet; diese findet entsprechend der Kolbengeschwindigkeit und der Zündfähigkeit des Gemisches schon etwas vor dem inneren Hubwechsel statt, um rechtzeitige Spannungssteigerung zu bewirken. Die Verbrennung erfolgt zwar rasch, aber nicht explosionsartig und wird daher auch besser nicht als Explosion, sondern als *Verpuffung* bezeichnet. Wie aus der die Verbrennung darstellenden Linie 3—4 des Diagramms (Fig. 194) hervorgeht, erfolgt die Verbrennung nicht in unmeßbar kurzer Zeit; denn diese Linie ist ein wenig nach rechts geneigt, deutet also an, daß während des Verbrennungsvorganges eine Volumenvergrößerung stattgefunden hat, daß also eine wenn auch nur sehr kleine Zeit hierbei verstrichen ist. Gleichzeitig mit der Verpuffung tritt eine erhebliche Erhöhung der Spannung ein und im Anschluß hieran eine Expansion der heißen Verbrennungsgase (Linie 4—5 des Diagramms), bis kurz vor dem äußeren Totpunkte 6 bei 5 der Auspuff geöffnet wird. Der dritte Takt ist der einzige während des ganzen Verfahrens, bei dem Arbeit geleistet wird. Während des vierten Taktes (Fig. 201—202 und Linie 6—1 im Diagramm) tritt schon wieder die lebendige Kraft des Schwungrades in Tätigkeit und schiebt die expandierten Gase durch das geöffnete Auslaßventil in die Auspuffleitung.

Die Viertaktmaschinen werden meist einfachwirkend ausgebildet. Dieses und der Umstand, daß auf zwei Umdrehungen der Kurbelwelle nur während eines Kolbenhinganges eine Kraftwirkung auf den Kolben ausgeübt wird, haben zur Folge, daß sich während der übrigbleibenden $1\frac{1}{2}$ Umdrehungen der Kurbelwelle der Gang der Maschine verlangsamt. Diesem Übelstande begegnet man durch die Anordnung entsprechend schwerer Schwungräder sowie durch die Vereinigung mehrerer auf eine Kurbelwelle arbeitender Viertaktmaschinen derart, daß deren Arbeitshübe gegeneinander versetzt sind.

Gleichmäßiger gestaltet sich der Gang bei den *Zweitaktmaschinen*, bei denen die vollständige Arbeitsperiode einer Zylinderseite nur eine Kurbelumdrehung, also zwei Kolbenhübe, erfordert. Der Zweitakt kann als ein auf mehrere Zylinder verteilter Viertakt angesehen werden, bei dem das Ansaugen und Vorverdichten (oder auch die volle Verdichtung) von Gas und Luft bzw. des Gemisches in einer getrennten Pumpe, der Ladepumpe, erfolgt. Nach der Zündung findet wie beim Viertaktverfahren eine Expansion statt, worauf kurz vor Erreichung des Totpunktes der Auspuff geöffnet wird. Gleichzeitig wird in den Zylinder unter Überdruck reine Luft (*Spül- oder Fegeluft*) geleitet, welche die Verbrennungsprodukte austreibt. Hinter dieser Luft tritt meist durch dasselbe Ventil das verdichtete Gemisch in den Zylinder; es wird durch den zurückkehrenden Kolben weiter verdichtet und in den Laderaum geschoben, in dem hierauf die Entzündung stattfindet. Diese Maschine ergibt dem Viertakt gegenüber bei doppeltem Gasverbrauch eine 75—95 Proz. höhere Leistung, läuft aber langsam und ist in der Ausführung teurer.

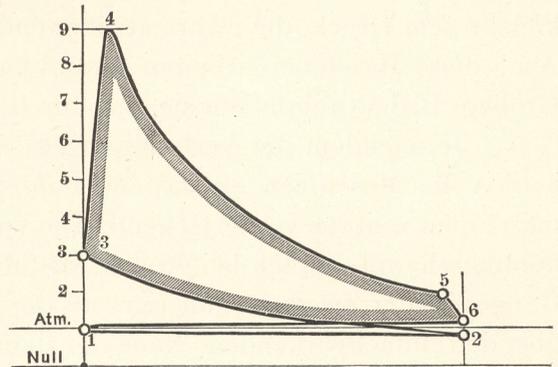


Fig. 194. Diagramm der Viertaktmaschine.

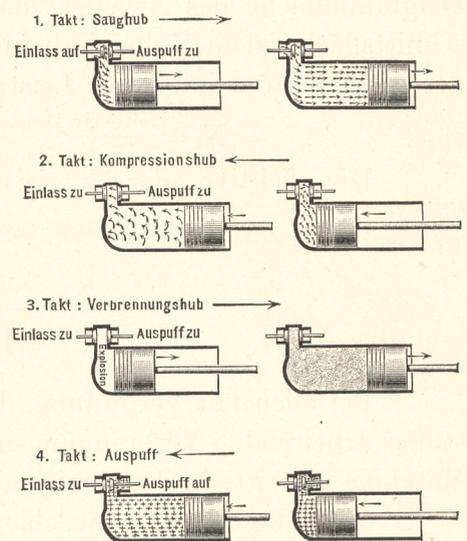


Fig. 195—202. Arbeitsverfahren der Viertaktmaschine.

Weniger gebräuchlich als Vier- und Zweitakt ist der *Sechstakt*. Von dem Viertakt unterscheidet sich dieser nur durch Hinzufügung zweier weiterer Takte, während welcher reine Luft angesaugt und wieder ausgetrieben wird. Zweck der letzten beiden Takte ist eine möglichst vollkommene Austreibung der Verbrennungsprodukte, die jedoch durch einen ungleichmäßigen Gang der Maschinen erkauft wird, weshalb diese Maschinen auch nur selten anzutreffen sind.

Während bei allen vorstehend beschriebenen Arbeitsverfahren die Verbrennung bei konstantem Volumen vor sich geht, ist das Merkmal der *Gleichdruckmaschine* eine Verbrennung bei konstantem Druck, die während einer endlichen meßbaren, wenn auch nur kleinen Zeit stattfindet. Auch diese Maschinen arbeiten sowohl nach dem Viertakt- als auch nach dem Zweitaktverfahren. Größere Bedeutung haben sie erst durch den Dieselmotor erlangt.

Je nachdem die Verbrennungsgase nur auf einer oder beiden Kolbenseiten Arbeit leisten, heißen die Maschinen *einfach-* oder *doppeltwirkend*. Bis jetzt sind einfachwirkende Viertaktmaschinen weitaus vorherrschend. Die Vorteile des Zweitaktes und der doppeltwirkenden Zylinder kommen hauptsächlich bei großen Ausführungen zur Geltung. Bezüglich der Gleichförmigkeit des Ganges ist der Zweitakt günstiger als der Viertakt, ebenso die doppeltwirkenden Maschinen gegenüber den einfachwirkenden. Nach der Bauart sind zu unterscheiden *liegende* und *stehende* Maschinen, sowie mit Rücksicht auf die Anzahl der Arbeitszylinder *Ein-* und *Mehrzylindermaschinen*.

Die Leistung einer Gasmaschine wird in ähnlicher Weise wie bei der Dampfmaschine bestimmt. Ein mittels des Indikators erhaltenes Diagramm gibt Aufschluß über die einzelnen Vorgänge im Arbeitszylinder. Aus diesem läßt sich ein Mittelwert für den Druck, der während einer Arbeitsperiode auf den Kolben ausgeübt wird, feststellen. Bei den Maschinen, die mit besonderen Ladepumpen arbeiten (Zweitaktmaschinen), werden hierbei vorher deren Diagrammflächen von der Diagrammfläche des Arbeitszylinders abgezogen. Aus dem mittleren Druck, der Kolbenquerschnittsfläche, dem Kolbenhub und der Umdrehungszahl berechnet sich unter Berücksichtigung der Taktzahl die indizierte Leistung N_i der Maschine, und zwar ist

$$N_i = \frac{\text{mittlerer Druck} \times \text{Kolbenquerschnittsfläche} \times \text{Hub} \times \text{Zündungen in der Minute}}{60 \cdot 75}$$

Die effektive oder Nutzleistung kann durch Bremsung ermittelt werden. Das Verhältnis $\frac{\text{effektive Leistung}}{\text{indizierte Leistung}}$ ergibt dann den mechanischen Wirkungsgrad.

B. Die Betriebsstoffe.

Bei allen mit Verpuffung, d. h. mit annähernd augenblicklicher Verbrennung, des Betriebsstoffes arbeitenden Verbrennungsmaschinen muß der Betriebsstoff, bevor er in den Zylinder der Maschine eintritt, in den gasförmigen Zustand übergeführt werden. Der eigentliche Kraftträger ist daher ein brennbares Gas, das mit dem Sauerstoff der Luft ein explosives Gemisch bildet. Derartige Gase kommen schon in der Natur gebrauchsfertig als *Erdgas* vor. Das Erdgas findet sich in großen Mengen als Begleiter von Petroleumlagern hauptsächlich im Kaukasus und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Im Kaukasus wird es schon seit uralter Zeit technisch verwertet, in Amerika wird es außer zu Beleuchtungs- und Heizzwecken besonders im Kraftbetriebe benutzt. In neuerer Zeit sind auch in England und in allerjüngster Zeit auch in Deutschland sehr ergiebige Erdgasquellen erbohrt worden. Das Erdgas besteht zu ungefähr 90 Proz. aus leichten Kohlenwasserstoffen und eignet sich besonders für die Verwendung in Kraftmaschinen; in Amerika baut man Maschinen von 500—1000 PS, die mit Erdgas betrieben werden.

Nächst den Naturgasen kommen für den Betrieb der Gasmaschinen und besonders der Großgasmaschinen die als Nebenprodukte bei Hütten- und Steinkohlenwerken entstehenden Gase in Betracht. Es sind dies die *Hochofengichtgase* und die *Koksofengase*. Die aus der Gichtöffnung der Hochöfen abziehenden Gase enthalten etwa 26—30 Volumprozent Kohlenoxyd, kleinere Mengen von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen, 7—10 Proz. Kohlensäure und im übrigen hauptsächlich Stickstoff. Diese Gase wurden schon seit langer Zeit außer zur Erhitzung des Hochofenwindes auch

unter Mischung mit Luft zur Beheizung der Dampfkessel des Hochofenwerkes verwendet; man erkannte jedoch bald, daß sie mit ihrem geringen Heizwert von nur 900—950 WE vorzüglich zur unmittelbaren Krafterzeugung in Gasmaschinen geeignet sind, und daß man bei dieser unmittelbaren Verwendung der Gase als Kraftgas etwa das 2,5—3fache der bei der Dampferzeugung erzielten Leistung kostenlos erhalten kann. Da bei einem Hochofen für jede erzeugte Tonne Roheisen nach Abzug aller Verluste und des Verbrauches für die Winderhitzung noch 2500 cbm Gas für Kraftzwecke übrigbleiben, so ergibt dies für einen Ofen von 150 Tonnen Tagesleistung bei einem Verbrauch von 3 cbm Gichtgas für die Pferdestärkenstunde eine Kraftquelle von rund 5200 PS für Maschinenbetrieb. Hieraus ersieht man ohne weiteres den ungeheuern wirtschaftlichen Nutzen der Großgasmaschinen für die Hüttenwerke.

Um die Gichtgase in den Maschinen benutzen zu können, müssen sie von dem Gichtstaub befreit werden, der ihnen anhaftet. Man unterscheidet den schweren und den leichten Staub. Den schweren, der aus dem Abrieb von Erzen und Zuschlag besteht und etwa 20—30 000 kg im Tage für einen Hochofen beträgt, führt man soviel wie möglich wieder in den Ofen zurück; den leichten, der hauptsächlich Alkalisalze, Zink-

und Manganoxyde und auch Koksstaub enthält, muß man für sich auffangen. Nach der Trockenreinigung enthält 1 cbm Gas noch etwa 7—10 g Staub. Durch nasse Reinigung kann man bequem von 10 auf 1 g, durch vollkommene Reinigung sogar auf 0,1 g zurückkommen. Für die Reinigung der Gase sind Vorrichtungen der verschiedensten Bauart vorgeschlagen worden. In Fig. 203 ist ein derartiger Reiniger dargestellt. Die Gase gelangen aus dem Ofen 1 durch zwei Rohre 2 in den Trockenreiniger 3, in dem sich der schwere Staub absetzt. Von hier aus werden sie durch ein Rohr 4 in den Naßreiniger geführt, der aus drei Einzelreinigertürmen 5 besteht. Die Gase werden durch Rohre 7 in den untersten Teil jedes Reinigers geführt und steigen, entgegen einem von oben kommenden Wasserstrom, durch Holzeinlagen nach oben, wo sie schließlich durch ein Rohr 8 mit Wasserverschluß 11 abgeführt werden. Das Rohr 8 ist durch ein Rohr 9 mit dem Schleudergebläse 10 verbunden, welches das Gas in die Maschine drückt. Der Staub wird den trichterförmigen unteren Enden der Kühltürme entnommen und mittels in die Räume 6 gebrachter Wagen fortgeschafft.

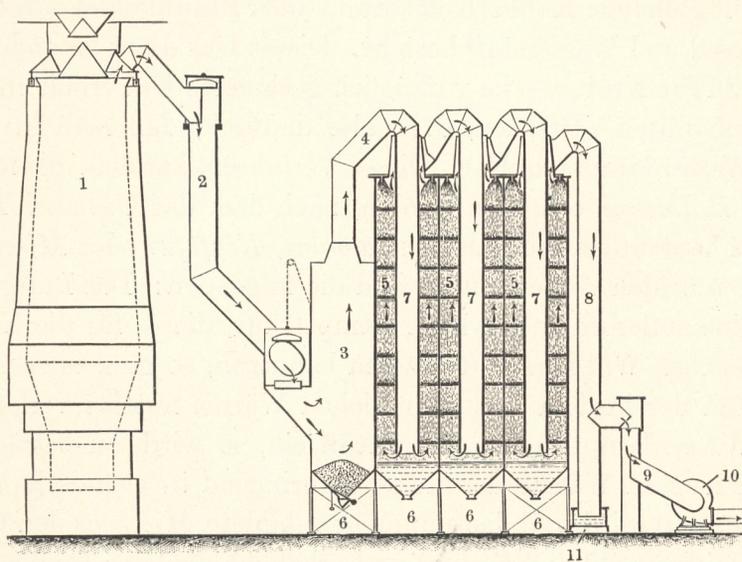


Fig. 203. Reiniger für Gichtgase.

Der Staub wird den trichterförmigen unteren Enden der Kühltürme entnommen und mittels in die Räume 6 gebrachter Wagen fortgeschafft.

Zur künstlichen Herstellung von Gasen für die Verbrennungsmaschinen lassen sich alle in der Natur vorkommenden organischen Stoffe verwenden, aus denen infolge ihrer Zusammensetzung aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff durch Erhitzung brennbare Gase entwickelt werden können. Bis vor kurzem wurde das aus den Steinkohlen durch trockene Destillation hergestellte *Steinkohlengas* oder *Leuchtgas* hauptsächlich für den Betrieb der Gasmaschinen verwendet. Es besteht aus Wasserstoff, leichten und schweren Kohlenwasserstoffen und Kohlenoxyd und hat die Eigenschaft, sich rasch und innig mit der Luft zu verbinden, eine Eigenschaft, auf der besonders die Möglichkeit beruht, das Leuchtgas für Kraftmaschinen zu verwenden. Hierzu kommt noch, daß es, mit Luft im richtigen Verhältnis gemischt, bei der Entzündung augenblicklich verbrennt, d. h. verpufft. Die Höhe der durch die Verpuffung entstehenden Temperatur und Spannung richtet sich nach dem Verhältnis, in dem Luft und Gas gemischt sind. Das beste Mischungsverhältnis ist nach Clerk 1 Teil Gas auf 5 Teile Luft; bei diesem Verhältnis erhält man einen Überdruck von 6,37 Atmosphären, eine Verpuffungstemperatur von 1812° C und eine Verpuffungszeitdauer von 0,055 Sekunde.

Neben den großen Vorteilen, die das Leuchtgas für Kraftzwecke bietet, ist als Übelstand zu nennen, daß die Maschine, in der das Gas verwendet werden soll, stets an die Gasanstalt bzw. die Gasleitung selbst gebunden ist; denn da die Gasbereitung nur im Großbetrieb rentabel ist, bleibt es ausgeschlossen, daß jeder Maschinenbesitzer sich sein Gas selbst bereitet. Eine Verwendung der Gasmaschine als von Ort bewegliche Maschine war daher unmöglich.

Aus dem Bestreben, diese Abhängigkeit zu beseitigen, kam man zu der Erfindung des *Generatorgases*, eines Gases, das im Kleinbetrieb hergestellt und dem Leuchtgas in bezug auf Kraftzwecke ebenbürtig an die Seite gestellt werden kann. — Erhitzt man Kohle und leitet in die glühende Masse Luft in genügender Menge, so entsteht Kohlensäure, ein nicht brennbares Gas. Ist aber der Zutritt der Luft ein ungenügender, so entsteht das sauerstoffärmere, giftige, aber brennbare Kohlenoxydgas, das für Kraftzwecke verwendbar ist. Man nennt dieses Gas auch *Luftgas* oder *Siemensgas*. Wegen der hohen Temperatur, mit der es aus dem Erzeuger kommt, und wegen seines geringen Heizwertes (nur etwa 800 WE auf 1 cbm) ist es aber für Kraftzwecke wenig geeignet. Als Ersatz dafür diente das *Wassergas*, das durch Einwirkung von Wasserdampf auf glühende Kohle (Koks, Stein- oder Braunkohle) dargestellt wird und hauptsächlich aus Kohlenoxyd und Wasserstoff besteht. Dieses Gas dient besonders zur Heizung, seltener zu Kraftzwecken. Ein für Kraftzwecke vorzüglich geeignetes Gas erhält man durch die Vereinigung der beiden vorgenannten Verfahren, d. h. also dadurch, daß man in die glühende Kohle sowohl Luft als auch Wasserdampf einbläst. Dieses Verfahren, auf dem alle modernen Generatorenbetriebe beruhen, ist von *Dowson* erfunden worden, nach dem das Gas auch *Dowsongas* genannt wird. Man bezeichnet es heutzutage kurz als *Generatorgas*, *Kraftgas* oder *Mischgas*. Die Vorteile dieses Gases gegenüber den beiden vorgenannten sind die folgenden: Das Luftgas hat, wenn es aus dem Erzeuger kommt, eine außerordentlich hohe Temperatur, die es für die Verwendung in Kraftmaschinen ungeeignet macht. Will man es trotzdem benutzen, so muß es energisch abgekühlt werden, wobei ein großer Teil der in dem Gas befindlichen Wärme nutzlos verloren geht. Führt man dagegen auch noch Wasserdampf in den Brennstoff ein, so wird ein beträchtlicher Teil der bei der Luftgasbildung erzeugten Wärme dadurch nutzbringend in chemische Energie umgesetzt, daß der Wasserdampf zersetzt wird und das nunmehr gebildete *Mischgas* den Gaserzeuger mit einem wesentlich höheren Heizwert (1400 WE/cbm) und erheblich niedrigerer Temperatur verläßt (nicht mehr als 500°). Auch der Gehalt des Gases an Wasserstoff bietet für die Verwendung in Kraftmaschinen verschiedene Vorzüge. So liegt z. B. die Entzündungstemperatur des Wasserstoffes bedeutend niedriger als die des Kohlenoxyds; die Verpuffungsgeschwindigkeit ist bei Außenluftdruck für Wasserstoff 30mal größer als für Kohlenoxyd, auch ist die Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserstoffes erheblich größer als die des Kohlenoxyds usw. Vor allem kommt aber hinzu, daß die Generatoren verhältnismäßig einfach und kompensiös sind, so daß sie überall ohne allzu große Kosten erbaut werden können, bei erhöhter Rentabilität des Einzelbetriebes. Der Generator kann unmittelbar neben der Maschine errichtet werden, so daß lange Rohrleitungen vermieden werden; seine Wartung ist sehr einfach. Schließlich kann jede Art von organischen Stoffen in den Generatoren verwendet werden. — Das Kraftgas ist ein farbloses, fast geruchloses, sehr giftiges Gas, das angezündet mit nichtleuchtender bläulicher Flamme verbrennt. Die Wärmeausnutzung bei der Herstellung ist eine ganz vorzügliche, da sich von dem Wärmevermögen des im Generator verwendeten Brennstoffes gegen 85 Proz. in dem erzeugten Gase wiederfinden, während das Wärmevermögen des Leuchtgases im Mittel nur 20 Proz. des Wärmevermögens der vergasteten Kohle beträgt. 1 kg Anthrazit liefert 4,5 cbm Kraftgas mit einem mittleren Heizwert von etwa 1300 WE/cbm. Bei dem aus Koks hergestellten Gas beträgt der Heizwert nur etwa 1100 WE/cbm. Die Kraftgaserzeugung stellt sich nicht nur bei kleinen, sondern auch bei großen Anlagen billiger als eine entsprechende Dampfkesselanlage.

Gasgeneratoren.

Die Erzeugung des Gases erfolgt in Druckgas- oder in Sauggasgeneratoren. In den *Druckgasgeneratoren* können nur Anthrazit und Koks vergast werden, bei den *Sauggasgeneratoren*

auch andere Brennstoffe, sobald durch die Bauart und Einrichtung des Generators dafür gesorgt wird, daß die schweren Kohlenwasserstoffe, die teer- und paraffinhaltigen Bestandteile den Generator in gasförmigem Zustande verlassen. Der Unterschied zwischen den beiden Erzeugungsarten besteht darin, daß bei dem Druckgasgenerator die Verbrennungsluft mittels eines Dampfstrahles in den Generator *hineingedrückt* wird, während sie bei dem Sauggasgenerator durch die Gasmaschine bei jedem Saughub in den Generator *hineingesaugt* wird.

Fig. 204 zeigt einen Druckgasgenerator der *Gebr. Körting*. Der Generator 1 ist ein Schacht-ofen, der unten mit einem Planrost und oben mit einem Fülltrichter mit Doppelverschluß versehen ist. Der Dampf wird im Dampfkessel 2 erzeugt und durch Rohr 3 zu dem Injektor 4 geführt, der die erforderliche Luft aus dem Luftvorwärmer 8 ansaugt und sie unter den Rost drückt. Luft und Dampf dringen durch die glühende Anthrazit- oder Koksschicht im Generator, wobei das Kraftgas gebildet wird. Das Gas verläßt den Ofen durch Rohr 5, das durch den Luftvorwärmer 8 und den Speisewasservorwärmer 9 geführt ist und unten in den Skrubber oder Rieseler 11 einmündet. Der Skrubber zum Reinigen des Gases besteht aus einem Blechzylinder, in dem sich auf einem Rost eine hohe Koksschicht befindet. Diese wird von oben mit Wasser berieselt, während das Gas in den teilweise mit Wasser gefüllten Unterteil des Skrubbers eintritt und die Koksschicht von unten nach oben durchstreicht, wobei es gleichzeitig gereinigt und gekühlt wird; schon in den beiden Vorwärmern hatte es einen Teil seiner Wärme abgegeben. Aus dem Skrubber gelangt

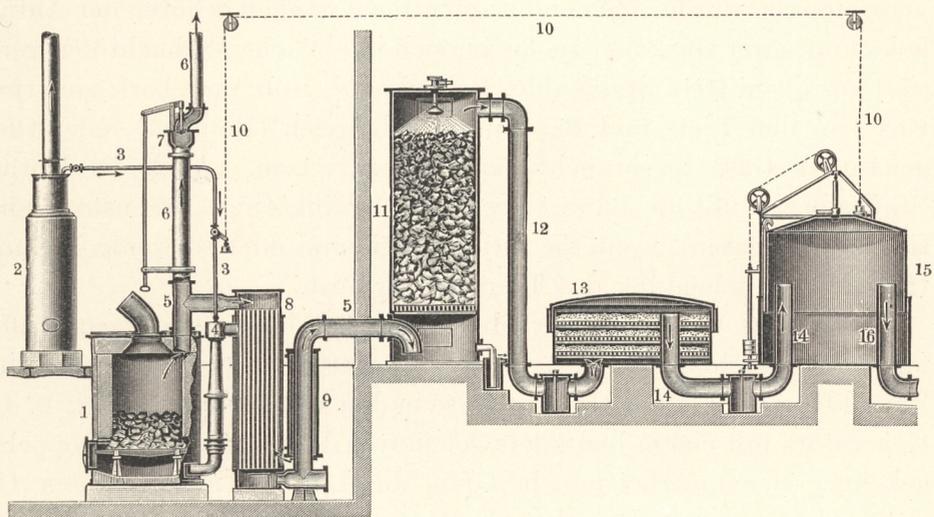


Fig. 204. Druckgasgenerator.

das Gas durch Rohr 12 in den Sägespänsreiniger 13, in den es von unten eintritt. Es durchstreicht in diesem mehrere auf Gittern ausgebreitete Sägespänschichten und gelangt schließlich durch Rohr 14 in den Gasdruckregler 15, aus dem es durch Rohr 16 zur Maschine geführt wird. Der Regler ist ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in das eine oben geschlossene Glocke hineingehängt ist, die je nach dem Gasdruck mehr oder weniger tief eintaucht. Das Auf- und Abbewegen der Glocke wird zur Regelung der Gaserzeugung benutzt, indem mittels eines Kettenzuges 10 ein in der Dampfleitung 3 angeordnetes Drosselventil mehr oder weniger geschlossen und dadurch die Luft- und Dampfzuführung zum Generator geregelt wird. Beim Inbetriebsetzen des Generators läßt man die zunächst entstehenden, zum Motorbetrieb unbrauchbaren Gase durch Abzugsrohr 6 bei geöffnetem Ventil 7 entweichen. Dann wird letzteres geschlossen, und die Anlage ist betriebsbereit. Der Hauptnachteil des Druckgenerators ist der, daß er zu seinem Betrieb wieder einen kleinen Dampfkessel erfordert; gerade in dem Fortfall des Dampfkessels bestand aber der Hauptvorteil der Gasmaschine gegenüber der Dampfmaschine. Der Kessel ist gewöhnlich mit Überhitzer versehen und bedarf daher sorgfältiger Wartung; außerdem verbrennt er Kohlen, die auf diese Weise, wie bekannt, sehr unvorteilhaft ausgenutzt werden. Man kam daher darauf, die in dem Skrubber ungenutzt verloren gehende Wärme des Gases zur Dampferzeugung zu benutzen, und verlegte deshalb den Dampferzeuger in den Generator selbst, derart daß die abziehenden heißen Gase den Dampferzeuger umspülten. Gleichzeitig versuchte man, die Gaserzeugung von der Maschinenleistung selbst dadurch abhängig zu machen, daß man den Saugabschnitt der Viertaktmaschine dazu verwendete, die zur Vergasung nötige Luft von der Maschine durch den Gaserzeuger hindurchsaugen zu lassen. Die Vorteile der Sauggeneratoren gegenüber den

Druckgeneratoren sind so erhebliche, daß jene die letzteren wohl bald ganz verdrängen werden. Die Sauganlage ist bedeutend einfacher, da Dampfkessel, Dampfstrahlgebläse, Gasregler und häufig auch der Sägespänerreiner fortfallen. Da ferner in der Anlage stets ein Unterdruck herrscht, so ist die Gefahr des Ausströmens der giftigen Gase sehr gering; denn infolge der Luftverdünnung wird bei etwaigen Undichtigkeiten Luft *in* den Erzeuger strömen, statt daß Gas austritt. Ein weiterer Vorteil ist, wie schon angedeutet, der, daß die Gaserzeugung unmittelbar abhängig ist von der wechselnden Maschinenleistung. Je weniger die Maschine Arbeit leistet, um so weniger Gas erzeugt sie; bei gesteigerter Maschinenleistung steigert sich auch selbsttätig die Menge des erzeugten Gases.

In den Sauggasgeneratoren lassen sich alle organischen Stoffe für die Gasbereitung verwerten; selbstverständlich hängt aber die Bauweise des Generators ganz und gar von dem zu verarbeitenden Brennstoff ab. Man muß hierbei unterscheiden zwischen bitumenfreien und bitumenhaltigen Brennstoffen, denn letztere ergeben bei der Vergasung ein stark teerhaltiges Gas, das ohne weiteres in den Maschinen nicht zu verwenden ist, da es die Maschine in kürzester Zeit verschmieren würde. Zu den bitumenfreien Stoffen gehören der Anthrazit, die Holzkohle, Hüttenkoks und garer Gaskoks; sie lassen sich in einfachen Schachtöfen vergasen. Bitumenhaltige Stoffe sind vor allem fette Steinkohle, Braunkohle, Holz und Torf; sie erfordern Vorrichtungen, die das Gas von den Teer- und Paraffingasen befreien (Reiniger), oder Ofenkonstruktionen, welche die genannten Gase zu brauchbarem Gas zersetzen. Auch die Korngröße des zu verbrennenden Stoffes beeinflußt die Bauart des Ofens. Feinkörnige Brennstoffe mit unter 8 mm Körnung lassen sich nur vergasen, wenn sie bitumenfrei sind oder so wenig Bitumen enthalten, daß die nachträgliche Ausscheidung des Teers möglich ist.

Für die Vergasung der obengenannten bitumenhaltigen Stoffe sind vier verschiedene Verfahren vorgeschlagen und praktisch ausgeführt worden: 1. der einfache Generatorbetrieb mit Zurückführung der teerhaltigen Gase in den Verbrennungsraum; 2. die Verbindung eines einfachen Generators mit einem besonders gefeuerten Reduktionsofen (Doppelfeuergeneratoren); 3. der umgekehrte Generatorbetrieb, bei dem die Luft von oben in den Generator tritt und das Gas unten abgezogen wird, und 4. der Generatorbetrieb mit doppelter Verbrennung, wobei in demselben Generator Luft von oben und von unten eingeführt und das Gas dazwischen abgeführt wird. Außer diesen Verfahren sind noch viele andere vorgeschlagen worden. Über die Güte der Vergasung gibt die nachstehende Tabelle Aufschluß, der ein stündlicher Verbrauch der Gasmaschine von 2500 WE für die effektive Pferdestärke zugrunde gelegt ist.

Brennmaterial	Durchschnittlicher Heizwert des Brennstoffes pro Kilogramm	Garantierter Nutzeffekt der Generatoren in Prozent	Pro Kilogramm Brennstoff in Gasform erzeugte WE	Brennstoffverbrauch pro eff. Pferdestärke in Kilogramm	Brennstoffverbrauch pro 1000 WE des erzeugten Gases in Kilogramm	Unterer Heizwert des erzeugten Gases pro cbm
I.						
Anthrazit	7500—8000	80	6000—6400	0,39—0,42	0,16—0,17	1200
Koks	6000—7500	75—80	4500—6000	0,42—0,56	0,17—0,23	1100
II.						
Braunkohlen	3500—5000	50—70	1750—3500	0,72—1,43	0,28—0,57	1000
Braunkohlenbriketts	4300—5000	70—75	3010—3750	0,67—0,835	0,27—0,34	1100—1200
Torf	3000—3500	50—70	1500—2275	1,1 —1,67	0,44—0,67	900—1000
Holz	3000—4500	50—65	1500—2925	0,86—1,67	0,34—0,67	900—1000
III.						
Steinkohlen	6500—7500	65—75	4225—5250	0,48—0,59	0,2 —0,24	950—1000
IV.						
Anthrazitgrus	7000—7500	55—65	3850—4875	0,51—0,65	0,2 —0,26	1100—1200
Koksgrus, Koksasche	5000—6500	50—60	2500—3900	0,64—1,00	0,26—0,40	1000—1100
Rauchkammerlösche	5000—6000	50—60	2500—3600	0,7 —1,00	0,28—0,40	1000—1100

Endlich erfordert auch die Verwertung sehr aschenreicher Brennstoffe, wie z. B. der Stoffe der Wasch- und Klaubeberge der Steinkohlenwerke, eine besondere Beachtung, da ihre Beseitigung für die Werke von großem Wert ist, und da sie neben einem Gehalt von 50—60 Proz. Asche noch einen Kohlenstoffgehalt von 30 Proz. enthalten, der eine Verarbeitung auf Gas verdient. Es ist dem Bergrat *Jahns* in Von der Heydt bei Saarbrücken gelungen, hieraus ein zu Heiz- und Kraftzwecken brauchbares Gas herzustellen. Er benutzte hierfür den von ihm erfundenen, aus vier einzelnen Öfen bestehenden Ringofen, der einen ununterbrochenen Betrieb gestattet, indem die vier Öfen untereinander abwechseln. Bei einem Kammerinhalt von 4 t vergast die Anlage täglich 80—90 t Klaubeberge, die einen Heizwert von etwa 2200 WE haben, von denen etwa 1900 im Gas ausgebracht werden. Man sieht hieraus, daß jeder organische Stoff im Generatorofen auf Gas hin verwertet werden kann, selbst der Hausmüll, dessen Gas aber bis jetzt nur für die Dampfkesselfeuerung ausgenutzt wird.

Im folgenden seien einige typische Generatoranlagen näher beschrieben.

