

Aus dem beistehenden Diagramme Fig. 273 sind die Spannungsverhältnisse im Innern des Cylinders genau zu ersehen. Man erkennt, daß die Verdichtung, Explosion und Expansion genau so erfolgt, wie in der Viertaktmaschine. Das Auspuffen geht im letzten Achtel des Expansionshubes und das Einbringen frischen Gemenges im ersten Achtel des Verdichtungs-hubes vor sich. Im Punkte *a* beginnt das Ausströmen und im Punkte *c* die Verdichtung; die Spitze *abc* des Diagrammes weicht daher in dieser Beziehung von dem Diagramme einer Viertaktmaschine ab\*).

**226. Großgasmaschinen.** Gute Leuchtgasmaschinen geben 25 bis 33 Prozent der im Leuchtgas enthaltenen Wärme, die besten Großdampfmaschinen hingegen höchstens 16 Prozent, zumeist jedoch nicht mehr als 12 bis 14 Prozent der in der Kohle enthaltenen Wärme als indizierte Arbeit ab; es ist daher längst außer Zweifel, daß die Gasmaschine der Dampfmaschine in thermischer Beziehung weit überlegen ist. In wirtschaftlicher Hinsicht wird jedoch die Leuchtgasmaschine trotzdem von der Dampfmaschine übertroffen, da dieselbe Wärmemenge aus Leuchtgas erzeugt viel teurer ist, als wenn sie durch Verbrennung von Kohle gewonnen wird.

Wesentlich günstiger stellen sich die Verhältnisse für die Gasmaschinen bei Verwendung von sogenanntem **Generatorkraftgas** oder **Mischgas**. Allein durch die Erzeugung desselben gehen immerhin noch 20 bis 30 Prozent der Wärme des Brennstoffes im Generator verloren.

Die große thermische Überlegenheit der Gasmaschine kommt jedoch voll und ganz auch in wirtschaftlicher Beziehung dann zur Geltung, wenn sowohl der Dampfkessel als auch die Gasmaschine durch ein und denselben Brennstoff gespeist werden können. Einen solchen Brennstoff bilden die Gichtgase, wie sie beim Hohofenbetrieb erhalten werden.

Eine größere Bedeutung gewann die Frage großer Gasmaschinen erst, als das Kraftgas zum Betriebe von Gasmotoren verwendet wurde; das war in Deutschland etwa vom Jahre 1886 ab. Es zeigte sich sofort, daß der Kohlenverbrauch von Kraftgasanlagen geringer sei als jener gleichleistungsfähiger Dampfmaschinenanlagen. Trotzdem machte die Entwicklung der Großgasmaschine sehr langsame Fortschritte, da es für jede neue Maschinengröße, wenn auch keine grundsätzlichen Schwierigkeiten zu überwinden waren, erst vieler neuer Erfahrungen bedurfte. Dazu kam noch der Umstand, daß eine eigentliche Nachfrage nach größeren Maschinen

\*) Eine ausführliche Besprechung der Einzelheiten dieser Maschine und der mit derselben erzielten Betriebsergebnisse siehe: *Zeitschrift des Vereins deutscher Ing.*, 1900, S. 1517.

nicht vorhanden war, da der Käufer ebensogut eine Dampfmaschine verwenden konnte, andererseits trotz des Vorteiles des verminderten Kohlenverbrauches mit einem gewissen Zagen an diese Neuerung herantrat und dies um so mehr, als sich die Gasmotorenfabriken anfänglich selbst sehr zurückhaltend zeigten, da sie in dieser Richtung nur über ein gewisses Erfahrungsmaterial verfügten.

Diese träge Entwicklung der Großgasmaschine wurde um die Mitte der 90er Jahre förmlich wie mit einem Schlage durch das Bestreben der Eisenhüttenleute, die Hohofengichtgase zum Betriebe von Gasmotoren zu verwerten, aufgerüttelt, gewaltig befördert und beschleunigt.

