

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.

Die teure Wärmeeinheit des Leuchtgases macht sich im Vergleiche mit der Dampfmaschine bei kleinen Leistungen nicht fühlbar, da einerseits der thermische Wirkungsgrad und die Regulierfähigkeit der Gas- kleinmaschine der Kleindampfmaschine weit überlegen ist, andererseits die Gasmaschine nahezu keine Bedienung erfordert; infolgedessen stellt sich für so kleine Leistungen der Betrieb mit Leuchtgas sogar billiger als jener mit Dampf. Es wäre daher tatsächlich eine verlorene Mühe gewesen, für Leistungen unter etwa 20 PS nach einem Gase zu suchen, dessen Wärmeeinheit sich billiger stellt wie jene des städtischen Gases.

Anders stellen sich jedoch die Verhältnisse, sobald diese Leistungsgrenze wesentlich überschritten wird, da für größere und Großleistungen nicht nur der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschine sich erhöht, sondern auch an die Regulierfähigkeit der Maschine ganz andere Anforderungen gestellt werden können; für solche Leistungen ist der Gas- motor mit dem Zeitpunkte der Einführung eines billigeren Kraftgases ein sehr gefährlicher Konkurrent der Dampfmaschine geworden.

Für eine effektive Leistung von 100 PS benötigt eine auf der Höhe der Zeit stehende Dampfmaschine durchschnittlich 1,3 bis 1,5 kg guter Steinkohle; eine Generatorgasmaschine 0,60 bis 0,70 kg Hüttenkoks pro effektive Pferdekraftstunde. Nachdem der Preis guter Steinkohle von jenem des guten Hüttenkoks im allgemeinen nicht wesentlich verschieden ist, so stellt sich unter der Voraussetzung, daß die Gasmaschine samt Generator hinsichtlich Bedienung, Schmierung und sonstigen Erhaltungskosten nicht teurer zu stehen kommt als eine gleich leistungsfähige Dampf- anlage, der Betrieb mit Generatorgas bereits merklich billiger als jener mit Dampf. Bei noch größeren Leistungen ändert sich dies Verhältnis etwas zugunsten der Dampfanlagen, da der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschine sich mit zunehmender Leistung bessert, während derselbe bei Gasmaschinen von etwa 100 PS aufwärts ziemlich konstant bleibt.

Würde es gelingen, Kraftgas aus minderwertigem Brennmaterial, wie solches ja vielfach zur Kesselfeuerung verwendet wird, erzeugen zu können, dann würde die Gasmaschine der Dampfmaschine wohl in jeder Beziehung und für jede Leistung weit überlegen sein und dieselbe zweifellos auf allen Gebieten verdrängen.

Leuchtgas. Das gewöhnliche städtische Leuchtgas wird durch Destil- lation geeigneter Steinkohlen erzeugt.

Der Zweck der Erzeugung desselben war ursprünglich nur die Dar- stellung eines mit hell leuchtender Flamme brennbaren Gases und es war nur ein Zufall, daß dieses Gas auch als vollkommen geeignet für die Hervorbringung motorischer Kraft befunden wurde.

Das Leuchtgas liefert ein Brennmaterial von chemischer Reinheit, welches sich zur vollkommenen Nützbarmachung der erzeugten Wärme vorzüglich eignet.

Aus 100 kg Steinkohle geeigneter Qualität erzeugt man durchschnittlich 27 bis 34 cbm Gas und 50 bis 72 kg Koks; der Rest entfällt auf Teer und Ammoniakwasser. Die Gasquantität hängt im allgemeinen von dem in der verarbeiteten Kohle enthaltenen Überschuß an Wasserstoff, welcher nicht zur Bildung von Wasser erforderlich ist, ab.

Die chemische Zusammensetzung des Leuchtgases ist sehr verschieden; es besteht aus einer größeren Anzahl unter sich verschiedener Gasarten, deren Mischungsverhältnis nicht nur von dem verwendeten Brennmaterial, sondern auch von der Art der Fabrikation und Reinigung des Gases, sowie von dem Verlaufe der Destillation abhängt. Allerdings vereinigen sich die Destillationsprodukte in den Gasometern, infolgedessen das Gas, bevor es an den Verwendungsort gelangt, eine größere Gleichförmigkeit der Zusammensetzung besitzt; eine volle Gleichförmigkeit ist jedoch keinesfalls zu erwarten.

Für genaue kalorimetrische Untersuchungen ist die Kenntnis der Zusammensetzung des Gases auf Grund chemischer Analysen unbedingt erforderlich. Die vollständige Analyse eines Leuchtgases, namentlich auf seinen Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen, ist jedoch außerordentlich schwierig und wird nur selten ausgeführt. Für die Mehrzahl der Versuche an Gasmaschinen wird es sich nicht um genaue kalorimetrische Untersuchungen, sondern um eine Feststellung des thermischen Wirkungsgrades und einer angenäherten Wärmebilanz handeln, daher die Bestimmung des Heizwertes durch ein Kalorimeter vollkommen ausreicht.

In Deutschland und Österreich wird derzeit das Kalorimeter von Junkers am meisten benützt. Genaue Gasanalysen mit Bestimmung des spezifischen Gewichtes können eigentlich nur von in dieser Richtung geübten Chemikern in größeren chemischen Laboratorien, welche mit den erforderlichen Apparaten ausgestattet sind, ausgeführt werden.

Für Überschlagsrechnungen nimmt man für städtisches Leuchtgas mittlere Werte an, welche sich dem wahren Werte mit einer für die gewöhnlich vorkommenden Fälle genügenden Genauigkeit nähern, und zwar den Heizeffekt (Verbrennungswärme) mit 5000 W.E. pro Kubikmeter und das spezifische Gewicht mit $\sigma = 0,42$. Nimmt man ferner das Gewicht von 1 cbm atmosphärischer Luft bei 0° C Temperatur und einem Barometerstande von 760 mm mit 1,2866 kg an, dann berechnet sich das Gewicht von 1 cbm Leuchtgas mit 0,54 kg.

Die Explosionsgrenzen einer Mischung aus Leuchtgas und Luft bei atmosphärischer Spannung sind 8 Volumsteile Gas als untere Grenze

und 20 Volumsteile Gas auf 100 Volumsteile Luft als obere Grenze; bei dem Mischungsverhältnisse 1:10 bis 1:11 ist die Explosionskraft im allgemeinen am größten.

Obwohl sich Gas und Luft in allen Verhältnissen mischen, so sind für den Kraftbetrieb nur jene Mischungen von Bedeutung, welche sich im geschlossenen Raume, also unter Abschluß gegen die Außenluft entzünden und unter Druckentwicklung ihrer ganzen Masse nach, also vollkommen verbrennen.

Von diesen Mischungen wird wieder jene für den Motorenbau die größte Bedeutung haben, in welcher gerade so viel Luft enthalten ist, als zur vollständigen Verbrennung des in dem Gemische enthaltenen Gasquantums erforderlich ist, da in diesem Falle alle Partien des Gases an der Verbindung desselben mit dem Sauerstoffe der Luft teilgenommen haben. Ein solches Gemisch nennt man die stärkste Mischung, weil dieselbe bei der Verbrennung, ohne störende Rückstände zu hinterlassen, den größten Druck entwickelt.

Das Mischungsverhältnis dieser stärksten Mischung ist selbstverständlich von der chemischen Zusammensetzung des Gases abhängig. Dieser Bedingung größter Druckentwicklung entspricht eine Mischung von durchschnittlich 1 Volumteil Leuchtgas auf 5 bis 6 Volumsteile Luft.

Man erzielt jedoch, wie die Erfahrung gezeigt hat, mit gasärmeren Mischungen im allgemeinen günstigere Resultate, d. h. höhere Brennstoffökonomie und wird das Mischungsverhältnis gewöhnlich mit 1:8 bis 1:10 angenommen. Diese Mischung wird allerdings durch die im Laderaume der Maschine vom vorhergegangenen Hube zurückgebliebenen Verbrennungsrückstände noch weiter verdünnt und die Entzündbarkeit vermindert, daher man in neuerer Zeit bei Großmaschinen diese Rückstände durch Ausspülen des Cylinders zu entfernen sucht.

Die in der Gasmaschine auftretende rasche Verbrennung (Verpuffung) der explosiblen Mischung ist eine ungemein rasche Fortpflanzung der in einem Teile des Gasgemisches hervorgerufenen Entzündung desselben. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Entzündung fortpflanzt, hängt von der Gleichförmigkeit der Mischung und dem Mischungsverhältnisse ab. Je dünner, d. h. je gasärmer die Mischung ist, desto langsamer verbreitet sich die Verbrennung über die ganze Masse. Von der Art der Verpuffung hängt auch die Druckentwicklung ab und wird der Maximaldruck um so früher erreicht, je rascher die Verbrennung erfolgt. Die Explosionsfähigkeit wird also durch das Mischungsverhältnis auf zweierlei Art beeinflusst: einerseits durch die Änderung der Zeitdauer bis zur Erreichung des größten Druckes, andererseits durch die Größe dieses Druckes selbst.

Ein gewöhnlicher Viertaktmotor kleinerer Größe arbeitet durchschnitt-

lich mit 180 bis 220 Umdrehungen in der Minute, somit ist die Zeitdauer eines Hubes 0,17 bis 0,14 Sekunde. Würde eine Ladung somit, im Momente des Hubwechsels entzündet, zu ihrer vollständigen Verbrennung diese Zeit benötigen, dann würde die Verbrennung erst mit Hubende vollendet sein und die ganze Expansionsarbeit ginge verloren; es können daher nur Mischungen verwendet werden, welche zu ihrer vollständigen Verbrennung einen kleinen Bruchteil obiger Zeitdauer erfordern.

Die Höhe des Punktes *D* über *C* (Fig. 274) kann durch Rechnung bestimmt werden, sobald die Temperatur in *C*, die spezifische Wärme (bei konstantem Volumen) der verbrannten Mischung, die durch die Explosion erzeugte Wärme, sowie die Änderung der spezifischen Dichte, hervorgerufen durch die Änderung der chemischen Zusammensetzung infolge der Explosion, bekannt sind.

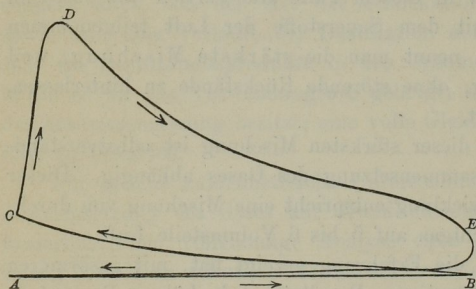


Fig. 274.