Fig. 205 zeigt eine Anlage für Anthrazit und Koks der A.-G. Görlitzer Maschinenbau-Anstalt und Eisengießerei. Die Anlage besteht aus Schachtofen 1, Skrubber 15 und Sägespäne-

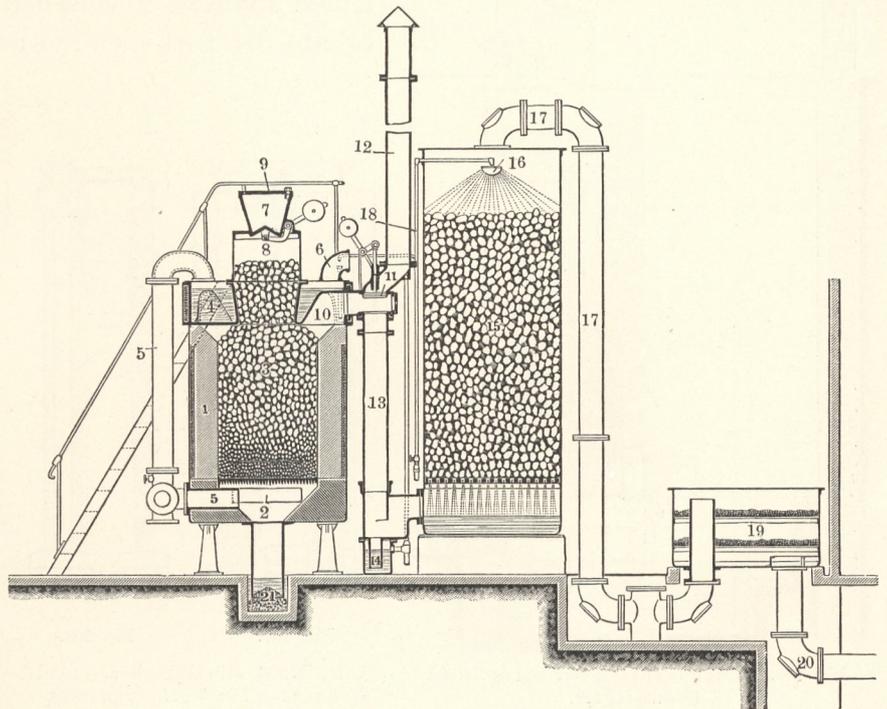


Fig. 205. Generatorgas-Anlage für Anthrazit und Koks.

reiniger 19. Auf dem Oberteil des Schachtofens 1 ist der Verdampfer 4 angeordnet, durch den der Füllrumpf hindurchragt. Auf dem Füllrumpf sitzt der Einfülltrichter 7, der oben durch einen Deckel 9 und unten durch einen konischen Boden 8 verschlossen werden kann. Der Brennstoff wird in den Trichter 7 eingefüllt, dann Deckel 9 verschlossen und Boden 8 geöffnet. Infolge der konischen Form des Bodens fällt der Brennstoff mehr an den Umfang des Ofens. Der mit Wasser gefüllte Verdampferraum 4 steht mit der Außenluft durch Rohrstützen 6 in Verbindung, durch den die Luft beim Saughub des Motors in den Verdampfer hineingesaugt wird, wo sie sich mit dem Wasserdampf mischt und durch das Rohr 5 in den Raum 2 unter den Rost geführt wird. Das Dampf-Luftgemisch durchstreicht den glühenden Brennstoff 3, wobei Kohlenoxyd und Wasserstoff entsteht. Das Gas tritt durch Stützen 10 aus dem Ofen aus und gelangt durch Rohr 13 mit Absetztopf 14 in den Skrubber 15, den es von unten nach oben durchstreicht, wobei es durch die Brause 16 eingespritzte Wasser gekühlt und gereinigt wird. Oben tritt es aus dem Skrubber heraus und wird durch Rohr 17 zum Sägespäne-

reiniger 19 und durch Rohr 20 zur Maschine geführt. Durch ein Rohr 18 wird der Brause 16 das erforderliche Wasser zugeführt. Das Rohr 13 kann gegen den Stützen 10 durch ein Ventil 11 abgeschlossen werden, das hierbei eine Verbindung zwischen dem Stützen 10 und dem Abzugsrohr 12, das ins Freie führt, herstellt. Beim Anheizen ist Rohr 13 abgesperrt; bei der Gaserzeugung hat das Ventil die gezeichnete Stellung. Während des Anheizens wird die zur Verbrennung erforderliche Luft durch einen nicht dargestellten Bläser, der bei kleineren Anlagen von Hand, bei größeren motorisch angetrieben wird, zugeführt. Die Asche wird durch den mit Wasser gefüllten Schacht 21 abgeführt.

Rost, sondern einen Wasserverschluß 4, in den die Asche gelangt und dessen Wasser dadurch zum Teil verdampft wird. Der eiserne Mantel des Schachtes 1 läßt einen Raum zwischen sich und der Ofenwand frei, durch den Luft hindurchstreichen kann; diese tritt durch die hohlen Füße 5 ein und gelangt bei 3 oder von oben her in den Brennraum. Die weitere Luftzuführung geschieht durch das Rohr 6, das von unten in den Ofen eintritt und unter einer in der Mitte des Ofens befindlichen Prallplatte 9 ausmündet. Die Luft geht um die Platte 9 herum und gelangt durch einen gemauerten Kanal 11 in den oberen Teil des Ofens, wo sie durch Öffnungen 12 in den Ofen 2 selbst austritt. Das Gasaustrittsrohr 7 umgibt das Luftrohr 6 und mündet in eine Wasserkammer 8, von wo das Gas durch das Rohr 13 weitergeleitet wird. Das Rohr 10 ist in seinem unteren Teil glockenförmig gestaltet und bildet durch diese Form eine Verengung in dem Schacht, durch die der Schwelraum von dem eigentlichen Vergaserraum getrennt wird.

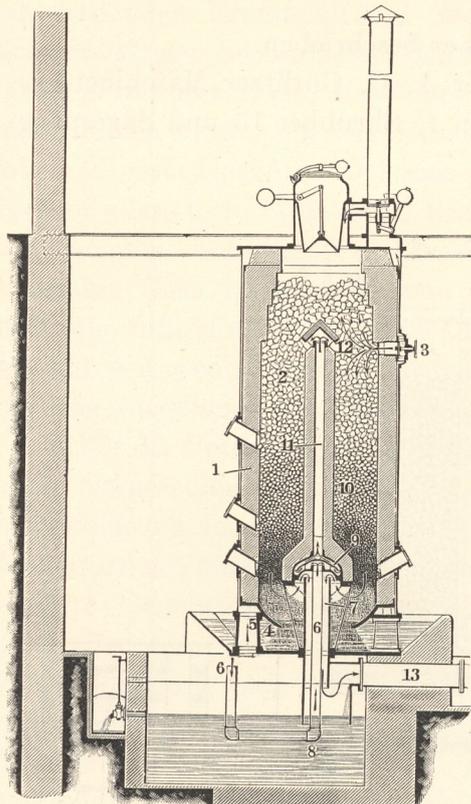


Fig. 206. Sauggasanlage für bituminöse Brennstoffe.

Der von Gebr. Körting gebaute Doppelgenerator für Torfvergasung (Fig. 207 und 208) benutzt einen aus zwei Teilen bestehenden Schacht, von denen der obere weitere 3 mit zwei Etagenrosten 4, 4 und der untere engere 1 mit einem gewöhnlichen Planrost 2 versehen ist. Ist der Ofen in Betrieb, so brennt der Torf oben auf dem Etagenrost an dem Rande der

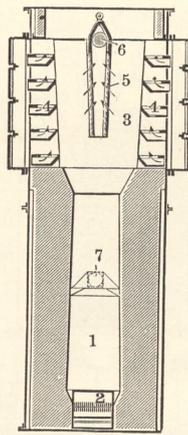


Fig. 207.

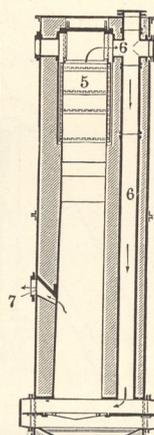


Fig. 208.

Fig. 207 u. 208. Körtingscher Doppelgenerator für Torfvergasung.

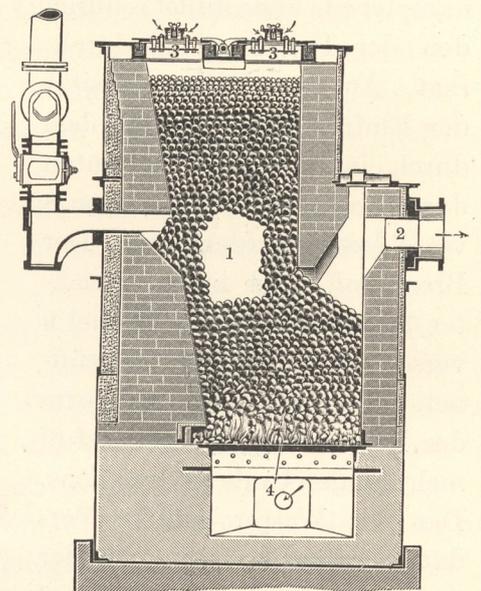


Fig. 209. Doppelgenerator.

Brennstoffsäule. Der in der Mitte des Schachtes befindliche Torf sinkt allmählich nieder und wird hierbei verkohlt. Die Schwelgase gehen durch das rostartige Rohr 5 und von da durch Rohr 6 in den unteren Teil des Schachtes, wo das Gas direkt über dem Rost 2 eintritt. Das fertige Gas tritt durch das in dem unteren Schachtteil befindliche Rohr 7 aus. Über dem Rost 2 liegt eine Koksschicht.

Fig. 209 zeigt einen Doppelgenerator der Gasmotorenfabrik Deutz für Braunkohlenvergasung nach dem sogenannten umgekehrten Generatorbetrieb. Der Schacht 1 besteht ebenfalls aus einem oberen engeren und einem unteren weiteren Teil, zwischen denen der Gasaustritt 2 liegt. Die Luft tritt durch in der Schachtdecke angebrachte Öffnungen 3 ein und wird nach unten gesaugt; hierbei nimmt sie die sich im oberen Teil entwickelnden Schwelgase mit, welche die auf dem Rost 4 brennende Brennstoffschicht passieren müssen und dabei zersetzt werden. Für größere Leistungen wird die Anlage, wie Figur 210 zeigt, derart verdoppelt, daß zwei solcher Öfen nebeneinander gesetzt werden, so daß sie einen gemeinsamen Rost 1 und getrennte Schwelräume 2 besitzen. Die Schwelräume sind durch die Wände 4 voneinander getrennt, die bis zur halben Ofenhöhe reichen, und zwischen denen das Gasabfuhrrohr 5 liegt. Die Luft tritt wieder an der Decke des Ofens bei 3 ein.

In Fig. 211 ist ein Treppenrostgenerator für feinkörnige Brennstoffe von J. Pintsch dargestellt. Auch hier ist der Schacht 1 durch einen Einbau 4 in der Mitte verengt. Der Brennstoff 2

ruht teils auf den schrägen Wänden des Einbaues, teils auf dem Treppenrost 6, dessen Spalten zur bequemen Reinigung groß gemacht werden können, ohne daß Brennstoff hindurchfallen kann. Das Luft-Dampfgemisch tritt unterhalb des Rostes zu; das Gas entweicht in den unterhalb des Einbaues entstehenden Raum 5 und wird durch Rohr 3 abgeführt.

Die vorbeschriebenen Generatoren betreffen alle ortsfeste Gasanlagen für größere Betriebe. Es werden aber bereits Generatoranlagen für den Betrieb von Motorbooten und Lokomobilen ausgeführt, die sich recht gut bewähren sollen.

Im allgemeinen werden für den Antrieb ortsbeweglicher Motoren aber *flüssige Brennstoffe* verwendet, und zwar: 1. Rohpetroleum mit seinen Destillationsprodukten, dem Benzin und dem Lampenpetroleum; 2. die Destillationsprodukte der Steinkohlen- und Braunkohlenteere (Benzol) und endlich 3. Spiritus. Das dickflüssige Rohpetroleum, das besonders in Nordamerika und am Kaukasus gefunden wird, besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen und muß für den Gebrauch durch Destillation gereinigt werden. Je nach der Höhe der Destillationstemperatur gehen hierbei nacheinander die verschiedenen Bestandteile über. Bei 80 bis 100° erhält man das Benzin, dessen spezifisches Gewicht etwa 0,7 beträgt; zwischen 170 und 300° geht das zur Beleuchtung brauchbare Lampenpetroleum über. Diese beiden Stoffe kommen hauptsächlich für den Betrieb der Kraftmaschinen in Frage. Benzin verdampft bei 80—100° und ist schon bei gewöhnlicher Temperatur leicht flüchtig und daher sehr feuergefährlich, während Lampenpetroleum erst verdampft werden muß, um gasförmig in dem Motor verwendet werden zu können. Das Benzol, ein Nebenprodukt der Teerfabrikation, ist in seinen Eigenschaften dem Benzin sehr ähnlich; sein spezifisches Gewicht beträgt 0,86—0,88. Es wird für sich allein oder mit Spiritus gemischt verwendet. Der Spiritus kann ebenfalls entweder allein oder im Gemisch mit anderen Stoffen Verwendung finden. Von Vorteil ist sein hoher Wassergehalt, da infolge der größeren Verdichtung des Gasgemisches im Zylinder die Explosionskraft erhöht wird. Bei der Vermischung mit 20 Proz. Benzol ist der Verbrauch 0,5 Liter pro 1 St-PS bei voller Belastung. Ein anderer Betriebsstoff ist das *Ergin*, ebenfalls ein Produkt der Teerdestillation. — Der Hauptvorteil der flüssigen Brennstoffe ist, daß sie ohne Schwierigkeit (feuersichere Verpackung vorausgesetzt) überallhin transportiert werden können. Sie sind stets betriebsbereit, die Maschinen können ohne weiteres angelassen werden und verbrauchen nur während des Betriebes Brennstoff; sie sind also in hohem Maße ökonomisch.

Vergaser (Karburatoren).

Wenn in der Einleitung dieses Abschnittes gesagt wurde, daß alle Betriebsstoffe für Verbrennungsmaschinen im gasförmigen Zustande in den Zylinder gelangen, so muß dies für die flüssigen Brennstoffe etwas eingeschränkt werden, da es sich hierbei nicht um ein Vergasen im eigentlichen Sinne des Wortes handelt. Der Betriebsstoff wird vielmehr im dampfförmigen Zustande mit atmosphärischer Luft gemischt, d. h. die Luft wird *karburiert*, und dieses Gemisch wird in den Zylinder eingeführt, wo es verpufft. Die Bezeichnung „Vergaser“ für die hierfür erforderliche Vorrichtung ist daher, strenggenommen, unrichtig; da sie aber allgemein gebräuchlich ist, so soll der Ausdruck auch hier beibehalten werden.

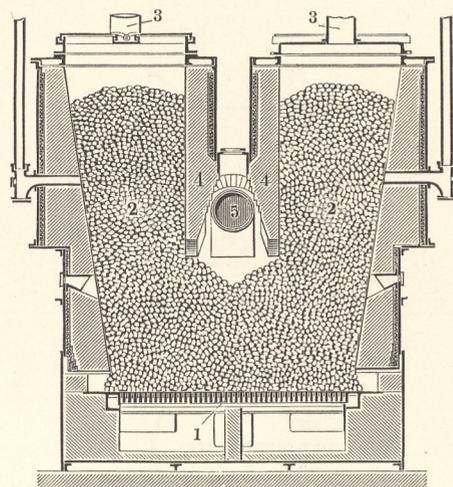


Fig. 210. Doppelgeneratoranlage.

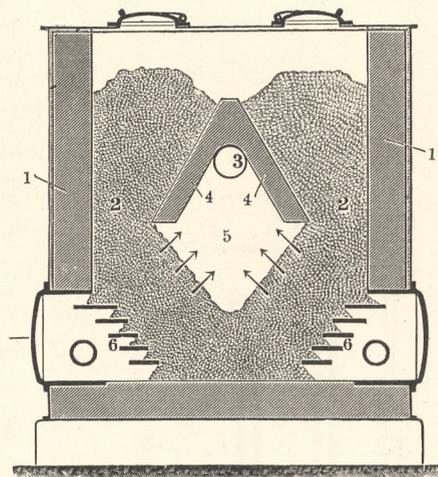


Fig. 211. Treppenrostgenerator.

Die Bauweise der Vergaser hängt von den Eigenschaften der zu verwendenden Flüssigkeiten ab. Bei Benzin, das schon bei gewöhnlicher Temperatur verflüchtigt, genügt es, wenn die Luft durch das Benzin hindurchgesaugt wird; sie reichert sich hierbei derart mit Benzindämpfen an — wird karburiert —, daß sie ohne weiteres in den Zylinder eingeführt werden kann. Die schwerer flüchtigen und erst bei höherer Temperatur verdampfenden Flüssigkeiten müssen vor der Mischung mit Luft auf ihre Verdampfungstemperatur erhitzt werden. Man unterscheidet daher *Vergaser mit* und solche *ohne Erhitzung*.

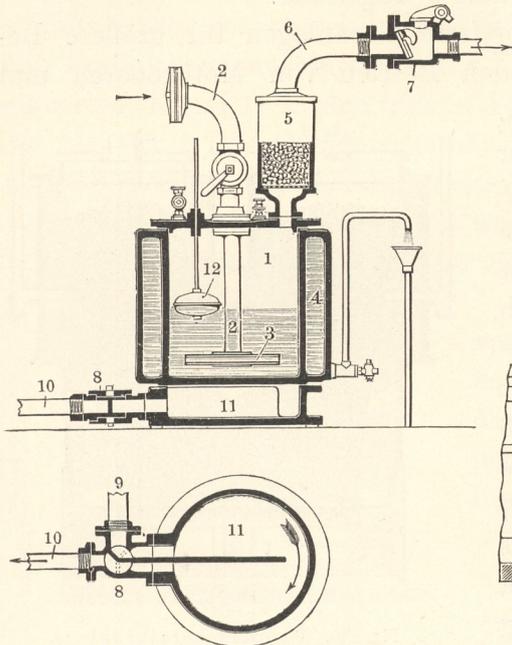


Fig. 212 und 213. Oberflächenvergaser.

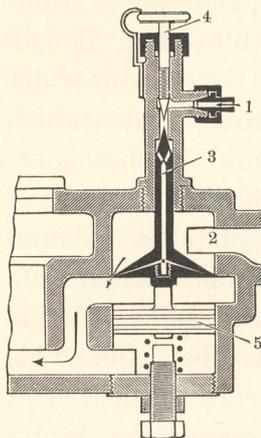


Fig. 214. Einspritzvergaser ohne Erhitzung.

Die Vermischung des Brennstoffes mit der Luft kann ebenfalls auf verschiedene Weise erfolgen: entweder läßt man die Luft über die auf eine große Oberfläche verteilte Flüssigkeit hinstreichen (*Oberflächenvergaser*), oder man spritzt eine gewisse Menge des Brennstoffes in die Luft hinein (*Einspritzvergaser*). Bei den Motoren mit schwer flüchtigen Brennstoffen unterscheidet man schließlich noch *geschlossene* und *offene Vergaser*; bei ersteren stellt der Vergaser einen abgeschlossenen Raum dar, der nur während des Saughubes durch Öffnen des Ventils mit dem Zylinder in Verbindung tritt, während der offene Vergaser ständig mit dem Zylinderinnern in Verbindung steht und gleichzeitig an Stelle eines Glührohres als Zündvorrichtung dient.

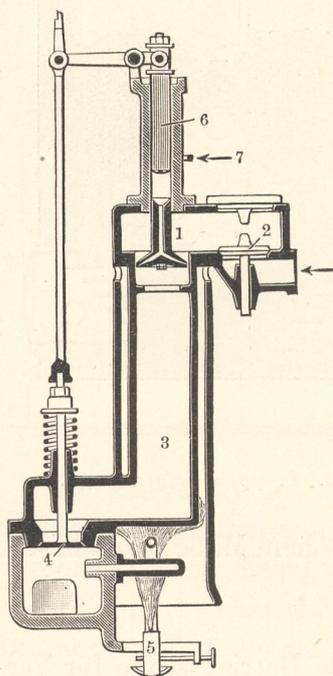


Fig. 215. Geschlossener Einspritzvergaser mit Erhitzung.

Die Fig. 212 und 213 zeigen einen *Oberflächenvergaser* für Benzin der Gasmotorenfabrik Deutz. 1 ist der Benzinbehälter, in den das Luftzuführungsrohr 2 einmündet; das untere, in das Benzin eintauchende Ende 3 von 2 ist scheibenförmig erweitert und mit feinen Kanälen durchsetzt, so daß die angesaugte Luft in feinen Strahlen durch das Benzin hindurchtritt und mit Benzin gesättigt wird. Die karburierte Luft geht dann durch einen mit Kieselsteinen gefüllten Behälter 5 und Rohr 6 mit Rückschlagklappe 7 zum Motor. Ein Schwimmer 12 zeigt den Stand des Benzins im Behälter an. Der letztere ist von einem Mantel 4 umgeben, durch den das erwärmte Kühlwasser des Motors strömt, um bei kalter Witterung das Verdampfen des Benzins zu sichern. Zu dem gleichen Zweck können auch die Abgase des Motors benutzt werden, die durch Rohr 9 in den Raum 11 unterhalb des Behälters 1 geleitet werden können und durch Rohr 10 abströmen. Ein Dreiwegehahn 8 gestattet die direkte Abführung der Abgase.

In Fig. 214 ist ein *Einspritzvergaser* der Firma Gebrüder Körting dargestellt. Das Benzin fließt aus einem höher gelegenen Behälter durch Rohr 1 der durchbohrten Spindel 3 des Ventils zu, das durch einen Kolben 5 gesteuert wird. Der Benzinzufuß kann durch die in eine feine Nadel endigende Schraube 4 geregelt werden. Beim Ansaugen der Maschine wird das Ventil 3 mit dem Kolben 5 nach unten gezogen, und das Benzin tritt durch die feine, ringförmige Öffnung des Ventils aus und wird durch die durch 2 angesaugte Luft aufs feinste zerstäubt. Der in Fig. 215 dargestellte Einspritzvergaser mit Erhitzung wird bei der Petroleummaschine von Kjelsberg angewendet. Das bei 7 eintretende und durch einen Kolben 6 in seinem Zufluß

geregelte Petroleum wird durch den Zerstäuber 1 zerstäubt und vermischt sich mit der bei 2 eintretenden Luft, worauf das Gemisch in das Gefäß 3 gelangt, das durch die Zündflamme 5 erwärmt wird. In 3 erfolgt durch die Flamme die Verdampfung des Petroleums. Nach dem Öffnen des Ventils 4 tritt das fertige Gemisch in den Zylinder ein. — Fig. 216 zeigt den offenen Vergaser eines Swiderskischen Petroleummotors. Der Raum vor dem Ventil 4 ist mit der zu verdampfenden Menge Petroleum gefüllt und steht durch die Kanäle 5 mit der Außenluft in Verbindung. Das Ventil 4 mündet in den Verdampferraum 1, der mit Rippen 6 versehen ist und von der Petroleumdampflampe 7 bis zur Dunkelrotglut erhitzt wird. Die Petroleumdämpfe treten bei 2 aus dem Verdampfer aus und werden von der durch Rohr 3 eintretenden Luft in den Zylinder mitgenommen.

Die vorbeschriebenen Vergaser sollen lediglich die typischen Unterschiede zeigen; sie sind aus der ungeheuer großen Zahl der in Gebrauch befindlichen Vergaser willkürlich herausgegriffen.

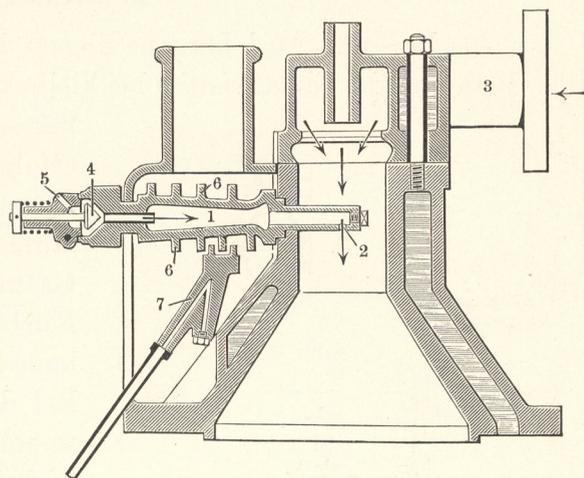


Fig. 216. Offener Petroleumvergaser.

C. Einzelheiten der Verbrennungsmaschinen.

Der allgemeine Aufbau der Verbrennungsmaschine erinnert an den der Dampfmaschine. Da die Verbrennungsmaschine meistens einfachwirkend ausgebildet ist, sind Kolben und Kreuzkopf vereinigt, und die Kolbengleitfläche dient gleichzeitig als Geradföhrung, so daß sich die Anordnung einer besonderen Geradföhrung erübrigt. Der am einen Ende offene Zylinder wird am anderen Ende durch den Zylinderdeckel oder Kopf abgeschlossen, der einerseits als Verdichtungs- und Verbrennungsraum, andererseits zur Aufnahme der Ventile und Zündvorrichtung dient. Während der Zylinder der Dampfmaschine beheizt wird, muß der der Verbrennungsmaschine geköhlt werden.

1. Mischvorrichtungen.

Wie schon hervorgehoben, ist es für die Zündfähigkeit der Ladung wichtig, daß Gas und Luft in bestimmtem Verhältnis gemischt werden. Unter den Mischungsverhältnissen, bei denen Zündung eintritt, gibt es eins, das sogenannte stärkste Gasgemisch, bei dessen Verbrennung in einem geschlossenen Raum der höchste Druck und die höchste Temperatur erzielt werden. Dieses Gemisch anzuwenden, ist nicht von Vorteil; denn durch die plötzlich mit großer Heftigkeit auftretende Drucksteigerung wird das Gestänge der Maschine ungünstig beeinflusst, auch erfordert hohe Temperatur eine kräftige Köhlung, durch die ein Teil der Wärme nutzlos fortgeföhrt wird. Man verwendet daher zweckmäßig zum Betriebe der Gasmaschinen gasarme Gemische und verdichtet diese möglichst hoch. Die Mischung erfolgt durch Mischventile, die vor der Maschine angeordnet oder mit dem Einlaßventil verbunden sind. Ein Mischventil erster Art zeigen Fig. 217 und 218. Bei der Ausbildung der Mischventile kommt es auf möglichst gute Vermischung des Gases mit der Luft an, zu welchem Zweck der Gasstrom in viele Strahlen zerlegt wird, die in den Luftstrom hineingeleitet werden. Bei dem dargestellten Ventil ist das Gaszuleitungsrohr 1 mit Schlitzen 2 und der auf ihm gleitende Ventilkegel 3 mit entsprechenden Schlitzen 4 versehen. Wird der Ventilkegel durch den Saughub der Maschine angehoben, so treten die durch die Schlitze 2 entstehenden Gasströme in die durch das Rohr 5 zuströmende Frischluft ein. Das Gemisch tritt dann durch die Schlitze 6 in den Raum 7, in dem zur Verbesserung der Durcheinanderwirbelung noch eine

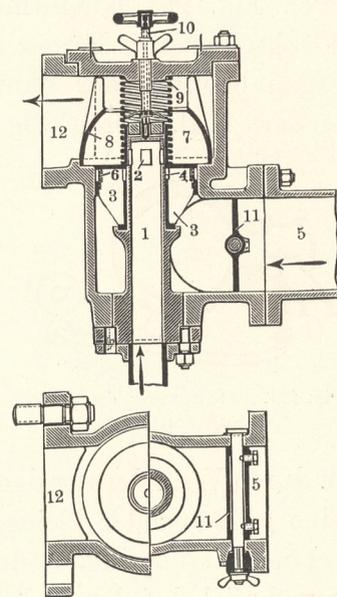


Fig. 217 und 218. Mischventil.

Glocke 8 vorgesehen ist. Die Feder 9 dient zum Aufpressen des Ventils 3 auf seinen Sitz und die Schraube 10 zum Einstellen seiner Hubhöhe. Zur Regelung des Luftzuflusses ist außerdem noch eine Drosselklappe 11 vorhanden. An den Stutzen 12 schließt sich die zum Einlaßventil der Maschine führende Leitung. Ein vor der Maschine angeordnetes Mischventil zeigt ferner noch Fig. 224 sowie das Klappmodell der Gasmaschine. Auf die mit dem Einlaßventil verbundenen Mischventile (siehe z. B. Fig. 223, 225) soll bei den Steuerungen näher eingegangen werden.

2. Steuerung und Regelung.

Als Ein- und Auslaßorgane dienen bei den Verbrennungsmaschinen fast ausnahmslos Ventile. Während die Einlaßventile bei kleinen, langsam laufenden Maschinen selbsttätig sein können,

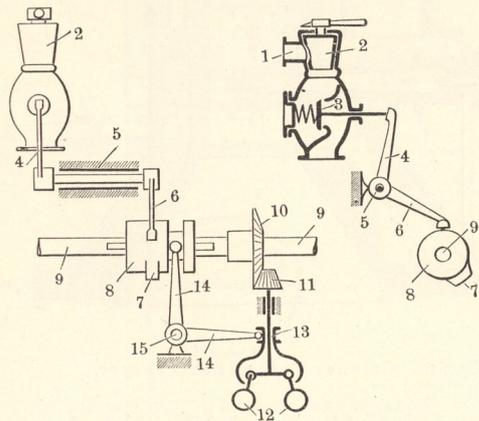


Fig. 219 und 220. Nockensteuerung des Einlaßventils und Aussetzerregulierung.

müssen die Auslaßventile gesteuert werden. Die Steuerung erfolgt sowohl durch Exzenter als auch durch Nocken, die auf einer parallel oder senkrecht zu der Zylinderachse verlaufenden Welle (vgl. Fig. 252 und die Klappmodelle der Gasmaschine und des Dieselmotors) sitzen und von der Kurbelwelle meistens unter Vermittelung eines in einem Ölbad laufenden Schraubenrädergetriebes angetrieben werden. Bei den Viertaktmaschinen dreht sich die Steuerwelle halb so schnell wie die Kurbelwelle; bei den Zweitaktmaschinen sind die Umdrehungszahlen beider gleich.

In neuerer Zeit wird lebhaft daran gearbeitet, namentlich bei den schnellaufenden Motoren die Ventile durch Schieber zu ersetzen. Diese werden teilweise als Kolbenschieber ausgebildet, denen eine hin und her gehende (vgl. Fig. 263 Knightmotor) oder eine Drehbewegung erteilt wird, teilweise aber auch als Flachschieber. Ferner wird bei den Zweitaktmaschinen oft der Kolben selbst als Steuerorgan benutzt, der dann die in der Zylinderwandung vorgesehenen Ein- und Auslaßschlitze steuert (vgl. hierzu Fig. 271 Öchelhäusermaschine; Fig. 276 Grademotor).

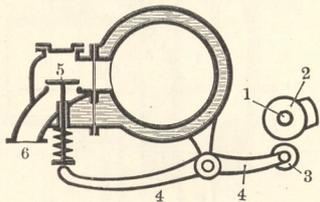


Fig. 221. Steuerung des Auspuffventils.

Die Regulierung der Gasmaschinen, d. h. die Veränderung ihrer Leistung entsprechend dem jeweiligen Arbeitswiderstand der angetriebenen Maschinen, kann in verschiedener Weise bewirkt werden: 1. durch sogenannte *Aussetzer*. Indem Verbrennungen ausfallen, wird während eines ganzen, sonst unter Arbeitsverrichtung verlaufenden Hubes keine Arbeit geleistet; 2. durch Veränderung der Zusammensetzung des Gas- und Luftgemisches (*Qualitätsregulierung*). Ein gasarmes Gemisch leistet bei der Verbrennung weniger als ein gasreiches; 3. durch Veränderung der Füllung des Zylinders (*Quantitätsregulierung*). Je nachdem im Zylinder eine größere oder kleinere Menge des Gas-Luftgemisches zur Verbrennung gelangt, ist die Maschinenleistung höher oder niedriger. Für die Zweitaktmaschinen kommen die Regulierverfahren gewöhnlich bei der Ladepumpe zur Anwendung (s. Fig. 228).

Fig. 219 und 220 zeigen schematisch das Beispiel einer Nockensteuerung für das Brennstoffeinlaßventil und einer Aussetzerregulierung. 1 ist der Anschlußstutzen für die Gasleitung und 2 das Absperrventil. Durch das gesteuerte Ventil 3 gelangt das Gas zu der Mischvorrichtung, in der es mit Luft gemischt wird. Die Steuerung des Ventils 3 erfolgt von der Steuerwelle 9 aus, die von der Kurbelwelle mit einem Übersetzungsverhältnis 1:2 angetrieben wird. Auf der Steuerwelle 9 sitzt undrehbar, aber längsverschiebbar eine Hülse 8 mit einem Steuernocken 7. Sobald dieser gegen den einen Arm 6 eines bei 5 drehbar gelagerten Schwinghebels stößt, wird letzterer zum Ausschlagen gebracht und legt sich mit seinem anderen Arm 4 gegen die Spindel des Ventils 3, das sich dann entgegen dem Druck einer Schraubenfeder öffnet. Die Steuerwelle überträgt außerdem durch das Kegelpäderpaar 10, 11 ihre Bewegung auf eine senkrechte Spindel, die an ihrem Ende zwei

ausschwingbar gelagerte Schwungkugeln 12 trägt. Steigt plötzlich die Umdrehungszahl der Maschine, so fliegen die Kugeln auseinander und bewegen die Muffe 13 nach oben, die hierbei den bei 15 drehbar gelagerten Winkelhebel 14 mitnimmt, dessen anderer Schenkel die Hülse 8 nach links verschiebt, so daß nunmehr der Hebel 6 auf der Mantelfläche der Hülse 8 gleitet und mit dem Nocken 7 nicht mehr in Berührung kommt. Die Folge ist, daß das Gaseinlaßventil geschlossen bleibt, und zwar so lange, bis die Maschine wieder langsamer läuft, die Regulatorkugeln sinken und die Hülse 8 wieder nach rechts verschoben wird, so daß der Nocken 7 wieder in Tätigkeit treten kann. Abgesehen davon, daß namentlich bei Ausfall mehrerer Zündungen durch die ein- und wieder austretende kalte Luft die Zylinderwandungen abgekühlt werden, hat diese Art der Regulierung noch den Übelstand, daß die Gleichförmigkeit des Ganges der Maschine leidet.

Der Nachteil der schädlichen Abkühlung kann bei nicht gesteuertem Einlaßventil dadurch vermieden werden, daß zum Zweck der Herbeiführung von Aussetzern das Auspuffventil am Schließen verhindert wird. In diesem Falle saugt der Kolben die heißen Auspuffgase an und stößt sie wieder aus.

Die Steuerung des Auspuffventils erfolgt, wie Fig. 221 zeigt, durch eine fest auf der Steuerwelle 1 sitzende Nockenscheibe 2, die sich gegen die Rolle 3 des Schwinghebels 4 legt; das andere Ende von 4 hebt das Ventil 5 entgegen dem Druck einer Feder an, so daß die Gase in das Auspuffrohr 6 entweichen können.

Die unter 2. genannte Regulierung durch Veränderung der Zusammensetzung des Gasluftgemisches wird als *Qualitätsregulierung* bezeichnet, weil bei ihr die Menge des angesaugten Gemisches bei jeder Belastung der Maschine die gleiche bleibt, keineswegs aber die Zusammensetzung; denn bei schwacher Belastung findet ein gasarmes, bei starker ein gasreiches Gemisch Verwendung. Wenn auch durch diese Regulierung der der vorherbeschriebenen Regulierart anhaftende Nachteil eines ungleichmäßigen Ganges verschwindet, so tritt dafür der Nachteil eines verhältnismäßig großen Gasverbrauches bei den kleinen Leistungen ein. Dieses hat seine Ursache darin, daß die Kompression des angesaugten Gemisches die gleiche ist. Gasarme Gemische erfordern aber eine höhere Verdichtung als gasreiche, einerseits zur Sicherung der Zündung, andererseits zur Beschleunigung der Verbrennung, da es sonst vorkommen kann, daß diese bei Beginn des neuen Ansaughubes noch nicht beendet ist und so das frisch zuströmende Gemisch mit den noch brennenden alten Gasen in Berührung kommt. Ist das Gemisch reicher an Gas, so steigt die Spannung bei der Verbrennung höher; ist es reicher an Luft, so steigt sie nicht so hoch. Im ersteren Fall wird mehr Arbeit geleistet, im letzteren ist das Umgekehrte der Fall.

