

XV. Abschnitt.

Ölmaschinen.

229. Entwicklung der Ölmaschine. Verfolgt man die Entwicklungsgeschichte der Verwendung flüssiger Kohlenwasserstoffe für motorische Zwecke, so findet man, soweit diesbezügliche verlässliche Mitteilungen zur Verfügung stehen, daß dieselbe Hand in Hand geht mit der Entwicklungsgeschichte der Gasmaschine, denn schon im Jahre 1838 wurde in der Patentschrift W. Barnetts bei Beschreibung seiner Gasmaschine die Bemerkung gemacht, daß dieselbe auch mit leicht flüchtigen flüssigen Kohlenwasserstoffen betrieben werden kann. Ja sogar in dem Patente des Engländers Street vom Jahre 1794 wurde bereits der Vorschlag gemacht, zur Erzeugung motorischer Kraft flüssige Brennstoffe vermöge ihrer Explosionsfähigkeit auszunützen. Man ersieht daraus, daß die ersten Spuren des Auftauchens der Idee dieser Motoren mit den Anfängen der Entwicklungsgeschichte der Gasmaschinen zusammenfallen und daß somit die Verwendbarkeit flüssiger Brennstoffe zur Krafterzeugung viel früher erkannt wurde, als man mit Rücksicht auf die nach jeder Richtung zu überwindenden Schwierigkeiten in der Lage war, eine brauchbare Maschine dieser Art ausführen zu können.

Der erste Motor, welcher flüssige Kohlenwasserstoffe direkt verarbeitete, heute jedoch nur mehr geschichtliches Interesse bietet, ist der Motor von Julius Hock in Wien; diese Maschine wurde in den Jahren 1873 bis 1876 nicht nur von dem Erfinder selbst, sondern auch von der Maschinenfabrik Humboldt in Kalk bei Deutz gebaut.

Obleich diese Maschine den Namen Petroleummotor führte, so arbeitete dieselbe doch nicht mit Petroleum, sondern mit dem leicht flüchtigeren Benzin.

Die Arbeitsweise dieser Maschine war folgende: In einen liegenden, vorne offenen Cylinder wurde beim Aushube des Kolbens ein Gemisch aus fein zerstäubtem Benzin und Luft gesaugt. Nach $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ des Kolbenhubes wurde dieses Gemisch dadurch entzündet, daß durch Vermittlung

einer Luftpumpe ein Strahl Benzingas über eine stetig brennende Flamme hinweg durch eine Klappe in den Cylinder schlug und dort zündete. Infolge der Saugwirkung des Kolbens lag die Klappe nur lose an der Cylinderwand und ließ den brennenden Strahl eintreten; im Momente der Entzündung wurde sie zugeschlagen.

Der Kolben setzte seinen Weg während des restlichen Hubes Arbeit verrichtend fort; kurz vor Ende des Hubes überstreifte derselbe ein Auslaßventil, wodurch ein Teil der expandierten Gase entwich und der Gegenruck zu Beginn des Rücklaufes vermindert wurde; während des Rücklaufes wurden die Verbrennungsprodukte ausgestoßen. Die Maschine war somit einfachwirkend, und nachdem nur während der Dauer eines halben Hubes Arbeit geleistet wurde, verhältnismäßig groß und schwer. Hinsichtlich der Wirkungsweise hatte sie sehr viel Ähnlichkeit mit der Lenoir'schen Maschine.

Die Regulierung des Ganges der Maschine erfolgte durch Änderung der Zusammensetzung des Ladungsgemisches, indem bei zunehmender Geschwindigkeit durch den Regulator eine Klappe geöffnet wurde, durch welche während der Saugperiode frische Luft direkt in den Cylinder gesaugt wurde und die Ladung verdünnte.

Der Verbrauch an Benzin soll nach Angabe der Fabrikanten 1 kg pro PS_e-Stunde betragen haben, war also 2 $\frac{1}{2}$ bis 3 mal so groß wie jener der heutigen Benzinmaschinen.

Ein anderer Benzinmotor wurde im Jahre 1876, gelegentlich der Ausstellung in Philadelphia, nach seinem Erfinder **Braytonmotor** genannt, bekannt*).

Der Braytonmotor bestand der Hauptsache nach aus einem doppeltwirkenden liegenden Arbeitcylinder und einer von diesem getrennten, gleichfalls doppeltwirkenden Kompressionspumpe. Bei späteren Ausführungen wurden die beiden Cylinder vertikal und einfachwirkend, nach unten offen ausgeführt.

Die vom Kompressor angesaugte bzw. verdichtete Luft wurde durch einen mit Benzin getränkten Filter gedrückt, mischte sich mit Benzindämpfen und bildete auf diese Weise die Ladung der Maschine, welche sich bei ihrem Eintritte in dieselbe sofort an einer unter Druck brennenden Flamme entzündete.

Das Hinüberdrücken der Ladung, sowie die Verbrennung derselben während der Füllperiode wurde durch Ventile geregelt. Nach Abschluß

*) Zeichnung und Beschreibung dieser Maschine sowie des Benzinmotors von Hock siehe: Musil, *Die Motoren für das Kleingewerbe*, 2. Aufl., Vieweg & Sohn, Braunschweig 1883.

des Einlaßorgans expandierten die heißen Gase bis Ende des Hubes; während des Kolbenrücklaufes wurden die Verbrennungsprodukte ausgestoßen.

Zum Unterschiede von der Hockschen Maschine und allen bis zu jenem Zeitpunkte bekannt gewordenen Gasmaschinen wurde von Brayton zum erstenmale der Versuch gemacht, den Verlauf sowie die Dauer der Verbrennung mechanisch, also durch zwangsläufig gesteuerte Organe zu regeln. Der frühere oder spätere Schluß der Einlaßorgane, somit der Gang der Maschine, wurde durch einen Pendelregler beeinflußt.

Der Verbrauch an Benzin soll bei größeren Maschinen 0,5 kg pro PS_o-Stunde betragen haben. Der Braytonsche Motor bedeutete jedenfalls einen wesentlichen Fortschritt gegenüber dem Motor von Hock.

Durch die räumliche Trennung des Arbeitscyinders vom Kompressionscyliner und den dadurch bedingten vielgliedrigen Bewegungsmechanismus wurden die Maschinen schwer und teuer. Um den Mechanismus zu vereinfachen und die durch die Doppelwirkung hervorgerufene, trotz aller Kühlung unvermeidliche starke Erhitzung des Cylinders auf ein unschädliches Maß herabzubringen, wurden die Maschinen später mit hängenden, nach unten offenen Cylindern, also einfachwirkend gebaut. Trotzdem vermochte sich diese Maschine nicht zu halten, woran wohl auch der damalige Mangel einer verläßlichen Zündung und die dadurch hervorgerufenen steten Betriebsstörungen schuld waren.

Diese Schwierigkeiten hätten die Maschine in anbetracht ihres gesunden Arbeitsprinzipes und der für jene Zeit guten Ausführung nicht zu verdrängen vermocht, wenn nicht fast unmittelbar nach ihrem Bekanntwerden, anläßlich der Pariser Weltausstellung 1878, welche auch einen Braytonschen Motor brachte, Otto durch seinen Viertaktmotor alle bisher erzielten Erfolge weit übertroffen und dadurch die allgemeine Aufmerksamkeit von neuem auf die Leuchtgasmaschine gelenkt hätte. Damit war über Braytons Motor tatsächlich der Stab gebrochen.

Fast schien es nun, als ob die direkte Verwendung flüssiger Brennstoffe gänzlich in Vergessenheit geraten sollte; allein die enormen Erfolge, welche das Kompressionssystem bei Anwendung von Leuchtgas als Kraftmittel erzielte, lenkten nach einigen Jahren die Aufmerksamkeit von selbst wieder auf die flüssigen Brennstoffe, um die Motoren von den lokalen Verhältnissen unabhängig zu machen und vom Jahre 1883 an begannen die meisten Gasmotorenfabriken ihre Maschinen auch für den Betrieb von Benzin und Petroleum sowie Spiritus einzurichten.

Der erste Benzinmotor, welchem das Arbeitsprinzip der heutigen Gasmaschine zu Grunde lag, wurde von der Hannoverschen Maschinenbauaktiengesellschaft nach dem Patente Wittig & Hees Anfang der achtziger

Jahre gebaut; die Maschine arbeitete, obwohl einfachwirkend, im Zweitakte und bietet daher doppeltes Interesse.

Die Maschine war stehend gebaut, mit zwei getrennten, oben offenen Cylindern (Arbeitscyliner und Kompressionscyliner) und darüber liegender doppelt gekröpfter Kurbelwelle. Die beiden Kurbeln waren gleich gerichtet, die Kolben erreichten daher gleichzeitig ihre Totlagen. Die Cylinder hatten gleichen Hub, jedoch ungleichen Durchmesser. Zwischen dem Arbeitskolben in seiner unteren Totlage und dem Cylinderboden blieb ein Laderaum von etwa $\frac{5}{8}$ des Hubvolumens Fassungsraum.

Beim Aufwärtsgange aus der unteren Totlage saugt der Pumpenkolben frisches Ladungsgemisch; der Arbeitskolben verrichtet währenddem seinen Arbeits-(Expansions-)hub. Beide Kolben gehen nun nach abwärts; der Arbeitskolben treibt zunächst, während etwa $\frac{3}{5}$ seines Hubes, die Verbrennungsprodukte hinaus; nach Schluß des Ausströmventiles beginnt im Arbeitscyliner die Kompressionsperiode; währenddem hat aber auch der Pumpenkolben das explosive Gemenge aus Luft und Benzindämpfen verdichtet. Sobald genügender Überdruck vorhanden, öffnet sich ein die beiden Cylinderräume verbindendes Rückschlagventil und der Pumpen-cylinder speist den Arbeitscyliner, während beide Kolben für die restliche Hubdauer den Inhalt beider Cylinder verdichten, bis dieser schließlich nur den Laderaum füllt.

Mit Hubwechsel erfolgt die Zündung (Flammenzündung) und das Spiel wiederholt sich von neuem. Die Zündflamme wurde durch Benzindämpfe genährt.

Die Kompressionsendspannung betrug wie bei den Ottomotoren jener Zeit ungefähr 2,5 Atm.

Bei kleineren Maschinen bis etwa vier Pferdekkräfte betrug der Benzinverbrauch 0,9 bis 1 Liter pro PS_e-Stunde. Nachdem der Betrieb mit diesen Maschinen zu teuer kam, wurde der Bau derselben wieder aufgegeben.

Eine Maschine ähnlicher Bauart wurde seinerzeit auch von **Gehr. Körting** in Hannover gebaut. Die Kurbelwelle war nur einfach gekröpft für den Angriff des Arbeitskolbens, während die Pumpe von einer fliegenden Kurbelscheibe ihren Antrieb erhielt.

Die Regulierung erfolgte durch Änderung der Kompressionsspannung in der Weise, daß der schädliche Raum der Pumpe durch den Regulator vergrößert oder verkleinert wurde, indem durch Vermittlung eines unter dem Einflusse desselben stehenden Drehschiebers dieser Raum in oder außer Verbindung mit einem nebenanliegenden Gefäße gebracht werden konnte. Bei zunehmender Geschwindigkeit öffnete der Regulator den Verbindungskanal der Pumpe mit diesem Gefäße; das Volumen desselben

nahm an der Verdichtung teil, somit wurde nicht die normale Kompressionsspannung erreicht und die Leistung nahm entsprechend ab.

Sowohl die Maschine von Körting als auch jene von Wittig & Hees kranken, ganz abgesehen von der mangelhaften Zuführung und Zerstäubung des Benzins, an der unverlässlichen und bei Verwendung von Benzin gefährlichen Flammenzündung, welche ja, wie bekannt, bei den heutigen Benzinmotoren ausschließlich durch die elektrische Zündung ersetzt ist. Außer diesen Übelständen gab das zwischen Arbeitscylinder und Pumpe eingeschaltete Übergangsorgan zu leicht Veranlassung zu Betriebsstörungen; schloß dieses Organ nicht im Momente der Entzündung bzw. unmittelbar vorher, dann schlug die Entzündung hinüber in den Pumpencylinder und verursachte, abgesehen von dem heftigen Knall, Störungen in der regelrechten Arbeitsweise der Maschine.

Die Maschinen waren eben nicht reif genug, um den Kampf mit dem so außerordentlich einfach und sicher wirkenden Viertaktssystem aufnehmen zu können und somit kehrte auch die Firma Körting bezüglich ihrer Benzin- und Petroleummotoren ausschließlich zum Viertakt zurück. Der Viertakt blieb auch bis zum heutigen Tage das Arbeitssystem der mit flüssigen Brennstoffen arbeitenden Maschinen und ist, soweit dem Verfasser bekannt, keine einzige Firma mit Erfolg von dieser Arbeitsweise abgegangen.

Der Vollständigkeit und des Interesses wegen seien aus der großen Anzahl von Konstruktionen, welche aus dem Bestreben hervorgingen, den Viertakt auch für so kleine Leistungen, wie sie hier in Betracht kommen, durch eine andere Arbeitsweise zu ersetzen, noch zwei bemerkenswerte Konstruktionen herausgegriffen, und zwar die Maschine des wiederholt genannten englischen Ingenieurs D. Clerk, sowie jene der Motorenfabrik Benz & Cie. in Mannheim. Beide Maschinen wurden bereits im vorhergehenden Abschnitte bei Besprechung des Zweitaktes erwähnt.

Die Maschine von Clerk arbeitete gleichfalls wie die vorhin besprochenen mit zwei Cylindern, jedoch derart, daß die Kurbel der Pumpe, von Clerk Verdränger genannt, der Maschinenkurbel um 90° vorseilte. Die Maschine war sowohl für Benzin- als auch für Leuchtgasbetrieb bestimmt; ihre Wirkungsweise war folgende: Bevor der Kolben seinen Arbeitshub vollendete, überstriefte er eine Reihe von Öffnungen in der Cylinderrand und gab die Verbrennungsprodukte frei; während er in seine Totlage und von dieser so weit zurückgeht, daß er die Ausströmöffnungen schließt, hat der um 90° voreilende Verdrängerkolben das vorher angesaugte explosible Gemisch ungefähr auf das halbe Hubvolumen komprimiert; durch die zwischen beiden Cylindern eröffnete Verbindung wird durch den im vollen Rücklauf begriffenen Verdrängerkolben die bereits

mäßig verdichtete Ladung in den Arbeitscylinder geschoben und jagt, dem Kolben entgegenstürzend, die Verbrennungsrückstände hinaus.

Nun laufen beide Kolben in derselben Richtung, die zwischen ihnen eingeschlossene Ladung fortwährend verdichtend. Der Verdrängerkolben erreicht seine innere Totlage und beginnt seinen Saughub; der Arbeitskolben steht in Mitte seines Hubes und vollendet die Kompression, während er in seine innere Totlage eilt. Dann erfolgt Zündung und das Spiel beginnt von neuem. Die Maschine arbeitete somit im Zweitakt. Die Verdichtungsspannung betrug 2,8 bis 4 Atm., die Explosionsspannung 11 bis 16,5 Atm. Überdruck.

Die Zündung war Flammenzündung; die Regulierung erfolgte durch Ausfall von Ladungen.

Der Brennstoffkonsum war verhältnismäßig groß, weil einerseits nicht der volle Arbeitshub ausgenützt werden konnte, da ungefähr $\frac{1}{10}$ desselben in die Ausströmperiode fiel, andererseits frische Ladung mit den Verbrennungsprodukten ausströmte. Für so kleine Leistungen von 2 bis 12 PS, für welche die Maschine gebaut wurde, erwies sich der Zweitakt unvorteilhafter bzw. unökonomischer als der Viertakt.

Die Maschine von Benz & Cie. arbeitete mit nur einem beiderseits geschlossenen Cylinder; die vordere Cylinderseite diente als Luftpumpe; die Maschine war daher auch nur einfachwirkend. Die Arbeitsweise der Maschine war im übrigen dieselbe wie bei Clerk, nur mit dem Unterschiede, daß die Kompressionsseite nur reine Luft saugte und dieselbe mäßig verdichtet in einen Receiver drückte, von welchem dieselbe vor Ende des Einhubes hinter den Kolben strömte und die Verbrennungsprodukte durch ein gesteuertes Auslaßventil hinaustrieb, um dann während des Kolbenrücklaufes verdichtet zu werden. Das Gas bzw. der Benzindampf wurde kurz vor Ende des Hubes durch eine eigene kleine Pumpe in den Cylinder gedrückt, mischte sich mit der Luft und darauf folgte bei Hubwechsel die Entzündung.

Die Zündung war elektrisch durch eine vom Motor beziehungsweise beim Anlassen von Hand aus betriebene kleine Dynamomaschine.

Die Geschwindigkeitsregelung erfolgte durch Änderung des Mischungsverhältnisses.

Die Maschine ergab keine besseren Verbrauchsziffern als die übrigen Zweitaktmaschinen; obwohl durch das Hinaustreiben der Verbrennungsprodukte nur Luft und kein Ladungsgemisch entweichen konnte, so scheint doch die Einführung des Brennstoffes gegen Ende des Hubes und die mangelhafte Mischung desselben mit der Luft Ursache größerer Wärmeverluste gewesen zu sein.

Diese mißglückten Versuche haben dann endlich dahin geführt, daß

man allseits für kleinere Leistungen, für welche Ölmaschinen zumeist nur verlangt werden, zum Viertaktsystem zurückkehrte. Ausnahmefälle kommen überall, somit auch hier vor.

Wenn auch in dem vorstehenden kurzen geschichtlichen Rückblick eigentlich nur der Benzinmotoren Erwähnung geschah, so gingen doch die Bestrebungen, das gewöhnliche Lampenpetroleum, sowie Spiritus, für motorische Zwecke auszunutzen, Hand in Hand. Die Verwertung des Petroleums scheiterte jedoch lange Zeit hindurch an einer für diesen schwer flüchtigen und verhältnismäßig schwer entzündbaren Brennstoff geeigneten Zündvorrichtung, denn sowohl die Flammenzündung als auch die elektrische Zündung, welche für Gas und Benzin vollkommen entsprechen, erwiesen sich für Petroleummotoren, der Ungleichmäßigkeit der Mischung wegen, als zu unsicher wirkend, daher nicht geeignet. Erst nach Erfindung des Glührohres, also vor etwa fünfzehn Jahren, hat auch der Bau von Petroleummotoren an Bedeutung gewonnen; so lange man jedoch das Petroleum vorerst verdampfte und dann erst mit Luft mischte, also ein Ladungsgemenge aus Petroleumdampf und Luft erzeugte, wurde infolge der damit verbundenen mangelhaften Mischung und Verbrennung unverbranntes oder nur teilweise verbranntes Gemenge mit ausgestoßen; die Maschinen arbeiteten unökonomisch und verunreinigten die Umgebung.

Der Petroleummotor konnte sich daher neben dem Leuchtgas- und Benzinmotor nicht halten; seine Anwendung war überhaupt nur auf ländliche Betriebe beschränkt, daher nahezu bedeutungslos.

Das Petroleum erfordert zu seiner vollständigen Verbrennung, wenn es als Ladungsgemisch vor seiner Entzündung in den Cylinder gelangen soll, eine innige Mischung in fein verteiltem Zustande mit atmosphärischer Luft; dies kann nur durch Zerstäubung bei gleichzeitiger Erhitzung, also durch Vergasung desselben erreicht werden.