Die Entwicklung der Gichtgasmaschine ist einer der großartigsten Fortschritte, welcher nicht nur auf dem Gebiete des Gasmotorenbaues seit der Zeit des ersten Ottoschen Viertaktmotors, sondern auf dem Gesamtgebiete des Wärmemotorenbaues überhaupt zu verzeichnen ist. Die Hüttenindustrie braucht sehr große Motoren, gegen welche die bisher erbauten klein erscheinen; sie besitzt aber auch nicht nur den Unternehmungsgeist, sondern auch die Mittel, um das Wagnis, welches der erstmalige Bau so großer Maschinen mit sich bringt, auf sich nehmen zu können. Es wurde plötzlich, da die ersten Versuche von günstigen Erfolgen begleitet waren, eine so lebhafte Nachfrage nach Großgasmaschinen rege, daß die Gasmotorenindustrie alle Hebel in Bewegung setzen mußte, um diesen hochgeschraubten Anforderungen hinsichtlich Größe und Leistungsfähigkeit genügen zu können. Diese Aufgabe wurde jedoch in außerordentlich kurzer Zeit und in staunenswert vollkommener Weise gelöst. Während die Kraftgasmaschine sich bis vor etwa zwei Jahren nur bis zu einer Leistung von 300 Pferdekraften entwickelte, sind seit kaum sechs Jahren, seit dem Auftauchen der Idee der Verwertung von Hohofengasen, bereits zahlreiche Gichtgasmaschinen von 200 bis 1000 PS in Betrieb gekommen und Maschinen mit Leistungen von 1000 bis 2000 PS befinden sich in der Ausführung.

Die Nachfrage nach solchen Motoren ist derzeit eine so außerordentlich rege, daß die betreffenden Firmen, trotz der im allgemeinen Maschinenbau herrschenden Stagnation, den an sie herantretenden Anforderungen nicht gerecht werden können.

Mit wenigen Worten möge hier erwähnt werden, daß man fast gleichzeitig und unabhängig von einander in Deutschland, Belgien und England zum ersten Male dem Gedanken begegnete, Gichtgase zum Betrieb von Gasmaschinen zu verwenden. Die erste Anregung kam allerdings 1894 aus England. In Deutschland wurden die ersten Versuche 1895 von der Deutzer Gasmotorenfabrik in Gemeinschaft mit dem Hoerder Bergwerks- und Hüttenverein unter Benützung eines 12 PS Otto-Motors vorgenommen; zwei Monate später wurde von der Société Cockerill eine Versuchsmaschine



in Gang gesetzt. Die günstigen Ergebnisse in Hoerde führten dann zur Bestellung eines 200 PS-Motors System Oechelhäuser, welchem später die an anderer Stelle beschriebene 600 PS gekuppelte Maschine gleicher Bauart folgte. Für das gleiche Werk wurden außerdem von der Deutzer Gasmotorenfabrik zwei 1000 PS-Gichtgasmotoren geliefert. Deutschland ist somit selbständig vorgegangen und hat in dieser Richtung die führende Rolle übernommen und behauptet\*).

Was nun die allgemeine Bauart der Großgasmaschine betrifft, so kommt in erster Linie hinsichtlich der Viertakt-Eincylindemaschine der Umstand in Betracht, daß während zweier Umdrehungen nur ein Arbeitsspiel erfolgt. Obwohl der mittlere indizierte Druck im allgemeinen wesentlich größer ist als bei Dampfmaschinen (dieser Druck  $p_m$  ist aus den vorstehenden Diagrammen Fig. 257 bis 267 ersichtlich), so werden doch die Abmessungen der Gasmaschine in Anbetracht des Viertaktes und des einfach wirkenden Kolbens für große Leistungen sehr groß; infolge der hohen Pressungen müssen Gestänge und Lager sehr stark bemessen und mit Rücksicht auf die wünschenswerte Gleichförmigkeit des Ganges auch die Schwungräder so schwer gebaut werden, daß man schließlich zu fast unausführbaren Abmessungen der Maschine gelangt. Außerdem kommt noch der Umstand in Betracht, daß mit wachsender Größe der Maschine das Verhältnis der Oberfläche der Cylinderwandungen zum Cylinderinhalt abnimmt und infolgedessen die in der Maschine auftretenden hohen Temperaturen durch die Kühlung der Wandungen nicht mehr vollständig beherrscht werden können, sodaß an einzelnen Stellen Wärmestauungen bei unzulässig hohen Temperaturen entstehen, welche ein Verziehen des Cylinders, Heißblauen des Kolbens, Festsetzen der Ventile in ihren Führungen etc. zur Folge haben können. Diese baulichen Schwierigkeiten hat man allerdings in letzter Zeit durch Vervollkommnungen der Details größtenteils glücklich überwunden. Man verwendet in der Regel bei großen Maschinen nur eingesetzte Cylinder, die sich nicht verziehen und leicht auswechselbar sind. Die Kolben werden lang geführt und durch sechs bis acht selbstspannende gußeiserne Ringe, denen manchmal noch Stahlringe unterlegt werden, gedichtet. Der vordere, als Geradföhrung dienende Teil des Kolbens, welcher den Gestängedruck auf den Cylinder überträgt, wird leichtführend in den Cylinder eingepaßt und mit Rücksicht auf Reibung und Abnützung mit geeignetem Lagermetall ausgekleidet. Man hat auch versucht, den Kolben selbst durch Wasser zu kühlen. Auch auf die Schmierung des Kolbens ist besondere Sorgfalt zu verwenden; sie wird

