

Diese Gruppe von Maschinen, welche man mit dem Ausdrucke atmosphärische Gaskraftmaschinen bezeichnet, ist daher durch folgende Arbeitsweise charakterisiert: Benützung einer explosiblen gasförmigen Arbeitsflüssigkeit bei atmosphärischer Pressung vor der Explosion; die Explosion wirkt auf einen außer Verbindung mit der Kurbelwelle stehenden, freifliegenden Kolben, dessen Geschwindigkeit zur Erzeugung eines Vakuums aufgezehrt wird; der Arbeitsdruck wird auf den im Momente der Bewegungsumkehr mit der Maschinenwelle gekuppelten Kolben durch den Druck der Atmosphäre übertragen.

Wie bereits früher erwähnt, waren die ersten, welche diese Arbeitsmethode in Vorschlag brachten, Barsanti und Matteucci (1857); allein die konstruktiven und baulichen Schwierigkeiten wurden erst im Jahre 1866 durch die Erfindung Otto und Langens überwunden.

218. Die atmosphärische Gaskraftmaschine von Otto und Langen wurde im Jahre 1867 durch die Pariser Weltausstellung bekannt. Obwohl dem Prinzipie nach identisch mit der zehn Jahre vorher von Barsanti und Matteucci ersonnenen Maschine, war sie jedoch von den Erfindern mit großer Sorgfalt bis auf das kleinste Detail durchdacht und konstruktiv durchgearbeitet, sodaß selbst im Laufe der Zeit keine wesentlichen Verbesserungen erforderlich waren. Die Maschine war hinsichtlich der Ökonomie des Betriebes allen vor ihr bekannt gewordenen Maschinen weit überlegen; sie hatte jedoch den Fehler, daß ihre räumliche Größe und somit auch das Gewicht der Maschine, durch das Arbeitsprinzip bedingt, außer Verhältnis zu der Leistung stand und daß andererseits ihr Gang infolge des Schaltwerkes mit einem lärmenden Geräusch verbunden war, welches sich für die Umgebung um so unangenehmer fühlbar machte, da es nicht in regelmäßigen Intervallen erfolgte. Dieses Geräusch war vielfach ein Hindernis für die Anwendung der Maschine, und selbst dort, wo solche Maschinen aufgestellt waren, mußten sie in vielen Fällen zufolge Klage der Anrainer entfernt und durch einen anderen Motor ersetzt werden. Nachdem die ganze Energie der Explosion dazu verbraucht wurde, den Kolben in die Höhe zu schleudern, so war der Rückstoß so bedeutend, daß nur ganz kleine Maschinen in höheren Stockwerken, ohne spezielle Verstärkung des Bodens bzw. der Deckenkonstruktion, verwendet werden konnten. Aus diesem Grunde fanden auch Maschinen über 3 PS Leistung selten Verwendung.

Der Erfolg der atmosphärischen Gasmachine war nicht so durchschlagend wie jener der Lenoirschen, aber viel nachhaltiger, indem dieselbe durch volle zehn Jahre (als Kleinmotor) fast ausschließlich

Verwendung fand und trotz ihrer prinzipiellen Mängel in Stärken von $\frac{1}{4}$ bis 4 PS in mehr als 5000 Exemplaren ausgeführt wurde.

Der Hauptvorteil dieser Maschine, welcher ihre unangenehmen Eigenschaften in vielen Fällen vergessen ließ, war der verhältnismäßig geringe Gasverbrauch von im Mittel 1,2 cbm pro PS_e-Stunde, welcher infolge einiger Verbesserungen später auf 1, ja sogar auf 0,8 cbm vermindert wurde.

Eine von dem Verfasser seinerzeit untersuchte Maschine von 320 mm Cylinderdurchmesser und dem größten beobachteten Hub von 1050 mm arbeitete mit 29 Explosionen pro Minute und ergab eine Leistung von 2,9 PS_i, bzw. 2,0 PS_e. Der Gasverbrauch betrug 0,7 cbm pro PS_i-Stunde, somit 1 cbm pro PS_e-Stunde. In dieser Verbrauchsziffer war jedoch die