Wenn auch durch diesen Fortschritt in der Bildung der explosiblen Ladung nunmehr eine wesentlich höhere Brennstoffökonomie, sowie eine ziemlich geruchlose Verbrennung erzielt wurde, so stellen sich doch in anbetracht der verhältnismäßig hohen Petroleumpreise die Betriebskosten wesentlich höher wie jene des Kraftgasbetriebes und können daher die Ölmotore im allgemeinen mit den Kraftgasmaschinen nur dort konkurrieren, wo die Ölpreise entsprechend gering sind oder andere Faktoren für die Verwendung flüssiger Brennstoffe sprechen, z. B. die Raumfrage, die Art des Betriebes u. dgl.

An dieser Tatsache werden auch die neueren Ölmaschinen, der Explosionsmotor mit Wasserinjektion von Bánki und der Verbrennungsmotor von Diesel, trotz der mit denselben und namentlich mit letzterem erzielten hohen Brennstoffökonomie, wenig zu ändern vermögen, so lange

nicht die Ölpreise eine entsprechend weitgehende Herabminderung erfahren.

Mit Leuchtgas verglichen, dürften sich die Betriebskosten ziemlich gleich stellen. Nachdem der Preis des Benzins und Lampenpetroleums innerhalb ein und desselben Staates von dem Verwendungsorte weniger abhängig ist, wie jener des Leuchtgases, so dürfte auch in Städten mit billigerem Leuchtgas der Gasbetrieb, in Städten mit hohem Gaspreise der Benzin- beziehungsweise Petroleumbetrieb vorteilhafter sein. Als vor einigen Jahren in Österreich die Zollfreiheit des Benzins für Motorenbetrieb gewährt wurde, war die Nachfrage nach Benzinmotoren so bedeutend, daß wesentlich mehr Benzinmotoren als Leuchtgasmotoren gebaut wurden; seitdem ging jedoch der Benzinpreis wieder hinauf, die Nachfrage daher zurück. Nur durch zollfreie Behandlung der flüssigen Brennstoffe, sowie entsprechende Verminderung der Transportgebühren könnten dieselben allerorts zu einem Preise erhältlich werden, welcher namentlich der Kleinindustrie und Landwirtschaft eine Kraftquelle von größter Bedeutung erschließen würde. Da diese Begünstigungen jedoch in abschbarer Zeit kaum gewährt werden dürften, werden auch die Ölmaschinen, namentlich die Petroleummotoren, im allgemeinen, die Petroleumländer ausgenommen, im Vergleiche mit den Gasmaschinen nur eine untergeordnete Rolle spielen*).

230. Die flüssigen Brennstoffe. Von flüssigen Brennstoffen kommen nur die Destillationsprodukte des Erdöles, sowie Spiritus in Betracht.

Das Erdöl findet sich in geringen Mengen auf der ganzen Erde; Hauptfundorte sind jedoch nur die Staaten Pennsylvanien und Canada in Nordamerika, Gouvernement Baku in Rußland, sowie Galizien; speziell die Naphtaquellen von Baku scheinen unerschöpflich zu sein.

Auch in Deutschland und zwar in der Provinz Hannover fand man in den Jahren 1879 und 1880 durch Bohrungen sehr ergiebig scheinende Quellen; es wurde eine große Anzahl derselben erschlossen, der Erfolg entsprach jedoch nicht den Erwartungen; die Quellen versiegten zum Teil in kurzer Zeit und ist die Produktion daher sehr zurückgegangen.

Von sonstigem deutschen Ölvorkommen sei noch erwähnt das Elsaßer bei Hagenau, Lobsam, Bechelbronn und Schwabweiler; die Ausbeute ist jedoch gleichfalls nicht von Belang.

Das Erdöl wird durch Abfangen beziehungsweise Absaugen aus den

*) Bis ins Detail ausgearbeitete Kostentabellen für Leistungen von 10 bis 400 PS siehe: *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1899, S. 197, sowie: *Die Kosten der Kraftherzeugung* von Chr. Eberle, 1898, Verlag W. Knapp.

Quellen durch Bohrlöcher von entsprechender Tiefe gewonnen. Alle Petroleumarten sind unlöslich in Wasser, haben einen spezifischen penetranten Geruch und sind fettig anzufühlen; sie bilden dünnflüssige bis butterartige, wasserklare bis nahezu schwarze Flüssigkeiten, häufig mit blauem Schiller und bestehen aus verschiedenen Kohlenwasserstoffverbindungen von flüssiger, gasförmiger oder fester Natur. Die chemische Zusammensetzung schwankt je nach dem Herkommen; zumeist enthält das Petroleum 85 bis 86% Kohlenstoff, 14 bis 13% Wasserstoff und als begleitende Stoffe, welche dasselbe verunreinigen, Schwefelverbindungen.

Das spezifische Gewicht des Erdöles liegt zwischen 0,8 und 0,96.

Durch Destillation des Rohpetroleums bei entsprechenden Temperaturen werden die flüchtigen Bestandteile verdampft und in Vorlagen wieder aufgefangen, während die schwersiedenden Bestandteile als Rückstände, welche in verschiedener Weise verwertet werden können, zurückbleiben.

Man unterscheidet namentlich drei Arten von Destillationsprodukten und zwar:

a) Leichtflüchtige, welche bereits bei Temperaturen von 170° C verdampfen; hierher gehört eine Reihe von Verbindungen, deren spezifisches Gewicht zwischen 0,62 und 0,68 liegt und welche schon bei der niedrigen Temperatur von 40° bis 80° C verdampfen. Diese Destillationsprodukte eignen sich für den Kraftbetrieb nicht. Ferner gehört hierher das bei Temperaturen von 80° bis 100° C überdestillierende **Benzin** vom mittleren spezifischen Gewichte 0,70. Die bei 100° und 170° C übergehenden Destillationsprodukte, die sogenannten Ligroine, deren spezifisches Gewicht zwischen 0,7 und 0,75 liegt, finden zunächst Verwendung für Beleuchtungs- und Reinigungszwecke.

b) Solche, welche bei Temperaturen zwischen 170° und 300° C verdampfen; das spezifische Gewicht derselben liegt zwischen 0,75 und 0,85; diese Destillationsprodukte werden nicht getrennt aufgefangen, sondern als Mischprodukte gewonnen und bilden das **eigentliche Petroleum**.

c) Jene Verbindungen, welche erst bei einer Temperatur über 300° destillieren; ihr spezifisches Gewicht liegt zwischen 0,85 und 0,96. Diese Destillate sind Auflösungen fester in flüssig bleibenden Kohlenwasserstoffen. Die festen Elemente überwiegen um so mehr, je höher die Destillationstemperatur ist.

Für den Motorenbetrieb eignen sich in erster Linie alle Benzinarten, wie sie im Handel vorkommen, mit dem spezifischen Gewichte von 0,68 bis 0,70. Der mittlere Heizwert beträgt durchschnittlich 10400 W.E./kg (die spezifischen Gewichte beziehen sich auf 15° C und 760 mm); ferner alle Sorten Lampenpetroleum des Handels, ins-

besondere russische, amerikanische und galizische, gleichgiltig welchen Raffinationsgrades. Das spezifische Gewicht derselben liegt zwischen 0,78 und 0,82. Der mittlere Heizwert beträgt 10 000 bis 10 200 W.E./kg.

Die Verbrennungsmaschine von Diesel, bei welcher der Brennstoff nicht vorher mit Luft zum Ladungsgemisch vermenget, sondern in zerstäubtem Zustande direkt in die hochkomprimierte und hochehitzte Luft eingblasen wird, verarbeitet außerdem noch alle aus Naphta hergestellten Solaröle vom spezifischen Gewichte 0,83 bis 0,85; Solaröle als deutsche Braunkohlendestillate vom spezifischen Gewichte 0,85; alle Rohöle, wie sie aus den Quellen kommen, vom spezifischen Gewichte 0,846 bis 0,88; ferner russische Naphtarückstände, Masut genannt; dieselben sind sehr dickflüssig, ihr spezifisches Gewicht beträgt 0,905. Alle diese Ölsorten haben einen durchschnittlichen Heizwert von 10 150 bis 10 200 W.E./kg.

Im allgemeinen erfordern die dickflüssigen Öle einen etwas höheren Einblasedruck und weitere Anschlußleitungen der Ölpumpe.

Nachdem Rohnaphta häufig mechanisch beigemengte Verunreinigungen, als Erde, Sand etc. enthält, so ist es unbedingt erforderlich, dasselbe vor dem Gebrauche zu filtrieren; gleiches gilt bezüglich der Verwendung von Masut.

Die schweren, dickflüssigen Ölsorten werden, falls sie allein nicht befriedigend arbeiten, durch Mischen mit Rohölen, Benzin, Petroleum etc. verwendbar. Ein sehr geringer Gehalt an flüchtigen Bestandteilen trägt viel zur feinen Zerstäubung bei.

Alle diese Stoffe verbrennen bei getrennter Verdichtung von Brennstoff und Luft und Einführung des fein verteilten Öles in die hochehitzte Luft ohne Rückstand in der Maschine. Der Auspuff ist nahezu unsichtbar und ohne den herben Geruch unverbrannter Brennstoffteile.

Nachdem die Destillationsprodukte der ersten Gruppe schon bei der gewöhnlichen mittleren Lufttemperatur verdunsten und im gasförmigen Zustande mit Luft gemischt ungemein explosibel sind, so müssen diese Öle als sehr feuergefährlich bezeichnet und bei deren Benützung für den Kraftbetrieb die größte Vorsicht angewendet werden.

Weit weniger feuergefährlich ist das Petroleum, indem dasselbe erst bei einer Temperatur von ca. 30° C derart zu verdunsten beginnt, daß daraus Gefahr für die Umgebung erwachsen kann. Bei dieser mittleren Temperatur bilden sich Dünste, die mit Flammen in Berührung gebracht, verpuffen; man nennt daher diese Temperatur die Entflammungstemperatur. Die Entzündungstemperatur liegt wesentlich höher.

Seit einer Reihe von Jahren hat man versucht, Gasmotoren mit Spiritus zu betreiben und hat sich hierbei gezeigt, daß Spiritus für diesen

Zweck vollkommen geeignet ist. Die Frage des Ersatzes der flüssigen Kohlenwasserstoffe durch Spiritus ist für die Landwirtschaft von der größten Bedeutung und auch vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus von außerordentlicher Wichtigkeit, indem ein Teil jenes enormen Kapitals, welches z. B. in Deutschland und Österreich für Petroleum jährlich ins Ausland wandert, dem Lande erhalten bleiben könnte.

Der reine Äthylalkohol, Weingeist oder Feinsprit, hat ein spezifisches Gewicht von 0,794 bei 15° C; sein Heizwert beträgt 7190 W.E./kg. Gewöhnlich wird jedoch nicht reiner Alkohol, sondern verdünnter, durchschnittlich 80- bis 90%iger verwendet, dessen Heizwert dem Volumprozentverhältnis entsprechend 5750 bis 6470 W.E., durchschnittlich somit 6100 W.E./kg beträgt.

Bei theoretischen Untersuchungen ist jedoch zu berücksichtigen, daß 20 beziehungsweise 10 Volumprocente Wasser bei der Verbrennung des Spiritus in Wasserdampf verwandelt werden müssen, welche Wärmemenge von der zur Arbeitsleistung dienenden Wärme in Abzug zu bringen ist. Gelangt der Spiritus jedoch bereits in dampfförmigem Zustande in den Cylinder, dann kommt obige Wärmemenge nicht mehr in Betracht. Nachdem die Verdampfung des Wassergehaltes schon während der Kompression der Ladung stattfindet, somit eine Verminderung der Kompressionstemperatur zur Folge hat, so kann man bei Verwendung von Spiritus als Brennstoff auch mit der Verdichtung höher hinaufgehen als bei anderen Brennstoffen und damit geht wieder eine bessere Ausnützung der Brennstoffwärme Hand in Hand.

Nach den bis heute vorliegenden Untersuchungen hat ein Liter Alkohol vom spezifischen Gewichte 0,79 einen Heizwert von durchschnittlich 5750 W.E., also ungefähr so viel als 1 cbm besten Leuchtgases. Dieser Heizwert wird jedoch in der Praxis nie erreicht, da man es nicht mit absolutem Äthylalkohol, sondern mit verdünntem denaturierten Spiritus zu tun hat, dessen Heizwert somit durchschnittlich mit 4900 W.E. pro Liter angenommen werden kann.

Betreibt man einen gewöhnlichen Viertaktmotor selbst unter Anpassung an die Natur des Brennstoffes mit Spiritus, so nimmt trotzdem erfahrungsgemäß der thermische Wirkungsgrad ab, nachdem man, wie Versuche bestätigen, mit derselben Anzahl Wärmeeinheiten, aus Spiritus gewonnen, nicht den gleichen Effekt erreicht, als wenn dieselbe durch die Verbrennung von Benzin, Petroleum oder Leuchtgas erzeugt wurde. Da nun außerdem der Spiritus im allgemeinen ganz erheblich teurer ist als Petroleum und Benzin, auf gleiche Gewichts- oder Volummenge bezogen, so ergibt sich daraus, daß der Spiritusbetrieb im allgemeinen bedeutend kostspieliger, also unökonomischer ist, als der Betrieb mit den übrigen

Brennstoffen, daher auch der Spiritusmotor bis heute keine Bedeutung erlangen konnte.

In Deutschland wurden für den Spiritusbetrieb bessere Verhältnisse erst seit 1. April 1899 durch die Gründung des Verwertungsverbandes deutscher Spiritusfabrikanten erreicht. Dieser Verband umfaßt den größten Teil, ca. 4000 aller deutschen Brennereien und bezweckt eine Normierung des Spirituspreises im ganzen deutschen Reiche. Der Preis beträgt 20 bis 21 Mark für 100 Liter 90%igen Spiritus, franko jeder Bahnstation Deutschlands bei Abnahme von 5000 kg und Lieferung der Gebinde. Infolge dieser Preisreduktion dürften sich die Kosten der Krafterzeugung pro Stundenpferdestärke durch Spiritus und Petroleum beziehungsweise Dampf ziemlich gleich stellen. Es dürften sich daher Spiritusmotoren an solchen Orten, wo andere Brennstoffe, als Kohle, Petroleum, Benzin, teurer zu stehen kommen als Spiritus, namentlich für kleinere Leistungen, bald Eingang verschaffen. Wie die letzte landwirtschaftliche Ausstellung in Halle a./S. 1901 gezeigt hat, erscheint die Verwendung des Spiritus namentlich für Lokomobilen angezeigt, da dieselben für landwirtschaftliche Betriebe von besonderer Bedeutung sind. Von 49 ausgestellten Maschinen mit 442 PS Gesamtleistung waren 29 Lokomobilen von 300 PS Leistung. Für Motorfahrzeuge dürfte sich Spiritus schon aus dem Grunde besser als Benzin eignen, um den widerwärtigen Geruch für immer zu beseitigen, den die mit Benzin betriebenen Fahrzeuge verursachen.

Der für Krafterzeugung dienende Spiritus wird zumeist durch Benzol denaturiert; desgleichen wurden Versuche mit Mischungen von denaturiertem Spiritus mit Benzol und Wasser durchgeführt; hierbei zeigte sich, daß mit zunehmendem Benzolzusatz entsprechend dem wachsenden Heizwerte auch der Brennstoffverbrauch pro Leistungseinheit abnimmt. Als vorteilhafteste Mischung erwies sich eine Mischung aus 70 l Spiritus, 30 l Benzol und 7 l Wasser.

Eine 12 PS-Spirituslokomobile, mit 90%igem, durch Benzol denaturiertem Spiritus gespeist (Heizwert 6300 W.E./kg), verbrauchte bei 200 Minutenumdrehungen:

bei einer Leistung von	6 PS _e		0,90 l pro PS _e -Stunde
„ „ „ „	12 „	0,56 bis 0,63	„ „ „
„ „ „ „	18 „	0,51 „ 0,55	„ „ „
und „ „ „ „	24 „	0,42 „ 0,50	„ „ „

Die Abweichungen der Konsumziffern wurden durch mangelhaftes Arbeiten des Regulators verursacht.

Dieselbe Lokomobile mit einer Mischung aus 70 l Spiritus, 30 l Benzol und 7 l Wasser gespeist ergab bei den mit derselben durchgeführten Versuchen

	bei einer Leistung von	6 PS _e	0,75 l	pro PS _e -Stunde
	„ „ „ „	12 „	0,52 „	„ „
	„ „ „ „	18 „	0,46 „	„ „
und	„ „ „ „	24 „	0,43 „	„ „ *)

Die Deutzer Gasmotorenfabrik gibt für ihre Spiritusmotoren einen Verbrauch an gewöhnlichem 90 % igen Spiritus von 0,5 bis 0,4 kg pro PS_e-Stunde und 0,45 bis 0,35 kg bei Benzolspiritus mit 20 % Benzolgehalt an.

Ein 14pferdiger Spiritusmotor der Deutzer Gasmotorenfabrik ergab bei den Versuchen bei voller, normaler und halber Belastung einen Verbrauch pro PS_e-Stunde von 0,445, 0,463 beziehungsweise 0,528 kg Handelsspirit (86,7 Gewichtprozenten Alkohol und 13,3 Gewichtprozenten Wasser), ferner einen Verbrauch von 0,422, 0,433 beziehungsweise 0,521 kg einer Mischung aus 9,12 Gewichtprozenten Benzol und 90,88 Gewichtprozenten Spiritus; endlich einen Verbrauch von 0,375, 0,385 beziehungsweise 0,480 kg einer Mischung aus 20,95 Gewichtprozenten Benzol und 79,05 Gewichtprozenten Spiritus.

Diesen Verbrauchsziffern entspricht somit eine durchschnittliche Wärmemenge pro PS_e-Stunde von 3100 bis 3200 W.E. beziehungsweise ein thermischer Wirkungsgrad von 0,26.

231. Die Gemischbildung. Die flüssigen Brennstoffe werden, je nach der Natur derselben, vor ihrer Mischung mit der zur Verbrennung erforderlichen Luft entweder in fein verteiltem Zustande mit einem kleinen Teile der Luft gemischt (zerstäubt), oder als feiner zur Verbrennung geeigneter Nebel oder verdampft beziehungsweise vergast, also in gasförmigem Zustande in den Cylinder eingeführt.

Die Einrichtungen zur Erzeugung des explosiblen Gemisches aus Benzin und Luft sind im allgemeinen zweierlei Art; entweder wird die für jede Ladung erforderliche Benzinmenge getrennt von dem Bezinivorrat durch die Luft zerstäubt, wobei es sich, namentlich wenn die zur Zerstäubung gelangende Luft vorher erwärmt wurde, so fein verteilt, daß die Mischung sofort zur Ladung der Maschine benützt werden kann, oder die Maschine saugt Betriebsluft direkt durch ein Benzinreservoir, wobei sich dieselbe mit Benzindämpfen sättigt und vor Eintritt in den Cylinder noch weiter in entsprechendem Verhältnisse mit Luft gemischt beziehungsweise verdünnt wird.