Die Indikator-*p-v*-Diagramme der Gasmaschinen zeigen im allgemeinen im Momente der Entzündung einen wesentlich kleineren Druck, als die Rechnung unter Voraussetzung momentaner Verbrennung ergeben würde. Das

Diagramm Fig. 274 einer gewöhnlichen, unter normaler Belastung arbeitenden Viertaktgasmaschine (siehe ferner die Diagramme Fig. 261, sowie 264 bis 267) zeigt eine so rasche Drucksteigerung infolge der Explosion, daß der höchste Druck in *D* erreicht wird, ohne daß sich das Volumen merklich vergrößert hat; der Berechnung der zugeführten Wärme kann daher, ohne einen nennenswerten Fehler zu begehen, die spezifische Wärme bei konstantem Volumen zugrunde gelegt werden. Diese Berechnung ergibt, daß nur 60 bis 70 Prozent jener Wärme, welche bei vollständiger Verbrennung der Mischung erzeugt wird, zur Hervorbringung der der Drucksteigerung von *C* nach *D* entsprechenden Temperatursteigerung erforderlich sind; der Rest wird somit erst während der darauffolgenden Expansion der heißen Gase entwickelt. Der Prozeß der Verbrennung (eine Explosion im vollen Sinne des Wortes findet ja tatsächlich nicht statt) beginnt allerdings ungemein rasch, verzögert sich jedoch während des Kolbenhubes, so daß sich die Wärmeentwicklung auf den ganzen, mindestens auf den größten Teil des Hubes erstreckt. Man nennt diese Erscheinung das „Nachbrennen“.

Das Nachbrennen ist dadurch erwiesen, daß einerseits der größte

Druck nach erfolgter Entzündung viel kleiner ist als jener Druck, welcher der vollständigen Verbrennung entsprechen würde, und andererseits der Verlauf der Expansionslinie auf eine beständige Wärmezufuhr während der Expansionsperiode schließen läßt.

Obwohl während der Expansion die Gase sehr viel Wärme durch Leitung seitens der wassergekühlten Cylinderwand verlieren (dieser Verlust beträgt durchschnittlich 40, in manchen Fällen sogar 50 Prozent der durch die Verbrennung entwickelten Wärme), fällt die Expansionslinie doch sehr wenig von der Adiabate ab und bleibt sogar in einzelnen Fällen über derselben. Dies beweist, daß der Verlust an Wärme durch Abkühlung der Gase der Zunahme an Wärme infolge des Nachbrennens mehr oder minder das Gleichgewicht hält.

Der Verbrennungsprozeß wird namentlich dann verzögert, wenn die explosible Mischung gasarm ist. Der größte Druck wird dann erst im weit vorgeschrittenen Kolbenhube erreicht und es ist denkbar, daß die von der Maschine ausgestoßenen Verbrennungsprodukte sogar noch unverbranntes Gemisch enthalten.

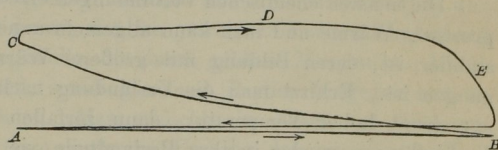


Fig. 275.

Fig. 275 zeigt das Diagramm einer Viertaktmaschine, welche mit sehr gasarmer Ladung gespeist, infolgedessen die Verbrennung außerordentlich verzögert wurde.

Der Prozeß der explosionsartigen Verbrennung wurde experimentell u. a. von dem englischen Ingenieur D. Clerk*) untersucht, welcher Mischungen aus Gas und Luft, sowie Mischungen aus Wasserstoff und Luft in geschlossenen Gefäßen zur Explosion brachte, die mit einem Apparate versehen waren, welcher die Zeitintervalle der Druckschwankungen anzeigte. Bei diesen Experimenten nahm der Druck nach erfolgter Explosion nur infolge des kühlenden Einflusses der umgebenden Wandungen ab. Nachdem die Temperatur vor der Entzündung bekannt war, konnte aus dem Druckdiagramm die höchste Temperatur, welche während der Verbrennung erreicht wurde, unter der Annahme, daß die spezifische Wärme der Gase unverändert blieb, berechnet und mit jener Temperatur verglichen werden, welche bei momentaner vollständiger Verbrennung erreicht worden wäre. Mischungen aus Gas und Luft im Verhältnisse 1:15 bis 1:5 wurden auf diese Weise untersucht; die höchste hierbei er-

*) Siehe D. Clerk, *The Gas- and Oil-Engine*, 6. Aufl., London 1896, sowie dessen Arbeiten „*On the Theory of the Gas-Engine*“ und „*On the Explosion of homogeneous gaseous Mixtures*“ in *Min. of Proc. Institution of C. Engineers* 1882 und 1886.

reichte Temperatur betrug gewöhnlich nur etwas mehr als die Hälfte jener Temperatur, welche der augenblicklichen vollkommenen Verbrennung entspricht.

Bei der besten Mischung von Leuchtgas und Luft im Verhältnisse 1 : 6 bis 1 : 7 erreichte der Druck seinen höchsten Wert $\frac{1}{20}$ Sekunde nach erfolgter Entzündung; die Temperatur betrug 1800° statt 3800° C, welche Temperatur bei momentaner vollständiger Wärmeentwicklung hätte erreicht werden müssen.

Bei der schwächsten Mischung wurde der höchste Druck ungefähr erst nach $\frac{1}{2}$ Sekunde erreicht; die Temperatur betrug hierbei 800° statt 1800° C. Nachdem sich in diesem Falle der kühlende Einfluß der Wandungen infolge der langen Zeitdauer der Verbrennung schon während derselben fühlbar machte, dient der Vergleich dieser Temperaturen nicht mehr als ein Mittel zur genaueren Beurteilung des Grades der Vollkommenheit der Verbrennung.

Die meisten chemischen Verbindungen erzeugen während ihres Bildungsprozesses Wärme und man kann allgemein annehmen, daß jene Verbindung stabiler ist, deren Bildung mit größerer Wärmeentwicklung vor sich gegangen ist. Erhitzt man die Verbindung nach ihrer Bildung bis zu entsprechend hoher Temperatur, dann zerfallen im allgemeinen chemische Verbindungen wieder in ihre Bestandteile, sie zersetzen sich und dadurch kann nicht jene Verbrennungstemperatur erzielt werden, die der Mischung theoretisch entsprechen würde. Viele Verbindungen, welche durch entsprechend hohe Erhitzung zersetzt wurden, lassen sich durch darauf folgende, noch so langsame Abkühlung nicht zurückbilden; doch gibt es wieder Gase, welche sich nach erfolgter Zerlegung in ihre Bestandteile durch langsame Abkühlung aus der Vereinigung dieser wieder bilden. Man nennt diesen Prozeß Dissociation.

Die Dissociation ist eine Erscheinung, welche wohl genügend erklärt, jedoch nicht genügend erforscht ist, um über die dabei auftretenden Temperaturgrenzen übereinstimmend verlässliche Resultate zu erhalten. Das für die Verwendung der Gase als Krafterzeugungsmittel wichtige Resultat steht jedoch fest, daß die Dissociation den Verbrennungstemperaturen Grenzen zieht und die Erzielung von sonst erreichbaren Temperaturen verhindert.

Durch die während des ersten Stadiums der Explosion auftretenden hohen Temperaturen wird die Vereinigung von Gas und Luft, falls sie nicht vorher bereits erfolgt ist, verhindert, andererseits wird die bereits erfolgte Verbindung wieder zerlegt, bis die Temperatur während der Expansion und unter dem kühlenden Einfluß der Wandungen so weit gesunken ist, daß der Prozeß der Vereinigung wieder vor sich gehen kann.

Die höchsten Temperaturen, welche in Gasmaschinen auftreten, sind hoch genug, um auf diesem Wege die Erscheinung des Nachbrennens beziehungsweise der verzögerten Verbrennung erklären zu können.

Andererseits tritt jedoch diese Erscheinung gerade bei gasarmen Mischungen besonders hervor, obwohl hier die Maximaltemperaturen verhältnismäßig niedrig sind und somit der Effekt der Dissociation entsprechend gering ist.

Es erscheint daher wahrscheinlich, daß die Dissociation allein nicht die Hauptursache der verzögerten Verbrennung sein kann, sondern daß dieselbe auch auf die fortschreitende Verunreinigung der brennbaren Mischung durch die bereits verbrannten Partien derselben zurückzuführen ist. Ist die Mischung bereits zu Beginn der Verbrennung stark verunreinigt, indem sich dieselbe z. B. mit den im Kompressionsraume zurückgebliebenen Verbrennungsrückständen mischt, dann vollzieht sich der Verbrennungsprozeß schon von Anfang an verzögert.

Otto legte seiner Zeit großes Gewicht auf eine Schichtung der Gase im Cylinder und zwar derart, daß die gasreichen Partien der Ladung sich in der Nähe der Zündungsstelle, die durch größere Mengen von Rückständen oder Luft verdünnten, somit gasarmen Partien hingegen sich in der Nähe des Kolbens befinden. Man erblickte in dieser von Otto angestrebten Schichtung der Gase auch die Ursache der verzögerten Verbrennung der Ladung. Clerks Experimente haben jedoch diese Ansicht widerlegt, indem die von ihm benützten Mischungen, trotzdem dieselben genügend Zeit fanden, sich zu einer homogenen Masse zu mengen, in einzelnen Fällen sehr verzögert explodierten. Bei schwachen Mischungen ist es zweifelsohne vorteilhaft, in der Nähe des Entzündungsortes eine etwas gasreichere Mischung zu bekommen, um die Entzündung der ganzen Ladung zu beschleunigen; es ist dies aber auch der einzige Vorteil einer Schichtung der Gase, selbst wenn sich dieselbe praktisch durchführen ließe. Es ist andererseits klar, daß bei der gewöhnlichen Arbeitsweise einer Gasmaschine von einer allgemeinen Schichtung nicht die Rede sein kann, da in Anbetracht der außerordentlichen Geschwindigkeit, mit welcher die Gase in den Cylinder einströmen und der dadurch hervorgerufenen heftigen Bewegung derselben jede schichtenweise Lagerung im Cylinder ausgeschlossen erscheint, außer man sorgt durch eigene Vorrichtungen dafür, daß den Gasen bei ihrem Eintritte in den Cylinder die kinetische Energie dadurch benommen wird, daß man sie gleichsam für kurze Zeit zur Ruhe bringt. Solche Vorrichtungen verwendet man auch bei Zweitaktmaschinen, um zu verhindern, daß sich die frische Ladung mit den Verbrennungsprodukten der vorhergegangenen Explosion, ehe dieselben ausgespült sind, mische.

Der Gasverbrauch ist in erster Linie von der Größe der Maschine und der Art der Regulierung derselben abhängig; es lassen sich daher keine allgemein zutreffenden Werte angeben; es kann jedoch im großen Durchschnitte als feststehend angenommen werden, daß kleinere Maschinen bis etwa 10 PS 0,7 bis 0,6 cbm, mittelgroße Maschinen 0,6 bis 0,5 cbm und große Maschinen mit Leistungen von 50 PS und darüber 0,5 bis 0,45 cbm Leuchtgas (von 5000 W.E. durchschnittlichem Heizeffekte pro cbm) pro effektive Pferdekraft und Stunde verbrauchen; man ist jedoch auch bei besonders sorgfältiger Ausführung auf 0,40 cbm, in einzelnen Fällen auch noch unter diese Verbrauchsziffer gekommen. Diese Werte beziehen sich selbstverständlich auf den Gasverbrauch der vollbelasteten Maschine. Bei abnehmender Leistung der Maschine steigt der Gasverbrauch pro Leistungseinheit um so mehr, je mehr sich die Leistung der Leergangsarbeit nähert. Diese Steigerung ist abhängig von der Größe und Güte des Motors.