Die bauliche Ausbildung einer derartigen Reguliervorrichtung kann ähnlich sein wie in Fig. 219 und 220, nur mit dem Unterschiede, daß der Nocken 7 der Hülse 8 auch in der Achsenrichtung der Hülse nicht plötzlich, sondern allmählich in diese übergeht, also gewissermaßen aus einer Anzahl nebeneinander liegender, ineinander übergehender Nocken besteht, von denen jeder ein wenig höher ist als der vorhergehende. Die Folge ist, daß, entsprechend der Verschiebung der Hülse, das Gaseinlaßventil mehr oder weniger geöffnet und damit die Zusammensetzung des Gemisches geändert wird.

Eine andere Ausführungsform, wie sie an doppeltwirkenden Viertakt-Großgasmaschinen gebräuchlich ist, zeigen die Fig. 222 und 223. Das Steuergestänge für das Einlaßventil 4 besteht aus zwei um feste Punkte schwingenden Hebeln 1, 2, die durch eine Stange 3 in Verbindung

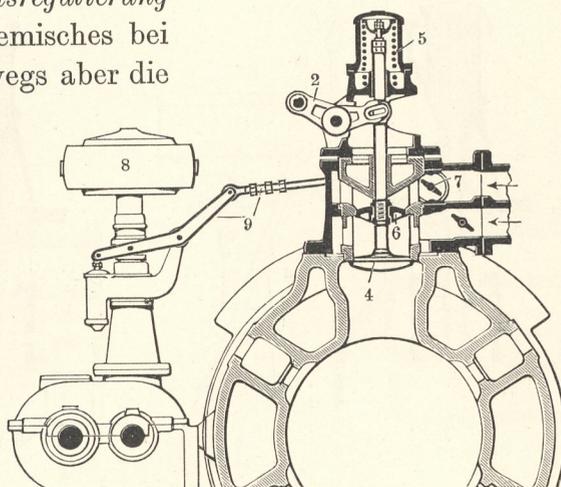
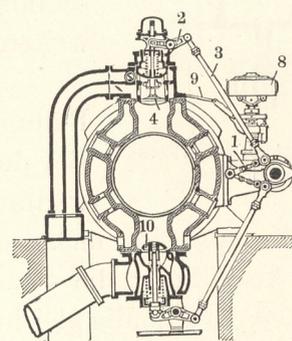


Fig. 222 und 223. Qualitätsregulierung.

stehen, und von denen der erste von einer Nockenscheibe in schwingende Bewegung versetzt wird. Der Hebel 2 ist als Doppelhebel ausgebildet und steht mit der Spindel des Einlaßventils 4 in Verbindung, das durch eine Feder 5 in der Schlußstellung gehalten wird; in dieser Stellung werden die Zuleitungen für Gas und Luft durch den auf der gleichen Spindel sitzenden Ventilteller 6 gegeneinander abgeschlossen. Die Steuerung für das Auslaßventil 10 ist in ähnlicher Weise ausgebildet. In der Gaszuleitung ist eine Drosselklappe 7 vorgesehen, die durch ein vom Regulator 8 beeinflusstes Gestänge 9 verstellt wird. Außerdem ist aber noch in die Luftleitung eine von Hand einstellbare Drosselklappe eingebaut. Diese Art der Regulierung kann, namentlich wenn auch die Drosselklappe in der Luftzuleitung vom Regulator nach einem bestimmten Gesetz verstellt wird, als Mittelding zwischen den unter 2. und 3. beschriebenen Regulierungen aufgefaßt werden, denn bei ihr wird in diesem Falle nicht nur die Zusammensetzung, sondern auch die Menge des zuströmenden Gemisches geregelt. Ein weiteres Beispiel für die Qualitätsregulierung zeigt Fig. 260.

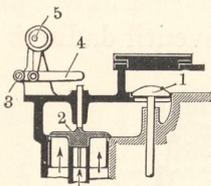


Fig. 224. Quantitätsregulierung.

Bleibt die Zusammensetzung des Gemisches dieselbe und wird nur die Füllung des Zylinders verändert, so spricht man von einer *Quantitätsregulierung*. Bei dieser gelangt bei geringerer Belastung weniger Gemisch in den Zylinder, wodurch beim Saughub ein Unterdruck entsteht. Die weitere Folge ist, daß die Kompression nicht so hoch steigt wie bei voller Belastung. Dementsprechend ist auch nach der Verpuffung die Spannung geringer als bei voller Belastung. Diese Steuerung hat den Vorteil der ständig gleichbleibenden Zusammensetzung des Gemenges, dafür aber den Nachteil der ungleichen Kompression.

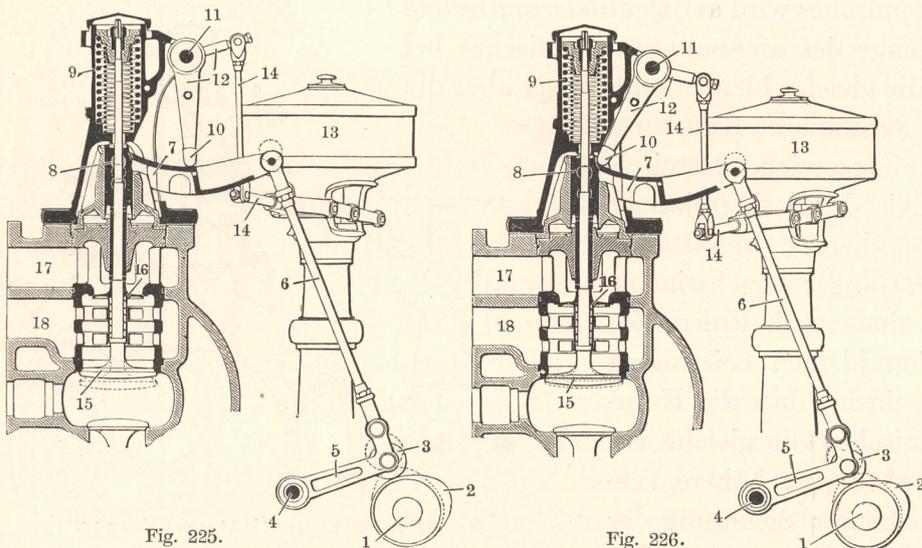


Fig. 225.

Fig. 226.

Fig. 225 und 226. Quantitätsregulierung der Gasmotorenfabrik Deutz.

wird. Steht der Anschlaghebel so, daß sich das Mischventil möglichst weit von seinem Sitze erheben kann, so erhält der Zylinder Vollfüllung; steht er niedriger, entsprechend weniger.

Eine andere Ausführungsform dieser Regulierung, bei der der Hub des Einströmventils verändert wird, zeigt die in den Fig. 225 und 226 dargestellte der Firma Gasmotorenfabrik Deutz. Auf der Steuerwelle 1 sitzt die Nockenscheibe 2, gegen die sich die Rolle 3 des um den Zapfen 4 drehbaren Schwinghebels 5 legt. Dieser steht andererseits durch Stange 6 in gelenkiger Verbindung mit dem an der Ventilschindel bei 8 angelenkten Hebel 7. Die Federn 9 sind bestrebt, das Ventil in der Schlußstellung zu halten. Wird Rolle 3 durch die Nockenscheibe 2 nach oben bewegt, so würde Hebel 7 um den Punkt 8 schwingen und das Ventil 15 geschlossen bleiben, wenn nicht dem Hebel 7 ein Stützpunkt gegeben würde, um den er so schwingen kann, daß sich hierbei der Gelenkpunkt 8 nach unten bewegt. Einen solchen Stützpunkt stellt das Ende 10 des um Zapfen 11 drehbaren Winkelhebels 12 dar. Dieser Stützpunkt wird von dem Federregulator 13 unter Vermittlung des Gestänges 14 verstellt. Nimmt er die in Fig. 225 gezeichnete Stellung ein, so wird, wie in punktierten Linien angedeutet ist, das Ventil weit geöffnet, bei der in Fig. 226 gewählten

Stellung dagegen nur wenig. Oberhalb des Einlaßventils 15 sitzt auf dessen Spindel das Gasventil 16, das infolgedessen dieselben Bewegungen vollführt wie das Einlaßventil. 17 ist der Zuströmkanal für das Gas und 18 der für die Luft. Die Zusammensetzung des Gasluftgemisches bleibt für alle Füllungen die gleiche, denn das Verhältnis der von den Ventilen 15 und 16 freigelegten Durchflußquerschnitte bleibt konstant. Es kann daher auch immer nur so viel Luft in das Zylinderinnere eintreten, wie die Öffnung des Ventils 15 größer ist als die des Ventils 16. Die mit dieser Regulierung erzielten Resultate sollen derart sein, daß der dauernde Unterschied der Umdrehungszahlen zwischen Vollbelastung und Leerlauf nur etwa 4—6 Proz. beträgt. Bei geringeren Unterschieden in der Belastung ist auch der dauernde Unterschied der Umdrehungszahlen entsprechend geringer. Desgleichen sind auch die momentanen Schwankungen der Umdrehungszahlen bei Belastungsänderungen nicht groß; denn da der Regulator nur die verhältnismäßig geringe Arbeit der Verstellung des Stützpunktes für den Schwinghebel am Einströmventil zu verrichten hat, ist die Wirkung der Regulierung eine ungewöhnlich rasche. Eine weitere Ausführungsform zeigt die Fig. 250.

Die in der Fig. 227 dargestellte Steuerung der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg ist das Beispiel einer kombinierten Quantitäts- und Qualitätsregulierung. Der Steuerungsantrieb zerfällt in zwei Teile. Der erste Teil wird von dem von der Nockenscheibe 1 angetriebenen, bei 2 drehbar gelagerten Hebel 3 gebildet, der mit dem bei 4 angelenkten Teil 5 durch Stange 6 verbunden ist. Durch Feder 7 erhält Teil 5 eine Bewegung nach oben, die sich auf den Hebel 3 überträgt, so daß sich die an diesem vorgesehene Rolle 8 fest gegen die Nockenscheibe 1 legt. Der zweite Teil der Steuerung besteht aus dem Einlaßventil 9, dessen Spindel mit dem bei 10 drehbaren Hebel 11 in Verbindung steht. Die einander zugekehrten Flächen der Hebel 5 und 11 sind als Gleitflächen ausgebildet, zwischen denen eine vom Regulator 12 unter Vermittlung des Gestänges 13 angetriebene Rolle 14 hin und her verschoben wird.

Nimmt diese Rolle die in der Figur dargestellte Stellung ein, so arbeitet die Maschine mit großer Füllung, da in diesem Falle der größte Ausschlag des Teiles 5 auf den kleinsten, für den Antrieb in Frage kommenden Hebelarm am Teil 11 einwirkt. Mit zunehmender Verschiebung der Rolle nach links verändert sich das Verhältnis der Hebelarme derart, daß die Ausschläge des Hebels 11 und damit die Füllungen kleiner und kleiner werden. Mit dem Einlaßventil zwangläufig verbunden ist das das Mischungsverhältnis regelnde Mischventil, das so ausgebildet ist, daß mit abnehmender Belastung ein gasärmeres Gemisch angesaugt wird, so daß also nicht nur die Gemischmenge, sondern auch die Gemischzusammensetzung geregelt wird; hierdurch soll die Wärmeausnutzung derartig günstig beeinflusst werden, daß der Brennstoffverbrauch für die Pferdestärkenstunde fast unverändert ist. Die Steuerung des Auslaßventils 15 erfolgt durch den bei 2 drehbar gelagerten Doppelhebel 16, der von einer auf der Steuerwelle neben der Nockenscheibe 1 sitzenden zweiten Nockenscheibe angetrieben wird. Ein weiteres Beispiel einer kombinierten Quantitäts- und Qualitätsregulierung zeigt Fig. 273.

Bei den Zweitaktmaschinen wird, wie erwähnt, die Leistungsregelung durch Einwirkung auf die Ladepumpen vorgenommen. Fig. 228 zeigt das Schema einer doppelwirkenden Körting'schen Zweitaktmaschine (vgl. auch Fig. 275). 1 ist der Arbeitszylinder, dem das Gasgemisch durch das Einlaßventil 2 zugeführt wird. Nach der Arbeitsleistung entweichen die heißen Verbrennungsgase durch die Schlitze 3 in den Auspuffstutzen 25. Der Kolben 4 ist so lang, daß er kurz

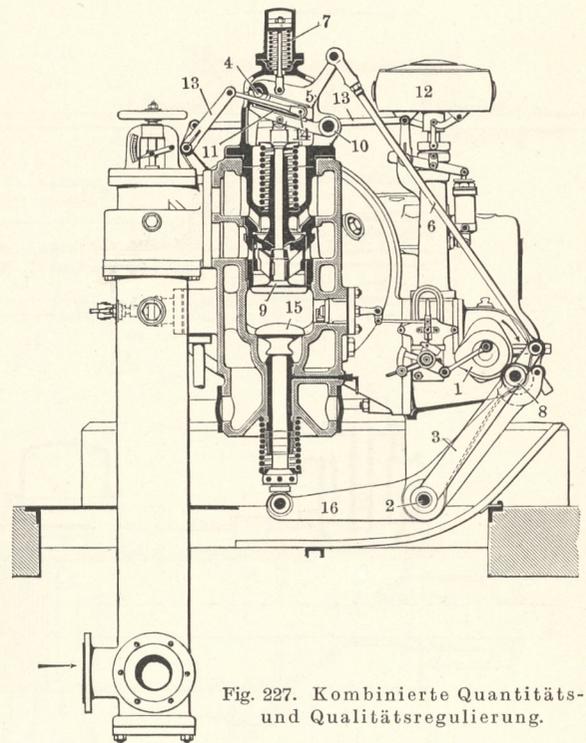


Fig. 227. Kombinierte Quantitäts- und Qualitätsregulierung.

vor Erreichung seiner Totpunktlage die in der Mitte des Zylinders befindlichen Schlitz freilegt. Zur Einführung des Gemisches in den Arbeitszylinder dienen die Ladepumpen 5 und 6, von denen erstere für Gas, letztere für Luft bestimmt ist. Beide Pumpen werden von einem gemeinsamen Kurbelgestänge angetrieben, das dem der Hauptarbeitskurbel um etwa 110° voreilt. Die Steuerung der Pumpen erfolgt durch eine vom Regulator beeinflusste Doppelschiebersteuerung. Sie ist eine Kolbenschiebersteuerung und besteht aus den Grundschiebern 9, 10 und den in diesen gleitenden Rücklaufschiebern 11, 12. Die Grundschieber sind so ausgebildet, daß sie ständig Vollfüllung geben. Sie sind durch einen Bügel 8 starr miteinander verbunden und werden durch die gemeinsame Stange 7 angetrieben. Desgleichen besitzen auch die Rücklaufschieber 11, 12 eine gemeinsame Schieberstange 13 und einen gemeinsamen Antrieb 14. Rücklauf- und Grundschieber sind mit schrägen Steuerschlitz versehen, deren Wirkungsweise im Prinzip der Doppelschiebersteuerung

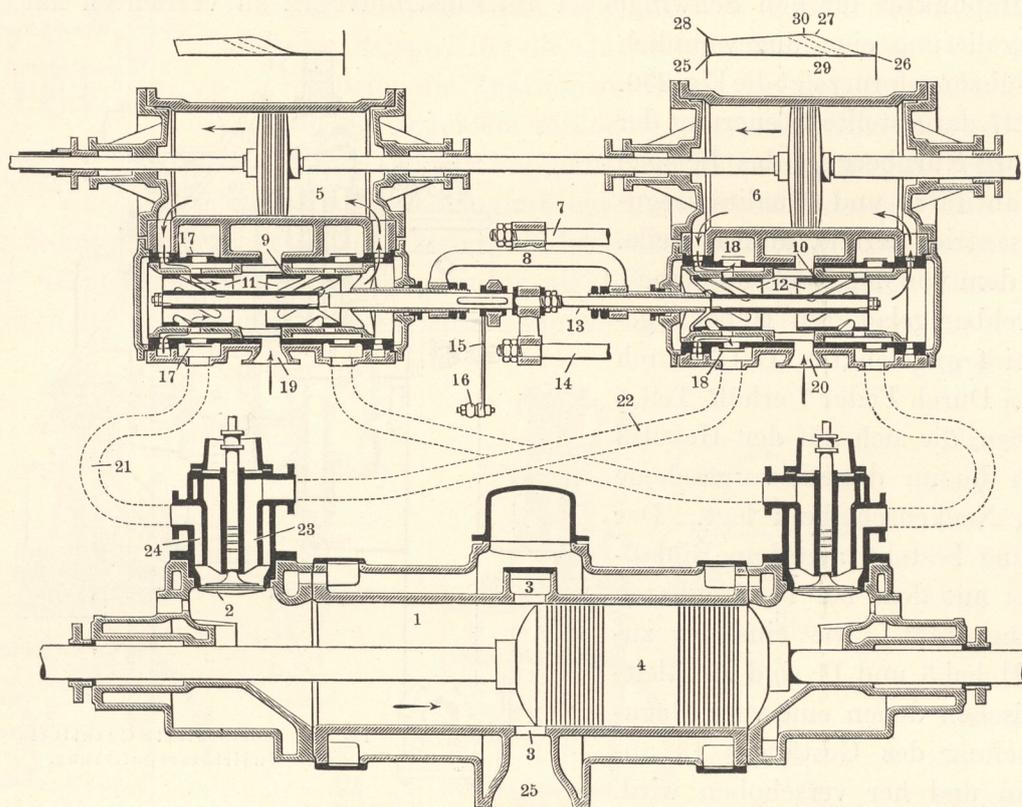


Fig. 228. Schema einer doppeltwirkenden Körtingschen Zweitaktmaschine.

von Rider (vgl. Abteilung „Dampfkraftmaschinen“ S. 60) entspricht. Das anzugsaugende Gas bzw. die Luft fließt durch die Stutzen 19, 20 und strömt dann durch das Innere der Kolbenschieber, wie die Pfeile rechts zeigen, in die Zylinder. In der gleichen Zeit findet in der linken Zylinderhälfte der Druckhub statt. Die Luft durchströmt die Kanäle, hebt die Rückschlagventile 18 an und gelangt in die Leitung 22. Durch den Rücklaufschieber 12 wird die Luft verhindert, in das Innere des Kolbenschiebers und damit in die Saugleitung zurückzutreten. Zur Regelung der Leistung wird der Rücklaufschieber um seine Achse verdreht, wodurch während des ersten Teiles des Druckhubes die Schlitz des Rücklaufschiebers und des Grundschiebers zur Deckung gelangen und ein Teil des angesaugten Gemisches in die Saugleitung zurückgeschoben wird. Ein genaues Bild über diese Vorgänge gibt das über der Luftpumpe angeordnete Diagramm. Auf der Strecke 25—26 saugt der Kolben Luft an und komprimiert sie beim Rückwärtshube von 26—27. Das Überschieben in die Druckleitung findet auf dem Wege 27—28 statt. Dieses Diagramm 25—26—27—28 veranschaulicht die volle Leistung. Wird diese verringert, so wird zunächst wieder angesaugt 25—26, hierauf aber nicht komprimiert, sondern auf dem Wege 26—29 das vorher angesaugte Gemisch in die Saugleitung zurückgeschoben. Komprimiert wird dann auf dem Wege 29—30. Die Diagrammfläche 26—27—30—29 versinnbildlicht, um wieviel die Leistung kleiner geworden ist. Die Strecke 26—29 ist abhängig von der Größe der Verdrehung des Schiebers 12, die durch Ausschwingen des Hebels 15, an dem bei 16 der Regulator angreift, bewirkt wird. Die Schieberstange 13 kann wohl in der Nabe dieses Hebels gleiten, sich aber nicht gegen sie verdrehen, so daß bei jedem Ausschwingen des Hebels 15 ein Drehen der Stange 13 und damit der Rücklaufschieber 11, 12 erfolgt. Ein Vergleich der über der Gas- und Luftpumpe

angeordneten Diagramme zeigt, daß die Gaspumpe auch bei normalem Betriebe, der durch das voll ausgezogene Diagramm veranschaulicht wird, während des ersten Teiles des Druckhubes einen Teil des Gases in die Saugleitung zurückschiebt. Wäre dieses nicht der Fall, so würden sich die durch die Leitung 22 und den Ringraum 23 einströmende Luft und das durch die Leitung 21 und den Ringraum 24 zuströmende Gas unmittelbar über dem Einlaßventil 2 treffen und bei dessen Öffnung in das Zylinderinnere treten. Tatsächlich soll aber bei der Zweitaktmaschine zunächst reine Luft unter Überdruck in den Arbeitszylinder gelangen und die verbrauchten Verbrennungsgase austreiben. Dies wird durch die ungleiche Arbeitsweise der Pumpen bewirkt, denn da die Luftpumpe schon in die Druckleitung 22 fördert, während die Gaspumpe noch in die Saugleitung zurückschiebt — der Übertritt in die Druckleitung wird durch die Rückschlagventile 17 verhindert —, tritt die durch 23 zuströmende Luft in den Ringraum 24 und drängt das dort befindliche Gas etwas zurück, so daß sich bei Eröffnung des Ventils nur Luft (Spül- oder Fegeluft) über diesem befindet. Für die ständige gleichmäßige Zusammensetzung des Gemisches ist von großer Wichtigkeit, daß beide Pumpen auf denselben Druck (vgl. die Diagramme) verdichten.

Für viele Zwecke, wie z. B. für den Antrieb von Booten, ist die *Umsteuerung* der Verbrennungsmaschinen sehr wichtig, da die gebräuchliche Einschaltung von Wendegetrieben mancherlei Nachteile im Gefolge hat. Es sind in dieser Hinsicht die mannigfachsten Vorschläge gemacht worden. Die einen benutzen für Vorwärts- und Rückwärtslauf dieselben Steuernocken und ändern die Drehrichtung der Maschinen durch Verdrehen der Nocken auf der Steuerwelle; andere nehmen besondere Nocken für Vorwärts- und Rückwärtslauf, die nebeneinander auf der Steuerwelle sitzen und entweder auf ihr oder mit ihr verschoben werden, so daß immer nur die für die jeweilig gewünschte Drehrichtung bestimmten Nocken zur Wirkung gelangen (vgl. S. 137 und 144).

3. Zündvorrichtungen.

Die Entzündung der im Zylinder befindlichen verdichteten Ladung kann auf folgende vier verschiedene Arten vorgenommen werden: 1. durch eine offene Flamme, 2. durch ein glühendes Röhrchen, 3. durch einen elektrischen Funken, 4. durch die bei der Verdichtung des Gemisches entstehende Wärme.

Die Zündung durch eine offene Flamme ist gegenwärtig verlassen. Auch die Zündung durch ein Glührohr wird nur noch bei kleineren und mittleren Maschinen benutzt. Das Glührohr ist ein an einem Ende offenes und mit diesem mit dem Zylinderinnern in Verbindung stehendes Rohr aus Porzellan, Platin oder Schmiedeeisen, dessen Außenseite durch eine offene Flamme auf Rotglut erwärmt wird. Neben den ständig mit dem Zylinderinnern in Verbindung stehenden ungesteuerten Glührohren sind auch (selten) gesteuerte im Gebrauch, bei denen die Verbindung zwischen dem Innern des Rohres und dem Zylinder nur zu gewissen Zeitpunkten hergestellt wird.

Das Glührohr wirkt folgendermaßen. Während der Saugperiode entweicht ein Teil der im Innern des Rohres befindlichen heißen Gase in den Zylinder. Der Rest wird beim Kompressionshube wieder in das Rohr zurückgedrängt. Sobald das frisch komprimierte Ladungsgemisch an die glühende Stelle des Rohres kommt, erfolgt die Zündung, deren Zeitpunkt durch Verlegung der Glühzone geregelt werden kann. Tritt die Zündung zu spät ein, so wird die Glühzone nach dem Zylinder zu verlegt; tritt sie zu früh ein, mehr nach dem anderen Ende des Rohres zu. Die äußere Anordnung einer solchen Zündung eines Grusonwerk-Motors zeigen die Fig. 229—231. In diesen ist 1 das Glührohr und 2 der Ansatz für den Zylinderkopf. Der Kamin 3 ruht auf den Tragstiften 4, auf denen er zur Verlegung des Zündzeitpunktes verschoben und in der gewünschten Stellung mittels der Schraube 5 festgestellt werden kann. Die Erhitzung

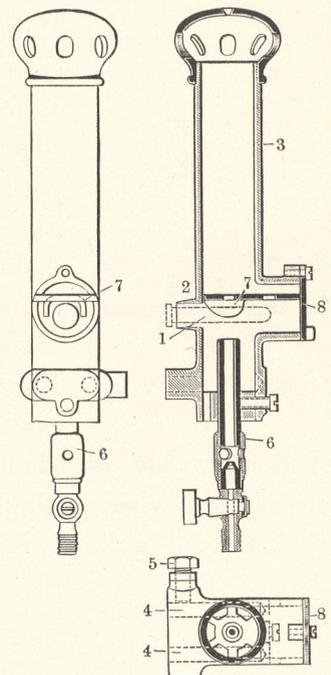


Fig. 229—231. Brenner mit Kamin eines Grusonwerk-Motors.

des Glührohres geschieht durch den in senkrechter Richtung verstellbaren Bunsenbrenner 6, dessen Flamme durch den Teil 7 verteilt wird. Häufig ist nach einmal erfolgter Anwärmung eine weitere äußere Beheizung entbehrlich, da die bei der Verpuffung eintretende Erwärmung genügt, um das Glührohr im glühenden Zustande zu erhalten. 8 ist eine Schauklappe, um das Glührohr beobachten zu können.

Am verbreitetsten ist jetzt die elektrische Zündung. Der für diese erforderliche Strom wird entweder durch eine Elementen- oder Akkumulatorenbatterie erzeugt oder mittels einer kleinen magnetelektrischen Maschine. Wenn auch die Anordnung einer Batterie am einfachsten ist, da sie keine beweglichen Teile besitzt und an beliebiger Stelle untergebracht werden kann, so haften ihr doch verschiedene Nachteile an, namentlich der, daß der Strom keine konstante Stärke behält, infolgedessen von Zeit zu Zeit ein Nachfüllen oder Aufladen

der Batterie erforderlich ist. Diesen Mängeln gegenüber bieten die magnetelektrischen Zündapparate den Vorteil großer Betriebssicherheit. Je nach der Art, wie bei diesen Apparaten die für die Lieferung des Stromes erforderliche Drehgeschwindigkeit des Ankers gegenüber den

Magnetpolen erzeugt wird, sind drei Hauptgruppen zu unterscheiden. Bei der ersten steht der Anker mit den sich drehenden Teilen der Maschine in fester Verbindung, dreht sich also ständig; bei der zweiten wird der Anker durch eine sogenannte Abschnappsteuerung mitgenommen, um dann plötzlich unter Federwirkung mit großer Geschwindigkeit zurückzuschleunigen, vollführt also eine hin und her schwingende Bewegung, und bei der dritten schließlich stehen Anker und Magnet fest, während zwischen ihnen, wie unten eingehender erläutert ist, eine Hülse hin und her schwingt.

Die Erzeugung des Funkens geschieht entweder durch eine elektrische Kerze (Zündkerze oder Zünder) oder durch eine Abreißvorrichtung. Die Ausbildung der *Zündkerze* zeigt im Prinzip Fig. 232. In einem metallenen, mit

Außengewinde versehenen Pfropfen 1, der in entsprechendes Muttergewinde des Zylinders eingeschraubt wird, befindet sich ein Isolierstäbchen 2 aus Porzellan, durch dessen Mitte die eine Elektrode 3 geführt ist, während die andere Elektrode 4 mit dem Metallteil 1 der Kerze in

Verbindung steht. Beide Elektroden stehen einander in einem Abstände von etwa 1 mm gegenüber, der von dem elektrischen Funken übersprungen wird. Die Elektrode 3 ist durch Klemme 5 mit der Hochspannungsleitung verbunden, während als Zuleitung für die andere Elektrode die Metallmasse des Zylinders dient, mit welcher der metallene Teil 1 der Kerze verschraubt ist.

Bei der *Abreißzündung* entsteht der Zündfunke dadurch, daß im Augenblick der Zündung zwei bis dahin in inniger Berührung miteinander befindliche Kontaktteile voneinander entfernt werden.

Gegen den durch die Hülse 2 (s. Fig. 233 und 234) isolierten, mit der Stromzuleitung 3 verbundenen Kontaktstift 1 legt sich der Kontakthebel 4, dem der Strom durch die Metallmasse 8 des Zylinders unter Vermittelung des metallenen Teiles 9 und Stiftes 5 zugeführt wird. Bemerkt sei, daß die Seite der Zylinderwandung 8, auf der sich Hebel 4 befindet, das Innere des Zylinders; die andere, auf welcher der Hebel 6 mit der Feder 7 sitzt, den Raum außerhalb des Zylinders darstellt. Der Hebel 4 ist fest mit dem drehbar gelagerten Stift 5 verbunden, an dessen anderem Ende ein Hebel 6 sitzt, der durch die Feder 7 so beeinflusst wird, daß sich Hebel 4 fest gegen Stift 1 legt. Im Moment der Zündung stößt die Unterbrecherstange 10 gegen Hebel 6 und hebt den Hebel 4 vom Stift 1 ab, wodurch eine Unterbrechung des Stromkreises und ein Öffnungsfunke entsteht, der die Zündung bewirkt.

Bei der Benutzung einer Elementen- oder Akkumulatorenbatterie sind zwei voneinander getrennte Stromkreise vorhanden. In den von der Batterie 1 (Fig. 235) gespeisten Stromkreis, den

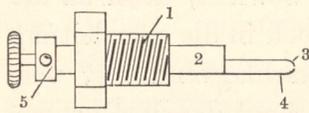


Fig. 232. Zündkerze.

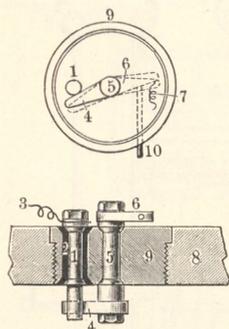


Fig. 233 und 234.
Abreißzündung.

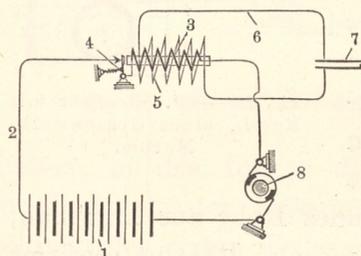


Fig. 235. Schaltung der Batterie-zündung.

primären Stromkreis 2, sind ein weiter unten näher erläuteter Stromverteiler und die Primärwicklung einer Induktionsspule 3 nebst Unterbrecher 4 (Wagnerscher oder Neef'scher Hammer) eingeschaltet. Die durch die Primärspule in rascher Folge gesandten Stromstöße erzeugen in der sie umgebenden Sekundärwicklung 5 einen hochgespannten Induktionsstrom, der den Luftraum zwischen den beiden Elektrodenspitzen einer in den Sekundärstromkreis 6 eingeschalteten Zündkerze 7 überspringt. Gesteuert wird diese Zündung durch einen von der Maschine angetriebenen Stromverteiler 8, der den primären Stromkreis in dem Augenblick, in dem gezündet werden soll, in dem also im sekundären Stromkreis Funken überspringen sollen, schließt. Bei jeder Zündung springen eine ganze Reihe von Funken hintereinander über, so daß die Zündung sicher erfolgt.

Fig. 236 und 237 zeigen einen magnetelektrischen Zündapparat der Firma Bosch in Stuttgart. Bei diesem stehen sowohl der Siemenssche I-Anker 1 als auch die aus mehreren Hufeisenmagneten 2 gebildeten Polschuhe fest. Zwischen Anker und Polschuhen vollführen zwei aus weichem Eisen bestehende Segmente 3 Schwingungen von etwa 20—25°, die dadurch hervorgerufen werden, daß sich ein auf der Steuerwelle angeordneter Daumen 4 gegen den mit den Segmenten 3 in fester Verbindung stehenden Hebel 5 legt. Ist Daumen 4 unter dem Hebel 5 hinweggeglitten, so wird letzterer durch die Federn 6 in die Anfangsstellung zurückgeführt. Mit Hebel 5 ist Stange 7 verbunden, deren anderes Ende in eine den Stift 8 umfassende Gabel ausläuft. Stift 8 sitzt an dem einen Schenkel eines Winkelhebels, dessen anderer Schenkel unter Einwirkung der Feder 9 steht. Befestigt ist der Winkelhebel an einem Zapfen 10, der durch Flansch 11 hindurch in das Innere des Zylinders hineinragt und dort den sich unter Wirkung der Feder 9 gegen Stift 13 legenden Zündhebel 12 trägt. Stift 13 ist mit Isolierung in den Flansch eingesetzt und durch Leitung 14 mit der Klemme 15 verbunden, zu der ein Ende der Wicklung des Ankers 1 führt. Das andere Ende ist an den Körper des Apparates gelegt und steht durch ihn mit dem Zündhebel 12 in Verbindung. Die Wirkung ist folgende. In dem Maße wie sich die Segmente 3 über den feststehenden Anker 1 schieben (Fig. 237), gehen mehr und mehr Kraftlinien (vgl. Abt. „Elektrotechnik I“) durch diesen. Die Größe der in der Ankerwicklung induzierten elektromotorischen Kraft ist abhängig von der Größe der in der Zeiteinheit auftretenden Änderung der Kraftlinienzahl. Da die Kraftlinienzahl, wenn die Segmente 3 durch die Federn 6 mit großer Schnelligkeit in die Anfangsstellung zurückgerissen werden, plötzlich stark abnimmt, entsteht in der Ankerwicklung ein kräftiger Stromstoß, der durch die Leitung 14, Stift 13, Hebel 12 und den Körper des Apparates wieder zur Wicklung zurückkehrt. Bei der großen Heftigkeit, mit welcher der Hebel 5 in die Gleichgewichtslage zurück-schnellt, überschreitet er diese zunächst. Die Folge ist, daß die Gabel der Stange 7 gegen den Stift 8 schlägt, wodurch eine Drehung des Zapfens 10 und damit ein Abheben des Zündhebels 12 von dem Stift 13 herbeigeführt wird, so daß ein kräftiger Zündfunke überspringen kann.