Jede dieser beiden Methoden hat ihre Vor- und Nachteile. Bei der ersten Methode ist es immerhin schwierig, den Bezinzufluß genau der wechselnden Leistung der Maschine anzupassen, doch arbeiten die gebräuchlichen Zerstäuber sehr verlässlich, benötigen ungemein wenig Raum und nahezu keine Bedienung; ihr Hauptvorteil besteht jedoch darin, daß man

*) A. v. Ihering, „Die Gasmotoren“, Leipzig 1901.

jede beliebige Ölsorte verwenden kann, während die andere Methode durch die Eigentümlichkeit des Benzins, aus ungleich flüchtigen Bestandteilen zusammengesetzt zu sein, nachteilig beeinflußt wird, da in dem Maße, als der Bezinorrat immer mehr und mehr aufgezehrt wird, ungleiche Mischungen entstehen und endlich Rückstände verbleiben, welche von der Luft nicht mehr aufgenommen werden.

Nachdem das Benzin schon bei der gewöhnlichen Temperatur der Luft so stark verdunstet, daß es mit derselben ein entzündbares Gemisch bildet, so bietet auch die Erzeugung einer explosiblen Ladung keine wesentlichen Schwierigkeiten.

Während früher die letztere Methode, also die Karburierung der Luft, vielfach angewendet wurde, weil sich hierbei die Erzeugung des Benzingases automatisch durch die Maschine selbst regelt, findet in neuerer Zeit mit Rücksicht auf den Umstand, daß jede Benzinsorte gleich vorteilhaft verarbeitet werden kann, also der Betrieb ökonomischer wird, die Methode der Zerstäubung des Benzins die ausgedehnteste Verwendung.

Die Ausführung der Zerstäuber ist sehr verschieden und läßt sich wohl schwer beurteilen, welche Zerstäubungsmethode die vorteilhafteste ist. Die Zerstäubung erfolgt jedoch durchwegs in der Weise, daß im Momente der Eröffnung des Einlaß- oder Mischventiles unter der Saugwirkung des Kolbens einerseits Luft, andererseits Benzin, unter dem Drucke einer genügenden Flüssigkeitssäule stehend, in den Mischraum eintreten, wobei das meist durch ein Ventil zerstäubte Benzin gegen die einströmende Luft stößt und auf diese Weise innig mit derselben gemischt in den Cylinder gelangt. Je nach der Form und Anordnung des Zerstäuber-ventiles tritt das Benzin entweder als feiner Schleier oder in einzelnen dünnen Strahlen gegen die Luft; je einfacher dieser eigentliche Zerstäubungsapparat ist, desto besser und verlässlicher funktioniert derselbe; Zerstäuber, bei welchen beispielsweise das Benzin gegen Flügelrädchen spritzt, die unter der Saugwirkung des Kolbens in rasche Umdrehung versetzt werden etc., sind daher weniger empfehlenswert.

Die Karburierapparate beruhen gleichfalls auf der Saugwirkung der Luft, indem das explosive Gemisch nur dann gebildet wird, wenn sich die Maschine in der Saugperiode befindet und die reine Luft durch den Apparat, beziehungsweise durch den in demselben enthaltenen Bezinorrat hindurchgesaugt wird.

Der Apparat, auch Gaserzeuger genannt, kann in nächster Nähe oder bis zu 20 m vom Motor entfernt aufgestellt werden; zweckmäßig ist es, denselben in einem vom Motor getrennten Lokale aufzustellen, so daß in der Nähe desselben nicht mit Licht etc. manipuliert wird; auch soll dieses

Lokal gut ventilierbar sein, damit sich nicht Benzindünste in größeren Mengen ansammeln können.

Es gibt verschiedene Konstruktionen von Karburierapparaten; dem Wesen nach bestehen jedoch alle aus einem cylindrischen, teilweise mit Benzin gefüllten Gefäße, in welches einerseits das bis nahe an den Boden reichende Luftzuführungsrohr, andererseits das Abführungsrohr, welches den Gaserzeuger mit dem Cylinder der Maschine verbindet, münden. Damit die Flamme im Momente der Entzündung aus dem Cylinder unter keinen Umständen in das Benzinglefäß zurückschlagen kann, also die Anlage absolut sicher ist, sind in die Gasleitung zur Maschine verschiedene Sicherheitsvorrichtungen, als Rückschlagventile, Sicherheitsventile etc., eingeschaltet.

Durch das Luftzuführungsrohr, dessen unteres Ende brausenartig oder in ähnlicher Weise ausgeführt ist, wird infolge der Saugwirkung des Kolbens und der über der Flüssigkeitssäule entstehenden Luftverdünnung die atmosphärische Luft gezwungen, das Benzin in fein verteiltem Zustande zu durchziehen und sich mit den Dünsten desselben zu sättigen. Das so gebildete Benzingas wird hierauf vor Eintritt in den Cylinder noch mit Luft im richtigen Verhältnisse gemischt.

Um die Wirkung des Apparates zu erhöhen und das Sättigungsvermögen der Luft unabhängig von der Witterung gleichbleibend zu erhalten, pflegt man die Luft, bevor sie durch den Apparat gesaugt wird, zu erwärmen; hierzu wird die Luft durch ein das Auspuffrohr mantelartig umgebendes kurzes Rohrstück geleitet, wodurch sie sich an den heißen Rohrwandungen genügend erwärmt.

Statt der Vorwärmung der Luft findet man auch Anwärmung des Benzins, um dessen Verdunstungsvermögen zu fördern. Zu diesem Zwecke ist das Benzinglefäß entweder von einem Mantel umgeben, durch welchen das von der Maschine ablaufende erwärmte Kühlwasser zirkuliert, oder man benützt die Abgase der Maschine zur Erwärmung, indem man das Benzinglefäß auf einen hohlen Sockel stellt, welcher mit dem Auspuffrohr der Maschine in Verbindung steht. Diese Vorrichtungen sind stets dann mit Vorteil anzuwenden, wenn der Karburierapparat in einem vom Maschinenorte getrennten und ungeheizten Lokale aufgestellt ist, also namentlich zur Winterszeit der Kälte ausgesetzt ist*).

Während das Benzin, wie bereits erwähnt, bei Temperaturen von 80° bis 100° C siedet und infolge seiner Leichtflüchtigkeit bei gewöhnlicher

*) Zeichnungen einiger Karburierapparate, sowie Skizzen von Zerstäubern siehe: Schöttler, *Die Gasmaschine*, 1902; Musil, *Motoren für Gewerbe u. Industrie*, 1897; Knoke, *Die Kraftmaschinen des Kleingewerbes*, 1899; Lieckfeld, *Die Petroleum- und Benzinmotoren*, 1894, etc.

mittlerer Lufttemperatur verdunstet, d. h. mit Luft in innige Berührung gebracht, direkt ein für den Motorenbetrieb brauchbares explosives Gas bildet, bedarf das im Vergleiche mit Benzin schwerflüchtige Petroleum ganz anderer Mittel, um es zur Mischung mit Luft geeignet zu machen.

Petroleum kann nur durch genügende Erhitzung in den gasförmigen Zustand übergeführt werden; jeder mit Gemischladung arbeitende Petroleummotor erfordert daher einen Apparat, in welchem das Petroleum durch innige Berührung mit heißen Gefäßwänden vergast wird.

Zerstäubt man das Petroleum mittels Luftstrom, dann bildet sich ein Gemisch aus Luft und fein verteiltem Petroleum, welches entzündet nicht durch seine ganze Masse verbrennt; erhitzt man jedoch vorher das Petroleum so weit, daß es verdampft, dann mischt sich dieser Dampf innig mit atmosphärischer Luft und bildet ein zur Krafterzeugung vollkommen geeignetes explosives Gemisch.

Man erzeugt dieses Gemisch im allgemeinen in der Weise, daß man das flüssige Petroleum durch Luft zerstäubt und diesen Staub mit den erhitzten Wänden eines Vorraumes, des sogenannten Verdampfers oder Vergasers, in innige Berührung bringt und dann erst in den Arbeitscylinder einführt.

Dieses Gemisch folgt bezüglich seiner Entzündungsfähigkeit und Verbrennung denselben Gesetzen, wie die Mischung aus Gas und Luft; durch Verdichtung wird die Entzündbarkeit erhöht und können selbst Mischungen, welche bei atmosphärischem Drucke schlecht zünden, durch die Kompression das Entzündungsvermögen wieder erlangen; somit ist auch bei rascher und weitgehender Verdichtung die Selbstentzündung infolge der frei werdenden Kompressionswärme möglich, namentlich wenn durch schlecht wärmeleitende Gefäßwänden kein wesentlicher Wärmeverlust stattfinden kann.

Das Petroleum hat aber andererseits die Eigenschaft, aus Bestandteilen zu bestehen, die zwischen sehr weiten Grenzen, und zwar zwischen 170° und 300° C sieden. Es darf daher nicht der für eine bestimmte Betriebszeit dienende Petroleumvorrat im ganzen zum Sieden gebracht werden, sondern es muß das Petroleum nur in so kleinen Mengen, als der Stärke der einzelnen Ladung entspricht, dem Vorrate entnommen und für sich vergast werden. Die Vergaser müssen daher so eingerichtet sein, daß die jeder einzelnen Ladung entsprechende Petroleummengung während des Saughubes oder eines Teiles desselben vollkommen vergast wird; jedes mitgerissene, nicht vergaste Flüssigkeitsteilchen geht für die Kraftäußerung verloren und andererseits würde durch das sich im Cylinder, den Kanälen etc. ansammelnde flüssige Petroleum die Maschine sehr bald verschmutzt etc. und die Umgebung durch den üblen Geruch belästigt. Je stärker die Verschmutzung der Maschine ist, desto leichter treten Vorentzündungen

ein, da die Petroleum- und Schmierölrreste schlechte Wärmeleiter sind, welche als zähe Masse die Wandungen des Laderaumes überziehen und auch die Ausströmöffnungen verlegen, wodurch das Wärmeleitungsvermögen verringert und die Erhaltung der Kompressionswärme begünstigt wird, so daß durch die zunehmende Vorwärmung des Gemisches schließlich Vorzündungen eintreten.

Die Heizflächen der Vergaser müssen daher nicht nur genügendes Flächenausmaß und entsprechende Flächenanteile, sondern auch jene Temperatur besitzen, welche zur vollständigen Vergasung in verhältnismäßig so kurzer Zeit erforderlich ist. Nimmt man den durchschnittlichen Petroleumverbrauch kleinerer Maschinen mit nur 0,4 kg pro PS_e-Stunde an und setzt man eine mittlere Umlaufzahl von 200 pro Minute voraus, dann ist die Petroleummenge, welche der Maschine pro Ladung und PS_e zugeführt werden muß, ungefähr 0,08 cbcm; da ferner die Dauer eines Hubes 0,15 Sekunden beträgt, so muß innerhalb dieser Zeit die pro Ladung erforderliche Petroleummenge vollkommen vergast werden. Daraus allein ergibt sich schon als die günstigste Art und Weise der Mischung des Petroleums mit der Luft die Zerstäubung desselben durch die Luft selbst; dieses Gemisch aus Petroleumstaub und Luft wird infolge der Saugwirkung der Maschine durch den Verdampfraum getrieben, vergast und im genügenden Verhältnisse mit Luft gemengt in den Cylinder gesaugt.

Bei Konstruktion des Verdampfungsraumes muß darauf gesehen werden, daß die Bildung des Leidenfrost'schen Phänomens vermieden wird, damit die Vergasung der eingeführten Petroleummenge eine vollkommene sei. Liegende Flächen, ob eben oder gekrümmt, sind daher zu vermeiden, da sie die Tropfenbildung nur begünstigen; aus dem gleichen Grunde soll die Zerstäubung möglichst energisch sein, damit das Öl nur in ganz fein verteiltem Zustande mit den erhitzten Wandungen des Vergasers in Berührung kommt. Dem Petroleum kommt andererseits seine große Dünflüssigkeit, sowie sein Ausbreitungsvermögen sehr zu statten, weil hierdurch eine schnellere und gleichmäßigere Verdampfung ermöglicht wird; aus diesem Grunde eignet sich Gußeisen mit beibehaltener Gußhaut, in dessen porenreiche, rauhe Oberfläche das Petroleum eindringt und eine große Verdampffläche gewinnt, besser als glatte Wandungen.

Damit das Petroleum auf seinem Wege durch den Verdampfraum vollkommen vergast werde und mit Ende der Saugperiode keine Spur flüssigen Petroleums in demselben zurückbleibe, muß die Temperatur von mindestens 300° C (entsprechend dem Siedepunkte der am schwersten flüchtigen Bestandteile des Petroleums) im Vergaser erhalten bleiben. Die zur Vergasung erforderliche Wärmezufuhr kann entweder durch Erhitzung des Vergasers durch eine Heizflamme oder nach erfolgtem Anlassen der

Maschine durch die Abgase derselben erfolgen. Es gibt aber auch Vergaser, welche nur beim Anlassen der Maschine angewärmt, nachher jedoch durch die bei der Explosion erzeugte Wärme dauernd glühend erhalten werden. Zu den Vergasern dieser Art gehört z. B. der Vergaser des Hornsby-Akroid-Motors; zu den Vergasern, welche durch die Abgase geheizt werden, gehört der Vergaser von Dürr, Petréano u. a.

Das auf diese Weise gebildete Ladungsgemisch der Petroleummotoren muß nun, nachdem fast alle Ölmaschinen im Viertakt arbeiten, nicht nur während des Saughubes sondern auch während des Verdichtungshubes im Cylinder verbleiben, bevor es zur Verbrennung gelangt; diese Verhältnisse sind der Erhaltung des Gemisches als solches und der damit im engsten Zusammenhange stehenden ökonomischen Ausnützung des Brennstoffes nicht günstig. Nachdem ferner die Cylinderwandungen, welche als Gleitflächen für den Kolben dienen, innen geschmiert und außen durch Wasser gekühlt sind, so darf die Temperatur derselben niemals so hoch gesteigert werden, daß das Cylinderschmieröl, welches ja zum teil aus Mineralöl besteht, zu verdunsten beginnt, weil sonst Gefahr vorhanden ist, daß der Kolben nahe dem Verbrennungsraume trocken läuft. Die Temperatur von 300° C kann daher für die Cylinderwandungen nicht eingehalten werden und nachdem sich das Ladungsgemisch während der Dauer zweier Hübe im Cylinder aufhalten muß, bevor es entzündet wird, so ist eine, wenn auch nur geringe Abkühlung bezw. Niederschlagung der schwerflüchtigen Bestandteile des Petroleums an den Cylinderwandungen bei Viertaktexplosionsmaschinen unvermeidlich. Diese, wenn auch an und für sich geringfügigen Brennstoffverluste sind mit eine Ursache der wesentlich besseren Wärmeausnützung des Dieselmotors gegenüber den Explosionsmotoren.

Den unangenehmen Geruch gewöhnlicher Petroleummotoren kann man durch Einkapselung des vorderen Teiles der Maschine und Entnahme der Betriebsluft aus diesem Raume wesentlich vermindern.

Aus dem Gesagten geht somit hervor, daß die beste Ausnützung des Brennstoffes möglichst raschen Hubwechsel also hohe Umlaufzahl des Motors, hohe Kompression und hohe Kühlwassertemperatur erfordert. Andererseits müssen sich sämtliche mit dem Ladungsgemisch in Berührung tretenden Wandungen in einem möglichst gleichförmigen Wärmebeharrungszustande befinden; Regulierung durch Aussetzer ist daher speziell bei Petroleummotoren schlecht und sind die in neuerer Zeit erzielten, günstigeren Betriebsergebnisse auch auf den Umstand zurückzuführen, daß die heutigen Petroleummotoren nicht mehr mit Aussetzern sondern mit veränderlicher Ladung, aber Füllung nach jedem Viertakt, arbeiten. Gleiches gilt auch bezüglich der Spiritusmotoren. Durch den

Fortfall der Aussetzer wurde auch insofern eine Verbesserung der Wirkung der Maschine erzielt, als die auf die Aussetzer häufig folgenden Versager, sowie die schleppenden, mit zu geringer Kraftentwicklung verbundenen Verbrennungen vollkommen vermieden werden. Es treten bis zum Leerlauf der Maschine bei jeder Belastung derselben regelmäßige, in ihrer Stärke dem Kraftbedarfe der Maschine entsprechende Zündungen ein.

Durch diese Regulierung ist es auch möglich geworden, bei Petroleum- und Spiritusmotoren die Heizflamme des Vergasers zu ersparen, nachdem durch die regelmäßig wiederkehrenden Zündungen und Explosionen der Vergaser selbsttätig geheizt d. h. genügend heiß erhalten wird. Bei den Spiritusmotoren wurde durch diese eigenartige Regulierung außerdem noch die Vorwärmung der Luft durch das Ausströmrohr überflüssig, wodurch die Maschine baulich und in der Bedienung etwas vereinfacht wurde, da diese Art der Vorwärmung die Bedienung eines Umschalhahnes notwendig machte, um je nach Art des Betriebes und Brennstoffes mit mehr oder weniger warmer Luft arbeiten zu können.

Die Gemischbildung der Spiritusmotoren erfolgt auf gleiche Weise, wie bei den Petroleummotoren; es sind daher auch die Einrichtungen nahezu dieselben und die Maschinen zumeist so gebaut, daß sie mit Petroleum oder Spiritus arbeiten können. Die Zufuhr des Brennstoffes erfolgt entweder unter dem natürlichen Drucke eines entsprechend höher gelegenen Behälters oder durch eine kleine Brennstoffpumpe, die meist als einfachwirkende Plungerpumpe ausgeführt ist. Die Anwendung der Pumpe gewährt den Vorteil, daß sie gesteuert, also bei jedem wirksamen Saughube der Maschine eine genau abgemessene Petroleummenge zugeführt werden kann. Die Pumpe steht unter dem Einflusse des Regulators und zwar derart, daß bei zunehmender Geschwindigkeit der Maschine weniger Brennstoff, somit eine ärmere Ladung zur Wirkung gelangt. Diese kleinen Pumpen müssen so angelegt sein, daß sie nicht saugen, sondern denselben der Brennstoff unter Druck zufließt.

Um die Maschinen bei noch kalten Cylinderwandungen in Gang setzen zu können, wird denselben häufig eine Benzinanlaßvorrichtung beigegeben*).

232. Die Zündung. Während bei den Benzin- und Spiritusmotoren die elektrische Zündung fast ausschließlich verwendet wird, dienen zur Zündung der Petroleummotoren entweder von außen geheizte, offene, selten gesteuerte Glührohre oder es werden die Vergaser selbst als Zünd-

*) Zeichnungen und Beschreibung verschiedener Vergaser siehe die an früheren Stellen angeführte Litteratur über Gas- und Ölmaschinen, sowie die Berichte über Explosionsmotoren der Pariser Weltausstellung 1900 in der *Z. d. V. deutscher Ing.* 1901.

apparat benutzt, indem die verdichtete Ladung zu Ende des Kompressionshubes sich an den glühenden Wandungen des Vergasers entzündet; in diesem Falle steht der Vergaser in offener Verbindung mit dem Cylinder. Bei getrennten Glührohrzündungen wird zumeist ein und dieselbe Lampe zum heizen beider Apparate benützt.

Wird der Vergaser zugleich als Zündrohr benützt, dann wird er, wie bereits früher erwähnt, entweder fortwährend von außen geheizt, oder wenn die Maschine einmal im vollen Gange steht, durch die Kompressions- und Explosionswärme allein glühend erhalten.

Im übrigen unterscheiden sich die gewöhnlichen mit Benzin, Petroleum oder Spiritus arbeitenden Explosionsmotoren in baulicher Beziehung in keiner Weise von der Gasmaschine. Bisher wurden diese Motoren nur für kleinere Leistungen bis höchstens 40 PS gebaut.