Der mechanische Wirkungsgrad, d. i. das Verhältnis der effektiven zur indizierten Arbeit der Maschine, schwankt natürlich innerhalb weiter Grenzen.

Die heutigen Leuchtgasmaschinen arbeiten fast ausschließlich im Viertakt mit einseitig offenen Cylindern, direkter Kupplung des Kolbens mit der Kurbel; durch den Entfall der getrennten Geradföhrung, sowie jeder Stoffbüchsenreibung, ist die Reibungsarbeit ohnedies auf ein möglichstes Maß reduziert. Die Summe der Reibungsarbeit und der Widerstandsarbeit der drei Arbeit verzehrenden Kolbenhübe des Viertaktes ist jedoch immerhin so groß, daß der mechanische Wirkungsgrad der Gasmaschine, namentlich bei nur teilweiser Belastung derselben, hinter jenem einer gleich leistungsfähigen Dampfmaschine, gute Ausführung in beiden Fällen vorausgesetzt, zurückbleibt.

Im Durchschnitte kann der mechanische Wirkungsgrad der normal belasteten Maschine mit 0,80 bis 0,82 angenommen werden und bleibt ziemlich konstant, wenn die Maschine um ungefähr 10 Prozent mehr oder weniger belastet wird. Bei einer Belastungsabnahme um 20, 40 und 60 Prozent nimmt der mechanische Wirkungsgrad größerer Maschinen durchschnittlich um 4, beziehungsweise 8 und 20 Prozent ab; bei kleineren Maschinen fällt er noch rascher ab, sobald die halbe Belastung derselben unterschritten wird.

Aus dem Gasverbrauche pro effektive PS-Stunde und dem mechanischen Wirkungsgrade ergibt sich der Gas- beziehungsweise Wärmeverbrauch pro indizierte PS-Stunde; derselbe beträgt unter obigen Voraussetzungen je nach der Größe der Maschine 2800 bis 2400, beziehungsweise 2400 bis 2000 und 2000 bis 1800 Wärmeeinheiten. Daraus resultiert ein thermischer Wirkungsgrad der Leuchtgasmaschine von 0,22 bis 0,35

und in Berücksichtigung des mechanischen Wirkungsgrades ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad (d. i. das Verhältnis des Wärmewertes der effektiv erzeugten Arbeit zum Wärmewerte des hierzu verbrannten Brennstoffes) von 0,18 bis 0,28.

Vergleicht man die Ziffern mit jenen, welche an früherer Stelle (V. Abschnitt) für den wirtschaftlichen Wirkungsgrad der Dampfmaschine aufgestellt wurden, so erkennt man die außerordentliche Überlegenheit der Gasmaschine in wärmeökonomischer Hinsicht. Diese Überlegenheit ist einerseits durch das große Temperaturgefälle, andererseits durch den gänzlichen Entfall jeder äußeren Verbrennung und die verhältnismäßig hohe mittlere Temperatur der Arbeitssubstanz, bei welcher dieselbe durch ihre eigene Verbrennung Wärme aufnimmt, begründet.

Trotz dieser verhältnismäßig hohen Vollkommenheit der Gasmaschine gehen doch immerhin noch 72 bis 82 Prozent des dem Brennstoffe inwohnenden Arbeitsvermögens wirtschaftlich verloren, ein Resultat, welches allerdings im Vergleiche mit der Dampfmaschine als günstig zu bezeichnen, in Wirklichkeit jedoch sehr beklagenswert ist.

Forscht man nach den Ursachen, welche diese enormen Verluste an Wärme herbeiführen und welche zur Folge haben, daß in unseren heutigen Gasmaschinen im günstigsten Falle viermal so viel Gas verbraucht wird, als theoretisch erforderlich wäre*), so findet man, daß abzüglich jener Wärme, welche für die Leergangsarbeit der belasteten Maschine erforderlich ist, der größte Teil in das Kühlwasser übergeführt, sowie mit den Abgasen abgeführt wird. Die Größe dieser Einzelverluste kann nur fallweise genau ermittelt werden und liegen derartige, bekannt gewordene Versuchsergebnisse in größerer Anzahl vor. Als roher Durchschnittswert kann der Wärmeverlust durch die in das Kühlwasser übergeführte Wärme mit 40 bis 45 Prozent, jener durch die mit den Abgasen abgeführten Wärme mit 30 bis 35 Prozent angenommen werden.

Der Verlust durch die in das Kühlwasser übergeführte Wärme ist einer der größten Mängel der Gasmaschine in ihrer heutigen Entwicklung. Die Wasserkühlung ist unbedingt notwendig, so lange Arbeitscyliner und Verbrennungsraum vereint sind; wäre eine Trennung derselben praktisch durchführbar, indem z. B. durch Einschaltung eines Luftpolsters die heißen Produkte der Verbrennung gehindert werden, die arbeitenden Oberflächen

*) Eine Stundenpferdekraft ist gleich 270 000 mkg; die zur Erzeugung derselben erforderliche Wärmemenge = $\frac{270\ 000}{427} = 632,3$ W.E. Nimmt man nun an, daß bei vollständiger Verbrennung 1 cbm Leuchtgas 5000, 1 cbm Mischgas 1100 bis 1300 und 1 cbm Gichtgas 750 bis 950 W.E. entwickelt, so ist theoretisch für die Stundenpferdekraft eine Gasmenge erforderlich von 0,126 cbm Leuchtgas, 0,575 bis 0,486 cbm Mischgas und 0,840 bis 0,665 cbm Gichtgas.

zu erreichen, dann könnte dieser Verlust vermindert, möglicherweise vermieden werden.

Sehr bedeutend sind ferner die Arbeitsverluste infolge der mit den Abgasen abgeführten Wärme.

Eine teilweise aber wirksame Abhilfe könnte durch Ausdehnung der Expansion, wie solche z. B. von Atkinson in seiner „Cycle“-Maschine durchgeführt wurde, geschaffen werden; bessere Resultate wären jedoch durch Anwendung eines Regenerators (siehe Abschnitt II) zu erzielen; obgleich mehrfache Versuche in dieser Richtung gemacht wurden, so ist doch die Regenerativgasmaschine ein heute noch ungelöstes Problem.

Aus dem vorstehenden geht wohl klar hervor, daß für die heutige Gasmaschine hinsichtlich Verbesserung des Wirkungsgrades noch ein sehr weites Feld offen steht, denn der wirklich erreichte Wirkungsgrad bleibt hinter dem theoretisch erreichbaren viel weiter zurück, als dies bei der älteren Wärmekraftmaschine, der Dampfmaschine, der Fall ist. Bei Bestimmung des idealen Maximalwertes kann als untere Temperaturgrenze die Temperatur der atmosphärischen Luft (17° C) und als obere Grenze 1600° C angenommen werden, welche Temperatur bei Verbrennung des Leuchtgases unter den in Gasmaschinen stattfindenden Verhältnissen nach übereinstimmenden Messungen erreicht wird. Wenn die gesamte Wärme bei dieser Temperatur aufgenommen würde, gäbe die Formel

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

das Maß dieses idealen Wirkungsgrades, welches unter der weiteren Voraussetzung, daß keine Abkühlungsverluste eintreten und der Kreisprozeß unter Anwendung eines Regenerators durchaus umkehrbar sei, erreicht werden könnte.

Für obige Temperaturen, also $T_2 = 290^\circ$ und $T_1 = 1873^\circ$ absolut, wird

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 0,84.$$

Dieser ideale Wirkungsgrad würde jedoch einem Arbeitsprozesse entsprechen, bei welchem Gas und Luft vor Beginn der Verbrennung, sei es durch Kompression oder durch Benützung eines Regenerators, auf die höchste Temperatur des Prozesses gebracht wurden und während der Verbrennung jede Abkühlung ausgeschlossen ist. Dieser Prozeß würde somit eine Arbeitsweise voraussetzen, welche von jener der heutigen Gasmaschine vollkommen verschieden wäre, weil bei allen derzeit bestehenden Gasmaschinen die Wärmezufuhr von einer entsprechenden Temperaturerhöhung begleitet ist.

Um daher der Wirklichkeit näher zu kommen, sei jener Kreisprozeß als Basis für den idealen Wirkungsgrad einer Gasmaschine vorausgesetzt,

bei welchem die Verbrennung zwischen zwei bestimmten Temperaturen, einer niedrigeren Anfangs- und einer höheren Endtemperatur, stattfindet und der Arbeitsprozeß in jeder anderen Hinsicht umkehrbar sei. Sei daher T_0 die Temperatur, bis zu welcher die Gase vor ihrer Entzündung erhitzt wurden, T_1 die höchste Temperatur, bei welcher die Verbrennung beendet ist und T_2 die untere Temperaturgrenze des Prozesses, dann ist nach früher die größte Arbeit, welche die Gewichts- und Volumeinheit der Arbeitssubstanz zu leisten vermag,

$$W = \int_{T_0}^{T_1} \frac{T_1 dH}{T} (T - T_2) = \sigma \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} (T - T_2),$$

worin H die totale zugeführte Wärme, σ die spezifische Wärme bedeutet und vorausgesetzt wird, daß die spezifische Wärme während der Verbrennung ungeändert bleibt. Daraus folgt

$$W = \sigma (T_1 - T_0) - \sigma T_2 \log \frac{T_1}{T_0},$$

und der Wirkungsgrad

$$\frac{W}{\sigma (T_1 - T_0)} = 1 - \frac{T_2}{T_1 - T_0} \log \frac{T_1}{T_0}.$$

Setzt man hierin wie oben $T_1 = 1873$, $T_2 = 290$ und nimmt man $T_0 = 600$ an, dann ergibt sich der ideale Wirkungsgrad mit rund 0,72.

Das beste bis heute erreichte Resultat zeigt, daß bei unseren modernen Gasmaschinen im günstigsten Falle ungefähr die Hälfte, zumeist jedoch nur ein Drittel dieses Wertes erreicht wird.

Das Generator- oder Mischgas. Wie bereits an früherer Stelle erwähnt, war das Bestreben der Gasmaschinenfabriken dahin gerichtet, die Gasmaschine durch Einführung eines wesentlich billigeren Kraftgases einerseits von den städtischen Gaswerken unabhängig, andererseits infolge der Verminderung der Betriebskosten, namentlich für größere Leistungen, konkurrenzfähig zu gestalten.

Das Generatorgas entsteht beim Durchströmen atmosphärischer Luft durch glühende Kohlen. Der sich hierbei vollziehende chemische Prozeß besteht in der Oxydation des Kohlenstoffes durch den Sauerstoff der Luft zu Kohlenoxyd, wobei der Stickstoff der Luft frei wird und neben dem Kohlenoxyd in dem Generatorgas enthalten ist. Dasselbe ist daher theoretisch ein Mischgas aus Kohlenoxyd und Stickstoff. In Wirklichkeit enthält dasselbe je nach der Herstellung auch noch gewisse Mengen von Kohlensäure, Wasserstoff und Methan.