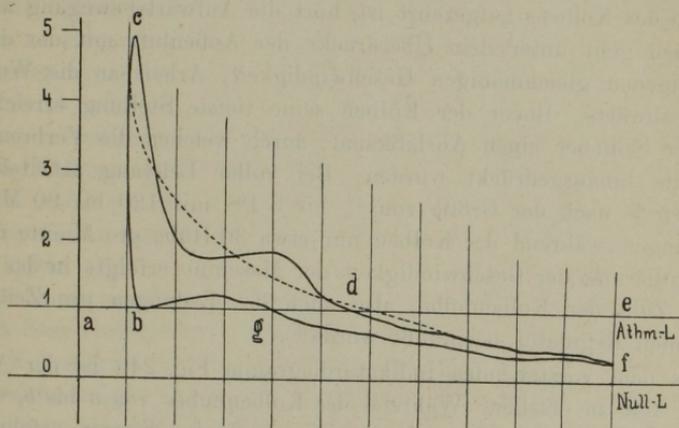


Fig. 249.

für die Entzündungsflamme erforderliche Gasmenge nicht inbegriffen; dieselbe betrug durchschnittlich $\frac{1}{3}$ cbm pro Stunde. Fig. 249 zeigt das Diagramm der vollbelasteten Maschine.

Die vollgezogene Linie ist die wirkliche Indikatorkurve, während die strichlierte Linie die tatsächliche Spannungskurve darstellt, welche vom Indikator infolge der Schwingungen der Feder nur umschrieben wurde.

Die Maschine von Otto und Langen, welche heute nur mehr geschichtliches Interesse bietet, besteht aus einem langen stehenden, von einem Wassermantel umgebenen Cylinder, welcher nach oben für die Außenluft offen ist; in demselben bewegt sich ein Kolben, welcher statt einer gewöhnlichen Kolbenstange eine Zahnstange trägt. Quer über dem Cylinder liegt die Schwungradwelle (nachdem die Maschine keine Kurbel besitzt, kann die Welle auch nicht Kurbelwelle genannt werden). Auf dieser Welle sitzt ein Zahnrad, in welches die verzahnte Kolbenstange eingreift; während der Aufwärtsbewegung des Kolbens läuft dieses Zahn-

rad frei auf der Welle; sobald der Kolben jedoch niedergeht, nimmt dasselbe durch eine eigentümliche Reibungskupplung die Welle mit. Die Welle läuft daher frei nach einer Richtung um, während der Kolben sich frei nach aufwärts bewegen kann, um jedoch während der Abwärtsbewegung einen Arbeitsimpuls zu geben. Während des ersten Teiles seines Anhubes saugt der Kolben, durch ein Schaltwerk von der Schwungradwelle mitgenommen, das explosive Gemenge aus Leuchtgas und Luft. Durch einen außerhalb befindlichen Gasbrenner und die Vermittlung eines Schiebers wird die Ladung im geeigneten Momente entzündet; die Explosionswirkung schleudert den Kolben mit Heftigkeit, ohne daß derselbe Arbeit verrichtet, frei in die Höhe; sobald die Energie der Bewegung durch Bildung des Vakuums unterhalb des Kolbens aufgezehrt ist, hört die Aufwärtsbewegung auf und der Kolben geht unter dem Überdrucke der Außenluft mit der Maschine eigenen gleichmäßigen Geschwindigkeit, Arbeit an die Welle abgebend, abwärts. Bevor der Kolben seine tiefste Stellung erreicht hat, öffnet der Schieber einen Auslaßkanal, durch welchen die Verbrennungsrückstände hinausgedrückt wurden. Bei voller Leistung arbeiteten die Maschinen je nach der Größe von $\frac{1}{4}$ bis 3 PS mit 120 bis 90 Minuten-umdrehungen, während der Kolben nur etwa 30 Hübe pro Minute machte. Die Regulierung der Geschwindigkeit der Maschine erfolgte in der Weise, daß die Zahl der Kolbenhübe, also auch der Ladungen pro Zeiteinheit durch einen Regulator beeinflußt wurde*).

Aus dem vorstehenden Indikatordiagramm Fig. 249 ist der Arbeitsvorgang klar zu ersehen. Während des Kolbenhubes von *a* bis *b*, welcher unter Ausgabe der im Schwungrade aufgespeicherten Energie erfolgt, wird die Ladung in den Cylinder eingesaugt; im Punkte *b* bleibt der Kolben gleichsam einen Moment in Ruhe, da hier infolge Einführung der Entzündungsflamme und der unmittelbar darauf folgenden Explosion ein Druckwechsel eintritt. Die Spannung erreichte ungefähr 3,8 kg/qcm Überdruck. Durch die Explosion wird der Kolben förmlich hinaus geschossen; die Gase expandieren und der Druck fällt rasch ab. Im Punkte *d* hat die Spannung jene der Atmosphäre erreicht. Die Explosionswirkung auf den Kolben hört in diesem Momente auf; der Druck unter demselben nimmt weiter ab, infolgedessen bietet die Außenluft einen fortwährend zunehmenden Widerstand. Während der Bewegung des Kolbens von *c* bis *d* ist die Spannung von 3,8 kg/qcm auf jene der Atmosphäre gefallen; die mittlere Spannung beträgt 0,88 kg/qcm, der zurückgelegte Weg un-