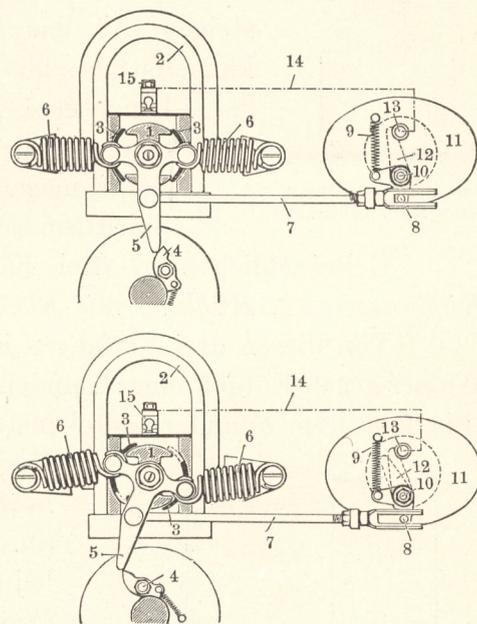


Fig. 236 und 237. Zündapparat mit ruhendem Anker von Bosch.

Die Wirkung ist folgende. In dem Maße wie sich die Segmente 3 über den feststehenden Anker 1 schieben (Fig. 237), gehen mehr und mehr Kraftlinien (vgl. Abt. „Elektrotechnik I“) durch diesen. Die Größe der in der Ankerwicklung induzierten elektromotorischen Kraft ist abhängig von der Größe der in der Zeiteinheit auftretenden Änderung der Kraftlinienzahl. Da die Kraftlinienzahl, wenn die Segmente 3 durch die Federn 6 mit großer Schnelligkeit in die Anfangsstellung zurückgerissen werden, plötzlich stark abnimmt, entsteht in der Ankerwicklung ein kräftiger Stromstoß, der durch die Leitung 14, Stift 13, Hebel 12 und den Körper des Apparates wieder zur Wicklung zurückkehrt. Bei der großen Heftigkeit, mit welcher der Hebel 5 in die Gleichgewichtslage zurück-schnellt, überschreitet er diese zunächst. Die Folge ist, daß die Gabel der Stange 7 gegen den Stift 8 schlägt, wodurch eine Drehung des Zapfens 10 und damit ein Abheben des Zündhebels 12 von dem Stift 13 herbeigeführt wird, so daß ein kräftiger Zündfunke überspringen kann.

Das an vierter Stelle genannte Zündverfahren, bei dem die Kompressionswärme in Verbindung mit der Abwärme der heißen Zylinderwandungen zur Zündung benutzt wird, bedarf keiner eigentlichen Zündvorrichtung. Es ist beim Dieselmotor besprochen, wo es angewendet wird.

4. Kühleinrichtungen.

Da durch die Verbrennung des Gemisches im Zylinder eine beträchtliche Wärme entwickelt wird, müssen die mit den heißen Verbrennungsgasen in Berührung kommenden Maschinenteile gekühlt werden, da sie sonst unter der Einwirkung der Hitze zerstört würden. Bei kleinen

Wagenmotoren genügt es, den Zylinder zu diesem Zweck mit Rippen zu versehen und dann dem Luftzuge auszusetzen. Größere und besonders ortsfeste Maschinen erfordern aber intensive Wasserkühlung. Diese beschränkt sich bei den einfachwirkenden Maschinen mittlerer Größe, bei denen eine Seite des Kolbens ständig mit der Außenluft in Verbindung steht, auf eine Kühlung des Arbeitszylinders und dessen Kopfes. Die Menge des Kühlwassers richtet sich nach der Größe der abzuführenden Wärmemenge und nach der Temperatur, mit der das Kühlwasser zu- und abfließt. Im Durchschnitt kann angenommen werden, daß ein Drittel der für die nutzbare Pferdestärkenstunde erforderlichen Wärmemenge vom Kühlwasser aufgenommen und fortgeführt wird. Bei 2700 WE für die nutzbare Pferdestärkenstunde sind das 900 WE. Wird weiter angenommen, daß das Kühlwasser mit 15° C zu- und mit 60° C abfließt, so sind für die Stunde $\frac{900}{60-15} = 20$ l Wasser erforderlich. Wenn auch bei größeren Maschinen der Wärmeverbrauch für die Pferdestärken-

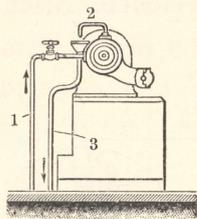


Fig. 238. Kühlung ohne Rückkühlung.

stunde geringer ist, so sinkt hierdurch trotzdem nicht der Kühlwasserverbrauch, da bei Großgasmaschinen die Temperatur des Kühlwassers nicht über 50° steigen soll, das Kühlwasser also nicht so ausgenutzt werden kann wie bei kleineren Maschinen. Es beträgt die Temperatur des Abflußwassers bei

Leuchtgas-, Petroleummaschinen	50— 60°
Sauggasmaschinen	60— 70°
Benzinmaschinen	40— 50°
Spiritusmaschinen	90—100°

Gebräuchlich sind drei Kühlverfahren, nämlich: 1. *Kühlung ohne Rückkühlung des Kühlwassers*, 2. *Kühlung mit Rückkühlung des Kühlwassers*, 3. *Verdampfungskühlung*.

Von diesen drei Verfahren ist das erste das einfachste, aber auch das teuerste, wenn das Wasser gegen Entgelt einer fremden Wasserleitung entnommen wird. Der Zufluß des durch Rohr 1 (Fig. 238) dem Zylindermantel zuströmenden Wassers wird durch einen Hahn geregelt. Nach dem Durchströmen der Mantelräume verläßt das Wasser diese an ihrer höchsten Stelle durch Rohr 2 und fließt durch das Abflußrohr 3 ab. Diese Art der Kühlung findet Verwendung bei Motorbooten, bei denen eine von dem Motor angetriebene kleine Pumpe das Wasser durch eine Öffnung in der Außenhaut des Bootes ansaugt und es dann durch die Kühlmäntel drückt, aus denen es durch eine zweite, oberhalb des Wasserspiegels gelegene Öffnung in der Außenhaut des Bootes abgeführt wird.

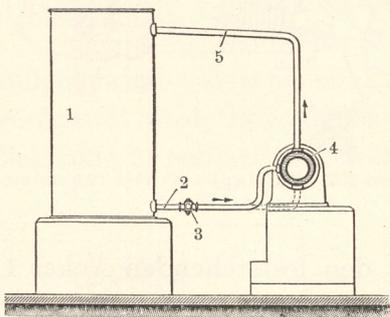


Fig. 239. Kühlung mit Rückkühlung (Kühlgefäß).

Wo dieses Kühlverfahren zu teuer, oder wo Frischwasser nicht in genügender Menge vorhanden ist, wird zu einer Rückkühlung des warmen Kühlwassers geschritten. Bei Maschinen mit Rückkühlanlage vollführt das Kühlwasser einen Kreislauf, indem es vom Zylinder zur Kühlanlage und von dieser wieder zum Zylinder zurückfließt. Es ist dann nur der durch Verdunsten des Kühlwassers entstehende Verlust zu ersetzen; auf diese Weise wird der Wasserverbrauch für die effektive Pferdestärkenstunde auf etwa 3 l herabgedrückt.

Von den zur Rückkühlung dienenden Einrichtungen sind die gebräuchlichsten: 1. die *Kühlgefäße*, 2. die *Rippenkühler*, 3. die *Gradierwerke*. *Kühlgefäße*. Ein Beispiel zeigt Fig. 239. In dieser ist 1 das offene Kühlgefäß, das so hoch mit Wasser gefüllt ist, daß der Wasserspiegel etwas oberhalb des Zuflußrohres 5 liegt. Von dem unteren Teile des Kühlgefäßes führt ein Rohr 2 zum Zylindermantel 4. In dieses Rohr ist ein Dreiwegehahn 3 eingeschaltet, durch den entweder eine Verbindung mit dem Zylindermantel oder mit der Außenluft hergestellt wird, letzteres zu dem Zwecke einer Entleerung des Kühlgefäßes. Von dem Zylindermantel fließt das heiße Kühlwasser durch das ständig ansteigende Rohr 5 zu dem Kühlgefäß. Befindet sich das Kühlgefäß in der Nähe der Maschine und sind die Leitungen frei von unnötigen Krümmungen, so ist eine besondere Pumpe zur Herbeiführung des Wasserumlaufes nicht erforderlich; es genügt vielmehr der durch den Temperaturunterschied

Von den zur Rückkühlung dienenden Einrichtungen sind die gebräuchlichsten: 1. die *Kühlgefäße*, 2. die *Rippenkühler*, 3. die *Gradierwerke*.

Kühlgefäße. Ein Beispiel zeigt Fig. 239. In dieser ist 1 das offene Kühlgefäß, das so hoch mit Wasser gefüllt ist, daß der Wasserspiegel etwas oberhalb des Zuflußrohres 5 liegt. Von dem unteren Teile des Kühlgefäßes führt ein Rohr 2 zum Zylindermantel 4. In dieses Rohr ist ein Dreiwegehahn 3 eingeschaltet, durch den entweder eine Verbindung mit dem Zylindermantel oder mit der Außenluft hergestellt wird, letzteres zu dem Zwecke einer Entleerung des Kühlgefäßes. Von dem Zylindermantel fließt das heiße Kühlwasser durch das ständig ansteigende Rohr 5 zu dem Kühlgefäß. Befindet sich das Kühlgefäß in der Nähe der Maschine und sind die Leitungen frei von unnötigen Krümmungen, so ist eine besondere Pumpe zur Herbeiführung des Wasserumlaufes nicht erforderlich; es genügt vielmehr der durch den Temperaturunterschied

hervorgerufene Gewichtsunterschied der beiden Wassersäulen zur Aufrechterhaltung des Umlaufes. Das im Zylindermantel beheizte Wasser steigt im Rohr 5 empor, was ein Nachsinken des sich im Kühlgefäß und besonders an dessen Oberfläche abkühlenden Wassers zur Folge hat. Wesentlich ist hierbei, daß der Wasserspiegel nie unter die Mündung des Rohres 5 sinkt, was sofort eine Unterbrechung des Wasserumlaufes zur Folge haben würde. Um dieses zu verhindern, sind häufig Schwimmerventile angeordnet, die beim Unterschreiten eines bestimmten Wasserstandes selbsttätig den Zufluß frischen Wassers als Ersatz für das verdunstete einleiten. Die Kühlgefäße sind an einem luftigen Orte aufzustellen. Auch sind Vorkehrungen zu treffen, um im Winter ein Einfrieren des Kühlwassers zu vermeiden, was durch Hinzufügung von Alkohol usw. zum Kühlwasser geschieht. Die Rückkühlung des Kühlwassers durch Kühlgefäße wird bei Maschinen mittlerer Leistung bis zu etwa 50 PS angewendet. Wird die Kühlwassermenge zu groß, so findet vorteilhaft eine Unterteilung des Kühlgefäßes statt.

Rippenkühler. Eine größere Abkühlungsfläche haben die Rippenkühler, die in ihrer Ausbildung den bekannten Rippenheizkörpern ähneln. Bei diesen Kühlern kommt das Kühlwasser mit der Luft nicht in Berührung; daher fallen die Verdunstungsverluste fort. Der obere Teil des Rippenkühlers steht mit der das heiße Wasser zuführenden, sein unterer Teil mit der das abgekühlte abführenden Leitung in Verbindung. Da bei vollem Tagesbetriebe für 1 Pferdestärke eine Kühlfläche von 3—4 qm notwendig ist, sind diese Kühler auch nur für kleinere Maschinen verwendbar. Hierher gehören die Automobilkühler, bei denen das Kühlwasser ebenfalls von oben nach unten durch eine große Anzahl dünnwandiger Kanäle fließt; zwischen diesen streicht der beim Fahren entstehende Luftstrom hindurch, dessen Wirkung mitunter noch durch einen Ventilator erhöht wird.

Gradierwerke. Die für die Rückkühlung des Kühlwassers aufgestellten Gradierwerke, bei denen das Wasser mit der Kühlluft in unmittelbare Berührung kommt, wirken wie die Kamin-kühler für die Oberflächenkondensatoren der Dampfmaschinen (vgl. Seite 71). Die Gradierwerke finden bei Großgasmaschinen Verwendung, brauchen aber viel Raum und sind teuer. Auf dem gleichen Prinzip beruhen die bei kleineren, namentlich lokomobilen Ölmaschinen häufig zu findenden *Ventilationskühler* (Fig. 240), in denen sich das kalte Wasser unten ansammelt und von einer kleinen, von der Maschine angetriebenen Pumpe 1 durch die Leitung 2 dem Kühlmantel des Arbeitszylinders 3 zugeführt wird, von dem aus es durch die Rohrleitung 4 dem Kühler wieder zuströmt. Im höchsten Punkte des Kühlers wird das Wasser durch einen Zerstäuber 5 fein verteilt und rieselt langsam über ein System übereinandergeschichteter Latten nach unten. Hierbei kommt es in innige Berührung mit der von unten bei 6 zuströmenden Luft, deren Zugwirkung häufig durch einen von der Maschine angetriebenen Ventilator unterstützt wird.

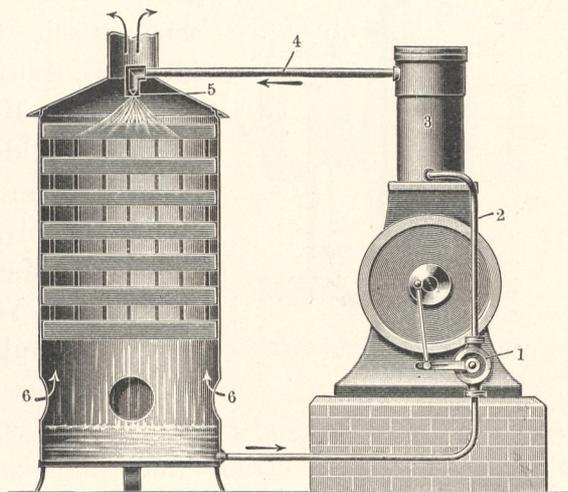


Fig. 240. Ventilationskühler.

Das dritte Kühlverfahren, die *Verdampfungskühlung*, bei der das Kühlwasser nicht nur erwärmt, sondern sogar in den dampfförmigen Zustand übergeführt wird, ist nur anwendbar bei Maschinen, die an sich schon, wie Spiritusmaschinen, eine hohe Abflußtemperatur des Kühlwassers zulassen, hat aber eine größere Verbreitung nicht gefunden.

Bezüglich der Anordnung der Kühlung für die einzelnen in Frage kommenden Teile, wie Zylinderkopf und -mantel, Auspuffventil, Kolben und Kolbenstange usw., ist noch zu bemerken, daß es vorteilhafter ist, für die einzelnen Teile gesonderte Kühlwasserleitungen anzulegen, da hierdurch die Kühlung für jeden einzelnen Teil für sich geregelt werden kann.

Für das Einströmventil ist eine Wasserkühlung nicht notwendig, da es beim jedesmaligen Ansaugen von dem frisch zuströmenden Gemisch gekühlt wird. Anders das Auspuffventil, das

bei jeder Arbeitsperiode von den heißen Verbrennungsgasen umspült wird, und dessen Kühlung infolgedessen bei größeren Verbrennungsmaschinen durchaus nötig ist. Fig. 241 zeigt ein Beispiel für ein solches Auspuffventil. Kegel und Kegelschaft 1 sind hohl ausgebildet und tragen an ihrem oberen Ende den Teller 2, gegen den sich die Schraubenfeder 3 legt und so das Ventil in der Schlußstellung erhält. Die Eröffnung erfolgt durch Ausschwingen des Hebels 4, dessen gabelförmig ausgebildetes Ende sich gegen Vorsprünge des Kegelschaftes 1 legt. Das Kühlwasser wird bei 5 zugeführt, durchfließt das Rohr 6 und strömt durch das im Innern des Kegelschaftes angeordnete, ständig feststehende Röhrchen 7 bis zum Boden des Ventilkegels. Hier ändert es

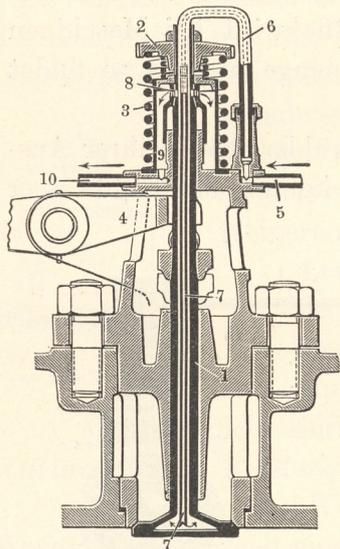


Fig. 241. Kühlung des Auspuffventils.

seine Richtung und fließt nunmehr im Gegenstrom zu dem nachströmenden Kühlwasser durch den Hohlraum zwischen Rohr 7 und Kegelschaft 1, bis es schließlich durch die Öffnungen 8 in den Raum 9 übertritt, aus dem es durch das Rohr 10 abgeführt wird.

Wesentlich schwieriger gestalten sich Zu- und Abführung des Kühlwassers bei der Kolbenkühlung, wozu gewöhnlich die hohl ausgebildete Kolbenstange benutzt wird. Bei der in den Fig. 242—244 schematisch dargestellten Ausführungsform der Firma Maschinenfabrik G. Luther A.-G. in Braunschweig dienen die beim Hin- und Hergang des Kolbens auftretenden Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte der Kühlflüssigkeit zum Durchtreiben der Flüssigkeit durch die zu kühlenden Teile. In Fig. 243 und 244 ist der vordere Teil des Zylinders mit dem Kurbelgestänge abgebrochen und 1 der Arbeitskolben der Maschine. Durch den hinteren Zylinderdeckel 17 geht die rückwärtige Verlängerung der Kolbenstange, die dann nochmals durch den Gleitschuh 16 geführt wird. 13 und 14 sind zwei nebeneinanderliegende, durch eine Scheidewand 15 voneinander getrennte Wasserbehälter, von denen der erste das frisch zuströmende, der zweite das verbrauchte Kühlwasser aufnimmt. Vor der Inbetriebsetzung müssen die zu kühlenden Räume mit Wasser angefüllt werden. Der Weg des Wassers während des Betriebes ist dann folgender. Aus Behälter 13 strömt es durch das Rohr 4 in den ringförmigen Hohlraum 2 der Kolbenstange und durchfließt diesen bis zur Scheidewand 8, wo es durch die Öffnung 10 in den hohlen Kolben 1 eintritt. In diesem steigt es empor und wird dann durch das Überfallrohr 9 in den Hohlraum 18 geleitet, den es durchströmt, bis es am Ende der hohlen

Kolbenstange durch die Löcher 11 in das innere Rohr 3 tritt, durch dessen Verlängerung 5 es schließlich in den Behälter 14 abgeführt wird.

Fig. 242 ist eine schematische Darstellung des Kurbelkreises mit den vier Hauptstellungen der Kurbel. Während der Kurbelbewegung von I nach II findet eine verzögerte Bewegung des Kolbengestänges nach rechts statt und haben infolgedessen die Wassersäulen (Fig. 243 und 244) im Rohr 3 und in den Hohlräumen 2, 18 wegen der ihnen innewohnenden lebendigen Kräfte das Bestreben, sich relativ zum Kolben nach rechts zu bewegen. Die in den Hohlräumen 2, 18 befindlichen Säulen können diese Bewegung nicht ausführen, da sich sofort das Ventil 6 schließt und die Wassersäulen infolgedessen relativ zum Kolbengestänge zur Ruhe kommen. Anders dagegen die in dem inneren Rohr 3 befindliche Wassersäule; diese kann sich in dem Rohr nach rechts bewegen, aber auch erst dann, wenn die Wassersäule am geschlossenen Ende der Kolbenstange bei 12 unter Bildung eines Vakuums abreißt. Hierbei muß zunächst das Ventil 7 geöffnet und dann der

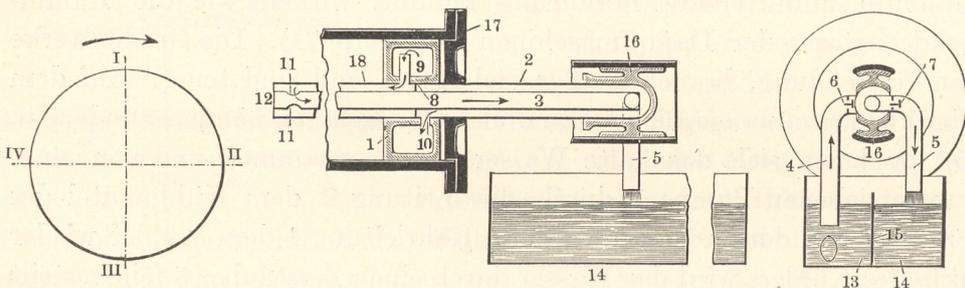


Fig. 242—244. Kolbenkühlung.

Kolbenstange durch die Löcher 11 in das innere Rohr 3 tritt, durch dessen Verlängerung 5 es schließlich in den Behälter 14 abgeführt wird.

Fig. 242 ist eine schematische Darstellung des Kurbelkreises mit den vier Hauptstellungen der Kurbel. Während der Kurbelbewegung von I nach II findet eine verzögerte Bewegung des Kolbengestänges nach rechts statt und haben infolgedessen die Wassersäulen (Fig. 243 und 244) im Rohr 3 und in den Hohlräumen 2, 18 wegen der ihnen innewohnenden lebendigen Kräfte das Bestreben, sich relativ zum Kolben nach rechts zu bewegen. Die in den Hohlräumen 2, 18 befindlichen Säulen können diese Bewegung nicht ausführen, da sich sofort das Ventil 6 schließt und die Wassersäulen infolgedessen relativ zum Kolbengestänge zur Ruhe kommen. Anders dagegen die in dem inneren Rohr 3 befindliche Wassersäule; diese kann sich in dem Rohr nach rechts bewegen, aber auch erst dann, wenn die Wassersäule am geschlossenen Ende der Kolbenstange bei 12 unter Bildung eines Vakuums abreißt. Hierbei muß zunächst das Ventil 7 geöffnet und dann der

äußere Atmosphärendruck überwunden werden. Während der Kurbelbewegung von II nach III erhält das Kolbengestänge eine beschleunigte Bewegung nach links, an der die im Rohr 3 befindliche Wassersäule wegen der ihr innewohnenden Trägheit zunächst noch nicht teilnimmt. Diese hat noch die Neigung, relativ zum Kolben nach rechts zu gehen, welche Wasserbewegung anhält, bis der atmosphärische Druck gegen das bei 12 herrschende Vakuum den Beschleunigungsdruck der Wassersäule überwindet und unter Schließen des Ventils 7 die Wasserbewegung zum Stillstand bringt. Gleichzeitig führt jetzt das Überwiegen des Atmosphärendruckes gegen das Vakuum 12 dazu, daß sich Ventil 6 öffnet und die Wassersäule in den Hohlräumen 18, 2 anfängt, relativ zum Kolben nach links zu strömen und hierbei aus dem Behälter 13 durch das Rohr 4 nachzusaugen. Verstärkt wird diese Strömung durch die Kolbenverzögerung während der Kurbelbewegung von III nach IV, bei der die Wassersäule im Rohr 3 relativ zum Kolben in Ruhe und Ventil 7 geschlossen bleibt. Während der Kurbelbewegung von IV nach I hat die beschleunigte Kolbenbewegung zunächst noch dieselbe Wirkung. Zur Regelung der durchströmenden Wassermenge können in den Zu- und Abflußleitungen 4, 5 Hähne angebracht sein.

5. Anlaßvorrichtungen.

Wie schon oben hervorgehoben ist, laufen die Verbrennungsmaschinen nicht von selbst an, sondern bedürfen einer besonderen Anlaßvorrichtung, und zwar wegen der großen Eigenwiderstände der Maschine. Beim Viertakt z. B. wirkt die Maschine während des ersten Kolbenhin- und -herganges als Verdichtungspumpe; erst beim dritten Kolbenhub wird auf den Kolben eine Kraft ausgeübt. Um die Widerstände beim Anlassen möglichst zu verringern, wird die Verdichtungsendspannung dadurch niedrig gehalten, daß während des ersten Teiles des Verdichtungshubes das Auslaßventil geöffnet und ein Teil des Gemisches in die Auspuffleitung ausgestoßen wird. Dies geschieht durch Einschalten eines kleinen, auf das Auslaßventil wirkenden Hilfsnockens, der wieder ausgerückt wird, sobald die Maschine im Gange ist. Die einfachste Art des Anlassens ist das Andrehen der Maschine durch Erfassen des Schwungrades, jedoch ist dieses Verfahren nur für kleinere Maschinen verwendbar und auch für diese nicht zu empfehlen, da leicht Unglücksfälle vorkommen. Bei den besonderen Anlaßvorrichtungen unterscheidet man das Andrehen: 1. mit einer Andrehkurbel, 2. mit einem Hilfsmotor, 3. mit explosiblem Gemisch, 4. mit Druckluft, 5. mit elektrischem Strom.

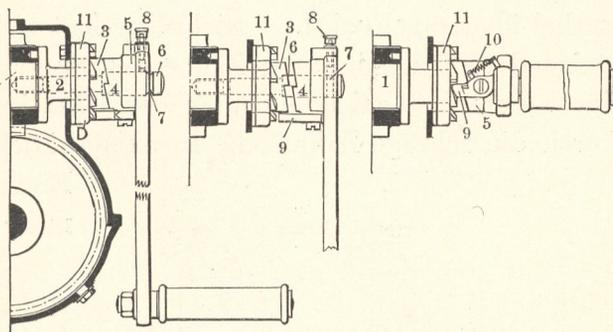


Fig. 245—247. Andrehkurbel (Deutzer Sicherheitskurbel).

Andrehkurbeln werden bei kleineren Maschinen unmittelbar auf die anzutreibende Welle gesetzt. Bei größeren Maschinen wird zwischen Andrehkurbel und Kurbelwelle ein Vorgelege, Ketten- oder Rädergetriebe, eingeschaltet und hierdurch eine Übersetzung ins Langsame herbeigeführt. Die sogenannten Sicherheitskurbeln müssen augenblicklich ausgerückt werden: sowohl dann, wenn die Maschine unter dem Einfluß der Verpuffung plötzlich anspringt, d. h. rascher zu laufen anfängt, als sich die Andrehkurbel dreht, als auch dann, wenn sich im Falle einer Frühzündung die Maschine plötzlich in einem der Andrehkurbel entgegengesetzten Sinne zu drehen beginnt. Ein Beispiel einer solchen Sicherheitskurbel der Gasmotorenfabrik Deutz zeigen die Fig. 245—247. In diesen ist 1 die anzudrehende Welle, die mit dem einen Teil 2 einer Klauenkuppelung in fester Verbindung steht. Dieser Teil trägt an seiner Stirnfläche schräg verlaufende Zähne 3; diese greifen in entsprechend ausgebildete Zähne 4 des anderen, mit der Kurbel fest verbundenen Kuppelungsteiles 5, der auf einem mit der Kurbelwelle verschraubten Bolzen 6 axial verschiebbar und drehbar angeordnet ist. Der Bolzen besitzt an seinem Ende eine Einkerbung 7, in die ein unter Federwirkung stehender, im Teil 5 geführter Stift 8 einschnappt. An dem Teil 5 sitzt ferner noch drehbar eine Sperrklinke 9, die durch eine Feder 10 in der in der Fig. 247

veranschaulichten Lage gehalten wird. Wie die Figur zeigt, kann sich diese Klinke nur in der dem Sinne des Uhrzeigers entgegengesetzten Richtung drehen. Schließlich ist noch der mit schräg ansteigenden Zähnen versehene Sperrkranz 11 zu erwähnen, der an dem Maschinengestell befestigt ist. Die Wirkungsweise der Kurbel ist folgende. Beim Andrehen legen sich die Zähne 4 gegen die Zähne 3, wodurch Welle 1 mitgenommen wird. Sperrklinke 9 stößt hierbei gegen jeden vorstehenden Zahn des festen Sperrkranzes 11, was aber belanglos ist, da die Klinke in dem dem Laufe des Uhrzeigers entgegengesetzt gerichteten Sinne ausweichen kann. Springt die Maschine plötzlich an, so gleiten die schrägen Flächen der Zähne 3 an den entsprechenden Flächen der Zähne 4 entlang und verschieben den Teil 5 mit der Kurbel, bis Stift 8 in die Eindrehung 7 einfällt.

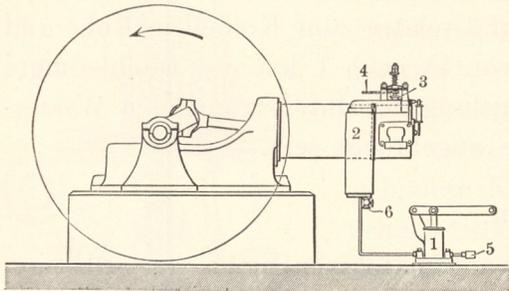


Fig. 248. Andrehen mit explosiblem Gemisch.

Die Kurbel steht nunmehr still (s. Fig. 246) und kann leicht nach Anheben des Stiftes 8 von der sich drehenden Welle bzw. dem Bolzen 6 abgezogen werden. Mitunter tritt nun eine Entzündung des Gasgemisches vor Beendigung der Kompression, eine sogenannte Frühzündung, ein. In diesem Falle kann der Kolben den Kompressionshub nicht beenden, sondern wird sofort wieder zurückgetrieben, so daß sich die Maschine im entgegengesetzten Sinne dreht, welche Bewegung durch die in Richtung der Achse verlaufenden Flächen der Zähne 3 und 4 auf die Andrehkurbel übertragen wird. Gleichzeitig legt sich aber auch die Sperrklinke 9 gegen die schräg ansteigende Fläche eines der Zähne des Sperrkranzes 11 (s. Fig. 247). Die Sperrklinke wird hierdurch veranlaßt, sich im Sinne des Uhrzeigers zu drehen. Da sie dieses nicht kann, wird sie durch die schräge Zahnfläche in axialer Richtung verschoben, so daß die Zähne 3 und 4 außer Eingriff kommen. Teil 5 und die Kurbel nehmen nunmehr die in Fig. 246 veranschaulichte Lage ein.

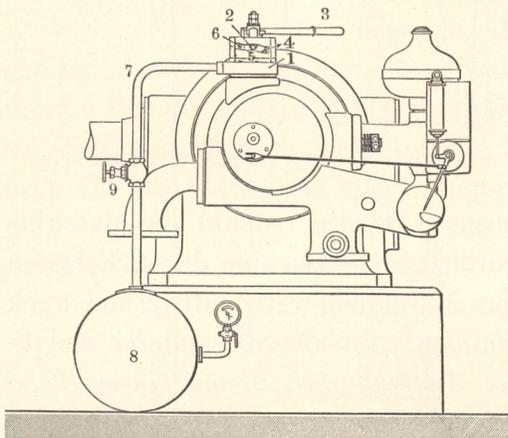


Fig. 249. Anlassen mit Druckluft.

Andrehen mit einem Hilfsmotor empfiehlt sich, wenn eine zweite Kraftmaschine vorhanden ist, es also nicht der besonderen Aufstellung einer solchen bedarf. Billiger als dieses Verfahren ist das *Anlassen mit explosiblem Gemisch*. Hierbei wird die Kurbel zunächst etwa 20° über diejenige innere Totpunktlage gestellt, bei der die Zündung stattfindet. Zum Einführen des Gemisches dient die kleine Handpumpe 1 (Fig. 248), die mit dem Behälter 2 in Verbindung steht. 3 ist das durch den Hebel 4 zu öffnende Anlaßventil und 5 der mit Benzin zu beschickende Vergaser. Zunächst wird bei geöffnetem Anlaßventil 3 mit der kleinen Handpumpe 1 Gemisch in das Zylinderinnere gepumpt. Dies muß vorsichtig geschehen, um zu verhüten, daß infolge des entstehenden Druckes der Kolben vorwärts geht. Hierauf wird das Anlaßventil geschlossen und der Behälter 2 auf einen höheren Druck aufgepumpt. Im Anschluß hieran findet ein rasches Öffnen des Anlaßventils statt. Das unter höherem Druck stehende Gemisch strömt in den Zylinder über und treibt den Kolben langsam vorwärts, bis eine Entzündung stattfindet, worauf das Anlaßventil geschlossen wird. Die durch die Entzündung hochgespannten Gase erteilen dem Kolben eine raschere Bewegung, wodurch in dem Schwungrade lebendige Kraft aufgespeichert wird, und zwar so viel, daß die Maschine einige weitere Umdrehungen machen und hierbei den normalen Betrieb einleiten kann. 6 ist schließlich noch ein kleiner Hahn an dem Behälter 2, der zu dessen Reinigung von den Verbrennungsrückständen dient. Diese Reinigung geschieht dadurch, daß beim Auslaufen der Maschine dieser Hahn geöffnet wird, wodurch bei geöffnetem Ventil 3 reine Luft angesaugt und wieder ausgestoßen wird.

Anlassen mit Druckluft ist heute das häufigste Anlaßverfahren. Die hierzu erforderliche

Druckluft wird bei kleineren Maschinen dadurch gewonnen, daß nach Abstellung der Brennstoffzufuhr die während des Auslaufens der Maschine angesaugte und komprimierte Luft in einen Sammelbehälter hineingedrückt wird. Ein Beispiel hierfür zeigt Fig. 249. In dieser ist 1 das Ladeventil, dessen Spindel die Zapfen 2 trägt; diese werden in ansteigenden Nuten des Ventilgehäuses geführt und durch Drehen des Hebels 3 in drei verschiedene Lagen 4, 5, 6 gebracht. 7 ist die zum Sammelbehälter 8 führende Leitung, in die ein Ventil 9 eingeschaltet ist. Während des normalen Betriebes befinden sich die Zapfen 2 in der Stellung 4, wodurch das Ventil derart fest auf seinen Sitz gepreßt wird, daß es von den im Zylinder auftretenden hohen Drucken nicht geöffnet wird. Beim Auslaufen des Motors werden die Zapfen in die Mittelstellung 5 gebracht. Nunmehr wird das Ventil, wenn die frisch angesaugte Luft komprimiert wird, geöffnet, so daß die Druckluft durch die Leitung 7 in den Sammelbehälter 8 eintreten kann. Soll schließlich beim Stillstand der Maschine angelassen werden, so werden die Zapfen in die dritte Stellung 6 gebracht, dadurch das Ventil geöffnet und die Verbindung zwischen Druckluftbehälter und Zylinder hergestellt. Dieser besonderen Ausführungsform des Verfahrens haftet der Übelstand an, daß der jeweilig zum Anlassen vorhandene Luftvorrat nur verhältnismäßig gering ist. Ist er verbraucht, und ist die Maschine dabei aus irgendeinem Grunde nicht angesprungen, so muß zu einem Andrehen von Hand geschritten werden. Um dieses zu vermeiden, werden größere Maschinen mit besonderen Anlaßkompressoren ausgerüstet, die während des Betriebes von der Maschine angetrieben werden und Luft von 10—15 at in einen Sammelbehälter pressen (vgl. hierzu auch das Klappmodell des Dieselmotors).