Der Heizwert des Generatorgases hängt natürlich von der chemischen Zusammensetzung desselben, namentlich von dem Gehalte an

Wasserstoff beziehungsweise Kohlenoxyd ab, liegt jedoch zumeist für die hier in Betracht kommenden Gase zwischen 1100 bis 1300 W.E. pro cbm.

Das Gewicht eines cbm beträgt durchschnittlich 1,1 bis 1,2 kg (bezogen auf 0° und 760 mm).

Wie bereits erwähnt, gebührt Dowson das Verdienst, die Frage der Erzeugung eines billigeren Kraftgases in allgemein zufriedenstellender Weise gelöst zu haben; das mit dem Dowsonschen Generator erzeugte Halbwasser- oder Mischgas wird daher auch nach ihm zumeist Dowsongas genannt. Das Dowsongas wird durch Überleiten von Luft und Wasserdampf über glühende Kohlen erzeugt und besteht aus einem Gemisch von Wasserstoff, Kohlenoxyd, Stickstoff, etwas Kohlensäure und Sumpfgas, dessen durchschnittliche Zusammensetzung wie folgt angenommen werden kann:

Wasserstoff H	18	Volumteile
Kohlenoxyd CO	25	„
Stickstoff N	48	„
Kohlensäure CO ₂	7	„
Sumpfgas CH ₄	2	„
	<hr/>	
	100	Volumteile.

Die Zusammensetzung wird durch den Gang der Erzeugung, sowie durch den Umstand mehr oder minder beeinflusst, ob zur Erzeugung des Gases Anthrazit oder Koks allein, oder eine Mischung beider Brennstoffe verwendet wird; es kommen daher wesentliche Schwankungen namentlich hinsichtlich des Gehaltes an Wasserstoff und Kohlenoxyd vor, während der Gehalt an Stickstoff ziemlich konstant bleibt. Außer obigen Gasen kommen auch ab und zu im Dowsongase kleine Mengen (Bruchteile eines Prozentes) von O und C₂H₄ vor.

In der Gasmotorenpraxis wird zumeist vorausgesetzt, daß ein Mischgas, dessen Wasserstoffgehalt größer ist wie jener an Kohlenoxyd, einen entsprechend höheren Heizwert besitze; dem ist aber nicht so. Wasserstoff entwickelt bei seiner Verbrennung pro Gewichtseinheit allerdings eine viel größere Wärme als irgend eine andere brennbare Substanz; dem Volumen nach entwickelt jedoch Kohlenoxydgas sogar etwas mehr Wärme als Wasserstoff.

Wasserstoff entwickelt bei der Verbrennung pro Gewichtseinheit bekanntlich 34170 W.E.; hiervon kommt jedoch jene Wärme in Abzug, welche bei der Verbrennung des Wasserstoffes zur Dampfbildung verzehrt wird; diese Wärmemenge beträgt pro Gewichtseinheit verbrannten Wasserstoffes 5733 W.E., sodaß der wirkliche Heizwert des Wasserstoffes mit 28437 W.E. angenommen werden muß.

28437 W.E. ist somit die durch Verbrennung von Wasserstoff für Zwecke der Gasmaschine verfügbare Wärme.

Eine Gewichtseinheit Kohlenoxyd entwickelt bei ihrer Verbrennung 2400 W.E.; da nun eine Volumseinheit Kohlenoxyd 14 mal so viel wiegt als eine Volumseinheit Wasserstoff, so ist diese Gewichts-differenz maßgebend für den Vergleich der pro Volumseinheit Wasserstoff und Kohlenoxyd entwickelten Wärme. Die Wärmewerte verhalten sich daher wie $14 \times 2400 = 33600$ zu 28437; es entwickelt somit die Volumseinheit Kohlenoxyd 1,18 mal so viel Wärme bei der Verbrennung als Wasserstoff. Der Heizwert dieser beiden Gase kann daher bei Bestimmung des Heizwertes eines Kraftgases als nahezu gleich groß angenommen werden und es ist daher die Summe der Volumen dieser beiden Gase, nicht aber das Einzelvolumen derselben für den Heizwert eines Gases ausschlaggebend.

Wenn daher auch das Dowsongas eine verschiedenartige Zusammensetzung besitzt, z. B. 18,2 Volumteile CO bei 26,55 Volumteilen H, oder 25,07 Volumteilen CO bei 18,73 Volumteilen H etc., so ist doch das summarische Volumen dieser beiden brennbaren Gase nahezu gleich groß und beträgt 44,75 bzw. 43,60 Prozent des Gesamtvolumens. Das prozentuelle Verhältnis dieses Volumens zweier verschiedener Gase gibt zugleich angenähert das Verhältnis des Heizwertes derselben.

Der Wirkungsgrad des Gasgenerators wird gewöhnlich mit 75 Prozent angenommen, d. h. das mit demselben erzeugte Kraftgas gibt bei seiner Verbrennung 75 Prozent jener Wärmemenge, welche das hierzu verbrauchte Originalbrennmateriale bei vollständiger Verbrennung entwickelt hätte. Der Brennstoff wird im Generator bis auf den Aschengehalt in Gas verwandelt, die Ausnützung desselben ist daher sehr günstig und wird der Wirkungsgrad von einzelnen Firmen sogar mit 80 bis 82 Prozent angegeben. Würde die Analyse des Gases genau jene Zusammensetzung desselben ergeben, welche das Gas bei seinem Austritte aus dem eigentlichen Generator besitzt, dann könnte der Wirkungsgrad durch eine Analyse auch genau bestimmt werden; da das Gas auf seinem Wege vom Erzeuger zum Gasbehälter jedoch den Scrubber und Kühler passieren muß und hierbei Kohlensäure und Wasserdampf verliert, so ist es unmöglich, den Wirkungsgrad der Anlage aus der Analyse des Gases mit voller Genauigkeit zu bestimmen.

Das Dowsongas brennt mit nicht leuchtender blauer Farbe, ohne jeden Rauch oder belästigenden Geruch. Das aus Koks hergestellte Gas ist nahezu geruchlos, während das aus Anthrazit erzeugte Gas infolge des nie fehlenden Schwefeleisengehaltes der Anthrazite einen deutlichen Geruch besitzt. Das Gas ist infolge des großen Gehaltes an Kohlenoxyd in hohem Maße giftig; da es hierbei farb- und nahezu geruchlos ist, so ist die Ge-

fahr einer Vergiftung in weit höherem Grade vorhanden als bei dem sich durch seinen penetranten Geruch verratenden Leuchtgas. Man hat daher empfohlen und auch Versuche gemacht, dem Gase künstlich einen leicht erkennbaren Geruch zu geben.

Dowsongas der gewöhnlichen Zusammensetzung erfordert zu seiner vollständigen Verbrennung durchschnittlich 0,24 cbm Sauerstoff oder 1,13 cbm atmosphärische Luft pro cbm Gas, d. h. mit anderen Worten, das Dowsongas benötigt zu seiner Verbrennung etwas mehr als sein eigenes Volumen Luft.

Bei der großen Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung städtischer Leuchtgase ist auch die zur vollständigen Verbrennung derselben erforderliche Luftmenge sehr verschieden und liegt zwischen dem 5,2- bis 7,4-fachen Volumen des Gases. Da der Heizwert des Generatorgases (Dowsongas) 1100 bis 1300 W.E., jener des Leuchtgases durchschnittlich 5000 W.E. pro cbm beträgt, also die Volumeneinheit Leuchtgas 4 bis $4\frac{1}{2}$ mal soviel Wärme bei der Verbrennung entwickelt als Dowsongas, so wird auch für dieselbe Leistung ungefähr 4 bis $4\frac{1}{2}$ mal soviel Generatorgas benötigt. Die an früherer Stelle besprochene doppeltwirkende Zweitaktmaschine von Körting verbrauchte anlässlich der Versuche loco Fabrik bei einer Leistung von 544 PS_e bzw. 341,5 PS_e 1,635 cbm Generatorgas (von im Mittel 1200 W.E. pro cbm) pro indizierte bzw. 2,60 cbm pro effektive Pferdekraftstunde; bei nur halber Belastung stieg der Verbrauch auf 3,15 cbm pro PS_e-Stunde. Der thermische Wirkungsgrad betrug somit 0,379, der wirtschaftliche Wirkungsgrad 0,238.

Da man mit 1 kg reinen Brennstoffes (trockene Anthrazitkohle oder Koks) von mindestens 7500 bzw. 7000 W.E. zumeist 5,2 bis 4,5 cbm Gas erzeugt, die Maschinen durchschnittlich 2,2 bis 2,8 cbm Generatorgas pro PS_e-Stunde verbrauchen, so ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauch an Anthrazit bzw. Koks pro effektive Pferdekraftstunde von 0,4 bis 0,6 bzw. 0,6 bis 0,8 kg. Es sind dies selbstverständlich nur Mittelwerte, da genaue Werte auch eine genaue Kenntnis des Heizwertes des verwendeten Gases, der Größe und Eigenart der Maschine erfordern. So garantiert z. B. die Motorenfabrik Gebrüder Körting bereits bei Maschinen von etwa 40 PS aufwärts einen Verbrauch von 0,7 kg Koks pro PS_e-Stunde, erreicht jedoch unter normalen Betriebsverhältnissen eine noch wesentlich geringere Verbrauchsziffer von 0,45 bis 0,5 kg. Die Skodawerke in Pilsen sowie die Vereinigte Maschinenfabrik Nürnberg-Augsburg geben den Verbrauch an Koks ihrer Generatorgasmaschinen mit 0,5 bis 0,6 kg, jenen an Anthrazit mit 0,4 bis 0,5 kg pro PS_e-Stunde an. Die Filiale der Deutzer Gasmotorenfabrik Langen & Wolf in Wien garantieren bei ihren Maschinen mit Sauggasgeneratoren pro PS_e-Stunde 1 kg Koks oder 0,6 kg Anthrazit u. s. f.

Diese äußerst günstigen Brennstoffverbrauchsfiguren sind einerseits eine Folge der heutigen hochvollendeten Konstruktion der Gasmaschine und deren Regulierung im allgemeinen, andererseits sind sie in dem Umstande begründet, daß man namentlich bei wasserstoffärmeren Halbwassergasen und verstärkter Kühlung des Verbrennungsraumes mit der Kompression ohne Gefahr der Vorzündung höher hinaufgehen kann als bei Leuchtgas (siehe z. B. die Diagramme Fig. 257 und 258) und daß infolge der geringeren Verbrennungstemperatur auch ein geringerer Teil der Wärme in das Kühlwasser übergeführt wird. Bei einem Vergleiche hinsichtlich des thermischen Wirkungsgrades mit der Leuchtgasmaschine darf eben nicht übersehen werden, daß in obigen Verbrauchsziffern festen Brennstoffes auch der 25-prozentige Verlust an Wärme durch den Generator, dessen Wirkungsgrad jenem einer guten Kesselanlage gleichkommt, enthalten ist, während sich die Verbrauchsziffern an Leuchtgas auf die dem Arbeitscylinder direkt zugeführte Wärmemenge beziehen. Der thermische Wirkungsgrad der Generatorgasmaschine als solcher ist daher trotz des bedeutend wärmeärmeren Gases zumeist größer als jener der Leuchtgasmaschine gleicher Leistungsfähigkeit.