\*) Eine Zusammenstellung der bis zum Jahre 1901 in Betrieb und Bau gestandenen Gichtgasmaschinen siehe: Ihering, *Die Gasmaschine*, 1901, S. 232.

jetzt in der Regel durch Preßpumpen besorgt und wirkt in diesem Falle sehr verläßlich.

Der zur Aufnahme der Ventile dienende Cylinderkopf bildet den Verdichtungs- und Verbrennungsraum, in dem daher die höchsten Temperaturen entstehen. Der Cylinderkopf muß daher durch Kühlwasser möglichst kalt erhalten werden, während das aus dem Cylindermantel abfließende Kühlwasser warm sein darf. Aus diesem Grunde ist es empfehlenswert, Mantel und Cylinderkopf durch eine besondere Kühlwasserleitung zu speisen.

Das Einströmventil wird von der eintretenden frischen Luft vollkommen umströmt und bleibt daher in dem gekühlten Cylinderkopf genügend kühl.

Viel ungünstiger arbeitet das Ausströmventil, welches ganz der Einwirkung der heißen Gase ausgesetzt ist. Man kann es allerdings so legen, daß die einströmende Ladung darüber hinwegstreicht und es somit etwas kühlt; wirksamer ist jedoch eine eigene Kühlung des Ventilsitzes und der Führung der Ventilspindel. Bei großen Maschinen bekommen die Ventile selbst schon bedeutende Abmessungen und gehört zur zwangweisen Eröffnung des Ausströmventiles eine bedeutende Kraft; man pflegt daher die Ventile zu teilen, in zwei Einström- und zwei Ausströmventile und letztere so zu steuern, daß das eine etwas vor dem anderen gelüftet, das letztere somit etwas entlastet wird. Diese Teilung hat auch den Vorteil, daß hierdurch der Kompressionsraum dem heutigen Bestreben entsprechend verringert werden kann, da vier kleinere Ventile bei gleichem Gesamtquerschnitte weniger Raum einnehmen als zwei große. Zur Erzielung möglichst ruhigen Schlusses der Ventile pflegt man bei großen Maschinen eigene Luftpuffer anzuwenden.

Der Verläßlichkeit wegen verwendet man bei Großmaschinen nur elektrische Zündung.

Schließlich sei noch hinsichtlich des allgemeinen Baues der Maschinen bemerkt, daß die Lager fast allgemein als Ringschmierlager, die sich sehr bewährt haben, ausgeführt werden. Die gekröpfte Kurbelwelle wurde trotz mancherlei Versuche, dieselbe durch Stirnkurbeln zu verdrängen, allgemein beibehalten. Die Cylinder großer Maschinen werden in den Rahmen eingebettet, sodaß nur der Cylinderkopf mit den Ventilen rückwärts hervorragt; es hat sich also auch die Gesamtkonstruktion der Maschine im Laufe der letzten Jahre vorteilhaft entwickelt.

Der deutsche Gasmotorenbau liefert heute Maschinen, die pro Cylinder 300 PS entwickeln können. Bei großen Eincylindermaschinen ist man jedoch zur Erzielung hoher Gleichförmigkeit gezwungen, außerordentlich schwere Schwungräder zu verwenden. Man fährt daher besser und nicht



wesentlich teurer, wenn man anstelle des schweren Schwungrades ein leichteres Schwungrad setzt und die Maschine als Zweicylindermaschine baut. Man findet daher meist schon für Leistungen von 100 PS an, für größere Leistungen fast ausschließlich, Zwillingsmaschinen.