Das Anlaßverfahren mit elektrischem Strom ist nur anwendbar, wenn die Verbrennungsmaschine zum Antrieb einer Dynamomaschine dient und eine Akkumulatorenbatterie vorhanden ist. In diesem Falle wird die Dynamo als Elektromotor geschaltet, der mit dem aufgespeicherten Strom betrieben wird und die Verbrennungsmaschine andreht.

6. Schalldämpfungsmittel.

Die Schalldämpfungsmittel müssen sowohl am Ansaugerohr als auch am Auspuffrohr vorgesehen sein, um das Strömungsgeräusch der angesaugten Luft und der auspuffenden Abgase zu verringern. Sie werden als *Saug-* und *Auspufftöpfe* bezeichnet. Bei den Saugtöpfen wird noch der Nebenzweck verfolgt, die Luft von groben Verunreinigungen zu befreien. Die Dämpfung des Schalles erfolgt entweder durch allmähliche Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit oder durch nach dem Prinzip der Helmholtz-Resonatoren ausgebildete Ausgleichräume.

Ein *Saugtopf* hat eine Größe, die etwa dem fünffachen Hubvolumen des Arbeitszylinders gleichkommt. Unter Umständen genügt es, die Maschine aus dem hohlen Rahmen- oder Gestellfuß ansaugen zu lassen. Unzweckmäßig ist es dagegen, bei stehenden Maschinen die Ansaugeluft aus dem geschlossenen Kurbelgehäuse zu entnehmen, da diese Luft einerseits wegen der Erwärmung von geringerer Dichte und andererseits nicht frei von Verunreinigungen wie Abdämpfen ist. Bei großen Maschinen werden gemauerte Saugschächte angeordnet, aus denen die Maschine ansaugt.

Die *Auspufftöpfe* müssen, um ihren Zweck wirksam zu erfüllen, größer sein als die Saugtöpfe. Bei ihnen wird mit einem 15—20fachen Volumen des Arbeitszylinders gerechnet. Da infolgedessen ihre bauliche Anordnung auf Schwierigkeiten stößt, werden häufig mehrere kleinere Auspufftöpfe hintereinander geschaltet. Auch hier hat sich bei größeren Maschinen die Anordnung gemauerter unterirdischer Kanäle als vorteilhaft erwiesen, nachdem sich der erste Spannungsausgleich zwischen Auspuffgasen und Atmosphäre in einem Auspufftopf vollzogen hat. Ferner ist noch darauf zu achten, daß die heißen Auspuffgase — diese verlassen die Maschine mit einer Temperatur von etwa 400° — vor dem Eintritt in den Auspufftopf gekühlt werden. Mitunter wird eine schädliche Erwärmung des Auspufftopfes dadurch vermieden, daß das von der Maschine abgeführte Kühlwasser zum Teil in den Auspufftopf eingespritzt wird. Über die Kühlung der Auspuffgase vgl. die Beschreibungen der Fig. 250 und Fig. 273.

D. Die bauliche Gesamtanordnung der Verpuffungsmaschinen.

Nachdem vorstehend die wesentlichen Einzelheiten der Verbrennungsmaschinen, besonders der Verpuffungsmaschinen, besprochen sind, soll nunmehr einiges über den Gesamtaufbau gesagt werden. Bei der Fülle der von den führenden Firmen auf den Markt gebrachten Ausführungsformen und bei dem geringen zur Verfügung stehenden Raum kann an dieser Stelle nur je ein Beispiel für die Hauptarten und Hauptverwendungszwecke gegeben werden.

I. Die Viertaktmaschinen.

1. Ortfeste Maschinen.

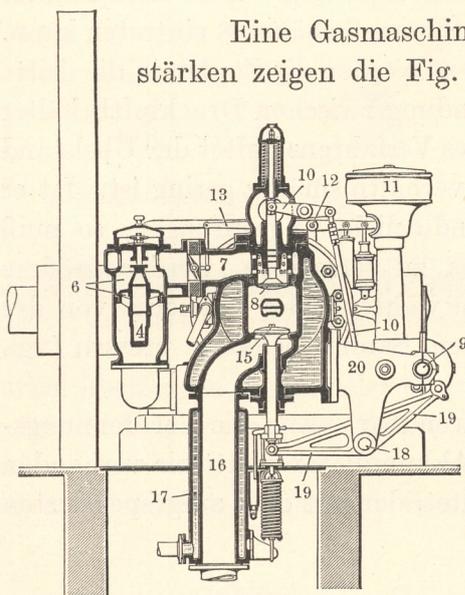


Fig. 250. Querschnitt der Fig. 251.

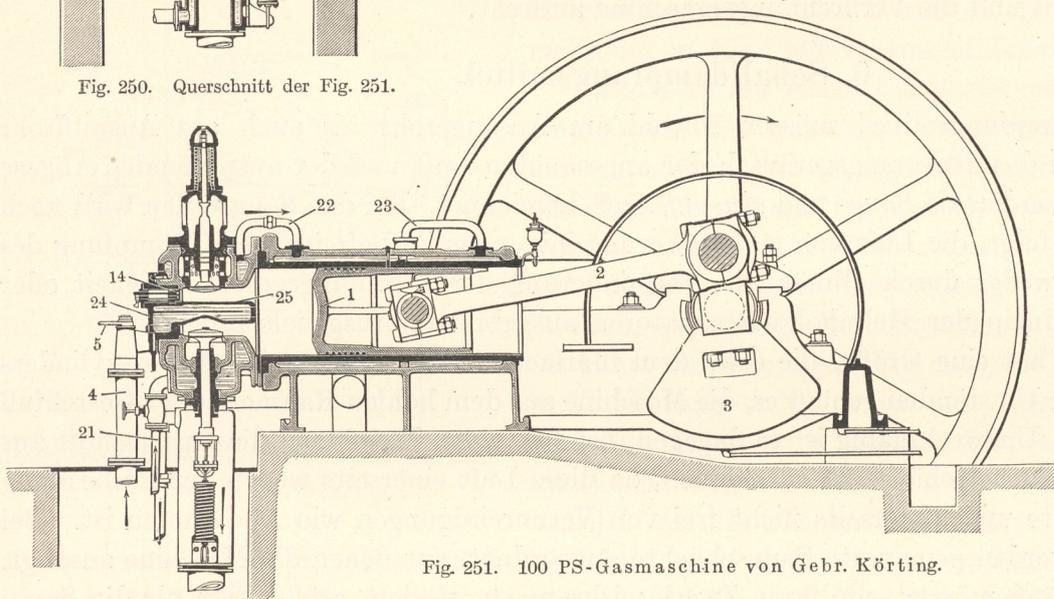


Fig. 251. 100 PS-Gasmaschine von Gebr. Körting.

Das Gas wird durch die Rohrleitung 4, in die der Hahn 5 eingeschaltet ist, zugeführt, während die Luft durch den an den Rahmenfuß angeschlossenen Rohr- ansatz zuströmt. Der Eintritt der Luft in den Hohlraum des Rahmens erfolgt durch Löcher, die zweckmäßig auf der dem Schwungrad abgewendeten Seite des Rahmens vorgesehen sind, um nach Möglichkeit dem durch das Schwungrad aufgewirbelten Staube den Zutritt in den Rahmen zu versperren. Beim Durchtritt durch das Mischventil 6 mischen sich Gas und Luft in einem bestimmten Verhältnis, das ständig gleich bleibt, wie weit sich auch der Ventilteller öffnet. Macht die Verwendung eines neuen Betriebsmittels von anderem Heizwert eine Änderung des Mischungsverhältnisses notwendig, so wird dem durch Einsetzen eines neuen Ventiltellers mit anderen Querschnittsöffnungen für den Durchtritt des Gases Rechnung getragen. Durch den Kanal 7 gelangt das Gemisch zu dem federbelasteten Ventil 8, das von einem auf der Steuerwelle 9 sitzenden Daumen unter Vermittlung des Gestänges 10 angetrieben wird. Die Regulierung ist eine Quantitätsregulierung. Durch Verstellen einer in den Kanal 7 zwischen Einlaß- und

Verdichtungsraum bildenden Teil des Zylinders, dem Zylinderkopf, sind die verschiedenen Ventile sowie die Zündvorrichtung untergebracht. Das Gas wird durch die Rohrleitung 4, in die der Hahn 5 eingeschaltet ist, zugeführt, während die Luft durch den an den Rahmenfuß angeschlossenen Rohr-

Mischventil eingeschalteten Drosselklappe wird die Menge des zuströmenden Gemisches geregelt. Durch diese Art der Regulierung sollen selbst plötzliche Ent- und Belastungen nahezu spurlos an der Maschine vorübergehen. Ein großer Vorteil ist ferner, daß der Gasverbrauch auch bei geringen Leistungen ein verhältnismäßig günstiger ist. Der Antrieb der Drosselklappe erfolgt vom Regulator 11 aus durch den um den festen Punkt 12 schwingenden Doppelhebel 13. Ferner ist am Regulator, der von der Steuerwelle aus unter Vermittlung von Schraubenrädern angetrieben wird, noch eine Einrichtung zu einer wenn auch geringen Erhöhung der Umdrehungszahl vorgesehen. Die Zündung erfolgt bei 14 auf elektrischem Wege durch aus der Zeichnung nicht ersichtliche Magnetinduktoren. Den Verbrennungseigenschaften der verschiedenartigen Brennstoffe entsprechend kann der Zeitpunkt der Zündung während des Ganges der Maschine verstellt werden. Nachdem die Verbrennungsgase im Zylinder Arbeit geleistet haben, gelangen sie durch das Auspuffventil 15

in die Abgasleitung 16, deren erster Teil mit einem Wassermantel 17 versehen ist, um die heißen Gase vor dem Eintritt in den Auspufftopf abzukühlen. Die Steuerung des Auspuffventils erfolgt ebenfalls durch einen auf der Steuerwelle 9 sitzenden Daumen unter Vermittlung des an der Ventilspindel angreifenden, um den festen Zapfen 18 schwingenden Doppelhebels 19. Dieser sowie der aus der Zeichnung nicht ersichtliche Doppelhebel zum Antriebe des Einlaßventils und die Steuerwelle selbst sind in einem mit dem Zylinderkopf fest verschraubten Bock 20 gelagert. Das zur Kühlung nötige Wasser

wird dem unteren Teil des Zylinderkopfes durch die Leitung 21 zugeführt und durch die Überströmleitung 22 in den Zylindermantel weitergeleitet, den es durch die Leitung 23 verläßt. Die Stirnwand des Zylinderkopfes ist durch einen Deckel 24 verschlossen, von dem aus sich eine wassergekühlte Zwischenwand 25 in den Verdichtungsraum hinein erstreckt, die durch ein eingelegtes Führungsblech unterteilt ist. Zweck dieser Zwischenwand ist möglichs-te Abkühlung der Ladung bei der Verdichtung. Zur Erleichterung des Inbetriebsetzens der Maschine wird, was aus der Zeichnung nicht ersichtlich ist, beim Anlassen die Nockenscheibe für den Auslaßventilhebel verschoben, so daß das Auslaßventil während der Kompressionsperiode geöffnet bleibt, wodurch eine hohe Kompression beim Andrehen der Maschine vermieden wird und kleine Maschinen bis zu etwa 16 PS mit der Hand angedreht werden können. Größere Maschinen werden mit Druckluft angelassen, wobei es sich empfiehlt, bei Maschinenstärken über 40 PS nicht das Auslaufen der Maschine zur Druckluf-ferzeugung zu benutzen, sondern eine besondere Luftpumpe dafür anzuordnen.

Allgemein ist hinsichtlich des Aufbaues der Maschine noch darauf aufmerksam zu machen, daß der breit und kräftig gehaltene, mit zwei Kurbelwellenlagern ausgerüstete Rahmen den Zylinder fast vollständig unterstützt. Rings um den Rahmenfuß laufen Rinnen zur Aufnahme des Schmieröls.

Das Schaubild einer derartigen Maschine für kleinere Leistungen von 6—50 PS zeigt

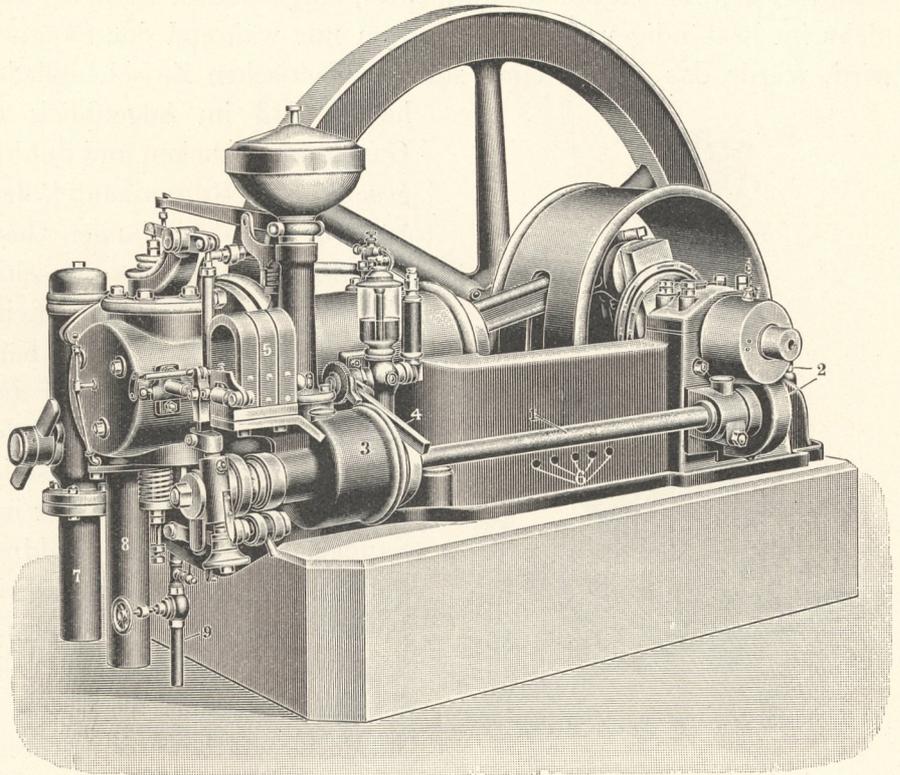


Fig. 252. 6—50 PS-Gasmaschine von Gebr. Körting.

Fig. 252. Vorn, parallel dem Rahmen, verläuft die Steuerwelle 1, die ihren Antrieb von der Kurbelwelle aus durch bei 2 eingekapselte, in einem Ölbad laufende Schraubenräder erhält. Bei 3 ist die Steuerwelle nochmals gelagert und außerdem der Antrieb für den Regulator eingebaut. Hebel 4 wird von einer auf der Steuerwelle sitzenden Daumenscheibe, gegen die er gepreßt wird, in schwingende Bewegung versetzt und überträgt diese auf eine Ölpumpe, die das Schmieröl in den Raum zwischen Kolben und Zylinderwandung preßt. Auf der anderen Seite des Teiles 3 sitzen nebeneinander die Nocken für die Steuerung des Eintritts- und Austrittsventils sowie der einstellbare Antrieb für die Zündvorrichtung, deren magnetelektrischer Apparat 5 darüber angeordnet ist. Unter der Steuerwelle befinden sich in der Rahmenwandung Löcher 6, durch welche die zur Gemischbildung gebrauchte Luft angesaugt wird. Das hierzu erforderliche Gas strömt durch die Leitung 7 zu. Ist diese von einer Beleuchtungsleitung abgezweigt, so muß ein elastischer Vorratsbehälter, gewöhnlich ein Gummibeutel, eingeschaltet werden; denn da das Gas aus der Leitung 7 nicht im beständigen Strome, sondern nur während der Saugperiode der Maschine entnommen wird, würde das Fehlen eines solchen elastischen Zwischengliedes in der Saugleitung zur Folge

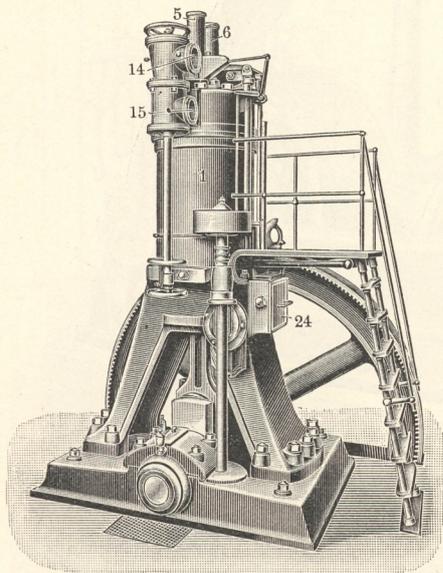


Fig. 253. Guldner Motor von 125 PS (Schaubild).

haben, daß im Augenblick des Beginnes dieser Periode die Gasflammen zucken und dunkler brennen. Durch den zwischen geschalteten Gummibeutel, der im aufgeblähten Zustand etwa 10—15 Zylinderfüllungen Gas enthält, wird dieser Übelstand vermieden. Größere Maschinen erfordern häufig mehrere Gummibeutel. Von den Leitungen 8 und 9 ist erstere für die Abgase, letztere für das Kühlwasser bestimmt. *Die näheren baulichen Einzelheiten einer derartigen Maschine sind aus dem zusammenklappbaren Modell der Gasmaschine ersichtlich.*

Als Beispiel einer stehenden ortfesten Viertakt-Verbrennungsmaschine sei der in den Fig. 253—255 dargestellte Sauggasmotor Bauart Guldner der Guldner-Motoren-Gesellschaft in Aschaffenburg beschrieben. Die Vorteile der stehenden Bauart gegenüber der liegenden sind hier dieselben wie bei den Dampfmaschinen, nämlich gute Standfestigkeit bei vollständig zentraler Aufnahme der Kolbendrucke durch die Maschine selbst, weniger störende Maschinenwirkungen, kleiner Raumbedarf und einfaches Fundament, kein Unrundlaufen der Zylinderbohrung infolge des Kolbengewichtes usw. Das A-förmig ausgebildete Gestell (s. Fig. 253) läuft oben in einen zylindrischen Teil 1 aus, der gleichzeitig den äußeren Mantel des Zylinderkühlraumes bildet. In diesen Teil ist die aus hartem Gußeisen bestehende Laufbüchse 2 eingesetzt, und zwar oben fest, unten dagegen beweglich, damit sich die infolge der Erwärmung auftretende Längenausdehnung ungezwungen vollziehen kann. Die Abdichtung der Laufbüchse gegen das Gestell erfolgt durch einen eingesetzten Kupferring 3. In den Zylinderdeckel sind neben der Zündvorrichtung 4 das Einlaßventil 5, das Auspuffventil 6 und das aus der Zeichnung nicht ersichtliche, handgesteuerte Anlaßventil eingebaut. Der Antrieb der Ventile erfolgt durch Nocken einer in der halben Höhe der Maschine, parallel der Kurbelwelle, verlaufenden Steuerwelle (Mittellinie bei 7 angedeutet), die ihre Bewegung durch ein in ein Gehäuse 8 eingeschlossenes Kegelergetriebe von der Regulatorschraube 9 aus erhält. Diese wieder wird von der Kurbelwelle mittels Schraubenräder angetrieben, von denen das eine 10 mitten in dem einen Kurbelwellenlager (vgl. hierzu auch das Klappmodell des Dieselmotors) vorgesehen ist. Von den Steuernocken aus wird die Bewegung durch die Lenkerstangen 11, 12 zu den Ventilen weitergeleitet. Die doppelt geführte Spindel des Einlaßventils trägt außerdem noch den Mischventilteller 13. Die Zuleitung des Gases erfolgt durch den Kanal 14, während die Luft durch den Kanal 15 zugeführt wird und die Regelung der Zuflußmengen von Hand durch die Schieber 16, 17 geschieht. Die Geschwindigkeitsregelung besorgt ein kräftiger Federregulator durch Veränderung der wirksamen

Hubhöhe des Einlaß- und Mischventilkegels. Zu diesem Zwecke wird, im Prinzip wie bei der oben näher erläuterten Regelung der Firma Gasmotorenfabrik Deutz (Fig. 225 und 226), vom Regulator durch die Stangen 18, 19 der Schwingungspunkt des die Stange 11 mit der Ventilspindel verbindenden Einlaßventilhebels verschoben. 20 ist der magnetelektrische Zündapparat (System Bosch) und 21 das zur Abreißvorrichtung führende Gestänge. Die Zündvorrichtung ist so eingerichtet, daß während des Betriebes ein Verstellen des Zündpunktes ohne Verkleinerung der Ankerschwingung vorgenommen werden kann. Die Lage des die Entzündung herbeiführenden Funkens genau in der Mitte des Verdichtungsraumes bewirkt eine schnelle und kräftige Entflammung der Ladung von ihrem Kernpunkt aus. Bezüglich der Kühlung ist hervorzuheben, daß nicht nur Zylindermantel und Zylinderkopf, sondern auch das Auspuffventil und der erste Teil der Auspuffleitung ge-

kühlt werden. 22 ist ein Drosselventil zur Regelung des Kühlwasserdurchflusses. Die zum Anlassen erforderliche Druckluft von etwa 12 bis 15 at Spannung wird der Maschine durch Rohr 23 zugeführt. Für die Schmierung ist ein großer Zentralschmierapparat 24 vorgesehen, von dem das Öl den Zylinderwandungen, Kolben und Kolbenbolzen durch eigene Druckpumpen zugepreßt wird. Auch für die Pleuellager ist eine zwangläufige Ölzuführung eingerichtet, während die Pleuellager mit besonderen Schmiergefäßen ausgerüstet sind. Pleuellager und Pleuellager sind dicht eingekapselt und laufen in einem Ölbad.

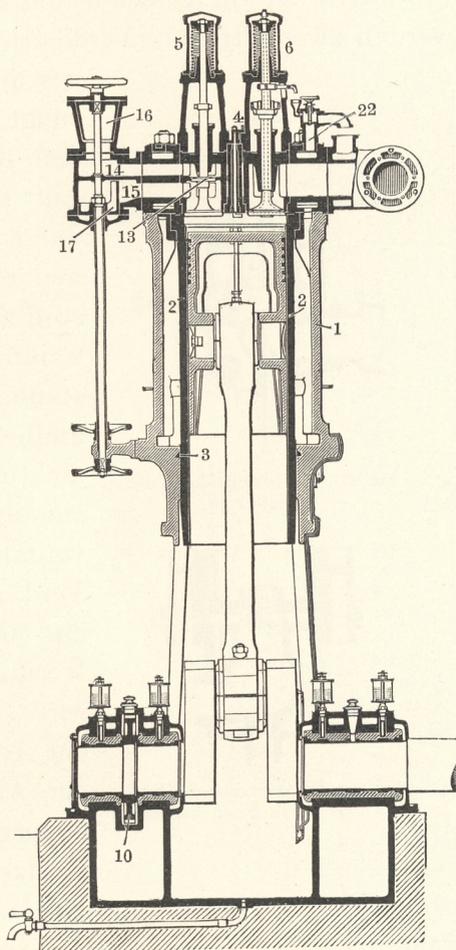


Fig. 254.

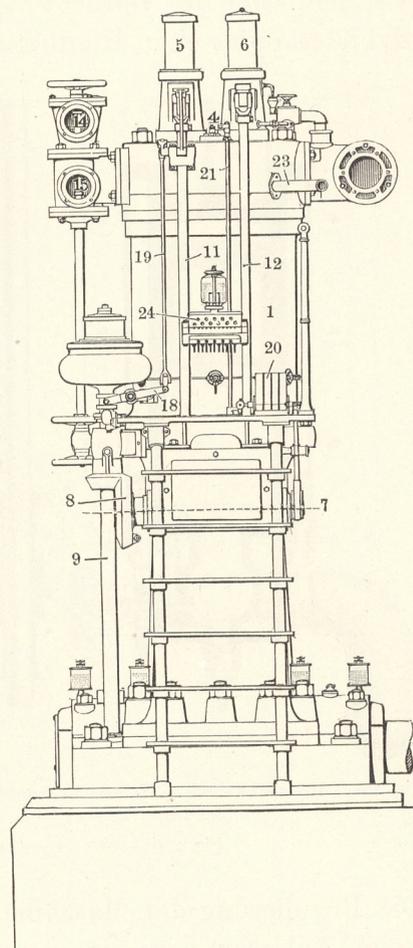


Fig. 255.

Fig. 254 und 255. Güldner Motor von 125 PS (Schnitt und Ansicht).

Die Güldner Gaskraftmaschinen sind vornehmlich für den Betrieb mit billigen Kraftgasen geeignet und werden daher meistens mit besonderen Sauggasanlagen geliefert. Mit verschiedenen Brennstoffen angestellte Versuche ergaben als Mittelwerte:

	Brennmaterial	
	Anthrazit	Gaskoks
Heizwert für 1 kg	7676	6921 WE
Ununterbrochene Versuchsdauer	ca. 11	11½ Std.
Leistung durchschnittlich	104,4	101,7 PS
Umlaufzahl durchschnittlich	158,8	155,5 i. d. Min.
<i>Brennstoffverbrauch für eine effektive PS-Stunde:</i>		
a) Brutto einschließlich Anheizen vom kalten Generator aus	305	415 g
b) Netto nach Abzug der vertragsgemäßen 10 Proz. für Anheizen usw.	275	373 g
c) Zwischenmessung von vollem zu vollem Generator	320	336 g

Vorstehend beschriebene Maschinen benutzen als Betriebsstoff ein Gasluftgemisch. Bei den mit flüssigen Brennstoffen betriebenen, bei denen der Brennstoff vor dem Eintritt in den

Arbeitszylinder verdampft und mit Luft gemischt wird, liegen die Verhältnisse ähnlich, nur kann hier — genau genommen — nicht von einem Gas-, sondern muß von einem Dampf-Luftgemisch gesprochen werden. An der Arbeitsweise der Maschine ändert dies nichts. Eine Ausnahme hiervon macht der hauptsächlich für schwere Öle bestimmte *Haselwander-Motor* (Fig. 256—258), bei dem die Verdampfung des Brennstoffes und seine Mischung mit der Luft im Arbeitszylinder stattfinden. Ein weiterer Unterschied dieses Motors gegenüber den früher beschriebenen besteht darin, daß er einer besonderen Zündvorrichtung nur für die Zeit des Anlassens bedarf. Beim Kolbenvorlauf wird durch das selbsttätige Einlaßventil 1 Verbrennungsluft angesaugt. Gegen Ende des Saughubes öffnet sich zwangsläufig das Brennstoffventil 2, und es gelangt (von einem hochstehenden Vorratsgefäß) durch die Leitung 3 Brennstoff in den Raum 4 vor der Düse 5, wo er einstweilen verbleibt. Vor dem Ende des Verdichtungshubes tritt der am Kolben befindliche Ansatz 6 in die Öffnung 7 des Zylinderkopfes ein. Hierdurch werden zwei getrennte Verdichtungsräume gebildet. In dem abgeschnittenen Ringraum 8 (Fig. 258) steigt die Verdichtung höher als in dem Raum 9. Die höher komprimierte Luft tritt mit großer Geschwindigkeit durch den Kanal 10 in den Raum 4 und reißt den dort lagernden Brennstoff mit nach dem Verbrennungsraum 9, ihn hierbei durch die Düse 5 zerstäubend. Die in der Kammer 9 befindliche Luft wird durch die Verdichtung so hoch erhitzt, daß der eingespritzte Brennstoff augenblicklich verdampft und die Ladung durch die Verdichtungswärme in Verbindung mit der Abhitze der umschließenden Wandungen im Totpunkt entzündet wird (Selbstzündung). Es folgt nun der Arbeits- (Expansions-) und dann der Auspuffhub, wobei die Verbrennungsgase durch das Auslaßventil 11 in das Auspuffrohr 12 entweichen.

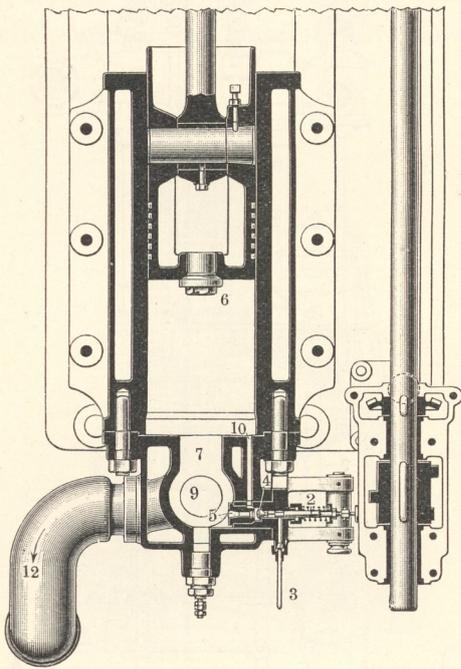


Fig. 256. Horizontalschnitt (Kolben in vorderster Stellung).

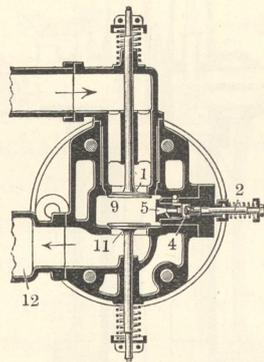


Fig. 257. Querschnitt durch den Zylinderkopf.

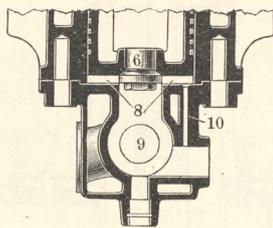


Fig. 258. Horizontalschnitt (Kolben nahe der hintersten Stellung).

Fig. 256—258. Haselwander-Motor.

Die Regulierung der Maschine erfolgt durch Veränderung der eingespritzten Brennstoffmenge. Beim Anlassen wird unter Verwendung von Benzin statt Petroleum zunächst elektrisch gezündet, da bei kalter Maschine die Verdichtungstemperatur nicht genügend hoch ist. Sobald die Maschine hinreichend warm ist, wird von Benzin auf Petroleum umgeschaltet und der elektrische Zünder außer Tätigkeit gesetzt.

Mit dem Dieselmotor (s. Gleichdruckmaschine, S. 139) hat die Maschine von Haselwander die Einblasung des Brennstoffes in die hoch verdichtete Verbrennungsluft und die Selbstzündung gemeinsam. Hinsichtlich des Brennstoffverbrauches steht sie unter den mit flüssigen Brennstoffen arbeitenden Maschinen mit Verpuffung infolge der hohen (bis zu 20 at) ohne Gefahr der Vorzündung erfolgenden Verdichtung mit an erster Stelle.

Großgasmaschinen. Im ersten Augenblick mag es befremdlich erscheinen, daß bei den Gasmaschinen anders wie bei den Dampfmaschinen die für große Leistungen bestimmten besonders behandelt werden sollen. Abgesehen davon, daß die Gasmaschine ursprünglich für das Kleingewerbe gedacht war, ist die Ursache hierfür in den wesentlich anderen Betriebsverhältnissen zu suchen. Bei der Dampfmaschine wirkt während zweier Umdrehungen der Kurbelwelle der Dampf viermal auf den Kolben treibend; bei der Gasmaschine vollführt der Kolben in der gleichen Zeit nur einmal einen Krafthub. Wenn auch bei letzterer der mittlere Druck im allgemeinen höher sein wird, darf doch

nicht außer acht gelassen werden, daß zur Erreichung der gleichen Leistung die auf den Kolben der Viertaktmaschine ausgeübte Kraft erheblich höher sein muß als bei der Dampfmaschine. Die natürliche Folge sind wesentlich größere Abmessungen des Zylinders bei der Gasmaschine als bei der Dampfmaschine. Hiermit hängt wieder eine Vergrößerung der Kolbendrucke und als weitere Folge ein schwereres Antriebsgestänge zusammen. Desgleichen muß auch das Schwungrad bedeutend schwerer werden als bei einer Dampfmaschine gleicher Leistung. Mit den einmaligen höheren Kosten für die größeren Abmessungen allein ist es aber nicht getan; die Maschinen verursachen dann auch dauernd höhere Ausgaben, da die veränderten baulichen Verhältnisse eine nicht unbeträchtliche Steigerung der Reibungsverluste bewirken.

Aber nicht allein dies, sondern auch die inneren Vorgänge in der Maschine standen einer einfachen Vergrößerung der Abmessungen hindernd im Wege. Wie die Rechnung ergibt, vergrößert sich die Oberfläche des Ladungsraumes in der zweiten Potenz, sein Inhalt dagegen in der dritten; es wächst also die Größe der zur Abführung der schädlichen Wärme bestimmten Oberfläche weit langsamer als der Inhalt des Verbrennungsraumes, so daß die Beherrschung der hohen Temperaturen im Innern des Zylinders Schwierigkeiten macht. Auch hier besteht ein grundsätzlicher Unterschied

zwischen Dampfmaschine und Gasmaschine. Bei ersterer steigen die Temperaturen auch bei starker Überhitzung nicht über $350-400^{\circ}$, bei letzterer erreichen sie unter Umständen 1800° C. Aus allem diesem folgt, daß es nicht zugänglich ist, die für Gasmaschinen kleinerer Leistungen

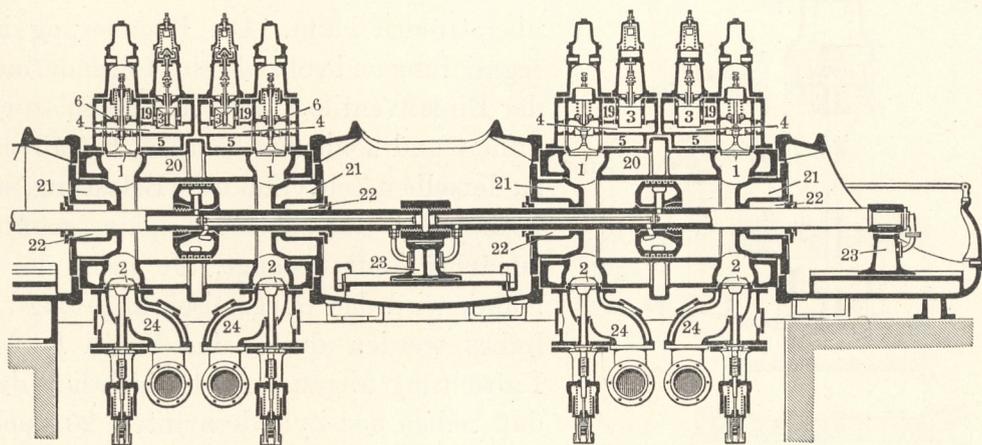


Fig. 259. Viertakt-Großgasmaschine von Pokorny & Wittekind (Längsschnitt).

bewährten Bauarten ohne weiteres auf Großgasmaschinen zu übertragen. Lebhafter wurde an deren Durchbildung erst gearbeitet, als sich Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts herausstellte, daß die aus den Hochöfen in großen Mengen entweichenden Abgase ein für Gasmaschinen sehr geeignetes Gas sind. Heutzutage werden schon Großgasmaschinen bis zu 4000 PS gebaut. Welche hohe Bedeutung sie haben, erhellt daraus, daß in einem einzigen Hüttenwerk durch Verwertung der Hochofengichtgase über 30 000 PS erzielt werden sollen. Vorzugsweise werden die Großgasmaschinen benutzt für den Antrieb von Dynamomaschinen, von Gebläsen für Hochofen- und Stahlwerke sowie für den Betrieb von Walzwerken.