Vergleicht man vorstehende Verbrauchsziffern an festen Brennstoffen mit jenen gleich leistungsfähiger Dampfmaschinen (man kann im allgemeinen annehmen, daß mittelgroße Dampfmaschinen zweimal, kleinere Maschinen drei- bis viermal soviel Brennstoff gleicher Qualität benötigen als Gasmaschinen gleicher Leistungsfähigkeit), so erkennt man sofort die bedeutende Überlegenheit der Generatorgasmaschine hinsichtlich der Ökonomie des Betriebes; berücksichtigt man außerdem, daß eine größere Kesselanlage mehr und teurere Bedienung erfordert als eine Generatoranlage gleicher maschineller Leistung, so ist wohl klar, daß heutigen Tages namentlich für mittlere Leistungen zwischen 20 und 100 PS, in vielen Fällen auch für wesentlich größere Leistungen, die Gasmaschine der Dampfmaschine vorgezogen wird.

Was nun die Apparate zur Erzeugung des Generatorgases betrifft, so besteht heute bereits eine Reihe von verschiedenartigen Konstruktionen. Infolge der großen Konkurrenz strebt natürlich jedermann darnach, die Kraftgasanlage möglichst einfach und billig herzustellen und es werden daher die Apparate auch zumeist nur so groß als unbedingt nötig genommen, ja es kommt sogar nicht selten vor, daß Apparate geliefert werden, welche jenen Funktionen, welche sie ihrer Bezeichnung nach erfüllen sollten, nicht genügen.

Eine andere Klage, die man häufig hört, ist die, daß die Gase nicht genügend gereinigt der Maschine zugeführt werden, also die Reinigungs-

vorrichtungen vielfach unzureichend sind, daher die Rohrleitungen und Maschinen stark verschmutzt werden und einer häufigen Reinigung bedürfen. Der Schmutz setzt sich aber nicht nur in den Ventilen fest und verhindert dadurch den guten Gang der Maschine, sondern er gelangt auch in den Cylinder, verursacht eine schnellere Abnutzung der Laufflächen und damit Undichtheit der Kolben, Belästigung und Schädigung der Bedienungsmannschaft; gleichzeitig sinkt damit aber auch die Ökonomie des Betriebes entsprechend den Gasverlusten.

Es empfiehlt sich daher, bei der Anlage eines Gasgenerators nicht den Kostenpreis, sondern die Güte desselben in erster Linie in Betracht zu ziehen.

Die Gasgeneratorapparate lassen sich im allgemeinen in zwei Gruppen teilen: in solche, welche mit Überdruck und in solche, welche mit Unterdruck arbeiten; erstere führen das Gas der Maschine unter Druck zu, bei letzteren saugt die Maschine das Gas aus dem Generator. Man nennt daher die Apparate der ersteren Art **Druckgeneratoren**, jene der zweiten Art **Sauggeneratoren**.

Der bekannteste und verbreitetste Druckgenerator ist jener von Dowson; die allgemeine Anordnung dieses Apparates ist durch Fig. 276 dargestellt.

Der **Dowsongasapparat** besteht der Hauptsache nach aus einem kleinen Dampfkessel zur Erzeugung überhitzten Wasserdampfes, einem mit feuerfesten Steinen ausgefütterten cylindrischen Schachtofen (dem eigentlichen Generator), in welchen ein Dampfstrahlgebläse Luft mit Dampf gemischt bläst; der sogenannten Hydraulik oder Vorlage, d. i. ein Wasserabschluß des Gasableitungsrohres; einem mit Koks gefüllten Reiniger, in welchem dem von unten eintretenden und nach oben abziehenden Gase rieselndes Wasser entgegenströmt (dem sogenannten Scrubber) und einem Gasometer mit schmiedeeisernem Bassin, welcher mit dem Dampfstrahlgebläse derart in Verbindung steht, daß er die Dampfzuführung zu diesem insofern regelt, daß sich Gaserzeugung und Gasentnahme das Gleichgewicht halten.

Der Dampfkessel kann mit jedem Brennmaterial beschildet werden, doch eignet sich Gaskoks hierzu am besten. Die zum Betriebe erforderliche Dampfspannung beträgt $2\frac{1}{2}$ bis 3 Atm. bei kleineren Apparaten und 3 bis $3\frac{1}{2}$ Atm. für größere Apparate bzw. Betriebe über etwa 20 PS. Der Dampf wird auf 180 bis 200° C, am Injektor gemessen, überhitzt. Der Kessel benötigt bei genügenden Abmessungen im Dauerbetriebe ungefähr 9—10% der gesammten Brennstoffmenge. Man kann, wie dies zum Beispiel bei den von Gebr. Körting gebauten Generatoren der Fall ist, die Wärme des abziehenden Gases zur Vorwärmung der Verbrennungsluft ausnützen, wodurch der Wärmeverlust durch den Dampfkessel durch

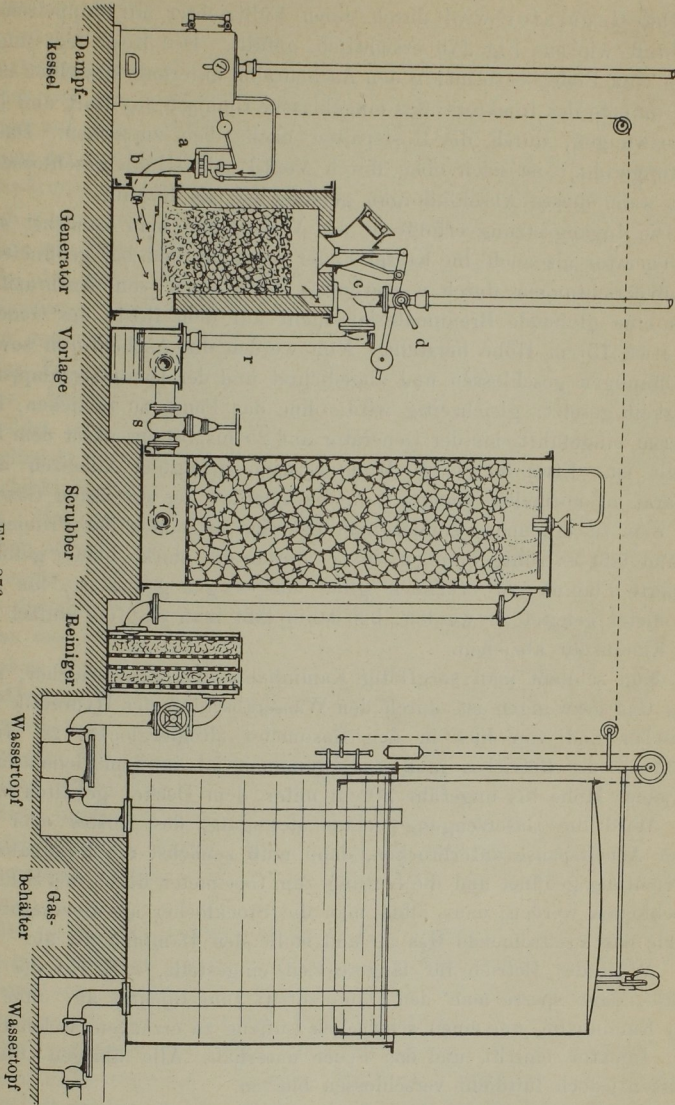


Fig. 276.

Wiedergewinnung der Wärme in der Verbrennungsluft ausgeglichen wird, so daß in bezug auf Brennstoffausnützung die Druckgasanlage der Sauggasanlage gegenüber nicht im Nachteile ist.

Der Generator wird durch einen Fülltrichter mit doppeltem Gasverschluß, wie aus Fig. 276 ersichtlich, gefüllt. Der Rost liegt ungefähr 30 cm vom Boden entfernt; in den Aschenraum unterhalb desselben mündet die Trompete des Injektors; das eingeblasene Gemisch aus Luft und Dampf ist gezwungen, durch die Rostspalten nach oben zu ziehen. Das Gasableitungsrohr *c* ist nach oben durch Ventil oder Hahn geschlossen und dient, wenn dieses Abschlußorgan geöffnet ist, als Kamin.

Die Ingangsetzung erfolgt in der Weise, daß man zunächst sowohl im Generator als auch im Kessel Feuer anmacht und bei geöffneten Abschlußvorrichtungen durch wiederholtes Aufbringen von Anthrazit oder Koks eine glühende Brennmaterialschicht auf dem Roste des Generators von etwa 15 cm Höhe herstellt. Nun werden die Aschentüren sowie die Füllöffnungen geschlossen und abgedichtet und der Dampfstrahlapparat in Tätigkeit gesetzt; gleichzeitig wird, ohne das Feuer zu ersticken, Brennmaterial eingeführt, bis der Generator auf 25 bis 30 cm unter dem Deckel gefüllt ist. Etwa 30 bis 40 Minuten nach erfolgtem Anheizen ist der Apparat in normalem Gange, d. h. die Qualität des erzeugten Gases gut. Um dies zu erkennen, zündet man das Gas an einem der Probierlöcher an und läßt es ruhig brennen, bis es durch die starke blaue, gelblichrot tingierte Flamme zu erkennen gibt, daß es gut genug ist, um in den Gasometer geleitet zu werden; bis dahin läßt man das Gas einfach durch das Kaminrohr abziehen.

Nun schließt man sorgfältig Kaminhahn und Probierlöcher, so daß alles Gas gezwungen ist, durch den Wasserabschluß der Hydraulik in den Scrubber und von hier in den Gasometer (Reglerglocke) zu strömen. Während des Betriebes muß das Brennmaterial in dem Generator stets auf einer Höhe bis ungefähr 20 cm unter dem Deckel gehalten werden.

Wird die Gaserzeugung behufs Reinigung des Rostes oder wegen einer Arbeitspause unterbrochen, dann muß zunächst die Kaminabschlußvorrichtung geöffnet und die Leitung zum Gasometer durch den Schieber *S* geschlossen werden; dann öffne man die Stocklöcher am Generatordeckel, zünde das ausströmende Gas an und stelle den Dampfzutritt ab.

Wird der Betrieb für längere Zeit eingestellt, z. B. für die Nachtpause, dann sperre man den Dampfzutritt zum Injektor ab, öffne etwas den Kaminhahn, um einen schwachen Luftzug zu erzeugen, welcher durch den Injektor eintritt und das Feuer unterhält. Alle übrigen Öffnungen müssen jedoch luftdicht verschlossen bleiben.

Der Generator kann, je nach dem Aschengehalte des Brennmaterials, 6 bis 14 Tage ununterbrochen betrieben werden, bevor man das Feuer auszuziehen braucht, um die sich im Generatorschacht angesetzte Schlacke entfernen zu können.