*) Ausführliche Beschreibung und Zeichnungen der Maschine siehe: Musil, *Die Motoren für das Kleingewerbe*, 2. Aufl. 1883; Schöttler, *Die Gasmachine*, 3. Aufl. 1899. Knoke, *Die Kraftmaschinen des Kleingewerbes*, 2. Aufl. 1899. Clerk, *The Gas- and Oil-Engine*, 7. Aufl. 1896.

gefähr 0,4 m, somit wurden rund 280 kg/m an den Kolben abgegeben und es frägt sich, wozu diese Arbeit verwendet wurde. In einer gewöhnlichen Kolbenmaschine würde diese Arbeit an die Kurbel und bei unbelasteter Maschine an das Schwungrad abgegeben; hier ist jedoch keine Kurbel, der Kolben vollkommen frei beweglich, somit nimmt derselbe die ganze Energie auf; sein Gewicht wurde in dieser Zeit um 0,4 m gehoben, der Rest obiger Energie ist daher in diesem Momente noch im Kolben aufgespeichert; derselbe muß sich daher nach aufwärts bewegen, bis die ganze Energie zum Anheben des Kolbens, zur Überwindung des äußeren Luftdruckes und der Reibung aufgebraucht worden ist. Wenn der Kolben gewichtslos und die Reibung gleich Null wäre, dann müßte die Diagrammfläche *bcd* gleich der Fläche *def* sein, oder mit anderen Worten, die Arbeit, welche infolge der Explosion auf den Kolben übertragen und zur Erzeugung seiner Geschwindigkeit verwendet wurde, müßte jener Arbeit gleich sein, welche die Luft der Bewegung des Kolbens entgegensehlt, um denselben wieder zur Ruhe zu bringen.

Der Kolben der in Rede stehenden Versuchsmaschine wog 50 kg; die zum Anheben desselben auf 0,4 m erforderliche Arbeit ist daher 20 kg/m; die Energie der Bewegung des Kolbens beträgt daher $280 - 20 = 260$ kg/m.

Berechnet man die Kolbengeschwindigkeit, so findet man, daß dieselbe in dem vorliegenden Falle im Punkte *d*, in welchem der innere und äußere Kolbendruck sich ausgleichen, nahe 10 m beträgt; da der Kolben diese Geschwindigkeit erlangte, nachdem er sich um 0,4 m aufwärts bewegt hatte und hierzu 0,28 Sekunden benötigte, so war die mittlere Kolbengeschwindigkeit ungefähr 1,4 m. Diese Geschwindigkeit ist nicht wesentlich höher wie jene der Maschine von Lenoir und Hugon und kleiner wie die in modernen Gaskraftmaschinen gebräuchliche Geschwindigkeit von 2 bis 2,5 m.

Wenn die Gase nicht seitens des Cylinders abgekühlt würden, wäre die Linie *cdf* eine Adiabate und die Linie *fg* würde mit der Expansionslinie *df* zusammenfallen; die Fläche *def* des Vakuumdiagramms ist nur eine Folge der Explosionsenergie, die Fläche *dfg* hingegen resultiert aus der Abkühlung der Gase.

Ohne kühlenden Einfluß der Wandungen würde auch die Fläche *bcd* und daher auch die ihr theoretisch gleiche Fläche *def* größer sein, d. h. das erzielte Vakuum würde ohne Kühlung größer sein.