Zunächst wurden Versuche mit der einfachwirkenden Viertaktmaschine gemacht, von der mehrere möglichst großer Leistung zu Zwillings-, Drillingsmaschinen usw. vereinigt wurden. Es hat sich aber herausgestellt, daß für Großgasmaschinen nur die doppelwirkende Viertaktmaschine in Frage kommt. Dann entfallen auf je zwei Umdrehungen der Kurbelwelle zwei Krafthübe, immer noch kommen aber auf vier Kolbenhübe zwei arbeitverzehrende Hübe. Auch diese sind bereits beseitigt worden, indem zwei doppelwirkende Viertaktzylinder derart hintereinander oder — wie es heißt — in Reihe gebaut wurden, daß auf jede halbe Kurbelumdrehung ein Krafthub kommt. Unbedingt notwendig ist hierbei, daß nicht nur die ruhenden, sondern auch die bewegten Teile, wie Kolben, Kolbenstange, Ventile, gut gekühlt werden.

Das Beispiel einer solchen Maschine zeigt die *Viertakt-Großgasmaschine* der Firma Pokorny & Wittekind, Frankfurt a. M.-Bockenheim. Fig. 259 zeigt den Längsschnitt der Maschine, Fig. 260 einen Querschnitt durch das Regelorgan. 1 sind die Ein- und 2 die Auslaßventile der Maschine. Zwischen den ersteren sitzen die Gaszuleitungsschieber 3. Die Zuleitungen 4 und 5 für das Gas und

die Luft sind im geschlossenen Zustande des Einlaßventils durch einen auf der Ventilschindel sitzenden Teller 6, für den keine Sitzfläche vorgesehen ist, und der daher wie ein Schieber wirkt, gegeneinander abgeschlossen. Der Antrieb der Ein- und Auslaßventile erfolgt in der üblichen Weise. Für den Gaszuleitungsschieber 3 ist eine Abschnappsteuerung vorhanden, die sich von den bei Dampfmaschinen angewendeten dadurch unterscheidet, daß bei ihr im Augenblick des Abschnappens die Feder 7 nicht auf einen Schluß, sondern auf ein Öffnen des Schiebers hinwirkt. Der um den festen Zapfen 8 schwingende Doppelhebel 9 wird von der Klinke 10 mitgenommen, was ein Anheben des Schiebers 3 und Verschließen der Durchtrittsöffnungen zur Folge hat. Die Klinke 10 erfährt eine zweifache Bewegung: sie ist um den Zapfen 11 des Hebels 12 drehbar gelagert, dem durch die Lenkerstange 13 eine um den Zapfen 8 schwingende Bewegung erteilt wird; andererseits wird die Klinke aber noch von der mit dem Regulatorgestänge in Verbindung stehenden Lenkerstange 14 beeinflusst, die an den bei 15 drehbaren Doppelhebel 16 angreift. Das andere Ende dieses Doppelhebels steht durch die Stange 17 mit dem mit der Klinke 10 fest verbundenen Hebel 18 in Verbindung.

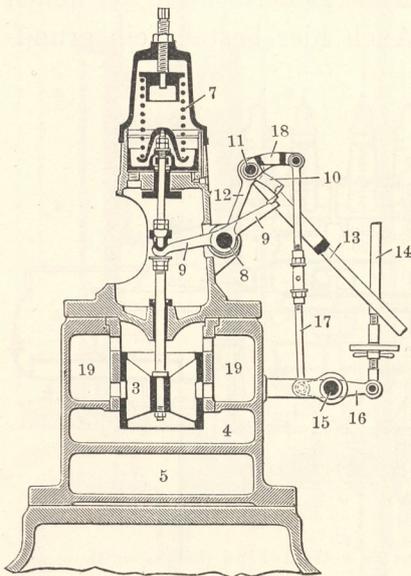


Fig. 260. Viertakt-Großgasmaschine von Pokorny & Wittekind (Querschnitt durch das Regelorgan).

Je nach dem Abschnappen der Klinke wird der Schieber früher oder später zum Öffnen gebracht, so daß das Gas aus dem Raum 19 durch die nunmehr geöffneten Schlitz in den Kanal 4 überströmen kann. Die Regulierung ist eine reine Qualitätsregulierung und vollzieht sich folgendermaßen. Das Steuergestänge der Einlaßventile 1 wird vom Regulator nicht beeinflusst; mithin öffnen und schließen sich die Einlaßventile bei jeder Belastung zu derselben Zeit. Sinkt die Belastung, so wird der vom Regulator beeinflusste Gasschieber 3 später geöffnet, so daß die Maschine zunächst Luft ansaugt. Je mehr die Belastung steigt, desto früher wird das Gasgemisch angesaugt. Am Ende des Ansaughubes werden durch das Ventil 1 gleichzeitig die Gas- und Luftleitung abgesperrt. Hinsichtlich der Kühlung sei bemerkt, daß neben den Zylindermänteln 20 auch die Deckel 21 mit den Stopfbüchsen 22 sowie Kolben, Kolbenstange und Auspuffventile energisch gekühlt werden. Die hohle Kolbenstange wird nicht nur durch die Kolben und den nicht mehr mit dargestellten Kreuzkopf, sondern auch durch die zwischen beiden Zylindern und hinter dem zweiten angeordneten Gleitschuhe 23 unterstützt. 24 sind die in ihrem ersten Teile wassergekühlten Auspuffrohre.

2. Fahrbare Maschinen.

Hierher gehören nicht nur die Maschinen für Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge, sondern auch die für die Lokomobilen.

Die Bemühungen, schienenlose Fahrzeuge mit Verbrennungsmaschinen anzutreiben, wurden erst von Erfolg gekrönt, als um die Wende der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts die mit flüssigen Betriebsstoffen gespeisten Verbrennungsmaschinen aufkamen. Zunächst galt es noch, zwei Mängel dieses neuen Verkehrsmittels zu beseitigen, nämlich das große Gewicht der Maschinen und die durch die hin und her schwingenden Maschinenteile hervorgerufenen störenden Erschütterungen des Wagengestelles. Um die Gewichtsverminderung hat sich besonders Daimler verdient gemacht, der bis 1886 durch erhebliche Vergrößerung der Umdrehungszahl das Maschinengewicht für je eine Pferdestärke bis auf 40 kg ermäßigte. Heute baut die Société Antoinette in Paris schon Maschinen mit einem Gewicht von $1\frac{1}{4}$ —1 kg für die Pferdestärke. Es darf hierbei aber nicht übersehen werden, daß derartige im Viertakt arbeitende Maschinen bis zu 2000 Umdrehungen in der Minute machen. Findet eine starke Verringerung der Umdrehungszahl statt, so sinkt die Kraftleistung der Maschine unverhältnismäßig rasch.

Fig. 261 und 262 zeigen das Beispiel eines vierzylindrigen *Mercedes-Motors* in der Stirn- und

Seitenansicht, wobei in ersterer die Kurbel abgenommen und der Kasten für das Steuerungsgetriebe geöffnet ist. An den Zylinder 1 schließen sich links und rechts die Gehäuse 2 und 3 für die Ein- und Auslaßventile an, die durch außerhalb der Gehäuse sitzende Federn 5, 6 in der Schlußstellung gehalten werden. Gesteuert werden die Ventile durch auf den Steuerwellen 7, 8 sitzende Nocken, deren Bewegung auf die Ventilspindeln 4 übertragen wird. Die Steuerwellen werden von der Kurbelwelle 9 unter Vermittelung eines Zahnradgeretriebes derart angetrieben, daß auf je zwei Umdrehungen der Kurbelwelle je eine der Steuerwelle kommt. Von diesem Zahnradgeretrie

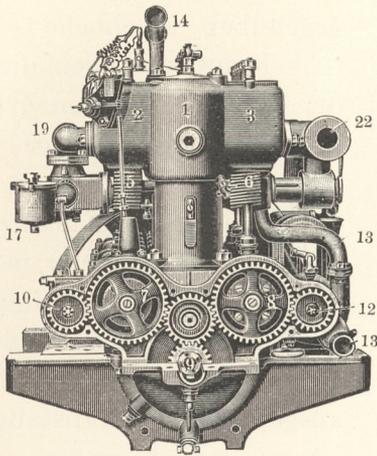


Fig. 261. Stirnseite; Kurbel abgenommen; Steuerungsgetriebekasten geöffnet.

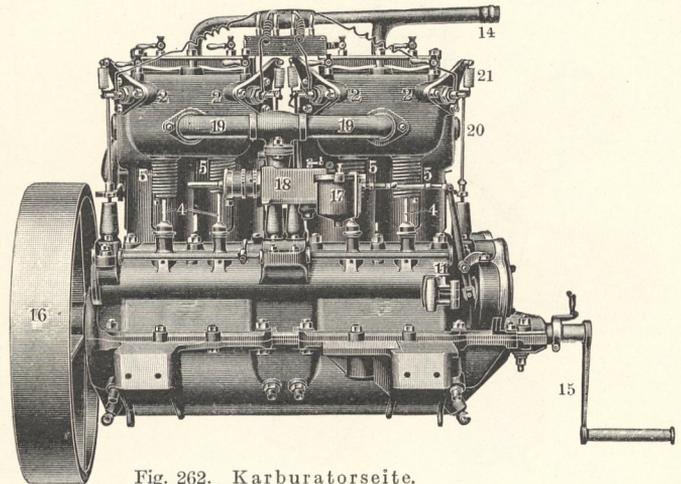


Fig. 262. Karburatorseite.

Fig. 261 und 262. Mercedes-Motor.

erhalten ferner noch das Zahnrad 10 zum Antriebe des Regulators 11 und das Zahnrad 12 zum Antriebe des Magnetankers und der Zirkulationspumpe für das Kühlwasser ihre Bewegung. Das Wasser, das von dem im vorderen Teil des Wagens angeordneten Kühler kommt, wird den Kühlmantelräumen durch die Leitung 13 zugeführt und verläßt sie durch die schwach ansteigende, zum Kühler zurückführende Leitung 14. Auf der Kurbelwelle 9 sitzen die Andrehkurbel 15 und das mit Ventilationsflügeln versehene Schwungrad 16. Zur Bildung des Ladungsgemisches sind das Karburatorschwimmergehäuse 17 und die Zerstäuber-kammer 18 bestimmt, von denen das Gemisch durch die Leitung 19 zu den Einlaßventilgehäusen 2 gelangt. Die Zündung des von dem zurückkehrenden Kolben komprimierten Gemisches besorgt die von dem Gestänge 20 angetriebene Zündvorrichtung 21. Nach der Arbeitsleistung gelangen die expandierten Verbrennungsgase durch das Auspuffrohr 22 ins Freie.

Eine Maschine, die in neuester Zeit wegen ihrer eigenartigen Steuerung großes Aufsehen erregt, ist die in Fig. 263 dargestellte *Knightmaschine*. Bei dieser berührt der Arbeitskolben 1 nicht die Zylinderwandungen, sondern zwischen beiden ist ein Ringraum gelassen, der von zwei Kolbenschiebern 2 und 3 ausgefüllt wird. Diese werden von einer sich mit der halben Umlaufzahl der Kurbelwelle drehenden Steuerwelle in eine auf und nieder gehende Bewegung versetzt. Überschleifen sich die Schlitze der Kolbenschieber vor der Öffnung 4, so findet bei niedergehendem Arbeitskolben ein Ansaugen der Ladung statt. Während des nun folgenden Verdichtungshubes und der Zündung befinden sich die Schlitze der Kolbenschieber außer dem Bereich der größten Hitze in dem oberen, von zwei Seiten (nämlich vom Zylinder und Deckel) gekühlten Teil der Maschine. Gegen Ende des Expansionshubes überschleifen sich die Schlitze der Schieber vor der Öffnung 5 und leiten den Auspuff ein. Beachtenswert ist weiter an dieser Maschine die geschlossene Form des

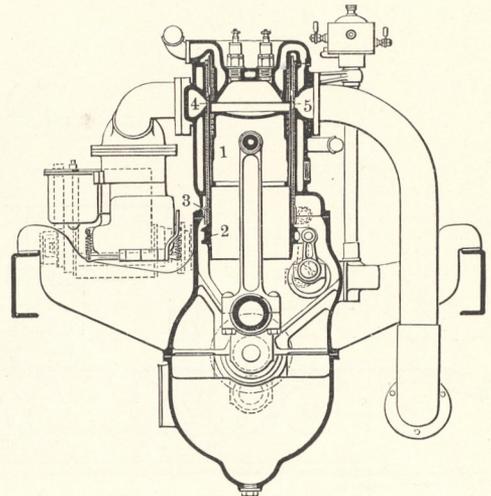


Fig. 263. Knightmaschine.

Zylinderraumes, der nur von glatten, bearbeiteten Flächen begrenzt wird. Wurden auch anfänglich Bedenken gegen diese Steuerung laut wegen des einseitigen Angriffes des Steuerungsgetriebes an den Schiebern sowie wegen der Fraglichkeit einer guten Schmierung und Kühlung, so müssen diese doch durch den praktisch erreichten Erfolg der Maschine als widerlegt angesehen werden.

Als Beispiel einer Maschine für Flugfahrzeuge sei schließlich in den Fig. 264 und 265 der *Gnôme-Motor* der Société des Moteurs Gnôme dargestellt, mit dem zahlreiche Flugzeuge ausgerüstet sind. Diese Maschine weist allen bisher beschriebenen gegenüber erhebliche Unterschiede auf, vor allem die, daß bei ihr die einzelnen Zylinder sternförmig um die Kurbelwelle angeordnet sind und sich um den feststehenden Kurbelzapfen drehen. Die Zylinder nehmen hier gleichzeitig die Stelle des Schwungrades ein. Eine der sieben von den Arbeitskolben 1 ausgehenden Schubstangen 2 ist mit einem großen Gabelkopf versehen, der unter Zwischenschaltung zweier Kugellager an dem Kurbelwellenzapfen 3 angreift. Die Köpfe der übrigen Stangen sind an dem großen Kopf mit einfachen Zapfen drehbar angelenkt. Das Ladungsgemisch tritt durch die feststehende hohle Kurbelwelle 4 in die Kurbelkammer 5 und aus dieser, wenn sich der Kolben vom Zylinderdeckel entfernt, durch das selbsttätige Einlaßventil 6 in das Zylinderinnere. Durch den zurückgehenden Kolben wird das Gemisch komprimiert und im Totpunkt entzündet. 7 ist die Zündleitung. Nach vollendeter Expansion öffnet sich das vom Gestänge 8 gesteuerte Auslaßventil 9 und entläßt die Gase ins Freie. Das Gewicht einer solchen Maschine von 34,2 Nutzpferdestärken bei 2354 minutlichen Umdrehungen beträgt 82 kg und der Brennstoffverbrauch für die Stundenpferdestärke 0,359 kg. Die Zylinder bestehen vollständig aus Nickelstahl und werden mit den Kühlrippen aus dem Vollen herausgearbeitet.

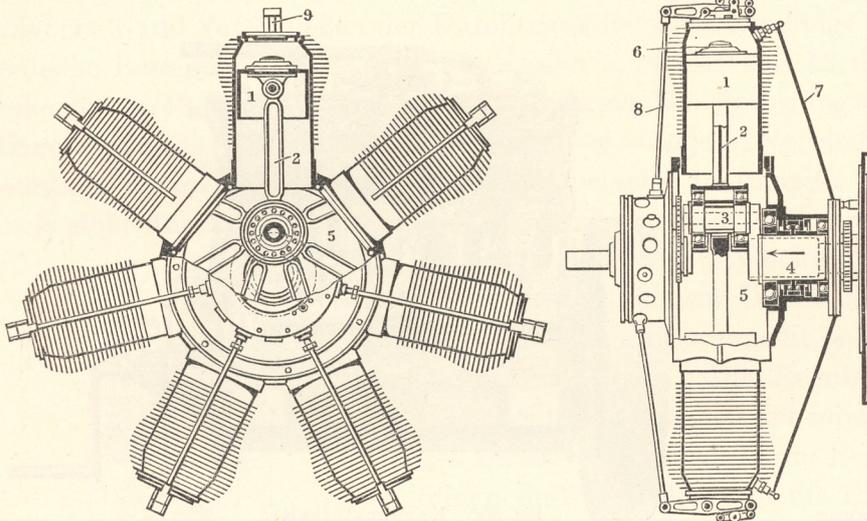


Fig. 264 und 265. Gnôme-Motor.

Das Ladungsgemisch tritt durch die feststehende hohle Kurbelwelle 4 in die Kurbelkammer 5 und aus dieser, wenn sich der Kolben vom Zylinderdeckel entfernt, durch das selbsttätige Einlaßventil 6 in das Zylinderinnere. Durch den zurückgehenden Kolben wird das Gemisch komprimiert und im Totpunkt entzündet. 7 ist die Zündleitung. Nach vollendeter Expansion öffnet sich das vom Gestänge 8 gesteuerte Auslaßventil 9 und entläßt die Gase ins Freie. Das Gewicht einer solchen Maschine von 34,2 Nutzpferdestärken bei 2354 minutlichen Umdrehungen beträgt 82 kg und der Brennstoffverbrauch für die Stundenpferdestärke 0,359 kg. Die Zylinder bestehen vollständig aus Nickelstahl und werden mit den Kühlrippen aus dem Vollen herausgearbeitet.

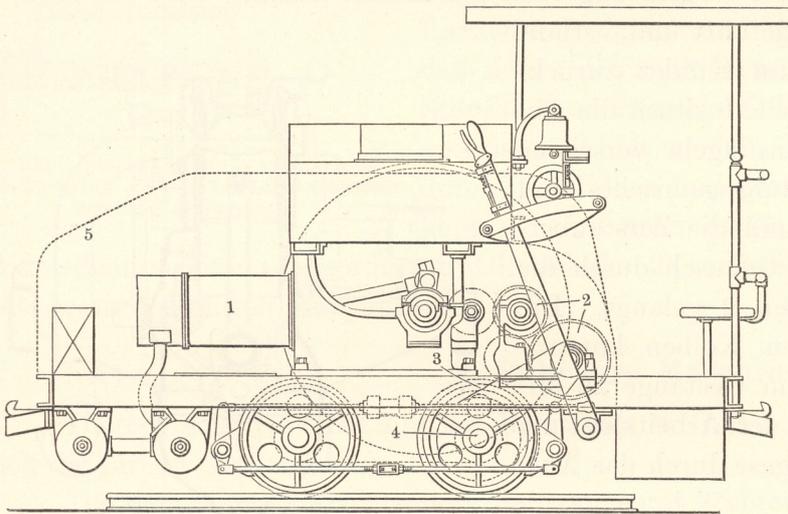


Fig. 266. Deutzer Gruben-Benzinlokomotive.

Als zu den Landfahrzeugen gehörig ist noch die *Motorlokomotive* zu erwähnen, die als Gruben-, Feld- und Waldbahn-, Rangier- und Straßenbahnlokomotive Verwendung findet. Sie wird für kleinere Leistungen, im allgemeinen nicht über 16 Nutzpferdestärken, gebaut und weist der Dampflokomotive gegenüber mancherlei Vorteile auf. So ist sie jederzeit betriebsfertig, benötigt nur einen Mann zu ihrer Bedienung und verbraucht während der Arbeitspausen keinen Brennstoff. Als solcher finden neben verdichtetem Leuchtgas, das in Vorratsgefäßen mitgeführt wird, vornehmlich Benzin, Benzol, Spiritus, aber auch Petroleum und Ergin Verwendung. Fig. 266 zeigt schematisch eine *Gruben-Benzinlokomotive* der Gasmotorenfabrik Deutz. Die liegend

angeordnete Maschine 1 überträgt ihre Bewegung durch ein Zahnrädergetriebe 2 und ein Kettenrädergetriebe 3 auf die Laufachse 4. Je nach den örtlichen Verhältnissen und dem Verwendungszweck wird das Triebwerk mit einer oder mehreren Übersetzungen ausgeführt, und es kann mit den entsprechenden Geschwindigkeiten sowohl vorwärts als auch rückwärts gefahren werden. Maschine und Triebwerk sind von dem punktiert angedeuteten Blechmantel 5 eingeschlossen.

Während die vorstehend beschriebenen fahrbaren Maschinen sämtlich zur Fortbewegung der Fahrzeuge dienen, bleiben bei den *Verbrennungslokomobilen* die Maschinen während des Betriebes an derselben Stelle und werden nur fortbewegt, wenn ihre Kraft an einer anderen Stelle ausgenutzt werden soll. Als Betriebsstoff finden vornehmlich flüssige Brennstoffe, wie Petroleum, Benzin, Spiritus, Verwendung. Das Schaubild einer solchen *Spirituslokomobile* der Oberurseler Motorenfabrik A.-G. zeigt Fig. 267. Die Maschine 1 ist stehend angeordnet, um die Kolbenstöße besser auffangen zu können. In dem über den Vorderrädern angeordneten liegenden Kessel 2 ist der Spiritusvorrat aufbewahrt, aus dem die Maschine selbsttätig den Spiritus mittels Pumpe entnimmt. Nach der Arbeitsleistung entweichen die Auspuffgase durch das Rohr 3 und den Auspufftopf 4 ins Freie. Um den Kühlwasserverbrauch gering zu erhalten, besteht Zirkulationskühlung. In dem unteren Raum des hohen viereckigen Kühlwasserturmes 5 (s. auch Fig. 240) befindet sich das abgekühlte Wasser, das durch eine Pumpe in den doppelwandigen Zylindermantel zur Kühlung gedrückt und dann oben in den Turm befördert wird, in dem es über Verteiler herunterfällt, während ein kräftiger Luftstrom durch einen Ventilator nach oben geblasen wird, der das Wasser durch teilweise Verdunstung kühlt, worauf es sich unten zur wiederholten Verwendung wieder sammelt. Auf dem Wagen selbst ist ein Vorgelege angeordnet, so daß die Maschine stets zum Treiben einer Arbeitsmaschine fertig ist.

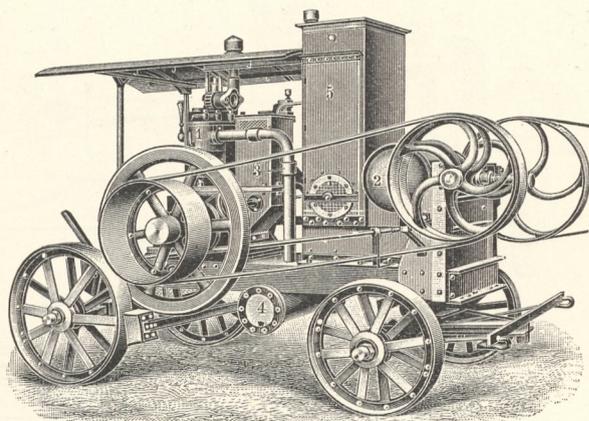


Fig. 267. Spirituslokomobile.

II. Die Zweitaktmaschinen.

Die Entwicklung der Zweitaktmaschine setzte bald nach dem Auftauchen und den Erfolgen der ersten Viertaktmaschinen ein, geriet dann aber ins Stocken, als das Deutzer Viertaktpatent vernichtet und der Viertakt frei war. Wie bei den Viertakt-Großgasmaschinen näher auseinandergesetzt ist, zeigten sich beim Bau einfachwirkender Viertaktmaschinen größerer Leistungen Übelstände, die, namentlich als ein Bedürfnis für Gasmaschinen größerer Leistung vorlag, die Aufmerksamkeit wieder auf den Zweitakt lenkten, fanden doch bei diesem in der gleichen Zeit doppelt soviel Arbeitshübe statt wie beim Viertakt und konnten infolgedessen bei gleichen Leistungen Zylinder- und Gestängeabmessungen kleiner gehalten werden. Hinsichtlich des Raumbedarfes, des Gewichtes und der Gleichmäßigkeit des Ganges ist die Zweitaktmaschine der Viertaktmaschine überlegen, aber auch in wirtschaftlicher Hinsicht steht sie ihr kaum noch nach.

1. Ortfeste Maschinen.

Als Beispiel einer liegenden Maschine sei die im Jahre 1894 entstandene und für kleinere Leistungen bestimmte *Béniermaschine* genannt. Fig. 268 zeigt einen Längsschnitt durch die Maschine und Fig. 269 einen Grundriß im teilweisen Schnitt. Äußerlich unterscheidet sich diese Maschine von den Viertaktmaschinen durch das Vorhandensein der Ladepumpen und durch das Fehlen des Auspuffventils und der sich längs der Maschine erstreckenden Steuerwelle. Der im Arbeitszylinder gleitende Kolben 1 überträgt durch die Schubstange die Kraft auf die doppelt gelagerte Kurbelwelle 2, welche die Nockenscheibe 3 für das Einlaßventil des Arbeitszylinders, den

Steuerungsantrieb 4 für die Ladepumpen, das Schwungrad 5 und die Kurbel 6 für die Ladepumpen trägt. Die Ladepumpe besitzt einen stufenförmig ausgebildeten Zylinder 7 und einen dementsprechenden Kolben 8. Der kleinere Teil 9 des Zylinders ist für die Verdichtung des Gases und der Ringraum 10 für die Verdichtung der Luft bestimmt. Beide Pumpen werden von einem gemeinsamen Rohrschieber 11 gesteuert. Als Treibmittel dient bei dieser Maschine Mischgas, das dem Schieberkasten 12 der Ladepumpe durch eine von oben kommende (in der Figur nicht sichtbare) Leitung zugeführt wird. Die Luft wird von der Pumpe 10 aus dem hohlen Gestellfuß entnommen. Der Steuerungsantrieb des Einlaßventils 13 erfolgt von dem Nocken 3 aus, gegen den sich die an dem einen Ende eines um 14 schwingbaren Doppelhebels angeordnete Rolle 15 legt. Das andere Ende des Doppelhebels steht durch die Stange 16 mit einem Hebel 17 in Verbindung, auf dessen Achse fest ein Hebel 18 sitzt, der sich gegen die Spindel des Ventils 13 legt. Die Regelung der Maschine erfolgt durch einen Regulator 22, der auf eine in der Gaszuleitung angeordnete Drosselklappe einwirkt. Zum Zweck der Kühlung wird dem Zylinderkopf durch die Leitung 19 Kühlwasser zugeführt, das oben durch den Teil 20 in den Zylindermantel überströmt. Abgeleitet wird das Kühlwasser schließlich durch die Leitung 21. Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende.

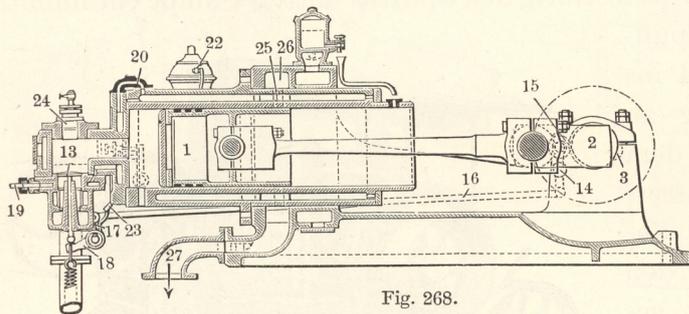


Fig. 268.

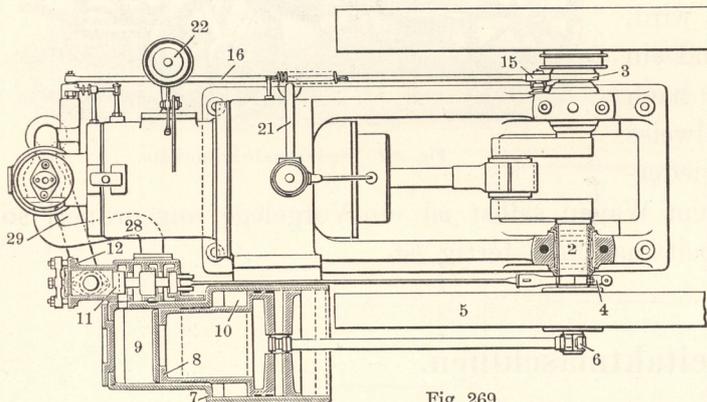


Fig. 269.

Fig. 268 und 269. Bénériermaschine.

Drosselklappe einwirkt. Zum Zweck der Kühlung wird dem Zylinderkopf durch die Leitung 19 Kühlwasser zugeführt, das oben durch den Teil 20 in den Zylindermantel überströmt. Abgeleitet wird das Kühlwasser schließlich durch die Leitung 21. Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende. Der vom Steuerhebel beeinflusste Unterbrecher 23 bewirkt, wenn sich der Kolben in der inneren Totpunktlage befindet, mittels des Zünders 24 die Entzündung der komprimierten Ladung. Die expandierenden Verbrennungsgase treiben den Kolben vorwärts, bis er die strahlenförmig am Zylinderumfang verteilten Ausströmschlitze 25 überschleift, durch die sie in den Ringraum 26 und in die Auspuffleitung 27 entweichen. Unterstützt wird dieses durch die von der Pumpe 10 durch das Rohr 28 zugeführte Luft, welche die Abgasreste austreibt. Im Anschluß an die Luft wird

auch dem durch die Leitung 29 zuströmenden Gas der Zutritt zu dem Zylinder gestattet. Während des Rückganges des Kolbens findet zunächst noch ein Austreiben der Verbrennungsprodukte statt und hierauf eine Verdichtung des Zylinderinhalts, bis wieder eine Zündung eintritt usw.

Zur Verdichtung der Luft dient entweder, wie im vorstehenden Beispiel, eine besondere Pumpe, oder es wird der vordere Teil des Arbeitszylinders als Pumpe ausgebildet, oder schließlich das Kurbelgetriebe vollständig eingekapselt und der hierdurch entstehende geschlossene Raum als Arbeitsraum für die Pumpe benutzt.

Ein Beispiel letztgenannter Art ist die in Fig. 270 veranschaulichte, von der Solos Motorengesellschaft m. b. H. in Wiesbaden gebaute Maschine (*Söhnlein-Motor*), die vornehmlich für flüssige Brennstoffe, Leicht- und Schwerbenzin, Benzol usw. bestimmt ist, aber auch mit Leuchtgas betrieben werden kann. Bemerkenswert ist an dieser Maschine, daß das Ein- und Auslassen der Gase unter Vermeidung jeglicher Ventile durch den Arbeitskolben und das Kurbelgetriebe bewirkt wird. Nicht nur geschieht diese Steuerung durch die kräftigsten Teile der Maschine, sie hat auch noch den weiteren Vorteil, daß sie ein für allemal richtig eingestellt ist und nicht aus der Ordnung kommen kann. Durch den Emporgang des Arbeitskolbens entsteht in dem gasdicht umschlossenen Kurbelgehäuse ein Unterdruck, der zur Folge hat, daß sich das Ventil 1 öffnet und durch die Öffnung 15 und das Brennstoffventil 13 Luft und Gas angesaugt werden. 14 ist der Anschlußstutzen für die

Brennstoffleitung. Je nach der Einstellung des Brennstoffventils bildet sich in der Kammer 2 ein mehr oder weniger reiches Gemisch. Erreicht der Kolben seine obere Totpunktlage, so wird der Lufteintrittsschlitz 5 freigelegt, und es strömt nun von außen Luft in die unter Unterdruck stehende Kurbelkammer. Beim Abwärtsgang wird der Inhalt der Kurbelkammer schwach verdichtet und zum Teil in den Luftkanal 4 gedrückt. Gegen Ende dieses Hubes legt der Kolben die Auspuffschlitze 8 frei, durch welche die expandierten Gase in das Auspuffrohr 9 entweichen. Auf der gegenüberliegenden Seite des Zylinders öffnet kurz nachher die Kolbenoberkante den Eintrittsschlitz 6, so daß die in der Kurbelkammer verdichtete Luft sowie das Brennstoffgemisch übertreten können. Damit das frisch zuströmende Gemisch nicht von den auspuffenden Gasen mitgerissen wird, befindet sich auf dem Kolben eine Prallplatte oder Brücke 7, welche die neue Ladung nach dem Verbrennungsraum und in die Gegend der Zündung leitet. Der nach oben gehende Kolben schließt zunächst den Gaseinlaßkanal 6 und dann den Auspuffschlitz 8, worauf das im Zylinder eingeschlossene Gemisch hoch verdichtet und in der Nähe des inneren Totpunktes mittels eines elektrischen Funkens durch den bei 10 angeordneten Zünder entzündet wird. Die hochgespannten Verbrennungsgase treiben den Kolben arbeitend wieder nach unten, der am Ende seines Hubes den Auslaßkanal überschleift, hierbei die Gase ins Freie entweichen und durch den sich öffnenden Eintrittskanal 6 die frische Ladung eintreten läßt, worauf sich die Vorgänge in der beschriebenen Reihenfolge wiederholen. Die Regulierung geschieht einerseits durch das von Hand einstellbare Brennstoffventil, andererseits durch den von einem Zentrifugalregulator beeinflussten Hahn 3. Zur Kühlung ist der Zylinder von einem Wassermantel umgeben, an den sich unten die Wasserzulußleitung 11 und oben die Wasserabflußleitung 12 anschließt. Geölt wird die Maschine durch einen selbsttätigen, aus der Zeichnung nicht ersichtlichen Zentralschmierapparat.