Das Gas verläßt den Generator am oberen Ende mit einer Temperatur von 500—700° C; es liegt daher nahe, diese Wärme, welche bei älteren Generatoren unbenutzt wegging, noch nutzbringend zu verwerten, weil das Gas ja ohnehin abgekühlt werden muß. Gebr. Körting leiten die Gase auf ihrem Wege zum Reiniger durch einen Vorwärmer zur Erwärmung der zur Vergasung dienenden Luftmenge und durch einen zweiten zur Erwärmung des Kesselspeisewassers. Die vorhandene Gaswärme wird dadurch wieder nutzbar gemacht und es entstehen daher wesentliche Ersparnisse an Brennstoff.

Bei den später besprochenen Sauggeneratoren wird die Wärme der den Generator verlassenden Gase zur Heizung des Kessels ausgenützt, welcher somit zwischen Generator und Reiniger eingeschaltet ist.

Zur Reinigung des Gases dienen Koksscrubber und Sägespäne-reiniger. Der Scrubber, dessen unterer Teil als Vorlage oder Vorwascher ausgebildet sein kann, wodurch die getrennte Vorlage erspart wird, ist ein cylindrisches Gefäß aus Blech, in welchem auf einem Roste eine Koksschicht liegt; diese wird berieselt, während von unten das Gas einströmt. Bei ganz reinem Anthrazit genügt die Reinigung durch diesen Scrubber allein. Hinter demselben befindet sich gewöhnlich ein Sägespäne-reiniger. Dieser ist aus Eisenblech hergestellt, ca. 1 m hoch; im Innern desselben sind auf Holzgittern Sägespäne ausgebreitet, durch welche das Gas von unten nach oben strömt. Etwa alle vier Wochen sind die Sägespäne zu ersetzen. Die Reiniger sind aus diesem Grunde mit einer Umlaufleitung versehen, sodaß während der Reinigung der Betrieb nicht unterbrochen zu werden braucht. Die Reinigung ist somit nur eine mechanische von Staub, Flugasche etc.; eine chemische Reinigung, wie bei Leuchtgas erforderlich, ist hier nicht notwendig, da das aus Anthrazit oder Koks hergestellte Gas teerfrei ist und nur sehr geringe Mengen von Schwefelwasserstoff besitzt, die größtenteils von dem Reinigungswasser aufgenommen werden. Das Gas kann daher auch sofort verwendet werden.

Der im Scrubber enthaltene Koks muß je nach der Art des Betriebes alle 6 bis 12 Monate gereinigt werden. Vor Öffnung des Scrubbers muß das Feuer aus dem Generatorschacht gezogen und ausgelöscht, sowie die Verbindung mit dem Gasometer abgesperrt werden.

Das gereinigte Gas wird dem Gasometer beziehungsweise der Reglerglocke zugeführt. Dieselbe taucht in Wasser, das sich in einem Unterbehälter befindet. Die Glocke wird durch das einströmende Gas gehoben. Durch Belastung oder Entlastung derselben wird der Gasdruck geregelt. Die Größe ist so bemessen, daß sie den zeitweilig sinkenden oder steigenden Gasverbrauch ausgleicht; ein Aufsichern von Gas ist

nicht beabsichtigt und auch nicht empfehlenswert, sofern nicht andere technische Zwecke nebenbei erreicht werden sollen. Das Auf- und Absteigen der Reglerglocke wird zur Regelung der Gaserzeugung benutzt, indem mittels Kettenzügen ein Drosselventil in der Dampfleitung zum Gebläse geöffnet oder geschlossen wird.

Eine der Hauptannehmlichkeiten der Druckgasgeneratoren ist der Umstand, daß der Prozeß ununterbrochen fortläuft und nur einer geringen und nicht besonders geschulten Wartung bedarf. Als ein Nachteil derselben wird der Umstand angesehen, daß die ganze Anlage unter Druck steht, also auch der Dampfkessel höher gespannten Dampf erzeugen, daher eigens gefeuert werden muß, während bei den Sauggasgeneratoren, welche unter Minusdruck stehend stets soviel Gas erzeugen, als bei jedem Arbeitssaughub von der Maschine gefordert wird, der Kessel durch die vom Generator abgesaugten heißen Gase selbst geheizt werden kann.

Nachdem der Gasometer bei einer Sauggeneratoranlage entfällt, auch der Dampfkessel leichter gebaut sein kann, so wird die Anlage einfacher, somit billiger und beansprucht auch weniger Raum. Der Betrieb wird jedoch infolge der unvermeidlichen Druckschwankungen und Schwankungen in der Zusammensetzung des Gases weniger gleichmäßig sein als der Betrieb durch Druckgeneratoren, andererseits sind Undichtheiten der Apparate viel nachteiliger und gefährlicher, da durch dieselben Luft in den Apparat gesaugt wird.

Die Sauggeneratoren werden meist nur für kleinere Leistungen bis etwa 50 PS mit Vorteil benützt werden können; für größere Leistungen spielt der etwas geringere Anschaffungspreis, sowie die Raumfrage keine so ausschlaggebende Rolle wie bei kleinen Anlagen, die meist auch mit Raummangel zu kämpfen haben. Die Sauggeneratoren sind ja tatsächlich aus dem Bestreben entstanden, die unbestrittenen Vorteile des Generatorgasbetriebes dem Gewerbetreibenden und Kleinindustriellen zugute kommen zu lassen.

Der im vorstehenden beschriebene Dowsongasapparat zeigt in seiner vollständigen Gliederung die Einrichtung solcher Apparate im allgemeinen; in baulicher Beziehung findet man jedoch wesentliche Vereinfachungen, welche einerseits eine mögliche Herabminderung aller Wärmeverluste, also eine noch weitergehende Ausnützung des Brennstoffes, andererseits eine Reduktion des Preises und Raumbedürfnisses des Gaserzeugers bezwecken. Eine derartige Vereinfachung des Dowsonapparates besteht z. B. darin, daß Scrubber und Gasometer vereint sind, indem der Scrubber direkt im Unterbehälter des Gasometers steht, die aus demselben aufsteigenden gereinigten Gase daher direkt die Reglerglocke füllen. Diese

Anordnung entbehrt des Sägespäanreinigers, ist daher nur für sehr reines Brennmaterial brauchbar*).

Die Sauggasgeneratoren sind ein Fortschritt auf dem Gebiete des Wärmemotorenbaues, welcher der jüngsten Zeit angehört.

Die Idee, das Gas durch den Gasmotor selber zu erzeugen, beziehungsweise die Luft durch den Generator zu saugen, ist nicht mehr neu, indem bereits im Jahre 1895 ein diesbezügliches Patent bestand. Dieses Patent hat den interessierten Firmen Veranlassung zu eingehenden Versuchen gegeben, die jedoch alle ein negatives Resultat ergaben, und dies mag wohl auch die Veranlassung gewesen sein, das Patent fallen zu lassen. Die Gasmotorenfabriken waren infolge dieser Versuche der Ansicht, daß derartige Sauggasgeneratoren nicht vorteilhaft und mit der wünschenswerten Sicherheit wirken. Seit jener Zeit sind jedoch die Mängel, welche den ersten Apparaten anhafteten, durch rationellere Konstruktion der Einzelheiten derselben behoben, sodaß derartige Anlagen heute bereits vielfach in Betrieb stehen und zufriedenstellend funktionieren. Eine Reihe solcher Apparate französischer Firmen, als M. Taylor & Cie. in Paris, Société anonyme des moteurs thermiques Gardie in Nantes, L. Guénot in Paris, Compagnie „Duplex“ in Paris etc. waren, allerdings ohne Motoren, auf der Weltausstellung in Paris ausgestellt. Einige dieser Apparate sind in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* 1901 beschrieben.

Einer der beliebtesten Sauggasgeneratoren ist jener von Taylor. Dieser Apparat ist in Fig. 277 (S. 714) abgebildet.

Der Taylorsche Generator besteht der Hauptsache nach aus dem eigentlichen Generator *A*, dem kleinen Dampfkessel *B*, dem Reiniger *C* und dem Absaugekessel *D*, an welchen direkt das Gassaugrohr der Maschine *E* anschließt.

Das zur Verwendung kommende Gas wird im Generator durch Einsaugen eines Dampfluftgemisches erzeugt und aus Koks oder Anthrazit, oder einem Gemenge beider Brennstoffe gewonnen. Die Saugwirkung bildet der Motor selbst; in jeder Arbeitsperiode erzeugt sich mithin der Motor selbsttätig die erforderliche Gasmenge, wobei das Dampfluftgemenge ohne besondere Feuerung entsteht, indem die Wärme des vom Generator abziehenden Gases das Wasser verdampft. Der Verdampfer ist entweder wie in Fig. 277 vom Generator getrennt angeordnet oder es ist der Deckel des Generators direkt als Wasserverdampfer ausgebildet.

Nach längeren Betriebspausen oder bei Inangsetzung des kalten Apparates muß die Glut durch ein dem Generator beigegebenes kleines Handgebläse (von Hand aus gedrehter Ventilator) angefacht beziehungs-

*) Siehe D. Clerk, *The Gas-Engine*, S. 360.

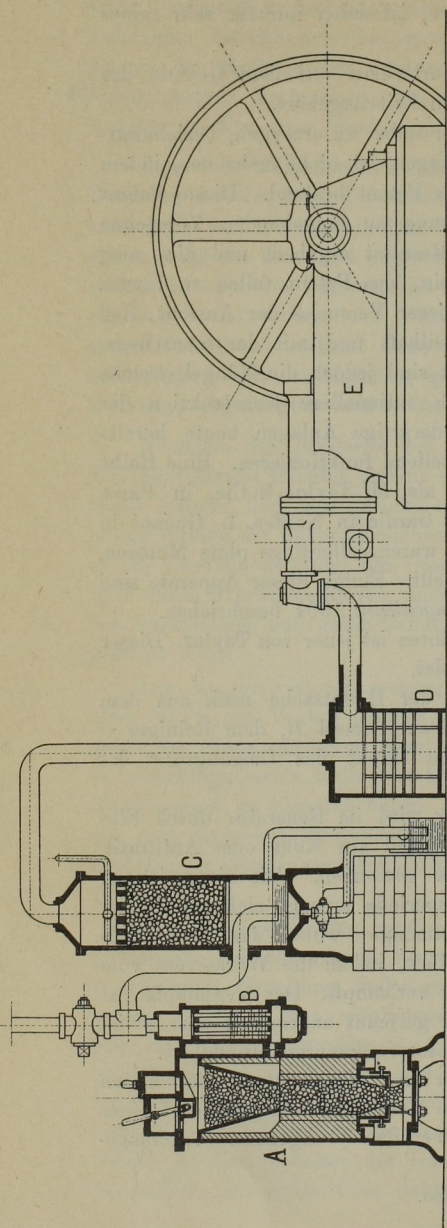


Fig. 277.

weise erzeugt werden, wozu 12 bis 15 Minuten erforderlich sind. Erst bis das Feuer zur Hochglut angeblasen ist, kann der Generator vollkommen beschickt werden. Wenn das Gas die richtige Qualität hat, dann muß es entzündet mit langer orangeroter Flamme brennen. Die Reinigung des Gases erfolgt in gleicher oder ähnlicher Weise wie bei Druckgeneratoren, wie überhaupt ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Sauggas- und Druckgasanlagen hinsichtlich des Zweckes, der Einrichtung sowie der Abmessungen der einzelnen Teile nicht erkennbar ist.