233. Der Bánki-Motor. Nachdem die Wärmeausnützung einer Verbrennungskraftmaschine, wie an früherer Stelle nachgewiesen, um so größer ist, je höher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird, so ist man in neuerer Zeit allgemein bestrebt, die Kompressionsendspannung so weit als möglich hinaufzutreiben. Bei den mit Gemischladungen arbeitenden Maschinen treten jedoch bei hoher Kompression leicht unbeabsichtigte Vorzündungen ein; bei Benzin- und Petroleumladungen explodiert andererseits bei hochgehender Verdichtung, auch ohne Vorzündung, die Ladung ihrer ganzen Masse nach wie ein Sprengmittel mit solcher Heftigkeit, daß gefährliche Stöße und Erschütterungen der ganzen Maschine auftreten, welche, falls sie sich oft wiederholen, für die Maschine sehr nachteilig wirken können.

Um trotzdem bei Ölmaschinen hohe Kompressionsspannungen ohne Gefahr der Vorzündung erreichen zu können, wurden in neuerer Zeit zwei verschiedene Wege eingeschlagen. Diesel wählte den natürlicheren Weg, indem er in dem Arbeitscylinder seiner Maschine die Verbrennungsluft allein so weit verdichtet, daß die Kompressionsendtemperatur höher ist als die Entzündungstemperatur des Brennstoffes und dann erst den flüssigen Brennstoff in die hoch verdichtete Luft einspritzt und in derselben verbrennt. Bei dieser Anordnung ist selbstverständlich nicht nur jede Vorzündung, sondern jede Explosion überhaupt ausgeschlossen, da nur reine Luft verdichtet wird und die Verbrennung unter Volumszunahme erfolgt.

Zur Einspritzung des Brennstoffes ist jedoch Preßluft erforderlich. Man benötigt eine Kompressionspumpe zur Erzeugung derselben, einen Windkessel zum Zwecke des Druckausgleiches und eine Einspritzvorrichtung, die in Berücksichtigung der für jeden Arbeitshub sehr kleinen

Flüssigkeitsmenge, die obendrein regulierbar sein muß, eine sehr sorgfältige Ausführung erfordert.

Bánki wählte hingegen den seit Hugon schon öfters betretenen, aber stets wieder verlassenem Weg, zur Erhöhung des Wirkungsgrades der Maschine außer dem Zündgemisch auch Wasser in den Cylinder einzuführen. Bánki sucht daher bei möglichst einfacher Anordnung der Maschine zu bleiben, indem er den gewöhnlichen Viertaktmotor in seiner einfachsten Form beläßt und nur in die Ansaugleitung nebst der selbsttätigen Einspritzvorrichtung für den flüssigen Brennstoff eine zweite gleiche für Wasser einschaltet; die sich während des Saughubes bildende frische Ladung besteht daher aus Luft, flüssigem fein verteiltem Brennstoff und zerstäubtem Wasser. Das Wasser hat den Zweck, die Ladung so stark abzukühlen, daß selbst bei hohen Kompressionsgraden Vorzündungen und heftige Explosionsstöße nicht eintreten können; die Steigerung der Kompression hat selbstverständlich als Endzweck eine entsprechende Erhöhung des kalorischen Wirkungsgrades der Maschine zur Folge.

Wie Professor Donát Bánki in seiner Abhandlung „Zur Theorie der Gasmotoren“ (*Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1898, S. 893) mitteilt, wurden in der Maschinenfabrik von Ganz & Co. in Budapest unter seiner Leitung Versuche an Ölmaschinen mit sehr kleinen Verdichtungsräumen angestellt, bei welchen während des Ansaugens der Ladung auch Wasser eingespritzt wurde. Die günstigen Ergebnisse dieser Versuche führten zum Baue eines größeren 20 PS-Motors mit Wassereinspritzung, mit dessen Prüfung Ende September 1899 der Verfasser sowie Professor E. Meyer, Göttingen (derzeit Charlottenburg) betraut wurden. Der Verfasser wurde leider verhindert, an der Prüfung teilnehmen zu können, infolge dessen dieselbe von Professor Meyer allein durchgeführt und die Ergebnisse derselben sodann, nebst Zeichnung und Beschreibung der Maschine, in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1900, S. 1056 veröffentlicht wurden.

Die bei dieser Prüfung, sowie bei anderen Versuchen erzielten Ergebnisse hinsichtlich des Brennstoffverbrauches sind so günstig, daß sie das allgemeinste Interesse verdienen.

Der Bánkimotor ist ein stehender Viertaktmotor und wird in seiner gegenwärtigen Bauart, die mit jener des Dieselmotors (siehe die folgenden Figuren 289 bis 292) sehr viel Ähnlichkeit hat, nur als Benzinmotor gebaut, während die Versuche mit Anwendung von Petroleum noch nicht abgeschlossen sind.

Der nach unten offene Arbeitscylinder sitzt auf einem Ständer; die beiden Lager zur Aufnahme der gekröpften Kurbelwelle sind mit dem Ständer aus einem Stück gegossen. Die Lager sind als Ringschmierlager

ausgeführt. Die Kurbelwelle trägt zu beiden Seiten je ein Schwungrad und ist mit dem Kolben durch die Schubstange direkt gekuppelt; der Kolben dient somit, wie bei den Dieselmotoren neuerer Bauart, zugleich als Geradföhrung.

Zur Steuerung dienen zwei, in einem seitlichen Ausbau des Cylinderkopfes übereinander liegend angeordnete Ventile (siehe Fig. 287 und 288, S. 766 u. 767) von welchen das untere, nach oben öfhnende, das Ausströmventil, das obere, nach unten öfhnende, das Einströmventil bildet. Bei dem in Rede stehenden 20 PS-Versuchsmotor war nur das Ausströmventil gesteuert, während sich das Einströmventil infolge der Ansaugedepression selbsttätig öfhnete. Bei dem in Paris 1900 ausgestellten 50 PS-Motor waren jedoch beide Ventile gesteuert. Die Steuerung erfolgt mittels Excenter durch eine mit der halben Tourenzahl der Maschine laufende kurze Steuerwelle; die Bewegung wird durch Excenterstangen und Hebel auf die Ventile übertragen. Die Regelung geschieht durch Aussetzer, indem der Regulator bei zunehmender Geschwindigkeit das Ausströmventil offen erhält und die Maschine somit die heißen Gase aus der Ausströmleitung in den Cylinder zurücksaugt, wodurch der Cylinder nicht so sehr abgekühlt wird, als wenn kalte Luft eingesaugt würde. Nachdem aber während der Aussetzung das Einströmventil geschlossen bleiben muß, so ist eine derartige Einrichtung getroffen, daß dasselbe, so lange das Ausströmventil geöffnet bleibt, verhindert wird, sich zu öfhen*). Die Verstellung der äußeren Steuerung besorgt ein Achsenregler, welcher neben den Excentern auf der Steuerwelle sitzt.

Die Zündung erfolgt durch ein Glöhrohr, welches durch eine Benzinflamme glöhend erhalten wird.

Der Brennstoff wird durch ein einfaches Regelventil, welches durch eine von Hand aus stellbare Regelschraube genau eingestellt werden kann, eingespritzt und von der darüber hinwegströmenden Luft zerstäubt und in den Cylinder mitgerissen. Der Brennstoff tritt unter Druck ein; zur Regelung desselben, sowie der eingespritzten Brennstoffmenge dient außerdem noch ein Schwimmer mit Kugelventil.

Die Neueinrichtung des Bánki-Motors besteht nun darin, daß neben der Einspritzvorrichtung für den Brennstoff eine zweite ganz gleiche Einspritzvorrichtung in der Ansaugleitung unmittelbar vor dem Einströmventil eingeschaltet ist, die gleichfalls mit Regelschraube und Schwimmer versehen ist. Durch dieselbe strömt während des Ansaugehubes aus einem höher gelegenen Behälter Wasser in die Ansaugleitung, welches ebenso

*) Diese Einzelheiten der Steuerung sowie Zeichnungen des Motors selbst siehe: *Zeitschr. des Vereins deutscher Ing.* 1900, S. 1058—1059, sowie 1901, S. 109 und 110.

wie der Brennstoff durch die Ansaugluft zerstäubt und in den Cylinder mitgerissen wird.

Die Einrichtung ist so getroffen, daß der Kolben in seiner oberen Totlage den Cylinderdeckel nahezu berührt, der Kompressionsraum daher nur durch den zu den seitlich sitzenden Ventilen führenden Kanal gebildet wird, daher sehr hohe Kompressionsgrade erzielt werden können. Diese Einrichtung ermöglicht auch eine leichte Zugänglichkeit der beiden Ventile.

Zum Anlassen der Maschine wird entweder Preßluft benützt, welche durch einen der Maschine angehängten Kompressor erzeugt wird oder man

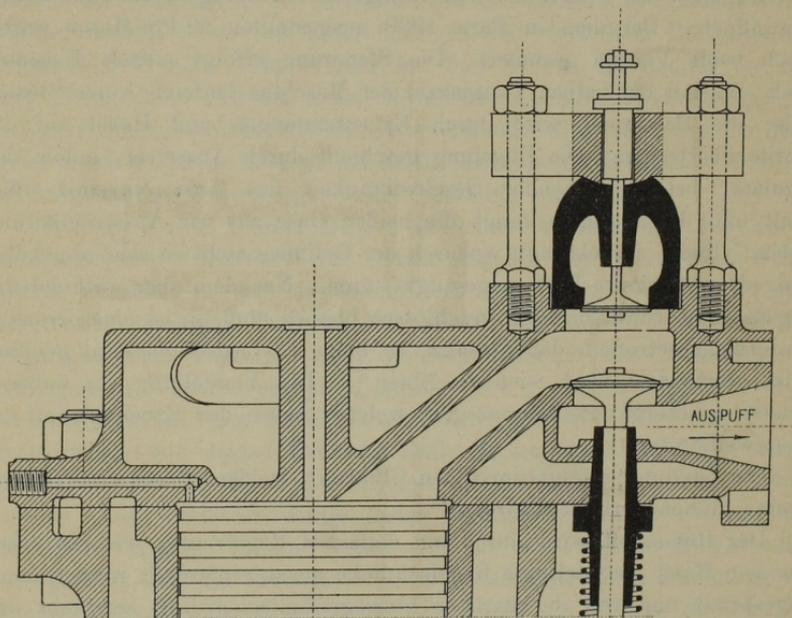


Fig. 287.

speist ein Anlaßgefäß durch die Maschine selbst mit hochgespannten Gasen. Zu diesem Zwecke öffnet sich während der Explosion ein zwischen dem Maschinencylinder und dem Anlaßbehälter in einer Druckleitung eingeschaltetes federbelastetes Rückschlagventil und läßt einen Teil der Explosionsgase in den Behälter eintreten, sodaß sich derselbe allmählich mit Gasen vom Drucke gleich dem Explosionsdrucke füllt. Sobald der Behälter gefüllt ist, wird das Rückschlagventil von Hand aus durch eine Schraube gegen seinen Sitz gepreßt und dadurch die Verbindung zwischen Cylinder und Anlaßgefäß aufgehoben. Die Füllung dauert durchschnittlich 8 bis 12 Minuten; während dieser Zeit erhebt sich der Druck auf ca.

30 Atmosphären. Die Zeitdauer der Füllung hängt natürlich von der Größe der Belastung der Maschine beziehungsweise der Zahl der Aussetzer pro Zeiteinheit ab.

Beim Anlassen, wobei der Cylinder wieder in Verbindung mit dem Anlaßgefäß gebracht wird, sinkt die Spannung um 2 bis 3 Atmosphären; ist wiederholtes Anlassen nötig, d. h. springt die Maschine nicht beim ersten Anlaßniederhub an, dann sinkt die Spannung bedeutend und kann es auch vorkommen, daß der Anlaßdruck nicht genügt, den schweren Schwungrädern die erforderliche Geschwindigkeit zu erteilen. Das Anlaß-

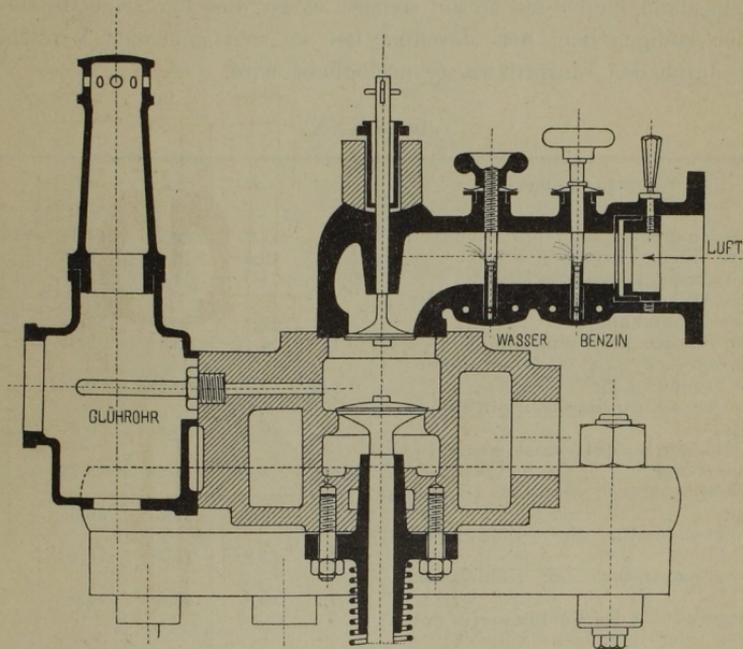


Fig. 288.

gefäß soll daher nicht zu klein gewählt und außerdem dafür gesorgt werden, daß man gegebenenfalls durch eine Handpumpe Luft in das Anlaßgefäß einpumpen und die fehlende Spannung ersetzen kann.

Der in Rede stehende 20 PS-Motor hatte folgende Abmessungen:

Cylinderdurchmesser	250,3 mm
Kolbenhub	400 „
Hubvolumen	19,71 Liter
Inhalt des Verdichtungsraumes	2,23 „
Kompressionsgrad = $\frac{19,71 + 2,23}{2,23}$	9,84 „

Bei den gewöhnlichen Benzin- und Petroleummotoren ist der Kompressionsgrad höchstens gleich 4 (wegen Gefahr der Vorzündung); durch die Wassereinführung wird daher ein Verdichtungsgrad erreicht, welcher viel höher ist, als bei allen bekannten mit Ladungsgemisch arbeitenden Verbrennungskraftmaschinen. Die damit erreichte Kompressionsspannung betrug nach den Indikatordiagrammen durchschnittlich 16,4 kg/qcm absolut. Trotzdem ist der Gang der Maschine bei genügender Wasserzufuhr ruhig und nicht hart. Vermindert man jedoch die Wasserzufuhr unter ein gewisses Maß, dann treten sofort Stöße auf, und stellt man die Wasserzufuhr ganz ab, dann bleibt der Motor stehen; es ist dies der sicherste Beweis, daß der ruhige Gang der Maschine bei so weit gehender Verdichtung immer durch das Einspritzwasser ermöglicht wird.

Tabelle XXX.

Versuchsnummer	1	2	3	4	5
Mittlere Umdrehungszahl pro Minute . .	210,9	211,2	212,4	214,4	216,2
Effektive (Brems-)Arbeit in PS.	25,2	19,5	13,2	6,76	—
Mittlere Ansaugerzahl pro Minute . . .	89,8	71,5	54,1	35,4	19,4
Mittlere Ansaugerzahl in Prozenten der halben Umdrehungszahl	85,2	67,7	50,9	33,0	17,9
Benzinverbrauch pro Stunde in kg . . .	6,11	5,14	3,75	2,57	1,48
Benzinverbrauch pro effektive Pferdekraft-Stunde in kg	0,242	0,264	0,284	0,381	—
Verbrauch an Einspritzwasser pro Stunde in kg	32,6	20,25	15,8	8,27	5,11
Verhältnis der Einspritzwassermenge zur Benzinmenge	5,34	3,93	4,20	3,21	3,45
Kühlwasserverbrauch pro PS _e -Stunde in kg	18,4	25,2	32,6	38,6	—
Einströmtemperatur des Kühlwassers in C°	15,6	15,8	15,3	15,4	—
Ausströmtemperatur des Kühlwassers in C°	46,0	43,8	43,8	44,6	—
Wärmeverlust an das Kühlwasser in Prozenten der gesamten entwickelten Wärme	22,4	26,0	31,8	28,8	—

Der 50 PS-Motor der Pariser Ausstellung (1900) wurde angeblich in den Werkstätten der Maschinenfabrik Ganz & Co. in Budapest mit 22 kg/qcm Verdichtungsspannung probiert; die Maschine lief hierbei, wenn die genügende Menge Einspritzwasser zugeführt werden konnte (etwa das 10- bis 12-fache der eingespritzten Benzinmenge) stoßfrei. Nachdem jedoch der Zerstäuber die erforderliche Wassermenge nicht genügend zerstäuben konnte, wurde durch Abdrehen des Kolbenkörpers die Verdichtungsspannung auf 18 kg/qcm reduziert. Trotz dieser hohen Spannung lief der Motor ruhig und stoßfrei.

Die von Prof. Meyer an dem 20 PS-Bánkimotoren ausgeführten Ver-

suche bezweckten die Bestimmung der effektiven Arbeit der Maschine, die Messung des Verbrauches an Benzin und Einspritzwasser, sowie der in der Maschine auftretenden Pressungen, die Ermittlung der Kühlwassertemperaturen, sowie der Umlaufszahl und Ansaugerzahl der Maschine. Die Versuchsergebnisse sind in vorstehender Tabelle XXX zusammengestellt.

Das spezifische Gewicht des verwendeten Benzins wurde bei 22° C mit 0,700 kg/l ermittelt. Der obere Heizwert, im Junkerschen Kalorimeter gemessen, wurde mit 10955 W.E./kg ermittelt; dabei entstanden auf 1 kg Benzin 1,11 kg Verbrennungswasser, somit ist der untere Heizwert 10290 W.E. Der Benzinverbrauch der Tabelle bezieht sich auf den Verbrauch im Arbeitscylinder; die Glührohrheizflamme verbrauchte außerdem 0,19 kg pro Stunde.

Tabelle XXXI.