Großgasmaschinen. Hier sind zunächst die *Zweitaktmaschinen von Öchelhäuser* zu nennen. Von diesen wurde die erste, bei 125—135 minutlichen Umdrehungen eine Leistung von 300 PS entwickelnde, im Jahre 1898 auf dem Hüttenwerk Hörde in Westfalen mit Hochofengas in Betrieb gesetzt. Fig. 271 gibt eine schematische Skizze dieser Maschine. Im Arbeitszylinder 1 bewegen sich zwei Kolben 2 und 3 derart, daß sie sich entweder einander nähern oder voneinander entfernen, also niemals in derselben Richtung laufen. Dieses wird durch eine dreifach gekröpfte Kurbelwelle 4 erreicht, deren mittlere Kurbel gegen die beiden äußeren um 180° versetzt ist. Die mittlere Kurbel ist mit dem Kolben 2 durch eine Schubstange 5 verbunden; die beiden äußeren wirken durch Schubstangen 6 auf Gleitfüße 7, von denen Stangen 8 zu einer Traverse 9 führen, die ihrerseits sowohl mit dem zweiten Kolben 3 als auch mit einem dritten 10 in Verbindung steht. Der letztgenannte Kolben gehört zu einer doppelwirkenden Verdichtungspumpe, deren eine Seite Gas, die andere Luft in zwei gesonderte, unterhalb der Maschine befindliche, in der Skizze aber nicht dargestellte Behälter drückt. Ferner ist der Zylinder 1 mit Schlitz 11, 12, 13 versehen. Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende. Stehen die beiden Kolben 2 und 3 einander am nächsten, also in der inneren Totpunktstellung, so befindet sich

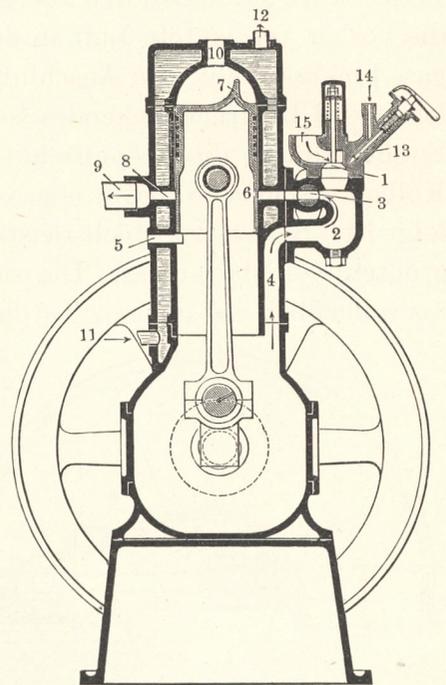


Fig. 270. Söhnlein-Motor.

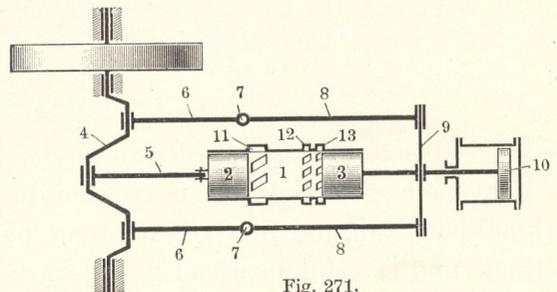


Fig. 271.

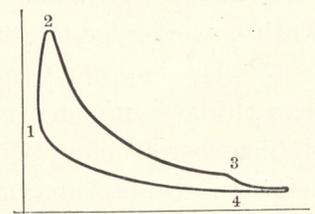


Fig. 272.

Fig. 271 und 272. Wirkungsweise der Öchelhäusermaschine.

zwischen ihnen die verdichtete Ladung, die nach ihrer elektrisch erfolgten Entzündung die Kolben auseinandertreibt und hierbei Kraft auf die Kurbelwelle überträgt. Nähern sich die beiden Kolben ihrer äußeren Totpunktlage, in der sie am weitesten voneinander entfernt sind, so überschleift der Kolben 2 die Schlitze 11, und die noch hochgespannten Verbrennungsgase entweichen ins Freie. Kurz darauf werden aber auch die Schlitze 12 von dem Kolben 3 freigelegt, so daß nunmehr die vorher verdichtete Luft in den Zylinder tritt und die noch darin befindlichen Verbrennungsgase hinauschiebt. Im Anschluß hieran öffnet der Kolben 3 noch die Schlitze 13, durch die unter leichtem Überdruck stehendes Gas in den Zylinder strömt. Um zu verhindern, daß dieses mit der Spülluft durch die Auspuffschlitze entweicht, werden diese Schlitze durch die zurückkehrenden Kolben geschlossen, bevor eine vollständige Auffüllung des Zylinders mit frischem Gasgemisch erfolgt ist. Selbst bei Höchstleistung beträgt das eingelassene Gemischvolumen nur 75 Proz. des größten Zylinderraumes. Die sich einander nähernden Kolben verdichten das Ladungsgemisch, bis schließlich im inneren Totpunkt die Zündung erfolgt und sich das Spiel wiederholt.

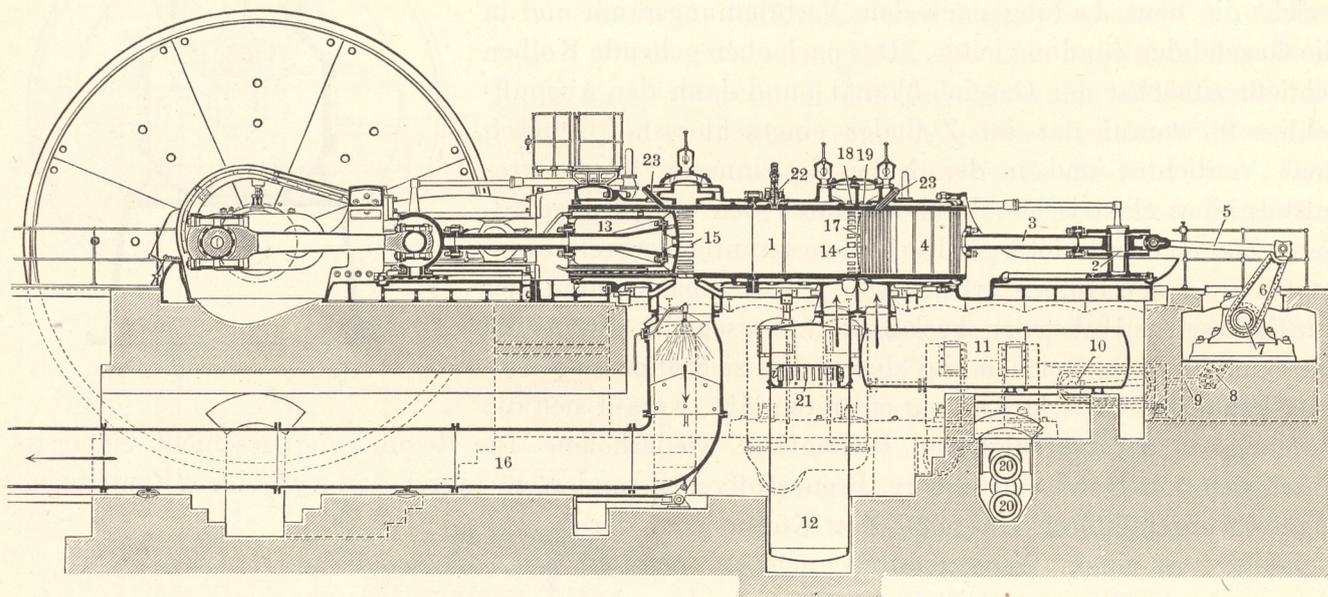


Fig. 273. Zweitaktmaschine Öchelhäuser von 1500 PS Nennleistung.

Über die Vorgänge im Innern des Zylinders gibt das Diagramm (Fig. 272) Aufschluß. Bei 1 erfolgt nach vollendeter Kompression die Zündung. Der Druck steigt plötzlich bis auf 2, um dann allmählich während des Arbeitshubes bis auf 3 zu sinken. Hier werden die Auspuffschlitze geöffnet, und es erfolgt zunächst ein starker Druckabfall, an den sich das Ausspülen des Zylinders und Einführen der neuen Ladung bis zum Punkt 4 anschließt. An dieser Stelle sind die drei Schlitzkränze wieder geschlossen, worauf die Kompression des Gemisches bis zum Punkt 1 einsetzt.

Da bei der *Öchelhäusermaschine* auf zwei Umdrehungen der Kurbelwelle doppelt soviel Krafthübe kommen wie bei der einfachen Viertaktmaschine, könnte leicht angenommen werden, daß sie bei gleichen Abmessungen und sonstigen gleichen Verhältnissen doppelt soviel leistet wie letztere. Diese Annahme ist aber irrig. Zunächst beträgt die Füllung der *Öchelhäusermaschine* nicht mehr als 75 Proz. des Zylindervolumens; ferner haben die schwere Kurbelwelle, das verdreifachte Gestänge sowie namentlich auch der Betrieb der Verdichtungspumpen nicht nur Reibungs-, sondern auch Arbeitsverluste zur Folge. Alles in allem ist häufig die Leistung einer *Öchelhäusermaschine*, verglichen mit der einer gleichgroßen Viertaktmaschine, nur unerheblich größer als diese. Dafür hat aber die *Öchelhäusermaschine* wieder andere Vorteile, z. B. die größere Gleichmäßigkeit des Ganges sowie die bedeutend einfachere Steuerung.

Den Gesamtaufbau einer von der Firma A. Borsig in Berlin-Tegel ausgeführten *Öchelhäusermaschine* läßt der Längsschnitt Fig. 273 erkennen. Bei dieser Ausführungsform liegen die Pumpen zur Verdichtung des Gases und der Luft nicht in einer Richtung mit dem Arbeitszylinder 1, sondern seitlich von ihm, und zwar unter Flur. Das aus der Figur nicht ersichtliche, zu beiden

Seiten des Arbeitszylinders vorgesehene Gestänge überträgt seine ihm von der Kurbelwelle erteilte Bewegung durch den Gleitschuh 2 und die Kolbenstange 3 auf den hinteren Kolben 4. Andererseits ist der Gleitschuh aber noch durch die Schubstange 5 mit dem schwingbaren Hebel 6 verbunden, dessen Drehachse 7 nach hinten verlängert ist und dort einen Hebel 8 trägt, der durch die Schubstange 9 und den Kreuzkopf 10 die Bewegung auf die in Tandemanordnung hintereinandergelegten Pumpenzylinder für Gas und Luft überträgt. Diese Pumpen fördern das Gas und die Luft in zwei unmittelbar unter der Maschine angeordnete Behälter 11, 12. Bei der gezeichneten äußeren Totpunktstellung der Kolben 13 und 4 treibt die aus dem Behälter 12 durch die Schlitze 14 in den Zylinder eintretende verdichtete Luft die Reste der Verbrennungsgase durch die Schlitze 15 in die Auspuffleitung 16. Gleichzeitig tritt aber auch schon durch die Schlitze 17 frisches Gas in den Zylinder. Die Wirkungsweise der Maschine ist bereits oben ausführlich erläutert, so daß sich ein nochmaliges Eingehen darauf erübrigt. Zum Zwecke der Regelung ist der Zylinder bei den Eintrittsschlitzen 14 und 17 für die Luft und das Gas von drehbaren Deckringen 18, 19 umgeben, die mit entsprechenden Schlitzen versehen sind. Kommen die Schlitze der Deckringe und des Zylinders einander gegenüber zu stehen, so findet ein freies Durchströmen des Gases bzw. der Luft statt. Soll geregelt werden, so wird der Deckring der Lufteinlaßkanäle von Hand verdreht, wodurch die Zusammensetzung des Gemisches verändert wird. Bei Schwankungen in der Umdrehungszahl der Maschine wird der Deckring 19 für die Gaseinströmschlitze 17 vom Regler

verstellt. Außerdem wirkt der Regler noch auf zwei aus der Zeichnung nicht ersichtliche Gas- und Luftrückströmventile. Diese sind in Rückströmleitungen 20 eingeschaltet, die von jedem Sammelbehälter zu der Saugleitung der den Behälter speisenden Pumpe führen. Sinkt die Belastung der Maschine, so werden die Ventile von dem Regler geöffnet, und es tritt ein Teil des verdichteten Gases und der verdichteten Luft in die Saugleitung zurück. Geregelt wird also sowohl durch Änderung des Mischungsverhältnisses als auch durch Änderung der Menge des eingeführten Gemisches. Zur Erzielung einer möglichen Trennung der Spülluft von der Gemischluft, um zu große Verdünnung des Gemisches zu vermeiden, ist der von einem Exzenterantrieb gesteuerte Kanaldeckring 21 bestimmt. 22 ist das Anlaßventil, und bei 23 findet die Kolbensmierung statt. Zur Kühlung wird noch bemerkt, daß außer der üblichen Zylinder- und Kolbenkühlung eine Abkühlung der Auspuffgase durch Einspritzen von Wasser vorgesehen ist.

Ist auch der Gang der Öchelhäusermaschine gleichmäßiger als der der einfachwirkenden Viertaktmaschine, so findet doch auch bei ihr nur während der Hälfte jeder Kurbelumdrehung eine Kraftäußerung auf den Kolben statt. Auch diese letzte Ungleichmäßigkeit wird vermieden durch die *doppeltwirkende Zweitaktmaschine*, die in Fig. 274 schematisch veranschaulicht ist. Wenn diese auch der Öchelhäusermaschine gegenüber wesentliche Unterschiede aufweist — sie hat beispielsweise keine Einlaßschlitze, sondern Einlaßventile, die oben auf dem Zylinder sitzen und daher in der Figur nicht sichtbar sind; ferner fehlt bei ihr das Umführungsgestänge —, so ist doch die Wirkungsweise auf jeder Seite des Kolbens die gleiche wie bei der Öchelhäusermaschine. Wie bei dieser sind außer dem Arbeitszylinder 1 noch zwei doppeltwirkende Pumpenzylinder vorgesehen, von denen einer zur Verdichtung des Gases, der andere zur Verdichtung der Luft dient. In der gezeichneten Stellung befindet sich der Arbeitskolben 2 in der rechten Totpunktlage. Er ist annähernd halb so lang wie der Arbeitszylinder, so daß er erst kurz vor Erreichung der Totpunktlage die Auspuffschlitze 3 freigibt. Nachdem dieses geschehen ist, und nachdem die wenn auch bereits entspannten, so doch immer noch einen beträchtlichen Überdruck besitzenden Gase ins Freie entwichen sind, öffnet sich das oben auf dem Zylinder sitzende Einlaßventil, durch das zunächst Spülluft in den Zylinder strömt und die Auspuffgase austreibt. Gleich hinter der Spülluft strömt durch dasselbe Ventil die frische Ladung ein. Das auf der anderen Seite des Kolbens befindliche

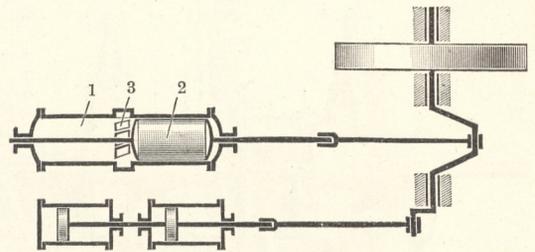


Fig. 274. Schema der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine.

Ladungsgemisch wird nunmehr entzündet und treibt den Kolben nach links, hierbei Arbeit leistend, gleichzeitig aber auch die frische Ladung komprimierend. Ein genaueres Eingehen auf den Lade- und Regelungsvorgang dieser Maschine ist überflüssig, da er bereits eingehend in dem Abschnitt Steuerungen (Fig. 228) besprochen ist. Bemerkt sei hier nur noch, daß bei dieser Maschine wie bei der Öchelhäusermaschine die Verdichtung der neuen Ladung nicht etwa in den Ladepumpen, sondern genau so wie bei der Viertaktmaschine vor der Zündung in dem eigentlichen Kraftzylinder stattfindet. Die Leistung der Maschine beträgt nicht etwa das Vierfache einer einfachwirkenden Viertaktmaschine gleicher Abmessungen; denn einerseits vollzieht sich das Laden nicht so vollkommen wie bei der Viertaktmaschine, andererseits tragen die durch das schwerere Gestänge — es sei nur auf den an sich schon schweren Kolben, der innen mit Wasserkühlung versehen ist, hingewiesen — und durch die Ladepumpen hervorgerufenen Reibungs- und sonstigen Verluste dazu bei, die Nutzleistung zu verringern.

Das Schaubild einer solchen Maschine, Bauart Körting, zeigt Fig. 275. Auf beiden Enden des Arbeitszylinders sitzen die Einlaßventile 1, deren Antriebsgestänge hinter der Maschine liegt. Die in der Mitte des Zylinders befindliche Ausbauchung 2 nimmt den zur Ableitung der Auspuffgase dienenden Kanal auf. 3 ist die Abflußleitung für das Kühlwasser. Neben der Maschine befinden sich

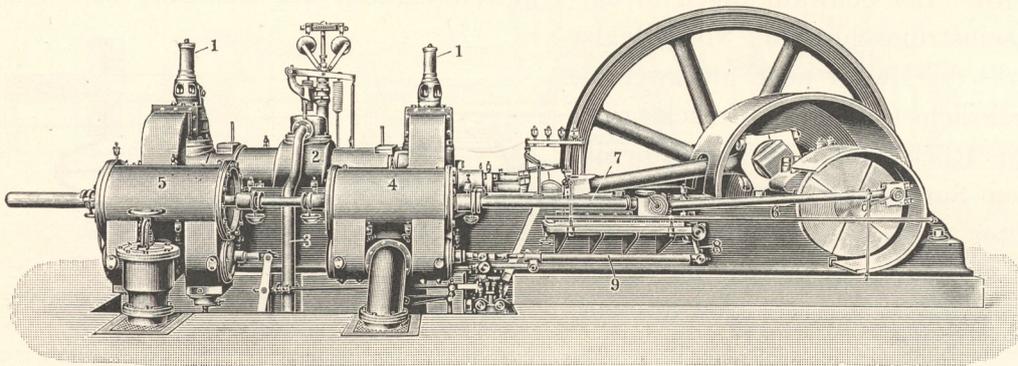


Fig. 275. Körtings Zweitaktmaschine (Nennleistung 500 PS bei 125 Umdrehungen).

die Verdichtungs-
pumpen 4, 5 für
Gas und Luft, deren
Antrieb durch ein
besonderes Schub-
kurbelgetriebe 6, 7
erfolgt. Bemerkens-
wert ist, daß die
Steuerschieber (siehe
Fig. 228) für die
Pumpen nicht neben,
sondern unter den
Zylindern liegen. Ihr Antrieb erfolgt durch ein Exzentergetriebe, dessen Bewegung durch den Doppelhebel 8 und die Lenkerstange 9 auf die Schieber übertragen wird.

2. Fahrbare Maschinen.

Nach den bisherigen Ausführungen könnte es scheinen, als würden die Zweitaktmaschinen nur für größere Leistungen gebaut, während für kleinere Leistungen der Viertakt siegreich das Feld behauptete. Aber man strebt auch für die kleinen Automobil- und Bootsmaschinen danach, den Zweitakt einzuführen, allerdings aus anderen Gründen. Bekanntlich besitzen diese kleinen Maschinen sehr hohe Umdrehungszahlen, und es ist in konstruktiver Hinsicht ein Vorteil, wenn Ein- und Auslaßventile, zu deren Antrieb bisher ein besonderes Steuergestänge vorgesehen sein mußte, in Fortfall kommen und dafür lediglich vom Kolben gesteuerte Ein- und Ausströmschlitze angeordnet werden. Allerdings stehen diesen Vorteilen auch Nachteile gegenüber. So ist es beispielsweise schwer, bei geöffnetem Ausströmschlitz das Laden so vorzunehmen, daß kein Brennstoff verloren geht.

Eine derartige kleine Maschine ist die in Fig. 276 schematisch dargestellte, für Fahrräder und Motorwagen bestimmte der Grade-Motorwerke in Magdeburg. Wenn sich der Kolben 1 infolge der lebendigen Kraft in die Höhe bewegt, entsteht in dem Kurbelraum 2 ein luftverdünnter Raum, was ein Öffnen des Ansaugventils 3 und Eintreten von frischer Luft und Brennstoff zur Folge hat. Gleichzeitig findet in dem Raum oberhalb des Kolbens eine Kompression des vorher eingetretenen Gemisches statt, das nahe der oberen Totpunktlage gezündet wird, worauf der Kolben wieder nach unten getrieben wird. Vor Erreichung der unteren Totpunktlage öffnet er den Auspuffkanal 4, so daß ein Spannungsausgleich zwischen dem mit hochgespannten Verbrennungsgasen

gefüllten Zylinderinnenraum und der freien Atmosphäre stattfindet und die schwach komprimierte neue Ladung durch den sich ein klein wenig später öffnenden Eintrittskanal 5 eintreten kann. Damit sie nicht gleich wieder auf der anderen Seite durch den Auspuffkanal 4 hinauschießt, ist in bekannter Weise am Kolben die Leitschaufel oder Brücke 6 angeordnet. Die Ansicht eines solchen für einen Motorwagen bestimmten *Grademotors* zeigt Fig. 277. Die Maschine ruht auf dem Rahmen 1, der fest mit dem Wagengestell verschraubt wird. 2, 3, 4 ist die Vergaseranlage. Dem den Schwimmer enthaltenden Gehäuse wird bei 5 der Brennstoff zugeführt. Zwischen dem Schwimmergehäuse 2 und dem Verdampfer 4 ist die Regulierspindel 3 eingeschaltet, durch deren Verstellen mittels des Hebels 6 der Fahrer den Benzinzufluß zum Verdampfer und damit innerhalb weiter Grenzen die Leistung und Geschwindigkeit der Maschine regeln kann. 8 ist die Zündvorrichtung und 9 die Zirkulationspumpe für das Kühlwasser. An den Stützen 7 schließt sich das Auspuffrohr an.

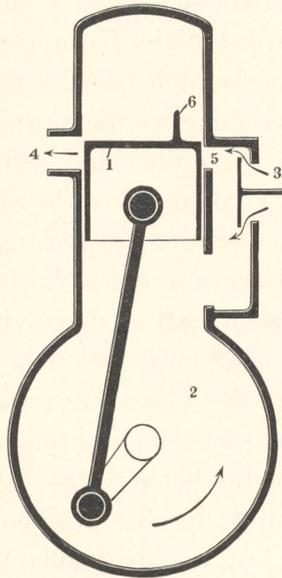


Fig. 276. Schnitt.

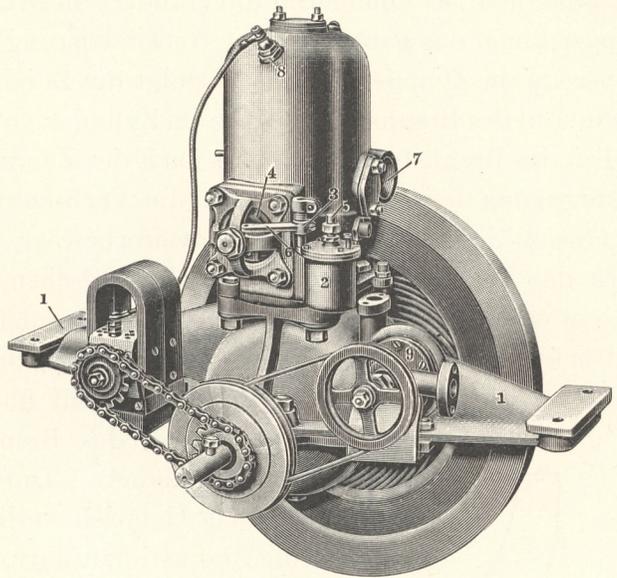


Fig. 277. Ansicht.

Fig. 276 und 277. Grademotor.

8 ist die Zündvorrichtung und 9 die Zirkulationspumpe für das Kühlwasser. An den Stützen 7 schließt sich das Auspuffrohr an.

Schließlich sei noch auf den in Fig. 278 und 279 dargestellten *Rohölmotor* der Firma Maschinenbau-Aktiengesellschaft vorm. Ph. Swiderski in Leipzig-Plagwitz verwiesen, der besonders für die billigsten Treiböle, wie Rohöl, Gelböl, Solaröl, gewöhnliches Petroleum usw., bestimmt ist. Die Wirkungsweise dieser Maschine erinnert etwas an die des später beschriebenen Dieselmotors. Auch bei ihr verdichtet der emporgehende Kolben nicht ein Brennstoffluftgemisch, sondern lediglich Luft, wobei er gleichzeitig auf seiner anderen Seite durch das Ventil 1 frische Luft in die Kurbelkammer 2 ansaugt. In der Nähe des oberen Totpunktes wird zwangsläufig von einer durch die senkrecht stehende Reglerwelle angetriebenen Brennstoffpumpe 3 durch die Düse 4 etwas Brennstoff gegen den rotglühend gehaltenen Glühkopf 5 gespritzt, worauf eine Verpuffung erfolgt, die den Kolben wieder nach unten treibt. Vor Erreichung der unteren Totpunkt lage öffnet der niedergehende Kolben den Auspuffschlitz 6, so daß die Verbrennungsgase ins Freie entweichen können, was durch die durch den Kanal 7 aus der Kurbelkammer zuströmende verdichtete Luft unterstützt wird. Zwecks Regelung der Maschine wird der Hub der Brennstoffpumpe durch den Regler 8 verändert. Eine besondere Zündvorrichtung ist bei dieser Maschine überflüssig; indessen ist es notwendig, den Glühkopf vor der Inbetriebsetzung anzuwärmen. Eine Umkehrung der Umlaufrichtung könnte in einfachster Weise durch Änderung des Zeitpunktes der Brennstoffeinspritzung vorgenommen werden.

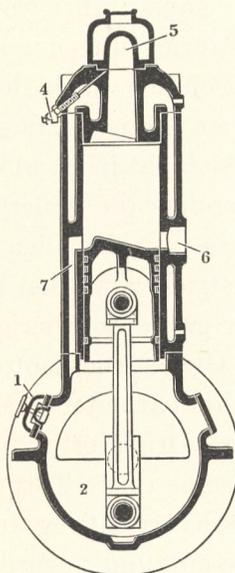


Fig. 278.

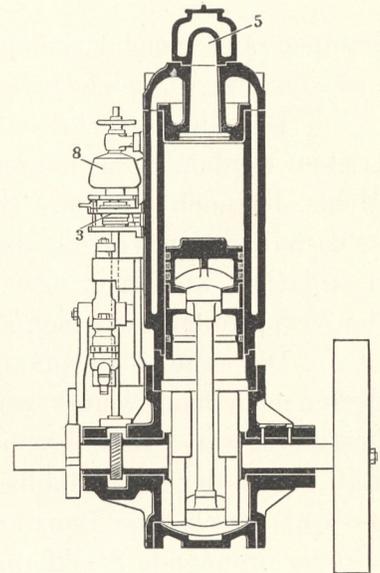


Fig. 279.

Fig. 278 und 279. Rohölmotor von Swiderski.

E. Die Gleichdruckmaschinen.

Das Hauptkennzeichen der bisher beschriebenen Verbrennungsmaschinen war die plötzliche Verbrennung (Verpuffung) des Gemisches, die bei annähernd unverändertem Volumen erfolgte. Die Gleichdruckmaschinen unterscheiden sich hiervon dadurch, daß die Verbrennung der Ladung allmählich, bei annähernd unverändertem Druck, vor sich geht. Während also bei den Verpuffungsmaschinen das ganze für eine Arbeitsleistung erforderliche Ladungsgemisch sich vor der Zündung bereits im Zylinder befindet, erfolgt die Zündung bei den Gleichdruckmaschinen schon, wenn erst ein Teil des Brennstoffes in die im Zylinder vorhandene, verdichtete Luft eingeführt ist; der übrige Teil des Brennstoffes wird erst nach der Zündung zugeführt und verbrennt dann, ohne eine Drucksteigerung hervorzurufen. Ist die Verbrennung vollendet, so wird der Kolben infolge der Expansion der Verbrennungsgase weiterbewegt, wie bei den Verpuffungsmaschinen. In der Fig. 280 ist der Arbeitsvorgang an dem theoretischen Diagramm eines Viertakt-Dieselmotors gezeigt. Bei dem ersten Vorwärtshub 1—2 wird atmosphärische Luft in den Zylinder gesaugt, bei dem ersten Rückwärtshub 2—3 wird sie hoch verdichtet, und zwar bei dem Dieselmotor auf ungefähr 30 bis 35 at, wodurch ihre Temperatur auf über 600° C gesteigert wird. An diesem Punkte be-

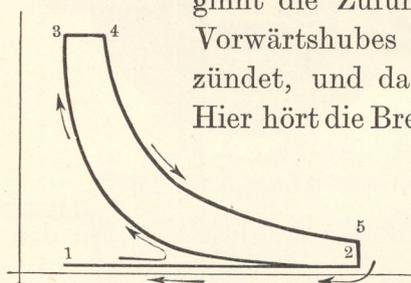


Fig. 280. Diagramm einer Gleichdruckmaschine.

ginnt die Zuführung des Brennstoffes, die während des Teiles 3—4 des zweiten Vorwärtshubes andauert. Durch die hochoverhitzte Luft wird der Brennstoff entzündet, und das Gemisch verbrennt, bis der Kolben am Punkt 4 angelangt ist. Hier hört die Brennstoffzuführung auf, und die heißen Verbrennungsgase expandieren

bis zum Hubende 5, wo das Auspuffventil geöffnet wird und die Gase ihre Spannung verlieren. Während des dann folgenden Rückwärtshubes 2—1 werden sie mit Außenluftspannung ausgetrieben, worauf das Spiel von neuem beginnt. Die Gleichdruckmaschinen können natürlich auch als Zweitaktmaschinen ausgeführt werden, wobei dann besondere Luftvorverdichtungspumpen oder gleichwirkende Einrichtungen vorgesehen sein müssen. Es sei schon hier bemerkt, daß die ersten Gleichdruckmaschinen nach dem Zweitaktssystem arbeiteten.

Die Gleichdruckmaschinen können mit gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen betrieben werden, wobei letztere sich natürlich in staubförmigem Zustand, etwa von der Feinheit des Mehls, befinden müssen. Besonders die neueren Motoren, die nach dem System Diesel gebaut sind, haben den Vorteil, daß sie mit Rohölen aller Art, mit den Rückständen der Petroleumdestillation, wie Masut usw., betrieben werden können, deren Verdampfung sonst für den Betrieb der Verpuffungsmaschinen sehr große Schwierigkeiten macht.

Der erste betriebsfähige Gleichdruckmotor stammt von dem Amerikaner *Brayton* (1872/73), dessen nach dem Zweitaktverfahren arbeitende Maschine sowohl für Benzin- als auch für Gasbetrieb bestimmt war. Eine besondere Druckluftpumpe speiste einen Druckluftbehälter, aus dem die Luft, wenn der Arbeitskolben seine obere Totpunktstellung erreicht hatte, mit einem Druck von 4—5 at durch eine Benzinmischvorrichtung in den Arbeitszylinder strömte, wo sie durch eine ständig brennende Stichflamme entzündet wurde. Nach etwa 0,4 des Hubes wurde die Luft- und Brennstoffzuführung abgeschnitten, worauf die Expansion bis auf etwa 1 at erfolgte. Die Abgase wurden durch den rücklaufenden Kolben ausgetrieben. — Eine weitere Ausbildung des Braytonmotors ist die Gleichdruckmaschine „Eclipse“ von *Simon* und *Beechy* in Nottingham. Bei dieser 1878 in Paris ausgestellten Maschine wurde das Kühlwasser durch die Wärme der Abgase verdampft und dieser Dampf gleichzeitig mit dem Gasluftgemisch in den Arbeitszylinder geleitet. Andauernde Betriebsschwierigkeiten verhinderten die Einführung dieses Motors. — Auch Diesel versuchte im Anfang der 1890er Jahre die Anwendung seines Gleichdruckverfahrens auf Gasmaschinen, jedoch ohne Erfolg, da es nicht möglich war, die verschiedenen Ventile und Pumpen gegen den mindestens 50 at betragenden Gasdruck abzudichten.

Ein weiterer Fortschritt wurde 1887—90 von dem Engländer *Hargreaves* erzielt, der bei

seinem Gleichdruckölmotor, der besonders für schwere, billige Öle bestimmt war, die „Selbstzündung“ anwendete, also eine besondere Zündflamme entbehrlich machte. Bei diesem Motor wurde der Brennstoff in ein verdichtetes Luftdampfgemisch gespritzt, das in einem Überhitzer bis auf die Entzündungstemperatur des Öles erhitzt wurde. Dieser Motor scheint über das Versuchsstadium nicht hinausgekommen zu sein. Schließlich sei noch der Motor von *E. Capitaine* genannt, dessen Versuche aus besonderen Umständen abgebrochen wurden. Er ist deshalb besonders bemerkenswert, weil sich die Arbeiten Capitaines in derselben Richtung bewegten, die etwas später unabhängig hiervon von Diesel eingeschlagen wurde: möglichst hohe Verdichtung reiner Luft und Einblasung feinsten Petroleumstaubes in diese Luftmenge unter gleichzeitiger allmählicher Verbrennung dieses Gemisches.

Die ersten Veröffentlichungen über den *Dieselmotor* selbst stammen aus dem Jahre 1893, in dem der Ingenieur R. Diesel eine Schrift herausgab: „Theorie und Konstruktion eines rationalen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Wärmemotoren“. In dieser Schrift errechnet Diesel für seinen Motor einen thermischen Wirkungsgrad, der den des vollkommenen Carnot-Kreisprozesses noch übertrifft, der aber, wie Güldner nachgewiesen hat, unrichtig ist, da für die Verbrennungsgleichungen fehlerhafte Voraussetzungen gemacht sind. Die Grundbedingungen einer „vollkommenen Verbrennung“ sind nach dieser Schrift folgende:

1. Herstellung der höchsten Temperatur des Prozesses (der Verbrennungstemperatur) nicht durch die Verbrennung und während derselben, sondern vor derselben und unabhängig von ihr durch mechanische Kompression reiner Luft bzw. einer Mischung von Luft und indifferenten Gasen oder Dämpfen.
2. Allmähliche Einführung feinverteilten Brennstoffes in diese hochgradig verdichtete Luft während eines Teiles des Kolbenrückganges in der Weise, daß durch den eigentlichen Verbrennungsprozeß keine Temperatursteigerung der Gasmasse eintrete, daß also als Verbrennungskurve möglichst nahe eine Isotherme entstehe. Die Verbrennung darf also nach der Zündung nicht sich selbst überlassen bleiben, sondern es muß während ihres ganzen Verlaufes ein steuernder Einfluß von außen stattfinden, der das richtige Verhältnis zwischen Druck, Volumen und Temperatur herstellt.
3. Richtige Wahl des Luftgewichtes im Verhältnis zum Heizwert des Brennstoffes unter vorheriger Feststellung der Kompressionstemperatur, die gleichzeitig die Verbrennungstemperatur ist, derart, daß der praktische Gang der Maschine, die Schmierung usw. ohne künstliche Kühlung der Zylinderwände möglich ist.