Hinsichtlich der gegenseitigen Lage der Cylinder unterscheidet man im allgemeinen drei Anordnungen, je nachdem die Cylinder nebeneinander, hintereinander oder zu beiden Seiten der Welle einander gegenüberliegen.

Bei der ersten Anordnung, welche den übrigen Anordnungen vorzuziehen ist, ist die Kurbelwelle doppelt gekröpft, die Kröpfungen sind gleichliegend, sodaß sich die beiden Kolben gleichzeitig in der inneren oder äußeren Totlage befinden; die Steuerung ist jedoch derart angeordnet, daß der eine Kolben den Anfangshub vollzieht, während der andere den Expansionshub beschreibt u. s. f.; die Steuerungen sind also um  $360^\circ$  versetzt. Zwischen beiden Maschinen befindet sich das Schwungrad; die Kurbelwelle ist somit viermal gelagert.

Die letztere Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Kurbelwelle nur einmal gekröpft ist, an dieser Kröpfung somit die Schubstangen beider Maschinen, deren Cylinderachsen in eine Gerade zusammenfallen, angreifen. Die Steuerungen sind um  $180^\circ$  versetzt, sodaß der Anfangshub der einen Maschine mit dem Verdichtungshub der anderen Maschine zusammenfällt. Die Maschinen sind verkehrtläufig. Bei der linksläufigen Maschine wird der Kolben durch die Explosionswirkung nach oben gedrückt, während der Kompression jedoch nach unten; der Kolben berührt somit die Cylinderwandung einmal oben, einmal unten; die Gleitflächen müssen daher sehr reichlich bemessen oder nachstellbar sein, damit sich die Kolben nicht rasch auslaufen.

Die zweite Anordnung bildet eine Tandemmaschine mit hintereinander liegenden Cylindern, einfach gekröpfter Welle, an welcher die gemeinschaftliche Schubstange angreift. Die Kolbenstange geht durch den Cylinderkopf des ersten Cylinders hindurch, muß daher in demselben durch eine Stopfbüchse abgedichtet sein. Die Steuerungen sind gleichfalls wie bei der ersten Anordnung um  $360^\circ$  versetzt, sodaß der Anfangshub in dem einen Cylinder mit dem Expansionshub im anderen Cylinder zusammenfällt. Diese Anordnung bietet infolge der durchgehenden Kolbenstange hinsichtlich der zweckentsprechenden Unterbringung der Ventile im Cylinderkopf des vorderen Cylinders behufs Erzielung eines genügend kleinen Kompressionsraumes große Schwierigkeiten; die Zugänglichkeit der Ventile wird sehr erschwert etc.; man hat daher die Tandemaufstellung trotz ihrer sonstigen Vorteile wieder verlassen, sodaß heute eigentlich nur Maschinen mit nebeneinander oder gegenüber liegenden Cylindern gebaut werden.

Den Vorteil der Zwillingmaschine, höhere Gleichförmigkeit des Ganges mit geringerem Schwungradgewichte zu erzielen, würde man selbstverständlich auch durch eine doppeltwirkende Viertaktmaschine erreichen. Die Schwierigkeiten, welche bei der Doppelwirkung überwunden werden müssen, liegen einerseits in der hierdurch notwendig werdenden Stopfbüchse für die Kolbenstange, namentlich aber in dem Umstande, daß der nun vorne geschlossene Cylinder, sowie der Kolben nicht mehr einseitig mit der atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, daher beiderseits der Einwirkung der hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Durch die Anwendung der Howaldtschen Metallpackung sind die Schwierigkeiten hinsichtlich der Stopfbüchse völlig überwunden. Die Schwierigkeiten hinsichtlich des Kolbens können nur durch Wasserkühlung desselben auf ein nicht direkt schädliches Maß reduziert werden.