Auf eine Beschreibung anderer Gasapparate sei hier nicht weiter eingegangen, weil sich dieselben nicht hinsichtlich des Arbeitsprinzips sondern nur hinsichtlich der gegenseitigen Lage und Anordnung der einzelnen Teile, also nur in konstruktiver Beziehung, von dem Taylorschen Apparate unterscheiden.

Die Bestrebungen, billigere Brennmaterialien zur Erzeugung von Kraftgasen zu verwenden, waren bisher von keinem bedeutsamen Erfolge begleitet.

Generatoranlagen zur Erzeugung von Holzgas für motorische Zwecke sind in neuester Zeit speziell in Frankreich vielfach ausgeführt worden. Der Generator Riché, nach seinem Erfinder benannt, besteht dem Wesen nach aus einem gemauerten mit Feuerungsraum versehenen Ofen, auf dessen Rost

durch Kohle, Holzabfälle u. dergl. ein lebhaftes Feuer unterhalten wird. Die Heizgase treten durch horizontale Kanäle in vertikale Schächte, in welchen gußeiserne, mit Holzstücken angefüllte Retorten aufgestellt sind; der untere Teil derselben, gegen welchen die horizontalen Kanäle münden, wird auf einer Temperatur von ungefähr 900° C erhalten; die Temperatur der Retorten kann von außen beobachtet werden. Die im oberen Teile der Retorte überdestillierten Gase bestehen im Mittel aus 20% Kohlen-säure, 20% Kohlenoxyd, 15% Kohlenwasserstoff und 45% Wasserstoff; sie treten in einen Wascher und von diesem in den Gasbehälter.

Der Heizwert des Gases beträgt im Mittel 3100 W.E. pro cbm. Versuche ergaben bei der Destillation von 1,4 kg Holz mit 0,56 kg Steinkohle mittlerer Güte im normalen Betriebe 1 cbm Gas von 3000 W.E. und mindestens 0,26 kg guter Holzkohle als Nebenprodukt. Wendet man statt Steinkohle zur Heizung Holz an, dann sind obige 0,56 kg Kohle durch 1,2 bis 1,6 kg Holz oder Holzabfälle zu ersetzen.

Es ergibt sich daraus ein totaler Holzverbrauch von 3 kg pro Pferdekraftstunde, wenn man den stündlichen Gasverbrauch pro Leistungseinheit mit 1 cbm annimmt. Außerdem gewinnt man 0,26 kg Holzkohle.

Eine derartige Holzgasanlage befindet sich u. a. in der Gasfabrik zu St. Gobain, wo durch 12 Retorten von 2650 mm Höhe und 250 mm Durchmesser Gas für zwei Motoren von je 25 PS erzeugt wird. Die Elektrizitätswerke in Pierrelatte und Champagnole sind ebenfalls mit Holzgasmotoren ausgerüstet. Die Motoren verbrauchen je nach ihrer Größe 0,9 bis 1,2 cbm Holzgas pro PS_e-Stunde. Die Kosten einer Pferdekraft stellen sich angeblich auf 2,4 bis 4,8 Pfennig. Auf der Pariser Ausstellung 1900 war ein 8 PS-Viertaktmotor, zu dessen Speisung Holzgas aus einem Generator Riché mit zwei Retorten obiger Abmessungen diente, ausgestellt*).

Ein anderes, vielversprechendes Verfahren der Verwertung billiger Kleinkohle zur Erzeugung eines für den Maschinenbetrieb geeigneten Gases ist das Verfahren von Dr. Ludwig Mond; das auf diesem Wege hergestellte Kraftgas wird daher Mondgas genannt**).

Die Schwierigkeit der Herstellung eines dem Dowsongas entsprechenden Kraftgases aus bituminöser Kleinkohle liegt einerseits in der zu leicht eintretenden Verstopfung der Gaserzeuger, andererseits in der Abscheidung von Teer. Diese Schwierigkeiten überwindet Mond dadurch, daß er einerseits die entstehenden Teerdämpfe im Ofen selbst fast vollständig verbrennt und andererseits die Vergasung bei sehr niedriger

*) Eine Skizze dieses Generators siehe: *Z. d. Ver. deutscher Ing.* 1901, S. 331.

***) Über dieses Gas berichtet ausführlich Prof. Schöttler in der *Zeitschr. des Ver. deutscher Ing.* 1901, S. 1593.

Temperatur vollzieht, indem er nebst Dampf einen Teil der Abgase der Maschine in den Ofen bläst oder große Dampfmenngen in denselben einführt. Durch sinnreichen Wärmeaustausch in umfangreichen Vorrichtungen vermeidet Mond die zu befürchtenden großen Wärmeverluste; die Kosten der Erzeugung werden durch Gewinnung von Sulfat aus dem sich entwickelnden Ammoniak herabgedrückt.

Das Mondsche Verfahren ist nur für große Anlagen vorteilhaft durchzuführen; für kleineren Kraftbedarf ist dasselbe nicht geeignet, daher auch nicht berufen, mit dem Dowsongas für Leistungen von 20 bis 100 PS in einen Wettbewerb zu treten. Eine große Anlage dieser Art besteht schon seit längerer Zeit in der chemischen Fabrik von Brunner, Mond & Cie. zu Winnington Works in Northwick und soll gute Erfolge nachweisen; in neuerer Zeit sind weitere Anlagen errichtet worden u. a. für die Gasmaschinenfabrik von Crossley Brothers bei Manchester sowie für die Premier Gas Engine Works bei Nottingham.

Nach den Berichten Humphreys in der Institution of Civil Engineers 1897 und in der Society of Mechanical Engineers 1901 besteht das trockene Mondgas, in Raumteilen ausgedrückt, aus

26,4 %	Wasserstoff,
10,2 „	Kohlenoxyd,
16,2 „	Kohlensäure,
44,6 „	Stickstoff und
2,5 „	Sumpfgas

und wiegt bei 0^o und 1 Atm. 1,015 kg/cbm. Der Heizwert (oberer Heizwert) beträgt 1320 W.E./cbm.

Aus der Analyse berechnet sich der untere Heizwert mit 1165 W.E., der obere mit 1313 W.E./cbm für trockenes Gas.

1 kg Kohle von 67,9% Kohlenstoffgehalt beziehungsweise 7225 W.E./kg Heizwert lieferte 4,43 cbm Gas. Somit beträgt das Verhältnis des Heizwertes des Gases zu jenem des hierzu verbrauchten Brennstoffes

$$\frac{4,43 \times 1320}{7225} = 0,81.$$

Für den unteren Heizwert des Gases wird dieses Verhältnis natürlich entsprechend ungünstiger.

Der Wirkungsgrad der Anlage ist jedoch wesentlich geringer, nachdem bei Erzeugung des Gases noch Dampf zuzuführen und mechanische Arbeit zu verrichten ist; berücksichtigt man diese beiden Faktoren, dann ergibt sich der Wirkungsgrad mit 0,65 für den oberen und 0,61 für den unteren Heizwert des Gases. Der Wirkungsgrad der Anlage ist in Berücksichtigung der schlechten Beschaffenheit des zur Herstellung des

Mondgases verwendeten Brennmaterials im Vergleiche mit einer Dowson-gasanlage, deren Wirkungsgrad mit durchschnittlich 0,75 angenommen werden kann, als günstig zu bezeichnen.

Nachdem bei Verwendung von Mondgas nur Großleistungen inbetracht gezogen werden können, so läßt sich ein Vergleich mit einer Dampfanlage auch nur für Leistungen über etwa 500 PS ziehen; für solche Anlagen dürfte bei Verwendung desselben minderwertigen Brennstoffes durch Mondgas eine 20- bis 30-prozentige Brennstoffersparnis erreicht werden können.

Der Vollständigkeit halber sei noch bemerkt, daß das aus minderwertigerer Kleinkohle von 62,7 % Kohlenstoffgehalt beziehungsweise 6786 W.E./kg Heizwert erzeugte Gas nach den Berichten Humphreys aus

29%	Wasserstoff,
11 „	Kohlenoxyd,
16 „	Kohlensäure,
42 „	Stickstoff und
2 „	Sumpfgas

zusammengesetzt war, bei 0° und 1 kg/qcm Druck 0,987 kg/cbm wog und einen Heizwert von 1370 W.E./cbm als oberen Grenzwert hatte.

1 kg feuchter Kohle lieferte 3,82 cbm Gas; das Verhältnis der Heizwerte war daher noch etwas günstiger als im obigen Falle und stellte sich auf

$$\frac{3,82 \times 1370}{0,914 \times 6786} = 84,5 \%$$

nachdem der Feuchtigkeitsgehalt der Kohle 8,6 % betrug.

Das Hohofengichtgas. Seit den ersten bescheidenen Versuchen, die Hohofengichtgase nicht mehr zur Heizung der Dampfkessel zu verwenden, sondern die in denselben enthaltenen Wärmemengen durch die Gasmaschine direkt in mechanische Arbeit zu umsetzen, sind nur wenige Jahre verflossen und innerhalb dieser kurzen Zeit hat die Verwendung der Hohofengichtgase zum Betriebe von Gasgroßmaschinen eine außerordentliche Bedeutung für die gesamte Eisenindustrie erlangt.

Seiner Zusammensetzung nach besteht das Gichtgas durchschnittlich aus 26 bis 30 Volumprozenten Kohlenoxyd, etwa 7 bis 10% Kohlensäure, geringeren Mengen Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen und im übrigen hauptsächlich aus Stickstoff.

Der Heizwert desselben ist bei der Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung der Gichtgase auch verschieden, kann jedoch im großen Durchschnitt mit 950 W.E./cbm angenommen werden.

Nach den bis heute vorliegenden Versuchen kann der Verbrauch an Gichtgas von 950 W.E./cbm bei voller Belastung der Maschine, je nach Größe derselben, mit durchschnittlich 2,5 cbm pro PS_i und 3,2 bis 3,5 cbm pro PS_e und Stunde angenommen werden. Es sind ja meist nur große Maschinen, welche hier inbetracht kommen.

Die bereits an früherer Stelle erwähnte 600 PS, mit dem Gebläse direkt gekuppelte Maschine von J. Cockerill in Seraing, ergab bei den ohne Gebläse ausgeführten Versuchen bei 94,37 Minutenumdrehungen eine Leistung von 786,16 PS_i beziehungsweise 575 PS_e (mechanischer Wirkungsgrad $\eta = 0,73$); der Gasverbrauch betrug 2,556 cbm pro PS_i beziehungsweise 3,495 cbm pro PS_e und Stunde. Der Heizwert des Gases wurde mit 915,2 beziehungsweise 984,5 W.E./cbm ermittelt und zwar im ersteren Falle unter Benützung eines Kalorimeters von Junker, im anderen Falle durch die Bombe von Witz. Der thermische Wirkungsgrad betrug daher 0,27 beziehungsweise 0,25.