Versuchsnummer	1	2	3	4	5
Mittlere Umdrehungszahl pro Minute . . .	209,13	209,67	209,83	210,50	210,7
Effektive (Brems-)Arbeit in PS.	26,38	20,70	15,05	8,21	—
Mittlere Ansaugerzahl pro Minute. . . .	91,44	74,68	60,12	42,65	23,0
Mittlere Ansaugerzahl in Prozenten der halben Umdrehungszahl	87,44	71,23	57,30	40,52	21,8
Benzinverbrauch pro Stunde in kg . . .	5,85	4,86	3,934	2,677	1,543
Benzinverbrauch pro effektive Pferdekraft-Stunde kg	0,221	0,235	0,261	0,326	—
Verbrauch an Einspritzwasser pro Stunde in kg	28,35	16,02	11,09	6,24	4,64
Verbrauch an Einspritzwasser pro effektive Pferdekraft-Stunde kg	1,075	0,774	0,737	0,760	—
Verhältnis der Einspritzwassermenge zur Benzinmenge	4,84	3,30	2,82	2,33	3,00
Kühlwasserverbrauch pro PS _e -Stunde in kg	13,55	20,71	17,14	23,59	—
Einströmtemperatur des Kühlwassers in C°	14,4	14,0	14,65	14,68	13,9
Ausströmtemperatur des Kühlwassers in C°	49,6	44,2	50,4	52,8	52,0
Mittlere Temperatur der Auspuffgase in C°	195,5	195,6	185,8	171,2	111,0
Höchste Kompressionsspannung in kg/qcm	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Höchste Spannung während der Verbrennung in kg/qcm	45	44	42	39	46
Wärmemenge des pro PS _e -Stunde verbrauchten Benzins W.E.	2250	2392	2657	3319	—
Wärmeverlust durch das Kühlwasser pro Stunde W.E.	488	639	626	919	—
Wärmeverlust an das Kühlwasser in Prozenten der gesamten entwickelten Wärme	21,7	26,7	23,6	27,6	—
Verhältnis der zur effektiven Arbeitsleistung verwendeten Wärme zur Gesamtwärme	0,28	0,264	0,238	0,190	—

Die bei den vorstehenden Versuchen gemachten Erfahrungen ließen eine Abänderung der Steuerungsteile wünschenswert erscheinen; nachdem diese Verbesserungen durchgeführt waren, wurde die Maschine neuerdings durch Professor Jonás der technischen Hochschule in Budapest und Direktor Taborsky des technologischen Gewerbemuseums daselbst, einer eingehenden Prüfung unterzogen; die Ergebnisse dieser Versuche, die unter geänderten Verhältnissen durchgeführt wurden, sind in Tabelle XXXI zusammengestellt. Das hierbei verwendete Benzin hatte ein spezifisches Gewicht bei 15° C von 0,730 bei einem Heizwerte von durchschnittlich 10180 W.E./kg.

In den Benzinverbrauchsziffern der Tabelle XXXI ist der Verbrauch für die Heizlampe mit 0,19 kg Benzin pro Stunde gleichfalls nicht inbegriffen; hierdurch wird der wirkliche Benzinverbrauch, namentlich bei kleineren Leistungen nicht unwesentlich erhöht und beträgt daher tatsächlich nach den Ergebnissen der Tabelle XXX:

bei voller Belastung der Maschine	0,250 kg pro PS _e -Stunde
bei halber Belastung	0,298 kg "
und bei $\frac{1}{4}$ Belastung	0,409 kg "

und nach den Ergebnissen der zweiten Versuchsreihe Tabelle XXXI:

bei voller Belastung der Maschine	0,23 kg pro PS _e -Stunde
bei halber Belastung	0,274 kg "
und bei stark verminderter Leistung derselben	0,350 kg "

Durch die Mischung der explosiblen Ladung mit Wasser wird somit unzweifelhaft ein wesentlich geringerer Brennstoffverbrauch erzielt als bei Benzinmotoren ohne Wassereinspritzung, welche mit kleinerer Kompression arbeiten. Der Benzinverbrauch gewöhnlicher Explosionsmotoren liegt zwischen 0,5 bis 0,6 Liter, beziehungsweise 0,35 bis 0,42 kg pro PS_e-Stunde und voller Belastung der Maschine; die Wärmeökonomie des Bánki-Motors ist somit um 50 bis nahe 80 Prozent größer als jene gewöhnlicher Explosionsmaschinen. Von besonderer Bedeutung für den Bánki-Motor ist ferner der Umstand, daß der Benzinverbrauch pro Leistungseinheit bei abnehmender Leistung verhältnismäßig langsam zunimmt; da nun Motoren zumeist nicht mit voller Belastung arbeiten, so spricht diese Eigentümlichkeit des Bánki-Motors gleichfalls zugunsten desselben.

Der Einfluß der inneren Kühlung durch das Einspritzwasser ist für den Verbrauch an Kühlwasser sehr wesentlich. Die in dem Gemisch enthaltenen fein verteilten Wasserteilchen üben während des ganzen Kreisprozesses einen derartig kühlenden Einfluß, daß hierdurch nicht nur die Durchschnittstemperatur im Cylinder, sondern auch die Kühlwassermenge geringer wird, als bei Maschinen gewöhnlicher Art. Ein sprechender

Beweis hierfür ist die niedrige Temperatur, mit welcher die Verbrennungsprodukte den Cylinder verlassen. Die von dem Kühlwasser aufgenommene Wärme geht für den Kreisprozeß verloren; die Verkleinerung dieser Wärmemenge bedeutet somit einen tatsächlichen Nutzen. Nach Tabelle XXXI beträgt die durch das Kühlwasser verlorene Wärmemenge beim Bánki-Motor zwischen 22 und 28 Prozent der gesamten entwickelten Wärmemenge; bei anderen Motoren beträgt dieser Verlust jedoch 40 Prozent und darüber.

Die Einspritzwassermenge ist verhältnismäßig gering und beträgt bei voller Belastung 1,1 bis 1,3 kg pro PS_e-Stunde, ist somit rund 5 mal so groß wie die verbrauchte Brennstoffmenge. Mit abnehmender Belastung verringert sich der Wasserbedarf, wahrscheinlich als Folge der größeren Abkühlung durch die vielen Aussetzer.

Der mittlere Arbeitsdruck des Bánki-Motors ist wesentlich größer wie jener der Benzin- und Leuchtgasmotoren; selbst im Dieselmotor erreicht er nicht die gleiche Höhe. Diese Erscheinung ist wohl darauf zurückzuführen, daß infolge der Abkühlung der Ladung eine größere Menge derselben im Cylinder Platz findet; die Dimensionen des nominell 20-pferdigen, jedoch eine Maximalleistung von 26 PS_e ergebenden Motors würden ohne Wassereinspritzung nur einer etwa 16-pferdigen Maschine entsprechen.

Die inneren Teile der Maschine wurden nach den Versuchen und nachdem dieselbe ungefähr drei Monate im Betriebe gewesen, einer Besichtigung unterzogen. Es zeigte sich keinerlei Kesselsteinansatz; die Sitzflächen der Ventile und die Kolbenringe waren völlig blank, nur die Mantelfläche des Kolbens war dort wo sie nicht schleifte, etwas angelaufen. Ruß hatte sich nur im Verbrennungsraum und an den Ventilen, wie bei allen Gasmaschinen, in geringen Mengen angesetzt.

Die Befürchtungen, daß der Motor durch die Wassereinfuhr leiden würde, fanden keine Bestätigung.

Um einen Einblick in die durch die Mischung der explosiblen Ladung mit fein verteiltem Wasser hervorgerufene Änderung der Druck- und Temperaturverhältnisse im Inneren des Arbeitscyinders gewinnen zu können, wurden unter Benützung der Versuchsergebnisse Tabelle XXXI Spalte 1 die Drücke und Temperaturen mit Ende der Verdichtung, sowie nach erfolgter Explosion und Expansion und die sich daraus ergebenden thermischen Wirkungsgrade berechnet.

Es wurde hierbei vorausgesetzt, daß in 1 kg Gemisch g_1 kg Luft und g_2 kg Wasser, beziehungsweise Wasserdampf enthalten sind; das Verhältnis

$\frac{g_2}{g_1}$ sei gleich Z .

Nach den Versuchen (1) ist $Z = 0,177$, somit $g_1 = 0,85$ und $g_2 = 0,15$ kg.

Ferner wurde angenommen, daß die eingesaugte Luft zufolge der Mischung mit den im Kompressionsraume zurückgebliebenen Verbrennungsrückständen, sowie infolge Erwärmung bei Berührung mit den Cylinderwandungen, vor der Verdichtung eine Anfangstemperatur von 127°C , also 400° absolut besitze. Die Temperatur des eingespritzten Wassers wurde mit 15°C angenommen.

Um den Einfluß des Wassers klarer beobachten zu können, wurde die Berechnung auch für eine geringere Wassermenge und zwar für das Verhältnis $Z = 0,12$ (etwa $\frac{2}{3}$ der früheren Wassermenge) sowie für die Gemischladung ohne Wasser bei derselben hohen Kompression und für das geringere Verdichtungsverhältnis 3:1 durchgeführt. Die Ergebnisse der Rechnung sind in nachstehender Tabelle XXXII zusammengestellt.

Tabelle XXXII.

	Druck in kg/qcm Temperaturen absolut	Kompressionsgrad 9,84 : 1		Kompres- sionsgrad 3 : 1	
		ohne Wasser- einspritzung	mit Wassereinspritzung		ohne Wasser- einspritzung
			$Z = 0,177$	$Z = 1,20$	
Vor der Verdich- tung	Anfangsdruck p_0	1,0333	1,0333	1,0333	1,0333
	Anfangstem- peratur T_0	400	308	308	400
Nach der Verdich- tung	Verdichtungs- druck p_1	25,94	14,27	14,42	4,86
	Endtemperatur der Verdichtung T_1	1022	393	396	621
Nach der Explo- sion	Explosionsdruck p_2	69,65	62,35	69,36	18,08
	Explosionstem- peratur T_2	2706	1678	1877	2312
Nach der Expans- ion	Endspannung p_3	2,77	2,84	2,91	3,85
	Endtemperatur der Expansions T_3	1059	705	774	1472
Kalorischer Wirkungs- grad	η_c	0,64	0,50	0,55	0,36

Diese theoretischen Tabellenwerte bestätigen vor allem die Tatsache, daß die Verwendung so hoher Verdichtungen, wie sie beim Bánki-Motor angewendet werden, für Maschinen ohne Wassereinspritzung absolut ausgeschlossen ist, da die Kompressionstemperatur so hoch steigt, daß sich die Ladung schon während der Verdichtung, also weit vor dem Totpunkte entzünden muß. Dieser Fall muß daher bei Vergleichung der kalorischen Wirkungsgrade ausgeschlossen bleiben.

Ferner ersieht man, daß infolge der Wassereinspritzung die Temperatur während der Kompression nur wenig steigt und daß eine Veränderung

der Wassermenge auf die Größe der Verdichtungsspannung und Temperatur theoretisch keinen wesentlichen Einfluß ausübt.

Die Explosionsspannung und Temperatur wird jedoch durch die Änderung der Wassermenge wesentlich beeinflußt; auch wird durch die Wassermenge die Zeitdauer der Explosion, welche ja in Wirklichkeit niemals momentan erfolgt, beeinflußt, daher eine Verminderung der Wassermenge jederzeit eine intensivere Explosion zur Folge haben wird, wie ja auch die Erfahrung gezeigt hat. Aus diesem Grunde muß die Wasserzufuhr von Hand aus, dem Gange der Maschine entsprechend, eingestellt werden können.

Durch die Wassereinspritzung werden vor allem die Temperaturen bedeutend und zwar sehr vorteilhaft beeinflußt; selbst bei dem geringen Kompressionsgrade 3:1 sind ohne Wasserinjektion die Temperaturen wesentlich höher als bei ca. dreimal so hoher Verdichtung mit Wassereinspritzung. Diese Verminderung der Temperaturen hat eine Verminderung der mittleren Temperatur im Cylinder zur Folge, wodurch einerseits die Schmierung günstig beeinflußt und andererseits die Wärmeabfuhr an das Kühlwasser erheblich vermindert wird. Dies, sowie die Möglichkeit, mit der Kompression viel höher hinaufgehen zu können als bei Maschinen ohne Wasserinjektion, hat schließlich als Endergebnis eine bedeutend günstigere Wärmeausnützung, also eine Erhöhung der Betriebsökonomie zur Folge*).

234. Der Dieselmotor. Während nach einer Seite die Bestrebungen dahin gerichtet sind, bei Gemischladungen durch direkte Wassereinfuhr in den Cylinder die Ladung während der Verdichtung derselben so weit abzukühlen, daß hohe Spannungen bei Temperaturen erreicht werden, welche wesentlich tiefer liegen als die Entzündungstemperatur des verarbeiteten Brennstoffes, trachtet man nach der anderen Seite, durch Verdichtung reiner atmosphärischer Luft die Entzündungstemperaturen bei Spannungen zu erreichen, welche noch innerhalb der Grenze praktischer Anwendbarkeit liegen, um mit Erhöhung des Wirkungsgrades Selbstzündung und geregelte, vollkommene Verbrennung zu erreichen.

Diese Richtung ist derzeit, soweit es sich um praktische Erfolge handelt, einzig und allein durch den **Verbrennungsmotor von Diesel** vertreten.

Durch die getrennte Verdichtung der Luft, wodurch mit Ende des Kompressionshubes, beziehungsweise zu Beginn der Verbrennung die durch

*) Zeichnung und Beschreibung des Bánki-Motors neuerer Ausführung siehe: G. Lieckfeld, *Die Petroleum- und Benzinmotoren*, 2. Aufl., 1901.

die sonstigen Verhältnisse des Motors gestellte obere Druckgrenze erreicht ist, die Verbrennung somit bei diesem höchsten Drucke verläuft, wird das in den Arbeitcylinder eingespritzte durch Luft zerstäubte Öl in der hocherhitzten Luft auch sofort verbrannt, ohne Zeit zu finden, mit den Wandungen in dauernde Berührung zu kommen; es ist somit der Nachteil der Explosionsmotoren, daß die durch Vergasung beziehungsweise Verdampfung des Petroleums gebildete heiße Ladung während des Saug- und Kompressionshubes Zeit findet, mit den kühleren Partien der Cylinderwand und der Kolbenfläche in Berührung zu kommen und, wenn auch in geringem Maße, Niederschläge zu bilden, hier gänzlich vermieden. Infolge der vollkommenen Verbrennung verschmutzt der Motor sehr wenig; die Abgase sind nahezu geruchlos und bei richtig geleiteter Verbrennung auch vollständig rein. Der Auspuff ist nur durch sein scharfes Geräusch, nicht aber durch seine Farbe zu erkennen; ein vor die Mündung des Auspuffrohres gehaltenes Blatt Papier zeigt eine kaum merkliche Färbung.

Jedenfalls ist das Verfahren der getrennten Verdichtung des Brennstoffes und der Luft bei Verwendung flüssiger Brennstoffe, der geringen pro Arbeitshub einzuführenden Brennstoffmenge wegen, am leichtesten durchzuführen. Bei Verwendung von gasförmigen Brennstoffen müßten die Kompressionscylinder, um das Gas auf die hohe Einblasespannung zu bringen, sehr groß sein; auch müßte hier künstliche Kühlung Platz greifen, um der Selbstentzündung des Gases während der Kompression vorzubeugen. Über die Verwendung von Gasen als Brennstoff im Dieselmotor liegen auch bis heute keine Erfahrungen vor.

Das ungemeine Aufsehen, welches der Dieselmotor erregte, hatte zur Folge, daß in neuester Zeit die Verbrennungskraftmaschine eine früher nicht geahnte Beachtung gefunden und zu einer Reihe mehr oder minder wertvoller Anregungen auf diesem bisher nahezu brach gelegenen Gebiete Veranlassung gegeben hat, sodaß mit der Erfindung und praktischen Verwertung des Dieselmotors die Verbrennungsmaschine in ein neues und lebensfähiges Stadium ihrer Entwicklung getreten ist.

Diesel stellte sich anfänglich die Aufgabe, den Carnotschen Kreisprozeß vollständig oder wenigstens angenähert durchzuführen; in einer im Jahre 1893 erschienenen Broschüre unter dem Titel „Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatze der Dampfmaschine und der heute bekannten Verbrennungsmotoren“ entwickelte Diesel die Theorie der Verbrennung, untersuchte an Hand derselben die Prozesse der Verbrennung bei konstantem Druck und konstantem Volumen, sowie der Verbrennung bei konstanter Temperatur, welchen Prozeß Diesel den isothermischen Verbrennungsprozeß nennt. Nachdem Diesel nach jahre-

langen mühevollen Versuchen*) zu der Erkenntnis gelangte, daß die Verwirklichung des Carnotschen Prozesses in anbetracht der ungemein hohen Drücke und unverhältnismäßig großen Volumen, welche die Durchführung desselben verlangt, außerordentliche praktische Schwierigkeiten bereite, daher trotz des hohen thermischen Wirkungsgrades desselben unrationell sei, stellte Diesel die folgenden vier Forderungen für die Verwirklichung des praktisch vorteilhaftesten Kreisprozesses auf:

1. Der höchste Druck des Prozesses soll nicht durch die Verbrennung und während derselben, sondern unabhängig von ihr, also vor erfolgter Zündung, lediglich durch die Verdichtung reiner atmosphärischer Luft erzeugt werden.

2. Die Verdichtung muß, abweichend vom Carnotschen Prozesse, nicht erst isothermisch und dann adiabatisch, sondern von Anfang an nur möglichst adiabatisch erfolgen.

3. Der Brennstoff darf in die auf die Entzündungstemperatur desselben adiabatisch verdichtete Luft nur allmählich und derart eingeführt werden, daß die Verbrennung während des ersten Teiles des Kolbenhubes unter konstantem Druck verläuft.

4. Die Verbrennung muß bei beträchtlichem Luftüberschuß vor sich gehen.

Zur Durchführung dieser Forderungen verwendet Diesel den Viertakt der Explosionskraftmaschinen. Der Arbeitsprozeß vollzieht sich somit während zweier Umdrehungen oder vier einfachen Hüben wie folgt:

Erster Hub: Ansaugen von Luft aus der Atmosphäre in den Arbeitscyliner.

Zweiter Hub: Verdichtung der eingesaugten Luft auf eine Temperatur, welche über der Entzündungstemperatur des zu verarbeitenden Brennstoffes liegt.

Dritter Hub (Arbeitshub): In die stark verdichtete und erhitzte Luft wird zu Beginn dieses Hubes Brennstoff eingeführt, welcher sich an der hochoerhitzten Luft entzündet und verbrennt. Nach Schluß der Brennstoffeinfuhr dehnen sich die heißen Gase weiter arbeitverrichtend aus (Expansionsperiode), bis der Kolben am Ende seines Hubes angelangt ist. Der größte Teil der während dieses Hubes geleisteten und nach außen abzugebenden Arbeit wird im Schwungrade aufgespeichert und während der übrigen drei Hübe allmählich abgegeben.

Vierter Hub: Die Verbrennungsprodukte werden durch den zurückgehenden Kolben aus dem Cylinder in die Atmosphäre ausgestoßen.

*) Eine ausführliche Mitteilung hierüber siehe: *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1897, S. 785 und 817.

Damit ist die Viertaktperiode beendet und das Spiel beginnt von neuem. Arbeit wird somit nur während des dritten Hubes geleistet.

Das Anlassen der Maschine erfolgt durch komprimierte Luft, welche während des Betriebes in einem Vorratsgefäße angesammelt wird und beim Anlassen durch ein eigenes Anlaßventil in den Cylinder strömt.

Seitdem der Dieselmotor anläßlich der Ausstellung in München 1898 zum erstenmale der Öffentlichkeit übergeben wurde, ist eine umfangreiche Litteratur über diesen Gegenstand erschienen. Wie jede neue Sache war auch diese den widersprechendsten Urteilen ausgesetzt. Die Vor- und Nachteile des Dieselschen Verfahrens wurden zum Teil den extremsten Kritiken für und gegen unterworfen. Auch die theoretischen Anschauungen, welche demselben zugrunde lagen, wurden teils unbedingt anerkannt, teils gänzlich verworfen oder durch andere Anschauungen und Theorien berichtigt.

Inzwischen ging die Fabrikation der Maschine ruhig ihren Weg und heute hat sie bereits eine vierjährige erfolgreiche Praxis glücklich bestanden.

Die hier in Betracht kommenden theoretischen Fragen wurden bereits an früherer Stelle erörtert, andererseits sind sie durch die Fachpresse aller Länder, trotz der Kürze der Zeit, schon eingehend und erschöpfend behandelt worden; es sei daher an dieser Stelle von einem weiteren Eingehen auf die Theorie des Dieselmotors schon aus dem Grunde Umgang genommen, weil die daran geknüpften Erörterungen angesichts der praktischen Erfolge der Dieselmachine mehr in den Hintergrund zu treten beginnen.