Da die Kolbengeschwindigkeit nicht wesentlich größer ist wie jene der Lenoir- und Hugonmaschine, so kann darin die ökonomische Überlegenheit der atmosphärischen Gasmaschine nicht gesucht werden. Der kühlende Einfluß der Wandungen dürfte sich bei beiden Maschinentypen

gleichstellen; bei den Maschinen der Lenoirgruppe war die Zahl der Kolbenhübe pro Zeiteinheit größer, daher der Gaskonsum pro Hub geringer als bei einer Otto- und Langenmaschine gleicher Stärke; diese arbeitete dafür mit wenigen Hüben aber großen Cylindern. Die höhere Betriebsökonomie muß daher durch andere Ursachen begründet sein. Diese Ursachen sind zweierlei Art: einerseits ist der Kolben in Ruhe, bis derselbe durch die Explosion Bewegung erhält, andererseits wird die Expansion sehr weit getrieben, denn der große Cylinder gestattet eine Expansion gleich dem zehnfachen Volumen vor der Explosion und zwar zunächst durch Expansion auf den Atmosphärendruck und dann durch Kühlung bis auf das erreichbare Vakuum. Infolge des ersteren Umstandes findet die Pressung Zeit sich bis zu ihrem Maximum zu erhöhen, bevor sich der Kolben bewegt; der höchste Druck wird also bei konstantem Volumen erreicht, wie dies die Theorie verlangt; außerdem bleiben infolge der Hubpausen Kolben und Cylinder kühl. Die Ladung wird daher vor der Explosion nur wenig erhitzt. Die Explosion ergibt bei geringerer Temperaturerhöhung einen höheren Druck.

Eine Untersuchung des Diagrammes ergibt, daß der größte Druck, wie vorhin erwähnt, 3,8 kg/qcm über den Atmosphärendruck beträgt, entsprechend einer Temperatur von 1350° C absolut. Die Ladung bestand aus 1 Teil Gas auf 7 Volumteile Luft; die vollständige Verbrennung derselben im Momente der Explosion würde einen Druck von 11,8 kg/qcm ergeben; da der größte wirklich erreichte Druck jedoch nur 32 Prozent der disponiblen Wärme entspricht, so müssen die restlichen 68 Prozent während der Expansion entwickelt worden sein. Die Linie *cd* liegt so hoch über der Adiabate, daß sie nahezu isothermisch ist; die Temperatur in *d* beträgt ungefähr 1300° statt 730° absolut bei adiabatischer Expansion. Die erhitzten Gase nehmen daher von *c* bis *d* Wärme auf und da die Verbrennung die einzig mögliche Wärmequelle ist, so folgt, daß die Verbrennung bei dem erreichten Maximaldruck nicht vollendet ist und die 68 Prozent der totalen Wärme erst während der Expansion entwickelt werden. Im Punkte *d* scheint die Verbrennung vollendet zu sein, da während der Erhebung des Kolbens von *d* bis *e* Abkühlung konstatiert werden kann, indem die Temperatur in *f* ca. 870° C beträgt, während sie bei adiabatischer Zustandsänderung 960° betragen sollte. Während der Kompression von *f* bis *g* bis auf den Atmosphärendruck blieb die Temperatur nahezu konstant 870° infolge des kühlenden Einflusses des Cylinders.

Diese Erscheinungen treten bei gasärmeren und gasreicheren Mischungen um so deutlicher hervor und bestätigen die vorstehende Erklärung derselben. Die Kenntnis dieser Erscheinungen trug wesentlich zur spä-

teren Vervollkommnung der Gasmaschine bei; aus diesem Grunde wurde, obgleich die atmosphärische Gasmaschine selbst nur mehr historisches Interesse bietet, deren Arbeitsprozeß an dieser Stelle etwas eingehender besprochen.

In den der Erfindung Langens und Ottos folgenden zehn Jahren (1867—1877) waren nicht nur die Erfinder selbst bemüht, die Mängel und Nachteile ihrer Konstruktion zu beseitigen, sondern auch von anderer Seite wurden, angeeifert durch die großen Erfolge der Langen- und Otto-Maschine, Versuche gemacht, die Vorteile derselben ohne deren Nachteile, in erster Linie mit Beseitigung des äußerst unangenehmen Rückstoßes und des lästigen Geräusches der Zahnradkuppelung derselben, zu erreichen. Unter den diese Ziele verfolgenden Konstruktionen ist die Gasmaschine von Gilles in Köln in weiteren Kreisen bekannt und durch die einschlägige Litteratur (siehe Fußnote auf Seite 642) vielfach besprochen worden.

Die Maschine von Gilles unterscheidet sich von der Langen-Otto-Maschine in erster Linie dadurch, daß statt des einen Kolbens zwei Kolben verwendet wurden, wovon der obere als Flugkolben, der andere, auf gewöhnliche Weise mit der tiefliegenden Kurbelwelle zwangsläufig verbunden, als Arbeitskolben diente.