Die Firma Körting baute eine doppeltwirkende Viertaktmaschine, bei welcher der Kolben auf diese Weise gekühlt wurde. In der hohlen Kolbenstange befindet sich ein konzentrisch eingebautes Rohr, durch welches das Wasser dem Kolbenkörper zugeführt wird, während dasselbe durch den ringförmigen Hohlraum der Kolbenstange zurückfließt.

Das Wasser wird durch geeignete Rohrverbindung von einer kleinen Preßpumpe geliefert und fließt mit einer solchen Geschwindigkeit zu, daß der Wasserfaden in Anbetracht der Geschwindigkeit der hin- und hergehenden Massen nicht abgerissen wird, somit ein kontinuierlicher Zu- und Abfluß des Wassers gesichert ist.

Diese Maschine soll sich nach Angabe der Fabrikanten teurer stellen, als eine gleich leistungsfähige Zwillingmaschine.

Nachdem man gegenwärtig, wie früher erwähnt, Gasmaschinen für Leistungen bis rund 300 PS<sub>e</sub> Maximalleistung pro Cylinder baut, so ist die durch Zwillingviertaktmaschinen erreichbare Leistung 600 PS. Es sind jedoch auch Ausnahmefälle zu verzeichnen. So baut z. B. die Firma John Cockerill in Seraing Viertaktmaschinen mit einem Cylinder von 1300 mm Durchmesser bei 1400 mm Hub, welche bei 80 bis 90 minutlichen Umdrehungen eine mittlere Leistung von 500 PS<sub>e</sub> entwickeln. Diese Maschinen sind zum direkten Betrieb von Hohofengebläsen bestimmt, indem die Kolbenstange durch den Cylinderkopf hindurchführt und direkt mit dem Kolben des dahinter liegenden Gebläsecylinders gekuppelt ist\*).

Gewöhnlich erreicht man jedoch durch Zwillingmaschinen eine Maximalleistung von 600 PS<sub>e</sub>.

Für größere Leistungen kuppelt man zwei Maschinen mit gegenüber-

\*) Über diese und andere Großgasmotoren siehe: *Zeitschrift d. Ver. deutscher Ingenieure*, 1900, S. 297, 401, 1517, sowie den Bericht über Gasmotoren der Düsseldorf-Ausstellung 1902 in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ing.*, 1902, S. 869.



liegenden Cylindern durch eine gemeinschaftliche doppeltgekröpfte Welle und zwischenliegendem Schwungrade. Auf diese Weise kann man Leistungen bis 1200 PS<sub>e</sub> erreichen; doch findet man diese Bauart auch schon bei Maschinen mit wesentlich kleinerer Leistung bis herab zu 600 PS<sub>e</sub>, namentlich dann, wenn es sich um große Gleichförmigkeit des Ganges handelt, da solche Maschinen bereits nach jeder halben Umdrehung einen Arbeitsimpuls empfangen, also in diesem Sinne einer doppeltwirkenden Expansionsdampfmaschine gleichwertig sind.

Neben dem Viertakt spielt der bereits im vorhergehenden erörterte Zweitakt für Gasgroßmaschinen eine sehr wichtige Rolle. Die Zweitaktmaschinen sind vornehmlich, wie schon früher erwähnt, aus dem Bestreben hervorgegangen, für dieselbe Leistung kleinere Cylinderabmessungen und höhere Gleichförmigkeit des Ganges zu erlangen, als dies bei Anwendung des Viertaktes möglich ist. Die räumliche Trennung des Arbeitscylinders und der Gemengepumpe führt bei kleineren Maschinen zu umständlichen und teureren Bauten, die mit dem einfachen Viertaktmotor nicht konkurrieren konnten, daher für kleinere Leistungen der Zweitakt längst wieder vom Markte verschwunden ist. Für Großmaschinen liegen die Verhältnisse jedoch viel günstiger, da man ja auch beim Viertakt, wie bei der Dampfmaschine, mehrere Cylinder anwendet.

Obwohl durch den Zweitakt die Leistung eines Cylinders nahezu verdoppelt wird, so darf doch nicht übersehen werden, daß der Zweitakt neben dem Arbeitscylinder noch zwei weitere Cylinder für die Gemenge- und die Spülluftpumpe (oder auch Luft- und Gaspumpe) erfordert, im ganzen daher größere Cylinderräume beansprucht als eine Zwillingsviertaktmaschine gleicher Leistung. Allerdings sind die beiden Hilfscylinder nicht für jene hohen Pressungen und Temperaturen zu bauen, welche im Arbeitscylinder auftreten; auch erspart man insofern an Ventilen, als man wenigstens den Auspuff durch den Arbeitskolben selbst unter Vermittlung von Ausströmschlitzten steuert.