Auch der Bau und die konstruktive Durchführung der Maschine ist schon vielfach veröffentlicht worden.

Obwohl die Grundzüge derselben unverändert geblieben sind, so wurde doch die Detailausführung wesentlich vervollkommenet und in den verschiedenen Ländern, ja selbst in den verschiedenen Fabriken verschieden ausgebildet. Nachdem gerade in der jüngsten Zeit die bauliche Durchführung bedeutend vereinfacht und diese neueste Konstruktion, soviel dem Verfasser bekannt, noch nicht durch die einschlägige Litteratur veröffentlicht wurde, soll hier die Beschreibung der Ausführung des Dieselmotors Platz finden, wie sie in der Maschinenfabrik Augsburg (Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.-G.) nunmehr typisch geworden ist.

Hinsichtlich des Brennmaterials sei vorerst nochmals bemerkt, daß der Dieselmotor nicht auf Lampenpetroleum, Benzin oder besondere Destillate angewiesen ist, sondern alle Arten von Rohölen und Naphtasorten, alle Destillationsprodukte, Solaröle u. dergl., welche weder zu Leuchtölen noch zu Schmierölen verarbeitet werden können, alle Rückstände der Naphta-

gewinnung etc. gleich gut verbrennt. Der Dieselmotor verwertet somit alle flüssigen Brennstoffe und steht daher hinsichtlich der Allgemeinheit seiner Verwendung über den übrigen Verbrennungsmaschinen.

Der Dieselmotor wird in seiner heutigen Ausführung am Kontinente sowie in den Vereinigten Staaten Nordamerikas nur als stehende Maschine gebaut; die erste in England von der Firma Scott & Hodgson, Guide Bridge, Manchester, im vorigen Jahre gebaute Maschine war jedoch liegend, außerdem arbeitet dieselbe im Zweitakt, unterscheidet sich daher wesentlich von den am Kontinente gebauten Maschinen; doch beabsichtigt die genannte Firma für die Folge auch zur stehenden Bauart überzugehen.

Die Maschinenfabrik Augsburg baut heute Eincylindermaschinen bis zu 100 PS; prospektmäßig werden jedoch Motoren von 4 bis 200 PS und auf besonderes Verlangen sogar Motoren bis 1000 PS geliefert. Die wesentlichen Neuerungen der Konstruktion bestehen in der Weglassung der Kreuzkopfführung für alle Maschinengrößen, wodurch die Maschinen einfacher, kürzer und bedeutend billiger wurden, sowie in der Speisung der Kompressionspumpe durch Hochdruckluft aus dem Arbeitcylinder, wodurch dieselbe in ihren maßgebenden Dimensionen auf ein Minimum verringert wurde.

Jeder Motor besteht der Hauptsache nach aus dem Arbeitcylinder samt der Steuerung, dem Maschinengestelle und den Triebwerksteilen, der Kompressionspumpe zur Erzeugung der Einblase- und Anlaßluft, der Petroleumpumpe und der Anlaßvorrichtung.

Der Motor ist in seiner neuesten Bauart durch die Figuren 289 und 290 (S. 778 und 779) im Längenschnitte, durch die beiden Figuren 291 und 292 (S. 780 und 781) in zwei Ansichten, sowie durch die Figuren 293 und 294 (S. 782 und 783) hinsichtlich der Details der Steuerung am Cylinderkopfe dargestellt.

Arbeitcylinder und Steuerung. Der mit einem Mantel versehene Cylinder, durch welchen das Kühlwasser zirkuliert, um allzuhoher Erwärmung desselben vorzubeugen, ist gegen die tiefliegende Kurbelwelle zu offen, auf der oberen Seite jedoch durch den Cylinderdeckel oder Cylinderkopf geschlossen. Der Deckel ist gleichfalls für Wasserkühlung eingerichtet.

Die Schmierung des Cylinders und Kolbens erfolgt durch eine Ölpumpe (Mollerupapparat), welche das Öl durch kleine Bohrungen bei der inneren Totpunktstellung des Kolbens zwischen die Kolbenringe preßt.

In dem Cylinderkopf befinden sich die den Arbeitsprozeß regelnden Steuerorgane und zwar: das Lufteströmventil, das Brennstoffventil, das Ausströmventil und das Anlaßventil, durch welches der Zutritt der Luft beim Anlassen der Maschine geregelt wird.

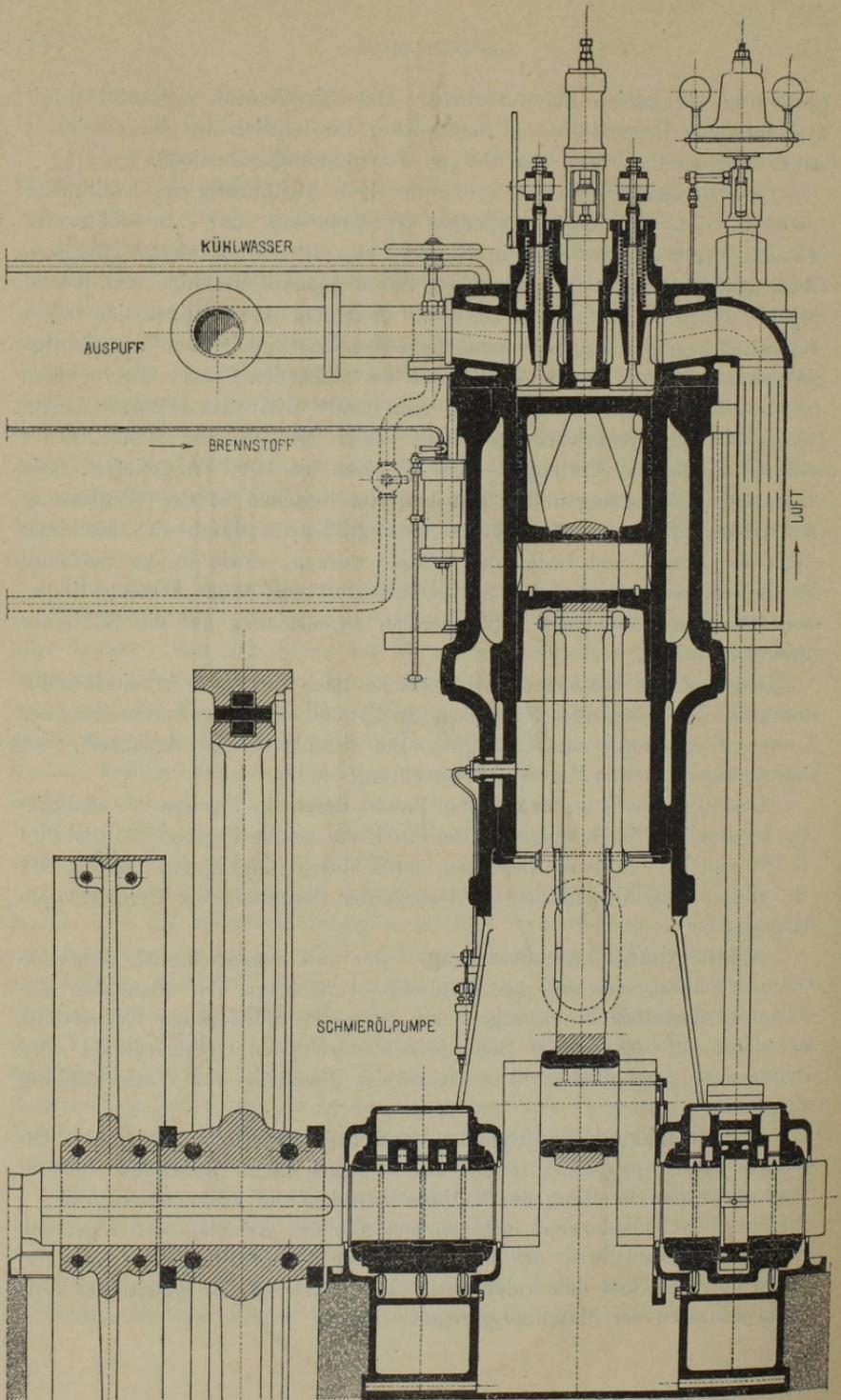


Fig. 289.

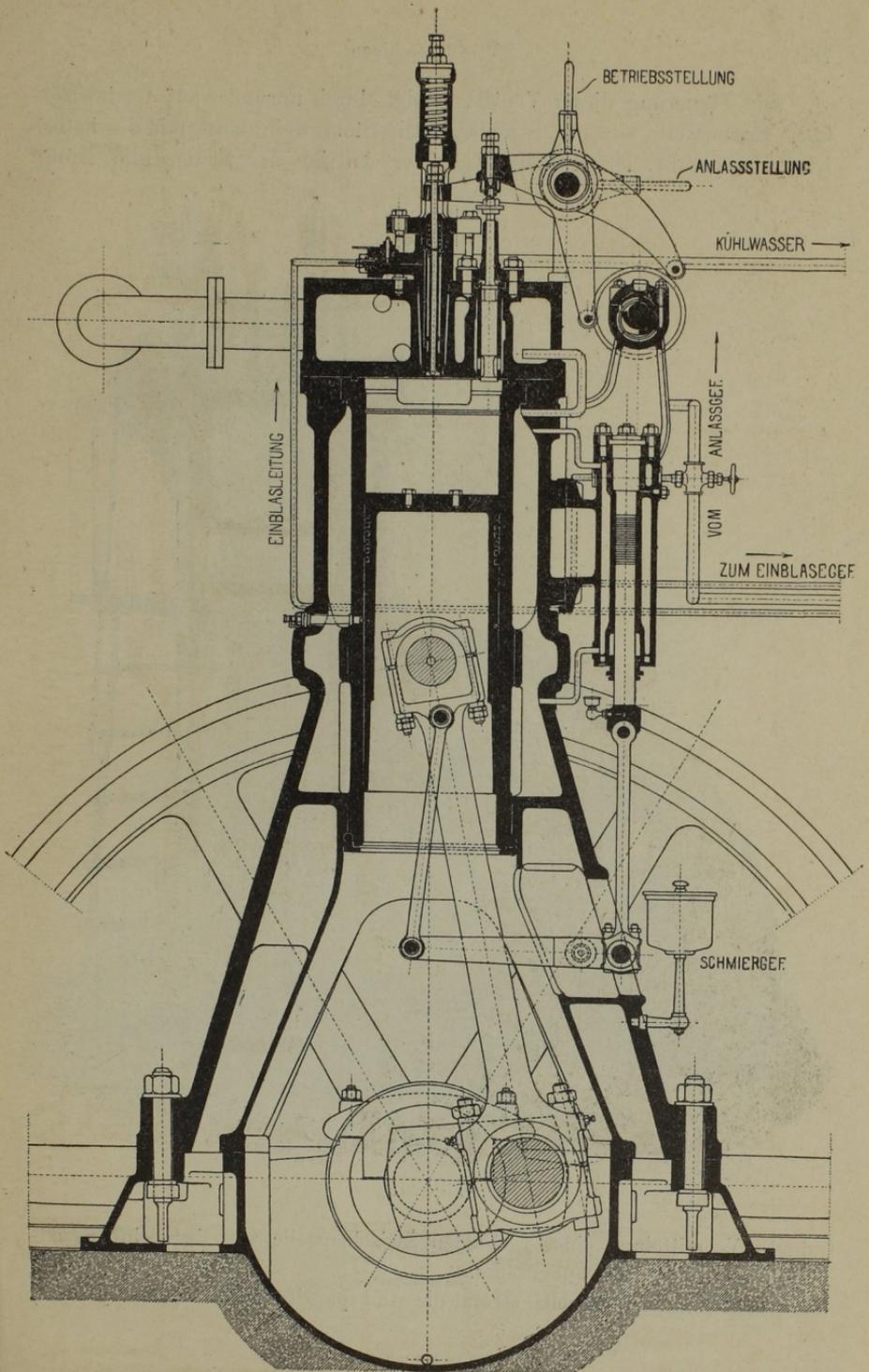


Fig. 290.

Die Steuerung dieser Ventile erfolgt durch unrunde, auf der horizontalen Steuerwelle sitzende Scheiben. Die Steuerwelle läuft mit der halben Umdrehungszahl der Kurbelwelle. Der Antrieb der Steuerwelle erfolgt

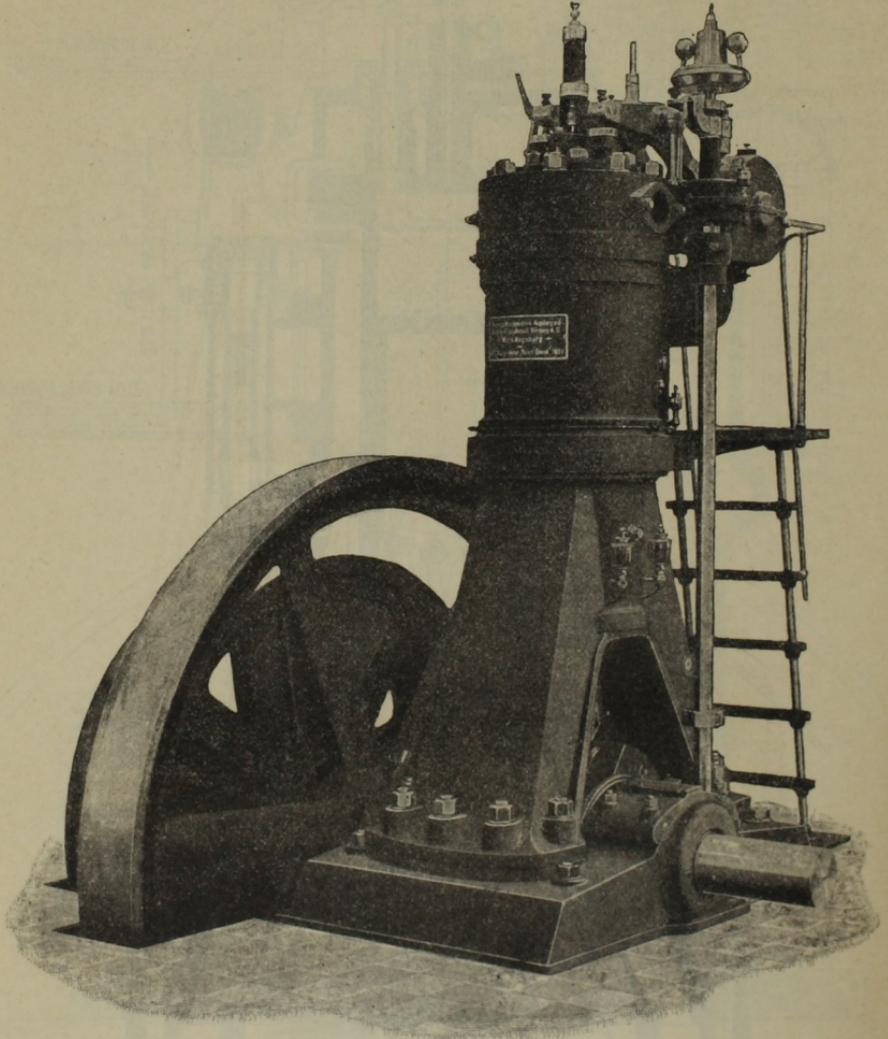


Fig. 291.

durch Vermittelung einer vertikalen Zwischenwelle von der Schwungradwelle aus durch Schraubenräder.

Durch das Einlaßventil strömt die atmosphärische Luft in den Cylinder,

während sich der Kolben aus seiner oberen nach seiner unteren Totpunktstellung bewegt. Das Einlaßventil muß frühzeitig, etwa 10% bevor der Kolben zum oberen Totpunkt gelangt, geöffnet und etwa 2% des Hubes, nachdem der Kolben

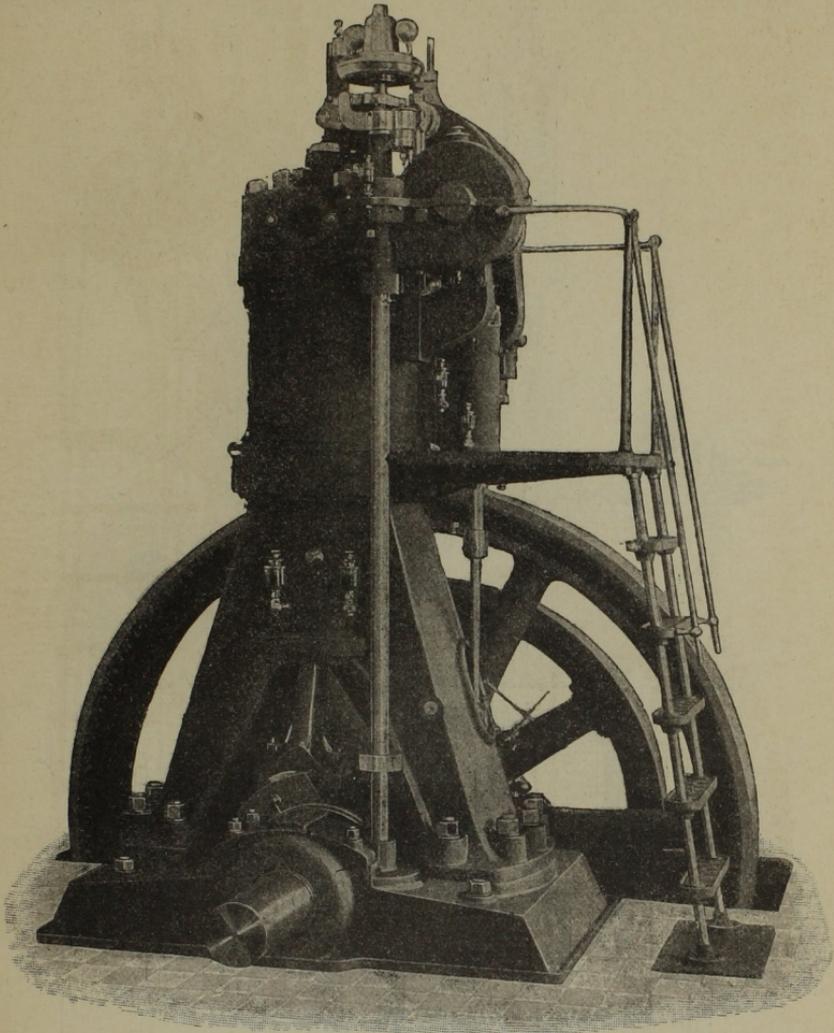


Fig. 292.

den inneren Totpunkt überschritten hat, geschlossen werden, damit möglichst viel Luft in den Cylinder gelangt, denn je mehr Luft während der Verbrennung vorhanden ist, desto vollkommener findet die Verbrennung statt.