Nach diesen Gesichtspunkten konstruierte Diesel einen 100pferdigen Kohlenstaubmotor, bei dem die Verbrennungsluft zunächst unter Wassereinspritzung isothermisch und darauf adiabatisch (d. h. ohne äußere Wärmez- und -ableitung) bis auf die der Entzündungstemperatur entsprechende Spannung verdichtet werden sollte. In diese verdichtete und daher hochgradig erhitzte Luft sollte Kohlenstaub in solcher Menge eingeführt werden, daß die Verbrennung ohne Temperaturzunahme (also isothermisch) verläuft. Die Brennstoffzuführung hörte nach einem bestimmten Teil des Hubes auf, worauf die adiabatische Ausdehnung der Gase bis zur Anfangsspannung erfolgen sollte. — Außer diesem „vollkommenen“ Motor beschrieb Diesel noch ein abweichendes Arbeitsverfahren, bei dem die Luft ohne die isothermische Vorkompression sogleich adiabatisch verdichtet werden sollte, so daß die Verbrennungstemperatur von 800° schon bei 90 at erhalten wird. Beide Motoren sollten ohne Wasserkühlung arbeiten; der Zylinder sollte durch Glas- oder Porzellanfutter gegen Wärmeausstrahlung geschützt werden. Für den praktischen Betrieb erwies sich aber ein Wassermantel bald als notwendig, was sich herausstellte, als die ersten Versuchsmotoren gebaut wurden; auch betrug die Verdichtung dieses mit Petroleum betriebenen Motors nur 40—45 at, also die Hälfte der für den abweichenden Motor bestimmten Spannung. Aus den Versuchen entwickelte sich dann allmählich das heute angewandte Arbeitsverfahren.

Der Dieselmotor in seiner heutigen Ausbildung muß als eine in thermischer Hinsicht höchst entwickelte Maschine der Neuzeit gelten; für die Benutzung flüssiger Brennstoffe ist er die

vollkommenste Verbrennungskraftmaschine der Gegenwart. Nach den neueren Versuchen beträgt die Ausnutzung des Brennstoffes 33—35 Proz. gegenüber 21 Proz. bei der Gaskraftmaschine (s. S. 95) und 13 Proz. bei den besten Dampfmaschinenanlagen mit Überhitzung (s. S. 56). Dies hat seinen Grund darin, daß der Brennstoff im Zylinder direkt verbrennt, ohne vorherige Umsetzung und ohne Rückstände zu hinterlassen. Infolge der starken Beanspruchung seiner Teile durch die hohe Verdichtung der Luft stellt der Dieselmotor hohe Anforderungen an den Fabrikanten hinsichtlich des Materials. Natürlich sind daher die Beschaffungskosten eines Motors hoch, sie werden aber gering wegen der großen Ersparnis an Betriebsstoff; z. B. gestaltet sich der Betrieb

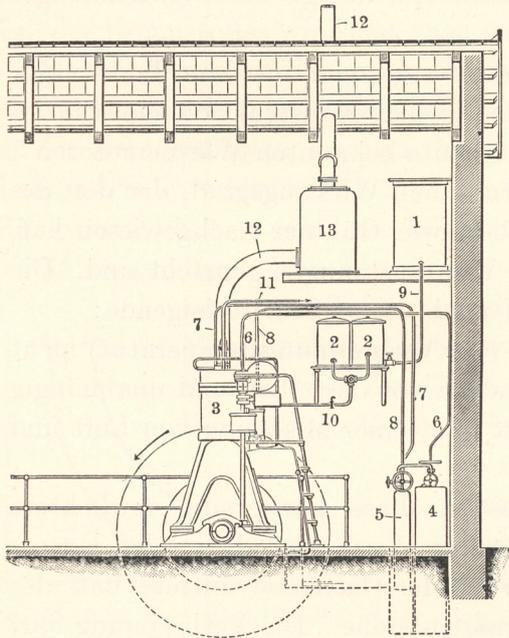


Fig. 281.

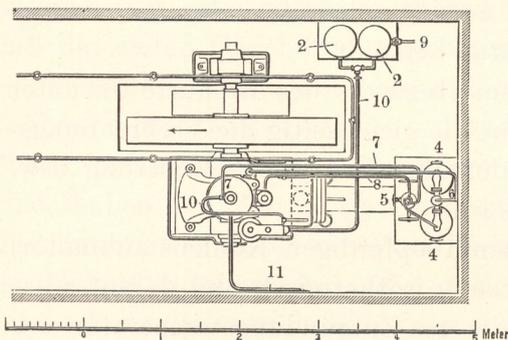


Fig. 282.

Fig. 281 und 282. Anordnung einer Dieselmotor-Anlage.

die Nebenerzeugnisse der Paraffingewinnung und der Kohlendestillation (Paraffin-, Solar-, Teeröle) verwendet werden. Da bei dem oben angegebenen Heizwert der Brennstoffverbrauch je nach der Größe des Motors bei normaler Belastung etwa 180—250 g für die effektive Pferdestärkenstunde beträgt, so stellen sich die Brennstoffkosten durchschnittlich auf $1\frac{1}{4}$ — $2\frac{1}{2}$ Pfennig pro Pferdestärkenstunde unter Zugrundelegung eines Brennölpreises von 7—10 Mark für 100 kg in Deutschland. Der Dieselmotor ist daher für Länder mit großen Petroleumfundstätten, wie Rußland und Nordamerika, von höchster Wichtigkeit.

In Fig. 281 und 282 ist die Gesamtanordnung einer Dieselmotor-Anlage von 40 PS der *Gebrüder Sulzer* in Winterthur und Ludwigshafen dargestellt; die Anordnung läßt gleichzeitig den geringen Raumbedarf erkennen. Der Brennstoff fließt von dem Vorratsbehälter 1 durch Rohr 9 zu den Filtriergefäßen 2, 2 und aus diesen durch das Rohr 10 zu der am Motor 3 angeordneten Brennstoffpumpe. Die zum Anlassen erforderliche Luft befindet sich in den Gefäßen 4

eines Torpedobootes mit Dieselmotoren selbst bei Anwendung von Blauöl $3\frac{1}{2}$ mal billiger als beim Dampfbetrieb. Da ferner sich die Gewichte von Kohle und Öl verhalten wie 3:2, die in den Brennstoffen enthaltenen Wärmemengen wie 7500:10000, so würde sich der Aktionsradius (die mit einem bestimmten Brennstoffvorrat zurücklegbare Wegstrecke) erheblich vergrößern; denn die Dampfmaschinenanlage verbraucht für 1 Pferdestärkenstunde etwa 0,6 kg Kohle, der Dieselmotor 0,2 kg Rohöl. Die sonstigen Vorzüge des Dieselmotors gegenüber den Dampfmaschinen (sofortige Betriebsbereitschaft, Verbrauch von Betriebsstoff nur während der Arbeitsleistung usw.) sind dieselben wie bei den Verpuffungsmaschinen; er unterscheidet sich von letzteren noch vorteilhaft dadurch, daß, während alle Verpuffungsmaschinen bei halber Belastung erheblich mehr Brennstoff verbrauchen als bei voller, bei ihm der Brennstoffverbrauch bei weitem nicht in dem Maße von der Belastung abhängig ist (s. Tabelle S. 143).

Das Dieselfverfahren bietet den Vorteil, daß außer Benzin und Petroleum auch schwer entzündliche Ölsorten verwendet werden können; es steht infolgedessen für den Dieselmotor eine große Auswahl von billigen flüssigen Brennstoffen zur Verfügung, die durchschnittlich einen Heizwert von 10000 WE besitzen. In erster Linie kommen in Betracht die rohen Erdöle und die Erdölrückstände (Rohnaphtha und Masut), ferner die sogenannten Gasöle, d. h. die Zwischenprodukte der Ölraffinerien, aus denen die leichtesten Bestandteile, wie Benzin und Lampenpetroleum, ausgeschieden sind. Außerdem können

und geht durch Rohr 6 zum Anlaßventil; die in der Flasche 5 befindliche Druckluft dient zum Einblasen des Brennstoffes in den Zylinder (Rohr 7). Das Kühlwasser, dessen Zufluß aus den Figuren nicht ersichtlich ist, wird durch das Rohr 11 abgeführt. Die Abgase gehen durch Rohr 12, in das ein Schalldämpfer 13 eingeschaltet ist, ins Freie. Die zum Anlassen und zur Brennstoffzuführung erforderliche Druckluft (40—50 at) wird von einem mit dem Motor gekoppelten Kompressor erzeugt und durch das Rohr 8 der Flasche 5 zugeführt. Fig. 283 zeigt das Schaubild desselben Motors, in dem 1 der Saugtopf, 2 das Brennstoffventil, 3 die Brennstoffpumpe, 4 der Kompressor und 5 der Regler für die Brennstoffzuführung ist.

Die Dieselmotoren werden in allen Größen bis zu 2000 PS mit einem, zwei oder mehr Zylindern nach dem Zwei- oder Viertaktsystem gebaut. Sie werden meistens stehend ausgeführt, und zwar mit und ohne Kolbenstange; im letzteren Falle steht die Schubstange mit einem im Massenschwerpunkt des hohlen und nach unten offenen Kolbens angeordneten Zapfen in gelenkiger Verbindung.

In den Fig. 284—290 ist ein nach dem Viertaktverfahren arbeitender *Zweizylindermotor* von 120 PS der Grazer Waggon- und Maschinenfabrik A.-G. dargestellt; Fig. 284 und 285 zeigen die Maschine in Ansicht und Schnitt; Fig. 286 und 287 das Brennstoffeinlaßventil in senkrechtem und wäge-

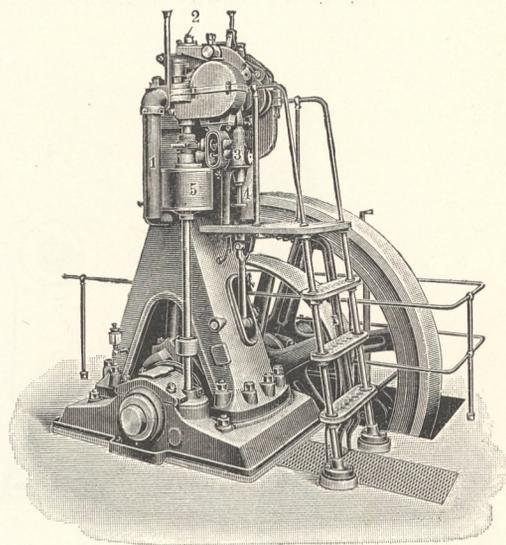


Fig. 283. Dieselmotor.

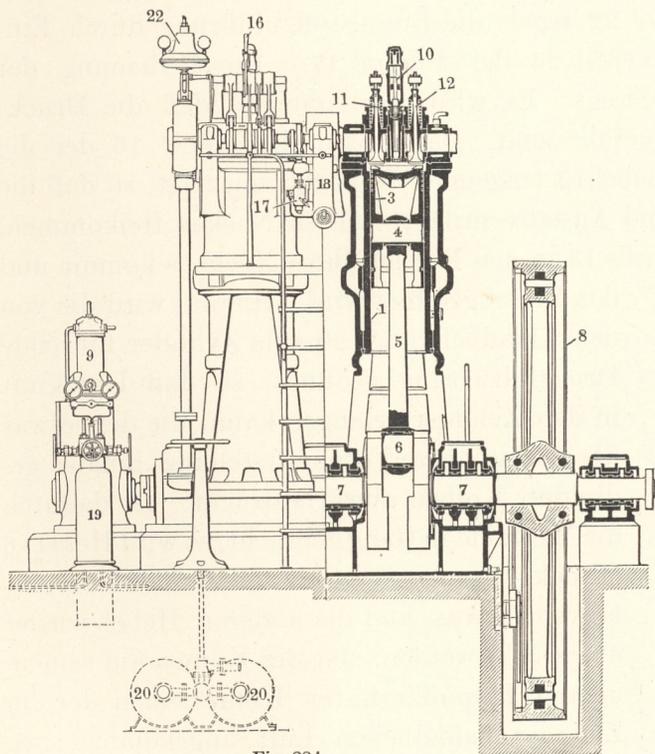


Fig. 284.

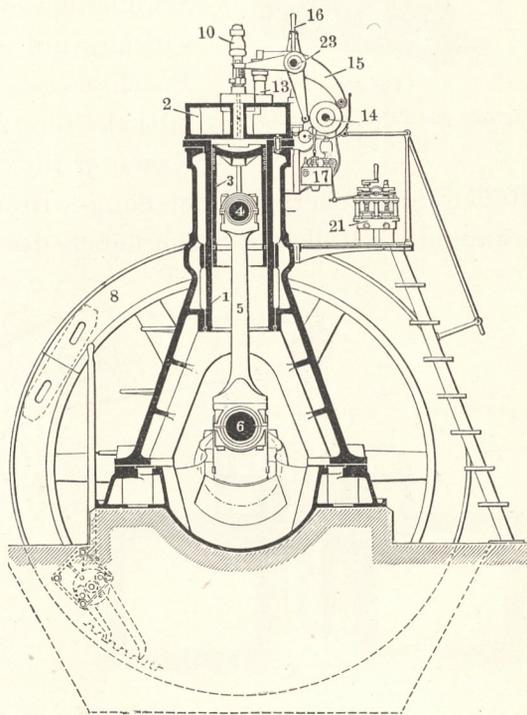


Fig. 285.

Fig. 284 und 285. 120-PS-Zweizylindermotor der Grazer Waggon- und Maschinenfabrik.

rechtem Schnitt; Fig. 288 das Saug- bez. Auspuffventil im Schnitt; Fig. 289 und 290 die Brennstoffpumpen in Ansicht und Schnitt. Der im Zylinder 1 gleitende Kolben 3 ist in seiner oberen Totpunktstellung gezeichnet; er überträgt seine Bewegung durch die an dem Zapfen 4 angreifende Schubstange 5 und den Kurbelzapfen 6 auf die Kurbelwelle 7, auf der das Schwungrad 8 sitzt. Die Luftpumpe 9, die als Verbundkompressor ausgebildet ist, wird von dem einen Wellenende mittels Kreuzscheibenkuppelung angetrieben; Nieder- und Hochdruckzylinder

liegen senkrecht übereinander, und ihr Ansaugvolumen beträgt nur etwa $\frac{1}{30}$ des Arbeitszylinder- raumes. Auf dem Zylinderdeckel 2 sind die Ventile 10, 11, 12 und 13 untergebracht, und zwar sind 10 das Brennstoffventil (Fig. 286, 287), 11 und 12 die Saug- und Auspuffventile (Fig. 288) und 13 das Anlaßventil. Die Bewegung der Ventile erfolgt von der Steuerwelle 14, die von der Kurbelwelle 7 mit einem Übersetzungsverhältnis 1 : 2 angetrieben wird und Nocken- scheinchen für die einzelnen Ventile trägt. Die

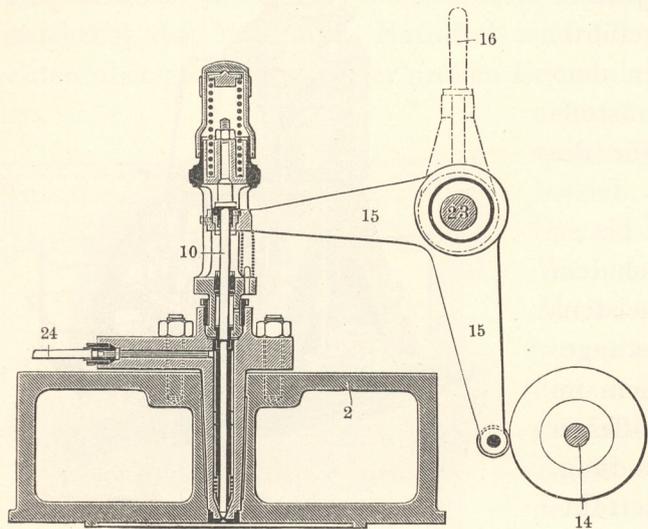


Fig. 286.

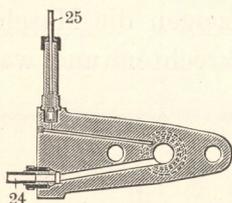


Fig. 287.

Fig. 286 und 287. Brennstoff- einlaßventil.

Pumpen saugen. 19 ist die Flasche für die Einspritzluft, 20 die Behälter für die Anlaßluft und 21 die ebenfalls von Steuerwelle 14 angetriebene Schmierölpumpe. Regler 22 regelt die Brennstoffzuführung durch Einwirkung auf das Saugventil 26 der Pumpe 17. Die Bedienung der Maschine geschieht wie folgt: Es wird angenommen, daß die Druck- luftbehälter 19 und 20 gefüllt sind. Dann wird der Hebel 16 der die Exzenter für die Ventilhebel 15 tragenden Welle 23 umgelegt, so daß die

Rollen der Steuerhebel der Saug-, Brennstoff- und Auslaßventile von ihren Nocken freikommen, während die Rolle des Steuerhebels des Anlaßventils 13 in den Bereich ihres Nockens kommt und

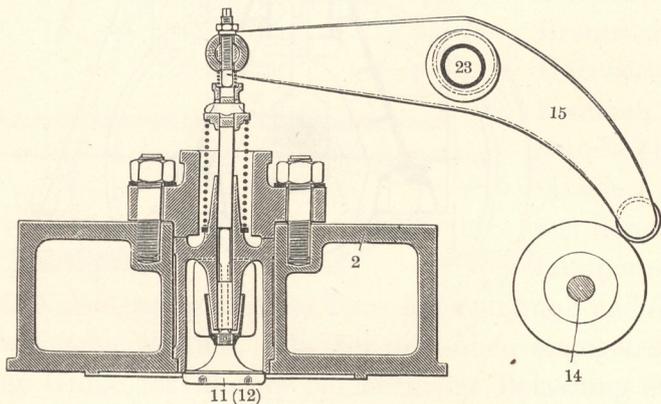


Fig. 288. Saug- bzw. Auspuffventil.

das Ventil geöffnet wird. Hierauf wird die von den Anlaßbehältern 20 zum Zylinder führende Druckluftleitung geöffnet, so daß Druckluft in den Zylinder gelangen kann, die den etwas über seine obere Totpunktstellung hinaus gedrehten Kolben abwärts drückt. Ist dadurch die Maschine in Gang gebracht, so wird Hebel 16 zurückgelegt, wodurch der Steuerhebel des Anlaßventils aus- und die anderen Hebel wieder eingerückt werden. Ist der Kolben auf seinem oberen oberen Totpunkt unter Kompression der im Zylinder befindlichen Luft angekommen, so öffnet sich das Brennstoffventil, und die durch

das eine Rohr 24 (Fig. 287) in das Ventil eintretende, von der Einspritzflasche 19 kommende Druckluft reißt die durch das andere Rohr 25 von der Brennstoffpumpe 17 zgedrückte Brennstoffmenge mit sich in den Zylinder, wo sie infolge der hohen Temperatur der verdichteten Luft entzündet wird und verbrennt, wie bereits früher beschrieben ist. Das Anlaßventil ist, solange de Maschine läuft, außer Tätigkeit. Bei Belastungsschwankungen wirkt Regler 22 unter Vermittlung der Welle 29 (Fig. 289, 290) und des Stempels 27 auf das durch eine nicht dargestellte Feder ständig in Schlußstellung gehaltene Saugventil 26 der Pumpe. Wird

die Maschine nicht voll belastet, so wird das Ventil 26 während eines Teiles des Druckhubes durch den Stempel 27 offengehalten und der Brennstoff wieder in den Behälter 18 zurückgedrückt. Auf diese Weise gelangt weniger Brennstoff durch das Druckventil 30 in die zum Brennstoffeinlaßventil 10 führende Leitung 25.

In ähnlicher Weise wie die eben beschriebene Maschine sind die meisten Dieselmotoren konstruiert. Die Konstruktionsunterschiede betreffen meistens die Art der Steuerung, die Bauweise der Ventile, die Anordnung der Luft- und Brennstoffpumpen usw. Im Prinzip der Maschine wird, solange es sich um Viertaktmaschinen handelt, nichts geändert. Bei dem *Güldnermotor*, der von der Güldner-Motorengesellschaft in Aschaffenburg gebaut wird, ist die Steuerwelle nicht oben am Zylinder, sondern in dem schweren Gestellbalken gelagert; der Zylinder selbst hat keine seine genaue Bearbeitung und regelmäßige Wärmeausdehnung störenden Angüsse, der Zylinderdeckel nebst Ventilen, Rohranschlüssen liegt vollkommen frei. Die Daumenscheiben, Steuerhebel, Gleitrollen, Bolzen laufen in einer eigenen Triebwerkskammer ständig unter Schmieröl und sind daher vor Staub und Verschleiß geschützt (vgl. hierzu Fig. 255). Die Druckluftpumpe ist als selbständiger freistehender Zweistufenkompressor durchgebildet, der entweder direkt mit der Motorwelle gekuppelt ist oder durch Riemen angetrieben wird. *Die Ausbildung des Dieselmotors, wie er von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg gebaut wird, zeigt das Klappmodell des Dieselmotors.*

In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der Untersuchung eines 200-PS Dieselmotors mit Schwungradynamo, der von den Gebrüdern Sulzer in Winterthur geliefert worden ist, zusammengestellt. Der dreizylindrige Motor hat eine Bohrung von 380 mm bei 560 mm Hub.

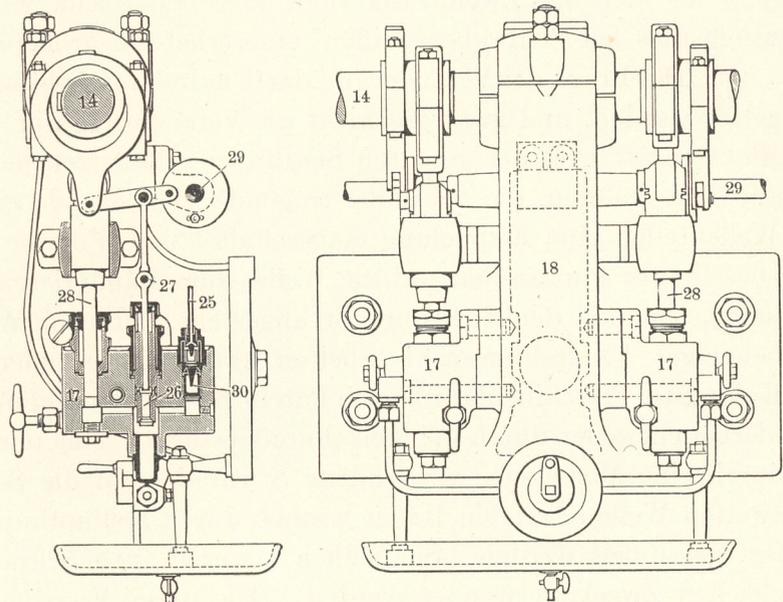


Fig. 289 und 290. Brennstoffpumpe mit Regelungsvorrichtung.

Versuche	I	II	III	IV	V	Leerlauf
Belastung	max.	1/1	3/4	1/2	1/4—1/5	
Dauer des Versuches in Minuten	47 ¹ / ₆	72 ¹ / ₆	59	40 ¹ / ₁₀	37 ¹ / ₄	14 ² / ₃
Tourenzahl in der Minute	185,8	188,2	190,0	190,0	191,5	186,0
Mittlerer indizierter Druck kg/cm ²	7,97	6,93	5,81	4,41	2,98	1,92
Indizierte Gesamtleistung in PS	303,5	264,0	225,0	167,5	112,2	60,8
Effektive Leistung in PS	235,0	199,5	156,0	101,5	47,6	—
η des Motors = $\frac{P_{Se}}{P_{Si}}$	0,775	0,755	0,695	0,606	0,424	—
Brennstoffverbrauch für die P _{Si} -Stunde in g	146,5	141,8	135,5	134,0	143,5	134,0
- - - P _{Se} -Stunde in g	189,0	188,0	196,0	221,0	338,0	—

Wegen seiner großen Vorzüge hat sich der Dieselmotor in sehr vielen Betrieben eingebürgert und teilweise nicht nur die Dampfmaschine, sondern auch die Generatorgasmaschine verdrängt. Den Bemühungen der Maschinenfabriken ist es auch gelungen, brauchbare Dieselmotoren für den Schiffsantrieb herzustellen. Besonders in Rußland, wo schon seit langer Zeit die Rückstände der Petroleumdestillation als Heizmaterial für die Schiffskessel benutzt wurden, war die Einführung der Dieselmotoren für den Schiffsbetrieb gewissermaßen eine Notwendigkeit. Hierbei waren die Konstrukteure vor die Aufgabe gestellt, den Motor den beim Schiffsbetrieb vorhandenen Bedingungen anzupassen, die ganz andere sind wie bei ortfesten Maschinen. Außer der Beschränkung

in bezug auf den für die Unterbringung vorhandenen Raum sind es vor allem die Veränderbarkeit der Umdrehungszahl und die Umsteuerbarkeit der Maschine für die Rückwärtsfahrt, die den Schiffsmotor grundsätzlich von dem Landmotor unterscheiden. In Rußland ist der erste Dieselmotor schon 1904 auf dem Schiffe „Sarmat“ der Genossenschaft Gebrüder Nobel eingebaut worden; er war noch 1909 im Betrieb. Es waren zwei ortfeste Motoren von 310 mm Zylinderdurchmesser, 420 mm Hub und 240 Umdrehungen in der Minute, die je eine Schraube antrieben. Auch für Raddampfer sind Dieselmotoren verwendet worden; natürlich mußte hier eine Übersetzung der Maschinenumdrehungen ins Langsame erfolgen. Seitdem hat der Dieselmotor in Rußland für den Schiffsantrieb eine große Verwendung gefunden. Die deutschen Reedereien und Werften sind in den letzten Jahren ebenfalls dieser Frage nähergetreten, so daß auch hier bereits fertige Ausführungen vorliegen, wenn auch erst für kleinere Fahrzeuge.

Die Motoren selbst entsprechen konstruktiv den ortfesten Maschinen; sie können ebenso wie diese als Vier- und Zweitaktmotoren ausgebildet sein, werden möglichst leicht gebaut und haben, wenigstens bei Schraubenschiffen, eine erheblich größere Umdrehungszahl.

Die Frage der Veränderung der Umdrehungszahl und -richtung ist zuerst von Del Proposto gelöst worden, und zwar geschieht die Veränderung auf indirektem Wege unter Verwendung der Elektrizität. Auf der geteilten Schraubenwelle sitzen neben dem Dieselmotor eine Dynamo und auf dem anderen, die Schraube tragenden Wellenende ein Elektromotor, wobei zwischen beiden Wellenteilen eine Kuppelung eingeschaltet ist. Für die gewöhnliche Fahrt voraus arbeitet der Dieselmotor unmittelbar auf die Welle; zum Manövrieren oder Rückwärtsfahren wird die Kuppelung gelöst und der Elektromotor angestellt, der nach Wunsch vorwärts und rückwärts und mit beliebiger Umdrehungszahl arbeiten kann. Eine andere Art der Umsteuerung wird von der Kolonnaer Maschinenfabrik nach Patent Koreiwo ausgeführt. Die Umdrehungen des Motors werden hierbei entweder durch Winkelzahnräder für die eine oder für die andere Richtung durch zwei durch eine Morsekette verbundene Stirnräder auf die Schraubenwelle übertragen. Die auf der zweiten Welle sitzenden Räder können durch Schlüpfkuppelungen jede für sich mit dieser Welle fest gekuppelt werden. Schließlich könnten auch Schrauben mit verstellbaren Flügeln für den gleichen Zweck verwendet werden. Alle diese Anordnungen umgehen aber nur die Frage der Umsteuerbarkeit und machen die Anlage nur kompliziert, wenn sie auch besondere Vorteile aufweisen, indem sowohl bei der elektrischen als auch bei der Schlüpfkuppelung jede beliebige Umdrehungszahl angestellt werden kann. Vor allem sind sie zu schwer, und dieser Umstand kommt bei Schiffsmaschinen ganz besonders in Betracht. Deshalb war der Dieselmotor erst dann für den Schiffsbetrieb brauchbar, nachdem es gelungen war, ihn direkt umsteuerbar zu machen. Der erste *umsteuerbare Dieselmotor* (eine Zweitaktmaschine) wurde von Gebr. Sulzer auf der Mailänder Ausstellung 1906 gezeigt; es war ein Unterseebootsmotor von 120 PS und 400 Umdrehungen in der Minute und besaß drei Zylinder. Er hatte einen Hartungregler, der gestattete, die Umdrehungszahl von 400 auf 275 zu ermäßigen; die weitere Verminderung bis auf 120 wurde mit der Hand durch Veränderung der Füllung bewirkt. Die Umsteuerungsvorrichtung bestand darin, daß auf der Steuerwelle für jeden Zylinder zwei Satz Nockenscheiben auf einer Hülse angeordnet waren, die mittels eines Handrades so verschoben werden konnten, daß für den Vorwärtsgang der eine, für den Rückwärtsgang der andere Nockensatz unter die Steuerhebel geschoben wurde. Das für die Umsteuerung erforderliche Abheben der Steuerhebel von ihren Nocken geschah mittels Handhebels.

Bei dem schnellen Fortschritt in der Anpassung des Dieselmotors an die vielseitigen Bedürfnisse des Schiffsantriebes ist die Verwendung des Dieselmotors als Antriebsmotor auch für größere und größte Schiffe nur noch eine Frage der Zeit, besonders da eben die Ersparnis an Betriebsstoff gegenüber der Dampfmaschinenanlage so sehr bedeutend ist.

F. Die Gasturbinen.

Es war ein naheliegender Gedanke, die großen Vorzüge, welche die Dampfturbine gegenüber der Kolbenmaschine besitzt, auch auf die Gasmaschinen zu übertragen und entsprechend Gasturbinen zu bauen, die den Vorteil der Gasmaschine mit dem der Turbine vereinigen würden. Der Gedanke ist an sich nicht neu, denn bereits 1791 schlug J. Barber vor (engl. Patent 1833 vom Jahre 1791), Gas in einer Mischkammer mit Luft und etwas Wasser zu vermengen, dann zu entzünden und den Feuerstrahl zum Antrieb eines Schaufelrades zu verwenden. Zu einer Ausführung dieses Vorschlages ist es wohl nicht gekommen. Trotz vieler patentierter Vorschläge ist auch bis heute eine gebrauchsfähige Gasturbine noch nicht im Betriebe, und nach der Ansicht vieler Fachleute stehen der Ausführung noch eine große Zahl von praktischen Bedenken entgegen, die nicht ohne weiteres zu überwinden sind. Eine Hauptschwierigkeit ist die Beherrschung der hohen Temperaturen, die im Verein mit den sehr hohen Geschwindigkeiten der Gase (bei adiabatischer Ausdehnung fast 1300 m/sec) zerstörend auf die Turbinenräder einwirken. Wohl kann die Temperatur durch Kühlung der Verbrennungskammer und des Turbinengehäuses herabgezogen werden. Hiermit sind aber im Verhältnis weit größere Wärmeverluste verbunden als bei den Kolbengasmaschinen, weil bei diesen die Höchsttemperatur nicht dauernd, sondern nur in gewissen Zeitabständen (bei Viertaktmaschinen während zweier Kurbelumdrehungen nur einmal) auf kurze Zeit und in kleinem Raume auftritt. Auch ein anderer Weg, die Verwendung eines großen Luftüberschusses oder das Anreichern der Luft mit zerstäubtem Wasser bzw. das Einspritzen von Wasser in die heißen Verbrennungsgase hat sich nicht als gangbar erwiesen, da er ein starkes Sinken des Wirkungsgrades zur Folge hat, derart, daß die Gasturbine nicht in erfolgreichem Wettbewerb mit der Kolbenmaschine treten kann. Nach Güldner ist der Kreisprozeß der Gasturbine nur dann mit Aussicht auf Erfolg durchführbar, wenn er nach dem Gleichdruckverfahren erfolgt. Abweichend hiervon vertritt Holzwarth die Ansicht, daß der Betrieb mit periodischer Verbrennung vorteilhaft sei. Unterstützt wird diese Ansicht durch die Ergebnisse jahrelanger Versuche an einer Gasturbine von 1000 PS. Diese ist als Turbine mit stehender Achse ausgeführt. Unterhalb der eigentlichen Turbine oder vielmehr unterhalb der zu dem Laufrade führenden Düsen sind in einem Kreise mehrere Verpuffungskammern angeordnet, die gegen die Turbine durch je ein Klappenventil abgeschlossen sind. Diese Verpuffungskammern werden der Reihe nach beschickt, und zwar erfolgt zuerst eine Auffüllung der Kammern mit Luft von geringer Spannung, in die dann Brennstoff eingeblasen wird. Wesentlich ist hierbei, daß die Temperatur vor der Zündung möglichst niedrig ist. Nachdem sich beide gut gemischt haben, erfolgt die Entzündung; das Klappenventil öffnet sich und entläßt die gespannten Gase zu den Düsen, in denen sich ihre Spannung in Geschwindigkeit umsetzt. Hierauf wird das Klappenventil durch eine Steuerung geschlossen, aber mit so geringer Geschwindigkeit, daß die der Kammer zugeführte Spülluft noch Zeit hat, die Kammer von den Verbrennungsrückständen zu reinigen. Die Wärmemenge, die in dem mit einer Temperatur von etwa 400° C austretenden Gemisch von Abgasen und Spülluft enthalten ist, wird in einem Regenerator nutzbar gemacht, der zur Erzeugung des Betriebsdampfes für die Antriebsturbinen der zur Verdichtung der Luft und des Betriebsstoffes vorgesehenen Gebläse dient. Hervorzuheben ist schließlich noch, daß nach jahrelangen Versuchen mechanische Beschädigungen nicht beobachtet worden sind, was darauf zurückgeführt wird, daß Wasser in keiner Weise zusätzlich zugeführt wird.