Bei der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine von Körting (siehe Fig. 271, 272) sowie bei der Maschine von Oechelhäuser leistet ein Cylinder ungefähr ebensoviel als vier Viertaktcylinder gleicher Abmessungen und gleicher Kolbengeschwindigkeit. Bei der Oechelhäuser-Maschine ist jedoch der Cylinder ungefähr doppelt so lang; außerdem sind zwei Kolben, eine dreifach gekröpfte Welle, drei Schubstangen, eine rückwärtige Geradföhrung und das übrige Gestänge vorhanden. Welches System sich für Großleistungen in der Praxis besser bewähren wird, ist derzeit eine noch offene Frage, über welche wohl die Zukunft ein entscheidendes Urteil fällen wird.

Eine andere, derzeit gleichfalls noch offene Frage ist jene hinsicht-

lich des Gasverbrauches. Dieselbe spielt allerdings für Großleistungen, so lange Gichtgase zum Betriebe verwendet werden und in genügender Menge zur Verfügung stehen, keine so ausschlaggebende Rolle, wie die Einfachheit und Billigkeit der Maschine und deren Eigenart und Verhalten hinsichtlich der Anforderungen des Betriebes. In letzterer Beziehung würde wohl der Zweitaktmaschine mit doppeltwirkenden Kolben der Vorzug vor den übrigen Systemen eingeräumt werden müssen.

Theoretisch sollte sich der Gasverbrauch der Zwei- und Viertakt-systeme vollkommen gleich stellen, da ja die Kreisprozesse dieselben sind. In Wirklichkeit werden jedoch bei der Zweitaktmaschine größere Arbeitsmengen für das Herbeischaffen der Ladung und das Hinüberdrücken derselben in den Arbeitscyliner erforderlich sein; andererseits ist es sehr fraglich, ob nicht frische Ladung durch die Ausströmschlitzte, bevor dieselben durch den Kolben geschlossen werden, entweicht, wodurch direkte Arbeitsverluste entstehen würden.

Vorteilhaft würde hingegen die Reinheit der Ladung wirken, wenn es gelingt, durch das Ausspülen des Arbeitscyliners die Verbrennungsrückstände wirklich zu entfernen. Über all' diese Fragen können jedoch nur eingehende Versuche, die derzeit nicht in genügender Vollständigkeit vorliegen, Aufklärung bringen.

**227. Die gasförmigen Brennstoffe.** Trotz der außerordentlichen Vervollkommnung der heutigen Gasmaschine und des verhältnismäßig sehr geringen Gasverbrauches derselben stellt sich die Wärmeeinheit des gewöhnlichen Leuchtgases wesentlich teurer als jene der Kohle; die Gasmaschine mußte daher der Dampfmaschine gegenüber so lange im Nachteil bleiben, als man auf die Verwendung des Leuchtgases allein beschränkt war. Diese Tatsache und das Bestreben, die Gasmaschine durch Verwendung eines wesentlich billigeren Gases, also durch Verminderung der Kosten der Wärmeeinheit, für größere Kraftanlagen konkurrenzfähig zu gestalten, hat nach vielen mitunter erfolglosen Versuchen zur Erzeugung eines billigeren Gases, des sogenannten Generatorgases, geführt.

Das Verdienst, diese Aufgabe gelöst zu haben, gebührt dem Engländer Emerson Dowson, welcher 1881 einen Apparat zur Erzeugung eines wasserstoffreichen Kraftgases und die damit gemachten Erfahrungen veröffentlichte. Dieser Apparat ist trotz seiner großen Leistungsfähigkeit verhältnismäßig einfach und billig, sodaß sich seine Anschaffung selbst für kleinere Leistungen, von etwa 20 PS aufwärts, empfiehlt und rentiert.

Dowson hat die Aufgabe allerdings nur teilweise gelöst, da seine Gaserzeuger nur zwei Brennmaterialien und zwar Anthrazit und Koks verarbeiten können.