Die auf diese Weise zwischen Kolben und Cylinderdeckel eingeschlossene Luft wird während des zweiten Hubes so lange verdichtet,

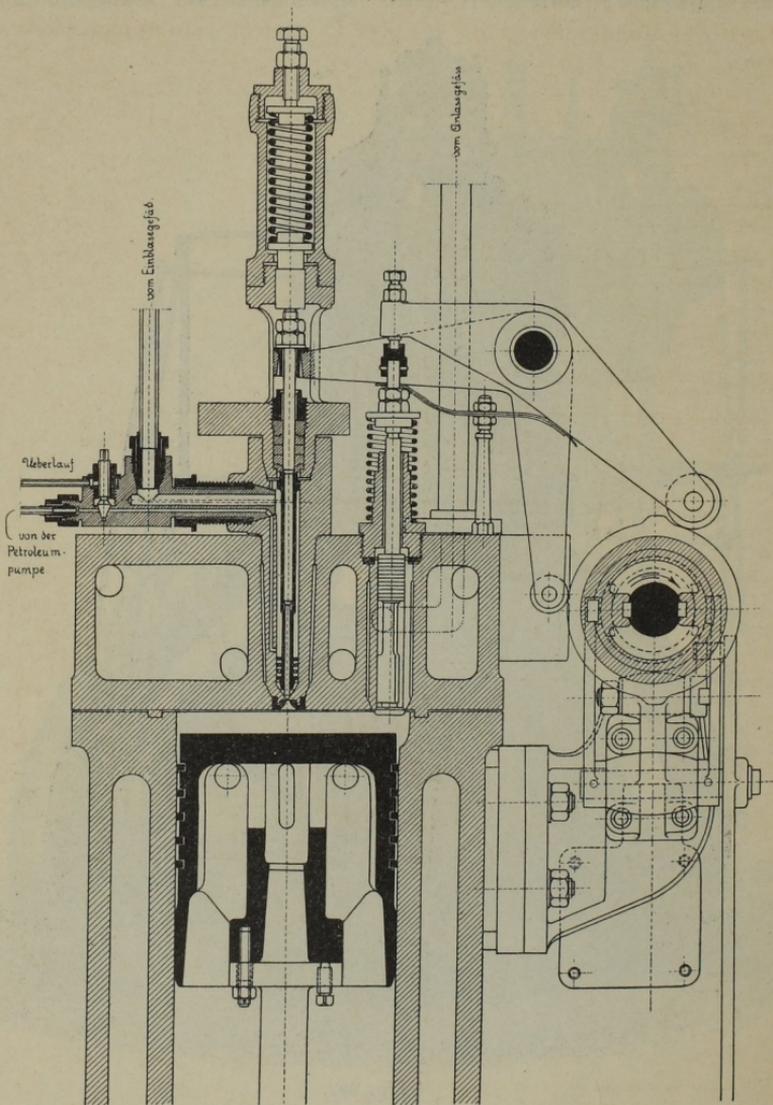


Fig. 293.

bis der Kolben wieder seine Ausgangsstellung, die obere Totlage, erreicht hat.

Der Kompressionsraum ist so bemessen, daß der Druck der Luft etwa 30 bis 32 kg/qcm Überdruck und die Temperatur, falls keine Luft durch Undichtheiten des Kolbens, der Ventile etc. verloren geht, theoretisch (bei adiabatischer) Kompression 640° bis 650° C erreicht. (In Wirklichkeit ist

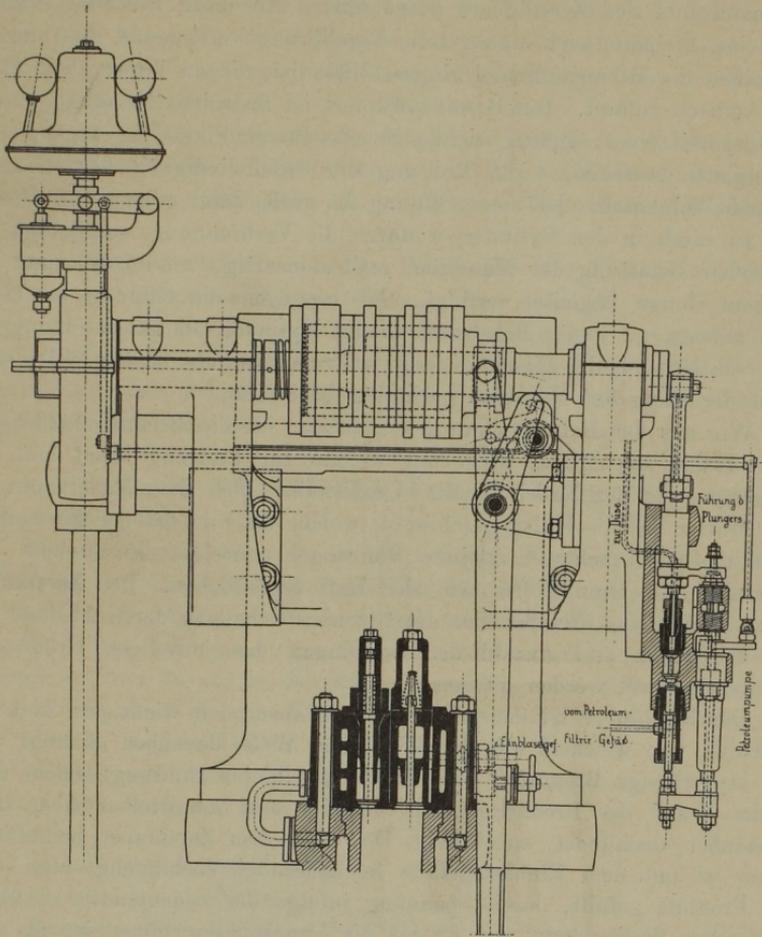


Fig. 294.

diese Temperatur infolge Leitungs- und Abkühlungsverluste stets geringer und liegt zwischen 500° und 600° C.)

Mit Beginn des dritten Hubes, des eigentlichen Arbeitshubes, tritt das Brennstoffventil in Tätigkeit. Die Anordnung desselben ist aus Fig. 293 ersichtlich. Dieses Ventil besteht aus dem Brennstoffkonus, der Brennstoffnadel samt Hülse, dem Zerstäuber und dem oberen Gehäuse.

Der im Cylinderdeckel sitzende Brennstoffkonus ist gegen das Innere des Cylinders in gleicher Weise wie das Einlaß- und Ausströmventil durch einen aufgeschliffenen Konus abgedichtet.

Das Innere dieses Brennstoffkonus ist behufs Aufnahme der Brennstoffnadel und des Zerstäubers ausgebohrt. An diese Bohrung schließt sich eine kleinere nach unten sich kegelförmig verengende Bohrung an, in welche die Brennstoffnadel eingeschliffen ist, die an ihrem Ende ebenfalls konisch zuläuft. Der Brennstoffkonus ist an seiner Mündung in den Cylinder mit einer eigenen leicht auswechselbaren Platte, der sogenannten Düsenplatte versehen, deren Bohrung der Geschwindigkeit der Maschine angepaßt sein muß. Ist diese Öffnung zu groß, dann gelangt der Brennstoff zu rasch in den Cylinder, wodurch die Verbrennung, namentlich bei schwacher Belastung der Maschine, explosionsartig, von Stößen und unruhigem Gange begleitet, erfolgt. Ist hingegen die Öffnung zu klein, dann gelangt zu wenig Brennstoff in den Cylinder, die Verbrennung erfolgt schleichend, die Maschine fängt zu ruhen an. In beiden Fällen wird somit der Gang der Maschine nachteilig beeinflusst.

Wie aus der Detailzeichnung ersichtlich, ist die Brennstoffnadel mit einer Hülse aus Metall umgeben, welche zur Führung dient und das Petroleum von der Nadel abhält. Unmittelbar über dem Nadelkonus ist eine Mutter auf die Hülse geschraubt, welche als Sitz für den Zerstäuber dient und mit mehreren kleinen Bohrungen versehen ist, welche den Durchfluß des Brennstoffes und der Luft ermöglichen. Der Zerstäuber selbst besteht aus drei bis vier durchlochten Scheiben, deren Abstand sowie die Größe und Anzahl der Bohrungen der jeweiligen Größe des Motors angepaßt werden müssen.

Der Zerstäuber ist der empfindlichste, aber auch wichtigste Teil der Maschine, von welchem mit das Wohl und Wehe derselben abhängt.

Der flüssige Brennstoff wird durch eine kleine Bohrung, welche sich in der Wand des Brennstoffkonus befindet und unmittelbar über dem Zerstäuber ausmündet, zugeführt. Der über dem Zerstäuber befindliche Raum ist mit dem Einblasegefäße in dauernder Verbindung, also stets mit Preßluft gefüllt, deren Spannung infolge der bedeutenden zu überwindenden Widerstände um 12 bis 15 Atmosphären höher ist als die Endspannung der im Arbeitscylinder komprimierten Luft; die Einblaselspannung beträgt daher 42 bis 48 Atmosphären Überdruck.

Der flüssige Brennstoff sammelt sich im Zerstäuber. In dem Momente, als die Brennstoffnadel, nach aufwärts gehoben, die Ventilöffnung freigibt, stößt die Einblaseluft durch den Zerstäuber, treibt den Brennstoff mit Gewalt hindurch, auf welche Weise sich Luft und Brennstoff so innig mischen, daß das Petroleum in Staubform in den Cylinder gelangt, was

für den Verbrennungsprozeß überaus wichtig ist. Der Brennstoff wird somit allmählich eingeblasen und die Verbrennung findet daher auch nur allmählich statt.

Die Brennstoffnadel soll unmittelbar, etwa $\frac{1}{4}\%$ vor dem Totpunkte öffnen, damit der Brennstoff im Momente des Hubwechsels in den Cylinder einzublasen beginnt. Zu früher Eintritt hat Vorzündungen, zu später Eintritt Nachzündungen zur Folge, wodurch der ruhige Gang der Maschine nachteilig beeinflußt wird.

Für die größte Leistung der Maschine genügt es erfahrungsgemäß, wenn die Brennstoffnadel die Öffnung etwa 12% des Kolbenhubes geöffnet erhält; zu langes Offenhalten ist mit großen Verlusten an Einblaseluft verbunden.

Das Auslaßventil, in gleicher Weise wie das Einlaßventil zwangsläufig gesteuert und nach innen öffnend, wird etwa 1% des Hubes nach Totpunktstellung des Kolbens geschlossen, damit die Abgase möglichst aus dem Cylinder entfernt werden. Die Eröffnung findet etwa 10% vor Hubwechsel statt, damit der Gegendruck zu Beginn des Kolbenrücklaufes möglichst vermindert ist.

Zur Erzeugung der Einblaseluft dient eine der Maschine angehängte Kompressionspumpe.

Die Anordnung dieser Pumpe ist aus den Figuren 290 und 294 ersichtlich. Cylinder und Deckel sind für Wasserkühlung eingerichtet, um die bei der Verdichtung der Luft frei werdende Wärme möglichst abzuleiten. Das Kühlwasser der Maschine tritt zuerst in den Mantel der Luftpumpe, von da aus in den Deckel derselben; von diesem gelangt dasselbe durch einen Rohranschluß in den Mantel des Arbeitcylinders und von diesem in den Deckel des Cylinders; aus dem Deckel gelangt das Wasser wieder ins Freie.

In dem Deckelstück der Pumpe befinden sich die beiden federbelasteten Ventile, Saug- und Druckventil (Fig. 294, S. 783). Die Pumpe entnimmt die Luft bereits

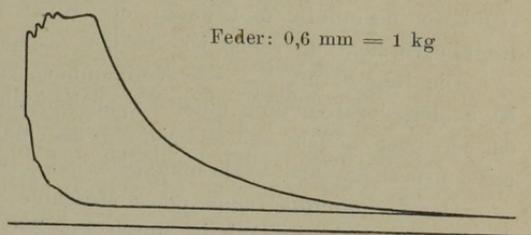


Fig. 295.

vorverdichtet dem Arbeitcylinder, um dieselbe auf den erforderlichen Einblasedruck (42 bis 48 Atm.) zu komprimieren. Durch dieses neue Verfahren sind die Motoren gegenüber der früheren Konstruktion, bei welcher die Luftpumpe die Luft direkt aus der Atmosphäre entnahm, wesentlich

vereinfacht und die Wirtschaftlichkeit erheblich gehoben. Das Indikator-diagramm der Luftpumpe ist in Fig. 295 auf voriger Seite abgebildet. Die Pumpe ist hierdurch gegenüber der früheren Anordnung auf ca. $\frac{1}{14}$ verkleinert.

Die in der Luftpumpe verdichtete Luft gelangt zunächst in ein cylindrisches Einblasegefäß, welches als Vorrats- und Reinigungsraum dient, wodurch die von der Luft mitgerissenen Unreinigkeiten, als Staub, Schmieröl etc. sich ausscheiden und nicht in den Düsenraum und Zerstäuber gelangen. Diese Verunreinigungen sowie das sich aus der Luft niederschlagende Wasser können von Zeit zu Zeit abgelassen werden. Die überschüssige Luft wird in die Anlaßgefäße übergeführt.

Petroleumpumpe und Regulierung. Die Petroleumpumpe, aus Fig. 294 ersichtlich, der Hauptsache nach eine kleine Plungerpumpe, arbeitet mit einem Druckventil und einem gesteuerten Saugventil; der Raum über dem Druckventil steht durch ein Röhrchen mit dem Zerstäuberraum in Verbindung, weshalb an beiden Orten der gleich hohe Druck herrscht. Die Pumpe wirkt in der Weise, daß das Petroleum durch das gesteuerte Saugventil unter Überdruck in den Plungerraum fließt und während der Abwärtsbewegung des Plungers durch das vom Regulator offen gehaltene Saugventil zum größten Teil wieder in das Petroleumvorratsgefäß zurückgedrückt wird. Erst während des letzten Teiles des Hubes wird das Saugventil freigegeben und schließt die Saugleitung, sodaß der Rest des Brennstoffes nun durch das Druckventil seinen Weg nach dem Zerstäuber nehmen muß.

Je früher oder später das Saugventil schließt, desto mehr oder weniger Brennstoff gelangt in den Zerstäuberraum bzw. in den Arbeitscylinder. Der Schluß des Saugventiles wird durch einen Zentrifugalregulator beeinflusst und damit der Gang der Maschine geregelt. Die Reguliervorrichtung selbst ist aus der Zeichnung ersichtlich.

Die Regulierung ist sehr vollkommen, rasch und sicher wirkend; sie ist analog der Regelung einer Expansionsdampfmaschine, indem wie dort der zu- oder abnehmenden Leistung der Maschine entsprechend die Admissionsperiode (hier Verbrennungsperiode) verlängert oder verkürzt wird.

Das Regulierdiagramm einer Maschine von 300 mm Cylinderdurchmesser und 460 mm Hub ist durch Fig. 296 dargestellt.

Die Anlaßvorrichtung. Die Anlaßvorrichtung besteht aus dem Anlaßgefäß und der Auslösevorrichtung für das Steuerscheibensystem.

Das Anlaßgefäß ist ein cylindrischer schmiedeeiserner Behälter, der die auf 42 bis 48 Atm. verdichtete Anlaßluft enthält; dieser Behälter steht einerseits mit dem Raume oberhalb dem Anlaßventil des Arbeitscylinders,

andererseits mit der Kompressionspumpe bezw. dem Einblasegefäß in Verbindung und wird durch den Überschuß an Einblaseluft gespeist.

Beim Anlassen arbeitet der Motor als Zweitaktdruckluftmaschine. Zu diesem Zwecke wird das Steuerscheibensystem auf der Steuerwelle von Hand aus so verschoben, daß von den zwei für das Anlassen vorgesehenen Nocken der eine das Anlaßventil, der andere das Auslaßventil steuert. Brennstoff- und Einströmventil bleiben beim Anlassen außer Tätigkeit. Dreht man nun von Hand aus das Schwungrad über den oberen Totpunkt hinweg, dann öffnet die so eingestellte Steuerung das Anlaßventil. Aus dem Anlaßgefäß dringt die hochgespannte Luft in den Cylinder und treibt den Kolben mit großer Kraft nach abwärts. Beim Aufwärtsgang des Kolbens geht die Luft nach vollbrachter Arbeit durch das normale Ausströmventil ins Freie.

Cylinderdurchmesser: 300 mm
Hub: 460 mm
Feder: 1 mm = 1 kg

Brennstoff: Rohöl
N indiziert:
24,74 bis 54,02

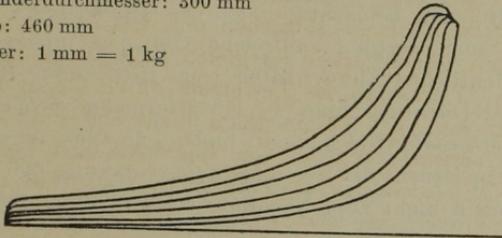


Fig. 296.

Dieser Vorgang wiederholt sich einige male, bis die Maschine die nötige Geschwindigkeit erlangt hat. Nun geht die Steuerung automatisch durch Auslösen einer Klinke seitens des Regulators aus der Anlaßstellung in die Betriebsstellung zurück, wobei das Anlaßventil außer Tätigkeit, die Brennstoffdüse und das Einströmventil dafür in Tätigkeit gesetzt wird; von diesem Momente an geht die Maschine zum normalen Betriebe über, indem die erste Zündung von selbst erfolgt.

Bei vielen Ausführungen wird das Überspringen der Steuerscheiben von der Anlaß- in die Betriebsstellung nicht durch den Regulator, sondern von Hand aus besorgt.

Die übrige Anordnung des Gestelles und der Triebwerksteile ist aus den Figuren genügend klar zu ersehen.

Der Wärmemotor von Diesel wurde trotz der kurzen, kaum fünfjährigen Zeit seines Bestehens bereits einer Reihe von zum Teil streng wissenschaftlichen Untersuchungen unterzogen, deren der Öffentlichkeit übergebenen Resultate übereinstimmend die hohe thermische Überlegenheit desselben über alle derzeit bestehenden Wärmekraftmaschinen ergaben;

desgleichen wurde festgestellt, daß der Dieselmotor jede Ölsorte gleich günstig zu verarbeiten imstande ist, wodurch er sich speziell auch von allen übrigen bestehenden Ölmaschinen äußerst vorteilhaft unterscheidet.

Die ersten offiziellen Versuche wurden 1897 an der von der Maschinenfabrik Augsburg erbauten ersten Versuchsmaschine von Prof. Schröter in München durchgeführt und deren Ergebnisse in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* 1897, S. 845 veröffentlicht. Ähnliche Versuche wurden in den folgenden Jahren von Prof. Sauvage von der *École de Mines* in Paris, von Prof. Watkinson und Unwin in London, Prof. Denton in New York, Prof. Doepp in St. Petersburg, Prof. Meyer in Charlottenburg und anderen ausgeführt und samt den zugehörigen Resultaten veröffentlicht; außerdem fanden die Ergebnisse dieser Versuche durch die seitens hervorragender Männer der Praxis durchgeführten Untersuchungen und Erprobungen der Maschine volle Bestätigung.

Auch die neuere Litteratur bemächtigte sich des Gegenstandes in anerkennenswerter Weise, auch sorgten zahlreiche von den interessierten Maschinenfabriken veröffentlichte Flugschriften und Broschüren für das rasche Bekanntwerden der Dieselmachine, so daß jedermann, welcher sich für diese Maschine interessiert, Gelegenheit findet, dieselbe innen und außen gründlich kennen zu lernen; der freien Meinungsäußerung und Kritik wurde hierdurch, und gewiß nicht zum Nachteile der Erfindung Diesels, Tür und Tor geöffnet.

In den beiden Tabellen XXXIII und XXXIV sind die Resultate neuerer Versuche mit einem 8- bis 10-pferdigen und einem 70- bis 90-pferdigen Dieselmotor zusammengestellt; letztere Maschine ist eine Zweicylindermaschine von 300 mm Cylinderdurchmesser bei 460 mm Hub. Eine Zusammenstellung der Indikatordiagramme dieser Maschine ist durch die Figuren 297 bis 300 (S. 791) dargestellt.