Die Wirkungsweise der Maschine ist folgende: Der Flugkolben steht in seiner tiefsten Stellung, unmittelbar anschließend an den in seiner oberen Totlage stehenden Arbeitskolben; dieser bewegt sich infolge Energie des Schwungrades etwas nach abwärts, die Ladung in den Cylinder aufnehmend. Im geeigneten Momente erfolgt die Zündung; der Flugkolben fliegt nach aufwärts, den Gasen den zur freien Ausdehnung erforderlichen Raum schaffend, während der Arbeitskolben infolge der Explosionswirkung seinen Niederhub vollendet. Infolge dieser entgegengesetzten Bewegung der beiden Kolben bildet sich zwischen denselben ein Vakuum; der Flugkolben wird durch eine Kuppelung in seiner obersten Stellung zurückgehalten, während der Arbeitskolben unter dem Drucke der Atmosphäre arbeitverrichtend wieder zurückkehrt. Der Flugkolben wird wieder frei und fällt, die Verbrennungsprodukte hinausdrückend, in seine Anfangsstellung zurück.

Die Maschine arbeitete allerdings ruhiger, war jedoch weder so einfach noch so ökonomisch wie die Langen-Otto-Maschine und fand daher eine nur geringe Verbreitung.

Außer dieser Maschine, deren Konstrukteure sich die Aufgabe gestellt hatten, die atmosphärische Gaskraftmaschine zu verbessern, entstand während dieser Periode auch eine Reihe von Maschinen, welche wieder auf das alte Prinzip der direkten Wirkung ohne Verdichtung der Ladung zu-

rückgriffen und daher auch keine dauernden Erfolge zu erzielen vermochten. In diese Gruppe gehören die zu jener Zeit in weiteren Kreisen bekannt gewordenen, nur für minimale Leistungen bestimmten Gasmaschinen von Bisshop, mit stehendem Cylinder und seitlich neben demselben gelagerter Kurbelwelle; die direkt rotierende Kolbenmaschine von Ravel, sowie eine zweite Anordnung derselben mit oszillierendem Arbeitscylinder; die Gasmaschine von Bénier und Lamart, bei welcher die Bewegungsübertragung von dem einseitig wirkenden Kolben auf eine über dem Cylinder liegende Kurbelwelle durch Hebel erfolgte, u. a. Diese Konstruktionen bieten derzeit so wenig Interesse, daß auf eine Besprechung derselben um so weniger eingegangen werden soll, als Zeichnung und Beschreibung dieser Maschinen in der vorhin angeführten Litteratur über Gasmaschinen bezw. Kleinmotoren zu finden sind.

Wenn man die mit der Erfindung Lenoirs beginnende Periode der Entwicklungsgeschichte der Gasmaschine als ersten Zeitabschnitt (1860 bis 1867), die durch die Erfindung der atmosphärischen Gaskraftmaschine von Langen und Otto hervorgerufene Umwälzung im Baue der Gasmaschine als zweiten Zeitabschnitt (1867 bis 1878) der Geschichte unserer heutigen Gasmaschine betrachtet, dann bildet die Zeit vom Jahre 1878 bis zum heutigen Tage die dritte und letzte Periode.

219. Die Viertaktmaschine. Im Jahre 1878 brachte die Pariser Weltausstellung einen geräuschlos und dabei sehr ökonomisch arbeitenden Gasmotor der Deutzer Gasmotorenfabrik vorm. Langen & Otto, welcher zur Ehrung des Erfinders „Ottos geräuschloser Motor“ genannt wurde; diese Maschine war und blieb bis zum heutigen Tage der Ausgangspunkt einer neuen, für den Ausbau und die zielbewußte Entwicklung der Gasmaschine hochwichtigen Zeitperiode.

Mit kühnem Griffe verwarf die Deutzer Firma die Ergebnisse der durch ihre atmosphärische Gaskraftmaschine hervorgerufenen Umwälzung und ging wieder auf das Arbeitsprinzip der direktwirkenden Maschine zurück.

Die großartigen Erfolge, welche mit Ottos Motor erzielt wurden, waren nur durch gänzliche Beseitigung der Übelstände der älteren direktwirkenden Maschinen möglich.

Diese Übelstände in genialer Weise gründlich beseitigt und Neuerungen eingeführt zu haben, welche der Maschine bei ruhigem und nahezu geräuschlosem Gange volle Überlegenheit über alle übrigen Gasmotoren sicherten, war das große Verdienst Ottos, wengleich zugegeben werden muß, daß die drei Grundgedanken, auf welchen das Wesen der Viertaktmaschine beruht, nicht zum erstenmale von Otto ausgesprochen wurden,