Die Versuche der mit dem Gebläse gekuppelten Maschine ergaben insofern günstigere Resultate, als die Regulierung der Maschine inzwischen verbessert wurde. Die Maschine arbeitete bei 83,92 Minutenumdrehungen mit 746,73 PS_i, beziehungsweise 562,57 PS_e und verbrauchte hierbei 2,345 beziehungsweise 3,113 cbm Gas pro Pferdekraftstunde. Bei auf 93 Umdrehungen erhöhter Geschwindigkeit stieg die Leistung auf 886,54 PS_i, beziehungsweise 725,3 PS_e; der Gasverbrauch betrug 2,334 beziehungsweise 2,853 cbm pro PS-Stunde.

Die Versuche mit einer 200 PS-Gichtgasmaschine von Gebr. Körting in Hannover ergaben bei voller Belastung einen Gasverbrauch von 3,5 cbm pro PS_e-Stunde. Derselbe stieg bei einer 12% Leistungsabnahme auf 3,8 cbm, bei einer Leistung von nur 90 PS jedoch auf 6,6 cbm*).

Mit einem 40 PS Kruppschen Präzisionsgasmotor der Johannishütte in Duisburg ausgeführte Versuche**) ergaben einen Verbrauch an Gichtgas von 950 W.E./cbm, welcher in anbetracht der geringen Leistung der Maschine auffallend gering war; derselbe betrug 2,81 cbm pro PS_e beziehungsweise 2,23 cbm pro PS_i-Stunde. Die Wärmebilanz dieses Motors stellte sich wie folgt:

Indizierte Arbeit	29,82 Prozent
Kühlwasserverlust	33,01 „
Mit den Abgasen	26,95 „
Unvollkommene Verbrennung	6,82 „
Strahlungs- und Leitungsverluste	3,40 „

Summe 100 Prozent.

*) Zeitschr. des Ver. deutscher Ing. 1900, S. 856.

**) Ebendasselbst, S. 1213.

Die bis heute vorliegenden Versuche hinsichtlich des Gasverbrauches und der Wärmebilanz der Gichtgasmaschinen sind noch zu vereinzelt, um daraus einen Schluß auf die Allgemeinheit dieser Motoren ziehen zu können; auch stehen die Motoren selbst, hinsichtlich der Frage der besten Bauart derselben, noch zu sehr im Zustande der Entwicklung, und da in erster Linie auch die Frage der zweckmäßigsten Regulierung noch nicht endgiltig gelöst ist, auf den Gasverbrauch jedoch einen wesentlichen Einfluß übt, so haftet den bis heute vorliegenden Versuchsergebnissen auch noch eine begriffliche Unsicherheit an.

Die anfänglichen Befürchtungen, daß die Verwertung der Gichtgase zur unmittelbaren Krafterzeugung infolge der wechselnden Zusammensetzung der Hohofengase, des geringen Gehaltes an brennbaren Gasen (etwa 25 bis 35 Prozent), der Beimengung von Staub, Metall- und anderen Dämpfen, sowie des Gehaltes an Wasserdampf, hinsichtlich der Zündung, des gleichmäßigen Ganges, der Verunreinigung und Abnutzung des Cylinders und der inneren bewegten Teile, der Zersetzung des Schmieröles etc. besondere Schwierigkeiten bereiten wird, sind als längst überwunden zu betrachten. Soweit bis heute die Erfahrung reicht, ist die Verschmutzung des Cylinders nicht größer wie bei Leuchtgasmaschinen; ebenso wenig konnte bisher beobachtet werden, daß die Cylinderwandungen in höherem Maße angegriffen werden, als bei Verwendung von Leucht- oder Dowsongas; auch die Schmierung bereitet keine neuen Schwierigkeiten etc.

Der Druck der Hohofengase beträgt an der Gicht durchschnittlich 90 bis 150 mm Wassersäule; die Temperatur derselben schwankt zwischen 300 und 350° C. Vor dem Motor beträgt der Druck zumeist nur mehr 20 bis 60 mm, während die Temperatur des Gases als Folge der Reinigung desselben bis auf 8° bis 15° C sinkt. Die Gase bedürfen vor ihrem Eintritt in den Motor einer gründlichen Reinigung und Abkühlung, doch genügten bisher die bei Generatorgasanlagen mit Erfolg angewendeten Kokksrubber und Sägemehltreiber auch hier vollkommen.

Auf vielen Hohofenanlagen wird das Gichtgut vor Eintritt in die Winderhitzer und Dampfkessel ohnehin sorgfältig gereinigt, so daß hierdurch die Zahl der für den Gasmaschinenbetrieb erforderlichen zusätzlichen Apparate sich auf je einen Scrubber und Sägemehltreiber beschränken dürfte.

Die Gichtgasmotoren unterscheiden sich, wie ja bereits an früherer Stelle erörtert, prinzipiell in keiner Weise von den Leuchtgas- und Generatorgasmaschinen. Mit der Kompression geht man, ohne Gefahr frühzeitiger Zündung, zumeist auf 9 bis 12 kg/qcm Endspannung hinauf. Hierdurch wird der thermische Wirkungsgrad günstig beeinflusst und steht auf nahezu gleicher Höhe mit jenem der Leuchtgasmaschine. Auch die

Zündung erfolgt vollkommen verlässlich, sodaß verspätete Zündungen oder Ausbleiber und deren üble Folgen nicht zu befürchten sind; die Verbrennung selbst erfolgt allerdings etwas langsamer als bei Leuchtgas und erscheint die Explosionslinie in der Richtung der Kolbenbewegung stark verschleppt; auch der Verlauf der Expansionskurve läßt erkennen, daß ein Teil der Gase erst während der Ausdehnung derselben verbrennt. Der Explosionsenddruck nimmt daher auch nicht jenen Wert an, welchen er mit Rücksicht auf die erhöhte Verdichtung annehmen sollte.

Während das Gewicht des Leuchtgases mittlerer Zusammensetzung pro cbm 0,53 bis 0,54, jenes des Dowsongases 1,1 bis 1,2 kg beträgt, wiegt 1 cbm Hohofengas durchschnittlicher Zusammensetzung 1,23 kg und benötigt zur vollständigen Verbrennung 0,715 cbm atmosphärischer Luft (gegenüber 5 bis 7 cbm für Leuchtgas und 1,13 bis 1,15 cbm für Generatorgas). Die theoretische Verbrennungstemperatur beträgt im Mittel 1650° C (gegenüber den mittleren Werten der Verbrennungstemperaturen von Leuchtgas bezw. Dowsongas von 2050 bezw. 2000° C). Bei gleichen Abmessungen leistet ein mit Gichtgas gespeister Motor um durchschnittlich 20% weniger als ein Leuchtgasmotor.

Über die außerordentliche Bedeutung der Verwendung der Hohofengichtgase zum direkten Kraftbetrieb erlangt man einen einigermaßen verlässlichen Einblick, wenn man die durchschnittliche Gasproduktion ins Auge faßt.

Man kann im allgemeinen annehmen, daß auf 1 Tonne im Hohofen erzeugtes Roheisen 4600 bis 4650 cbm Gichtgas erzeugt werden. Rechnet man, daß hiervon 10% verloren gehen und 30% für die Winderhitzung benötigt werden, so erübrigen 60% das sind rund 2800 cbm für motorische Zwecke.

In Deutschland und Luxemburg werden stündlich etwa 920 Tonnen Roheisen erzeugt; dieser Produktion entsprechend stehen daher stündlich 2 576 000 cbm Gichtgas zur Verfügung. Rechnet man nun im großen Durchschnitte 3,5 cbm Gas pro PS_e-Stunde, so ergibt sich daraus eine Arbeitsmenge von 736 000 PS_e.

Ein wichtiger Umstand, welcher namentlich für andere Industrien schwer in die Wagschale fällt, ist der, daß die Hohofenwerke, wenn sie vom Dampfbetriebe auf den Gasmaschinenbetrieb übergehen, bedeutend weniger Gas für den eigenen Betrieb verbrauchen, da man annehmen kann, daß mit 1 cbm Gas und Dampftrieb nur ungefähr die halbe Leistung erzielt wird als bei Gasbetrieb. Nach allen vorliegenden Erfahrungen ist feststehend, daß von der gesamten Gichtgaserzeugung rund 40% durch die Dampfkessel des Hohofenbetriebes aufgezehrt werden, somit nur 20% für andere Zwecke zur Verfügung stehen; wird der Dampftrieb

jedoch durch Gasbetrieb ersetzt, dann stehen etwa 40%, also 1700000 cbm Gas pro Stunde, bezw. eine Leistung von rund 486 000 PS_e für andere Zwecke zur Verfügung. Was von dieser Kraftreserve im Walzwerkbetriebe, wenn solcher mit der Hohofenanlage vereint sein sollte, nicht verwendet wird, kann zu Beleuchtungszwecken verwendet oder für solche und andere Betriebszwecke an andere industrielle Anlagen abgegeben werden. Bisher hat man die Gichtgasmaschinen zumeist zum direkten Antrieb von Gebläsemaschinen und Pumpen, sowie an erster Stelle von Dynamomaschinen verwendet, da sich der Gasmotor speziell dem letzteren Betriebe vorzüglich anpaßt und hierdurch auch die Möglichkeit gegeben ist, überschüssige Energie auf weite Entfernungen wirtschaftlich vorteilhaft ausnützen zu können.

228. Die Arbeitsprozesse der Gasmaschinen. Obwohl derzeit hunderte verschiedener Gasmaschinenkonstruktionen bestehen, so sind doch die wesentlichen Unterschiede derselben nicht groß und lassen sich sämtliche Maschinen nach der Art ihres Arbeitsvorganges in wenige klar gekennzeichnete Guppen teilen und zwar in Maschinen, bei welchen die Entzündung

- I. ohne vorhergegangene Verdichtung bei konstantem Volumen,
- II. bei konstantem Volumen und vorhergegangener Verdichtung, und
- III. bei vorhergegangener Verdichtung und konstantem Drucke stattfindet.

Die wesentlichen Eigenschaftlichen sowie die Arbeitsprozesse dieser drei Gruppen, welche zum Teile bereits an früherer Stelle erörtert wurden lassen sich in Kürze wie folgt zusammenfassen bezw. darstellen.

Gruppe I. Der Kolben saugt Gas und Luft, explosionsfähig gemischt, unter atmosphärischem Drucke in den Cylinder; das Einlaßorgan schließt den Cylinder ab, die Ladung wird entzündet und der hierdurch entstehende Druck treibt den Kolben bis an das Ende des Hubes. Während des Kolbenrücklaufes werden die Verbrennungsprodukte genau so ausgestoßen wie der Abdampf einer Dampfmaschine. Durch Wiederholung desselben Arbeitsprozesses auf der anderen Seite des Kolbens erhält man eine doppeltwirkende Maschine; dieselbe ist allerdings nicht doppelt wirkend im Sinne einer Dampfmaschine, nachdem sich der Arbeitsimpuls nicht auf den ganzen Kolbenhub erstreckt.

Der Arbeitsprozeß dieser Maschinen setzt sich somit aus folgenden vier Operationen zusammen:

1. Ladung des Cylinders mit der explosiblen Mischung.
2. Entzündung und Explosion der Ladung.
3. Expansion nach erfolgter Explosion, und
4. Ausstoßen der verbrannten Gase.