Wie aus diesen Tabellen zu entnehmen, beträgt der Konsum größerer Maschinen heute nur mehr 0,186 bis 0,188 kg pro PS_e-Stunde; dies entspricht einer Wärmeausnützung von im Mittel 34%, also um ungefähr 22% mehr als die neuesten und besten Leuchtgasmotoren gleicher Größe, welche im günstigsten Falle 28% Wärmeausnützung ergeben. Die Wärmeausnützung der Generator- und Gichtgasmaschinen ist bekanntlich eine wesentlich geringere; allerdings bezieht man die Wärmeausnützung der Generatorgasmaschinen stets auf den Verbrauch an Koks oder Anthrazit pro PS_e-Stunde, während man bei Leuchtgas- und Gichtgasmaschinen den Wärmewert des verbrauchten Gases in Rechnung stellt, woraus sich naturgemäß höhere Wirkungsgrade ergeben. Nachdem die Erzeugung des Leuchtgases nur mit etwa 75% Nutzeffekt erfolgen kann, so ist die Wärmeausnützung der besten Leuchtgasmotoren aus dem rohen Brennstoffe (Kohle) nur eine

ca. 21-prozentige, während beim Dieselmotor die Ausnützung aus dem rohen, flüssigen Brennstoffe tatsächlich 34% beträgt.

Tabelle XXXIII.

Dieselmotor von 8—10 PS_e.

Amerikanisches Petroleum. Spezifisches Gewicht 0,793 bei 17° C.

Heizwert 10000 W.E./kg.

	Voll- belastung	Normal- belastung	1/2- Belastung	1/4- Belastung	Leerlauf
Mittlere Umdrehungszahl der Maschine pro Minute	265,8	266,1	264,1	266	278,6
Bremsarbeit N_e in PS	10,03	8,65	4,25	2,88	—
Im Arbeitscylinder geleistete indizierte Arbeit N_i in PS	13,1	12	7,49	6,26	3,78
Mittlere indizierte Spannung im Arbeitscylinder kg/qcm	7,69	7,05	4,4	3,67	2,22
Wirkungsgrad $\frac{N_e}{N_i}$	0,768	0,72	0,567	0,46	—
Ölverbrauch pro Stunde kg	2,3	1,96	1,18	0,956	0,675
Ölverbrauch pro PS _e -Stunde kg	0,1755	0,163	0,1575	0,153	0,1785
Ölverbrauch pro SP _e -Stunde kg	0,229	0,227	0,278	0,332	—
Thermischer Wirkungsgrad η_i	0,360	0,387	0,40	0,41	—
Wirtschaftlicher Wirkungsgrad η_e	0,276	0,279	0,227	0,190	—

Tabelle XXXIV.

Dieselmotor von 70—90 PS_e.

Amerikanisches Petroleum. Spezifisches Gewicht 0,793 bei 17° C.

Heizwert 10000 W.E./kg.

	Voll- belastung	Normal- belastung	3/4- Belastung	2/10- Belastung
Mittlere Umdrehungszahl der Maschine pro Min.	160,6	162,5	163,5	164,7
Bremsarbeit N_e in PS	87,4	70	55,8	41,2
Im Arbeitscylinder geleistete indizierte Arbeit N_i in PS	109,5	86,5	77,8	63,2
Mittlere indizierte Spannung im Arbeitscylinder in kg/qcm	7,96	6,2	5,54	4,82
Wirkungsgrad $\frac{N_e}{N_i}$	0,8	0,81	0,718	0,65
Ölverbrauch pro Stunde in kg	16,46	13	10,86	8,76
Ölverbrauch pro PS _e -Stunde in kg	0,150	0,150	0,140	0,139
Ölverbrauch pro SP _e -Stunde in kg	0,188	0,186	0,1945	0,213
Thermischer Wirkungsgrad η_i	0,42	0,42	0,45	0,455
Wirtschaftlicher Wirkungsgrad η_e (effekt. Wärmeausnützung)	0,336	0,34	0,325	0,300

Der Konsum der kleinen 8 PS-Maschine betrug bei voller und normaler Belastung rund **0,23 kg** pro PS_e-Stunde.

Ein von Prof. Meyer (Charlottenburg) im September 1900 untersuchter 30 PS-Motor der Maschinenfabrik Augsburg ergab bei normaler Belastung von 30,2 bis 30,4 PS_e einen Verbrauch an amerikanischem Petroleum vom spezifischen Gewichte 0,796 bei 18° C und dem mittleren Heizwerte von 10300 W.E./kg von durchschnittlich **0,204 kg** pro PS_e-Stunde, was einer effektiven Wärmeausnützung von rund 30% entspricht.

Bei voller Belastung stieg der Ölverbrauch auf 0,216, bei halber Belastung auf 0,258 kg pro PS_e-Stunde.

Bei normaler Belastung betrug die mittlere indizierte Spannung im Arbeitscyylinder 6,0 kg/qcm.

Die Maschine hatte 300 mm Cylinderdurchmesser bei 463 mm Hub; die Kompressionspumpe 50 mm Durchmesser bei 80 mm Hub; das Volumsverhältnis beträgt somit 200:1.

Der Kompressionsgrad der Maschine wurde mit 16,3 ermittelt.

Vergleicht man die vorstehenden Resultate, sowie jene anderer zahlreich vorliegenden Versuche hinsichtlich des Brennstoffverbrauches bei zu- oder abnehmender Belastung einer Maschine, dann ergeben sich als Mittelwerte eine Brennstoffzunahme pro PS_e-Stunde von 20% bei halber und 45% bei einviertel Belastung der Maschine; die Maschine verträgt ohne weiteres eine 25-prozentige Mehrbelastung über die normale Leistung, wobei der Brennstoffverbrauch pro Leistungseinheit nur unbedeutend zunimmt. Der Brennstoffkonsum pro PS_e-Stunde ist innerhalb sehr weiter Grenzen nahezu konstant.

Der mittlere indizierte Druck im Arbeitscyylinder schwankt zwischen 6 und 7 kg/qcm bei normaler Belastung der Maschine; bei dem 70 PS-Motor betrug derselbe 6,2 kg, bei dem 8 PS-Motor 7,05 kg/qcm.

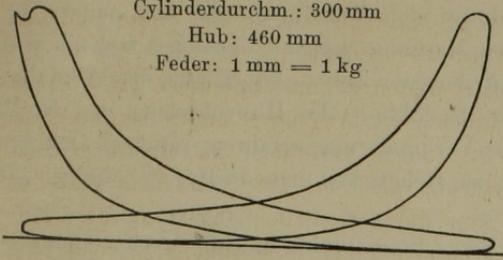
Die minutliche Umlaufzahl der Maschinen beträgt für Leistungen von 4 bis 100 PS 290 bis 150; die mittlere Kolbengeschwindigkeit 2,4 bis 2,8 m pro Sekunde.

Die Dieselmachine ist unzweifelhaft baulich komplizierter als die gewöhnlichen Öl- und Gasmaschinen, allein sie besteht aus lauter bekannten Organen, welche in sich selbst keine Unsicherheit tragen, sobald auf die Wahl des Materials und die Ausführung die größte Sorgfalt verwendet wird. Auch die Verdichtung der Luft im Arbeitscyylinder auf 30 bis 35 Atm. bietet heute keine Schwierigkeiten mehr; die allmähliche Drucksteigerung während des Kompressionshubes ist für den dauernden guten Zustand der Maschine jedenfalls vorteilhafter als die sprunghafte, im Momente der Entzündung stattfindende Drucksteigerung des mit ähnlichen Drücken arbeitenden Bánkimotors. Die Temperaturen im Cylinder sind

Cylinderdurchm.: 300 mm

Hub: 460 mm

Feder: 1 mm = 1 kg



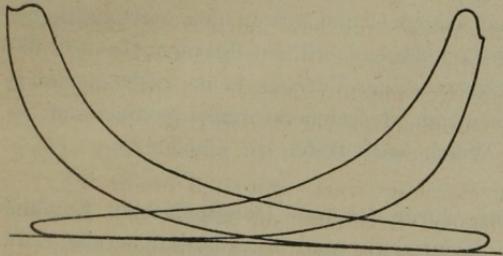
Brennstoff: Rohöl

Einblasedruck: 44 Atmosphären

Mittlere Spannung: 5,82 und

6,14 kg/qcm

PS indiziert: $37,83 + 39,91 = 77,74$



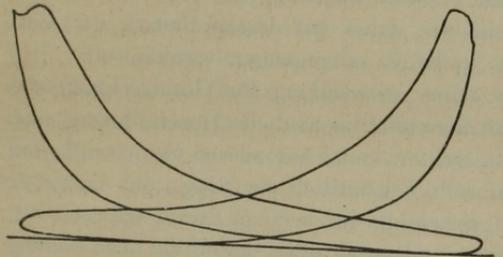
Brennstoff: Rohöl

Einblasedruck: 44 Atmosphären

Mittlere Spannung: 6,00 und

6,45 kg/qcm

PS indiziert: $39,00 + 42,19 = 81,19$



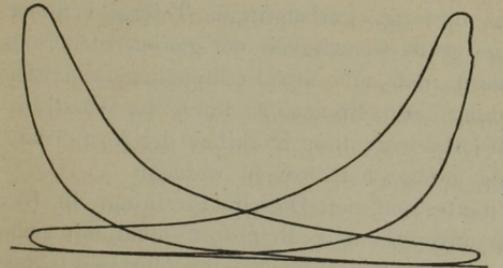
Brennstoff: Rohöl

Einblasedruck: 45 Atmosphären

Mittlere Spannung: 7,46 und

7,56 kg/qcm

PS indiziert: $47,97 + 48,61 = 96,58$



Brennstoff: Rohöl

Einblasedruck: 46 Atmosphären

Mittlere Spannung: 7,36 und

7,92 kg/qcm

PS indiziert: $47,33 + 50,92 = 98,25$

Fig. 297—300.

nicht übermäßig hoch, nachdem die Verbrennung verhältnismäßig langsam bei großem Luftüberschusse stattfindet. Die Verbrennung ist infolgedessen

eine vollständige, ohne Rußbildung; der Auspuff ist rein und nahezu geruchlos. Auch der hohe Preis der Maschine, welcher derselben vielfach zum Vorwurf gemacht wurde, hat in neuester Zeit in anbetracht des Wegfalles der Kreuzkopfführung und der Reduktion des Hubvolumens der Kompressionspumpe eine wesentliche Verminderung erfahren, infolgedessen der Dieselmotor heute nicht teurer zu stehen kommen dürfte, als eine gleich leistungsfähige Gasmaschine.

Es sind somit vom technischen Standpunkte aus alle Vorbedingungen vorhanden, welche dem Dieselmotor sowie seinerzeit dem Ottomotor eine rasche und allgemeine Einführung in die Industrie sichern könnten. Daß dies bis heute nicht der Fall ist, hat seinen Grund nur in den wirtschaftlichen Verhältnissen, in dem Mangel eines genügend billigen flüssigen Brennstoffes.

Der Dieselmotor ist daher trotz seiner Vorzüge heute nicht imstande, unter gewöhnlichen Verhältnissen mit der Generatorgasmaschine und der Dampfmaschine erfolgreich in Wettbewerb treten zu können.

Wie bereits früher erwähnt, wurde der erste Dieselmotor in England erst voriges Jahr, nachdem am Kontinente und in Amerika bereits etwa 150 Maschinen im Betriebe standen, gebaut und zwar von der Firma Scott & Hodgson in Manchester. Diese Maschine ist zugleich der erste im Zweitakt arbeitende Dieselmotor, daher auf dessen Bauart, der Vollständigkeit halber, nachstehend in Kürze eingegangen werden soll.

Nachdem der Zweitakt in seiner Anwendung für Gasmaschinen sich bereits vollkommen bewährt hat, bereitete die bauliche Durchführung einer im Zweitakt arbeitenden Dieselmachine keine besonderen Schwierigkeiten.

Bei den Zweitaktmaschinen fällt bekanntlich der Saug- und Ausströmhub aus, indem die Verbrennungsprodukte durch einen Strom schwach verdichteter Luft ausgetrieben werden und unmittelbar darauf die neue Ladung eingeführt wird, sodaß diese beiden Operationen stattfinden, während sich der Kolben in der Nähe seiner vorderen, kurbelseitigen Totlage befindet.

Es erfordert allerdings eine große Genauigkeit der ganzen Steuerung der Maschine, um zu verhindern, daß mit den Verbrennungsprodukten nicht auch frische Gemischladung, also Brennstoff, durch die Ausströmöffnungen vor Schluß derselben entweicht; diese Exaktheit der Ausführung kann jedoch, wie die Erfahrung gezeigt hat, erreicht werden.

Die Anwendung des Zweitaktes auf den Dieselmotor bringt die Gefahr des direkten Verlustes an unverbranntem Brennstoff nicht mit sich, da derselbe erst mit Ende der Kompressionsperiode eingeführt wird; das Ausspülen des Cylinders kann daher hier vollständig durchgeführt werden.

Sobald der Kolben etwa $\frac{9}{10}$ seines Arbeitshubes zurückgelegt hat, öffnet sich das Ausströmventil und die Spannung sinkt sehr rasch; hier-

auf öffnet sich das Lufteinlaßventil und atmosphärische, auf ca. 0,3 Atm. verdichtete Luft strömt in den Cylinder, treibt die Verbrennungsprodukte durch die Auslaßöffnung hinaus und füllt den Cylinder. Sobald das Auslaßorgan geschlossen ist, wird die Luft komprimiert, um mit Ende des Hubes den Brennstoff aufzunehmen.

Durch den Zweitakt wird die Leistungsfähigkeit der Maschine nahezu verdoppelt; allerdings wird hierdurch der Dieselmotor, welcher an und für sich baulich nicht jene Einfachheit besitzt, welche den gewöhnlichen Viertaktmotor auszeichnet, noch mehrgliedriger, indem zu den beiden Pumpen für Brennstoff und Einblaseluft noch die Luftpumpe für das Ausspülen und Füllen des Arbeitscyinders hinzutritt.

Die von Scott & Hodgson gebaute Maschine ist liegend; vor dem Arbeitscyinder, tandem zu demselben, liegt der Luftpumpencylinder; die beiden Kolben sind auf derselben Kolbenstange aufgefädelt; die Schubstange greift direkt am Luftpumpenkolben an.

Die Maschine wurde für eine Leistung von 18 PS_e gebaut und war auf der Ausstellung in Glasgow im Betrieb zu sehen.

Der Arbeitscyinder hat $7\frac{7}{8}$ " englisch (200 mm), die Luftpumpe 9" (ca. 230 mm) Durchmesser; der gemeinschaftliche Hub beträgt $10\frac{3}{4}$ " (273 mm). Die Maschine arbeitete mit 216 Umdrehungen pro Minute.

Der Luftpumpenkolben saugt beim Vorwärtsgange atmosphärische Luft, verdichtet dieselbe beim Rücklauf auf ungefähr 0,3 kg/qcm und drückt sie in das Bett der Maschine, welches als Luftbehälter dient. Bevor der Luftpumpenkolben seinen Hub vollendet, wird die Übergangsöffnung geschlossen und die im Cylinder der Pumpe rückständige Luft noch weiter auf etwa 4 bis 4,5 kg/qcm verdichtet und an die Kompressionspumpe für die Erzeugung der Einblaseluft abgegeben. Diese Pumpe hat einen Durchmesser von $2\frac{3}{4}$ " englisch (70 mm) und verdichtet die Luft weiter auf 45 bis 50 kg/qcm. Diese Pumpe wird von einer am Stirnende der Kurbelwelle befindlichen Kurbel betätigt.

Die Konstruktion der Brennstoffpumpe, die Regulierung der Brennstoffzufuhr, sowie das Anlassen der Maschine sind in gleicher Weise durchgeführt, wie bei den Viertakt-Dieselmotoren, bieten daher prinzipiell nichts neues.

Versuche hinsichtlich des Brennstoffverbrauches dieser Maschine wurden, soweit dem Verfasser bekannt, nicht veröffentlicht.

Bei dem außergewöhnlichen Interesse, welches dem Dieselmotor von seiten aller technischen Kreise entgegengebracht wurde, fehlte es nicht an zahlreichen Vorschlägen auf Verbesserung beziehungsweise Vereinfachung desselben. Trotz der Mannigfaltigkeit dieser Vorschläge hat jedoch bis heute keiner derselben von dauerndem Erfolg begleitete praktische Verwertung gefunden.

* Musil, Wärmekraftmaschinen.

Die Vereinfachungen hatten namentlich den Ersatz der Kompressionspumpe zur Erzeugung der Einblaseluft durch andere Mittel zum Gegenstande; unter den Konstruktionen, welche dieses Ziel verfolgen, bietet die Maschine von Haselwander vermöge der eigentümlichen Lösung der gestellten Aufgabe höheres Interesse.

Zur Erzeugung der über den Endkompressionsdruck der Arbeitsluft verdichteten Einspritz- oder Einblaseluft entnimmt Haselwander wie Diesel in seiner neueren Konstruktion gegen Ende des Verdichtungshubes aus dem Arbeitszylinder bereits verdichtete Luft und verdichtet dieselbe mittels des sogenannten Verdrängers bis auf eine Spannung, welche um einige Atmosphären geringer ist, als die Endspannung im Arbeitszylinder, sodaß eine gewisse zum Zerstäuben und Einblasen des Brennstoffes erforderliche Druckdifferenz vorhanden ist.

Der Verdränger wird durch eine kurze, cylindrische Fortsetzung des Arbeitskolbens gebildet, deren Durchmesser etwas kleiner ist, als jener des Kolbens; dieser Verdränger tritt gegen Ende des Kolbenhubes in einen im Cylinderdeckel befindlichen konzentrischen Raum ein, in welchen das Zerstäuberventil mündet. In diesem Raume wird nun durch den Verdränger ein Teil der Arbeitsluft getrennt verdichtet; die Abmessungen sind jedoch so gewählt, daß die zwischen Kolben und Cylinderdeckel eingeschlossene Luft höher verdichtet wird, als die Luft im Verdrängerraume. Infolge dieses Überdruckes strömt im Momente der Eröffnung des Brennstoffventiles die Luft aus dem Cylinder durch den Zerstäuber nach dem Verdrängerraume und reißt den flüssigen Brennstoff mit, welcher sich bei seinem Eintritte in den Verdränger- als Verbrennungsraum entzündet und den Kolben nach abwärts treibt.

Durch diese Anordnung ist allerdings die Kompressionspumpe gänzlich vermieden und die Maschine baulich vereinfacht, falls nicht andere Nachteile damit in den Kauf genommen werden müssen.

Ein von Professor Brauer in Karlsruhe untersuchter ca. 6 PS-Experimentiermotor dieser Bauart ergab bei einer Leistung von durchschnittlich $5\frac{1}{2}$ PS_e einen Verbrauch an gewöhnlichem amerikanischen Lampenöl von 0,343 kg pro PS_e-Stunde. Etwas ungünstigere Resultate ergaben die von Prof. Meyer im Jahre 1900 ausgeführten Versuche.

Nachdem ein 8 PS-Dieselmotor nach Tabelle XXXIII bei dieser Leistung nur 0,28 kg amerikanischen Petroleums pro PS_e-Stunde verbraucht, so scheint durch die in Rede stehende bauliche Vereinfachung der Dieselmachine ein thermischer Vorteil nicht erreicht zu sein.

