

XIV. Abschnitt.

Gasmaschinen.

217. Entwicklungsgeschichte der Gasmachine. Der Erfinder der ersten praktisch brauchbaren Gasmachine, deren Arbeitsprinzip und konstruktive Durchführung auf gesunder und lebensfähiger Basis beruhte, war der Franzose Lenoir. Die Lenoirsehe Maschine kann daher auch als Ausgangspunkt des sich nunmehr rasch entwickelnden und in verhältnismäßig kurzer Zeit zu außerordentlicher Bedeutung gelangten Kraftmaschinensystems angesehen werden.

Nachdem es Lenoir geglückt war, seine Erfindung auch geschäftlich auszubeuten, so trat auch von diesem Zeitpunkte an die Gasmachine aus dem Gelehrtenzimmer auf den Markt, um hier fortan ihre Stellung zu behaupten und stetig mehr zu befestigen.

Das bezügliche Patent Lenoirs datiert vom 24. Januar 1860.

Die erste Lenoirsche Maschine wurde von dem Mechaniker Hypolit Marinoni in Paris 1860 gebaut und noch in demselben Jahre kamen zwei größere Maschinen von angeblich 6 beziehungsweise 20 Pferdestärken in Paris in Betrieb*).

Lenoirs Erfindung erregte selbstverständlich außergewöhnliches Aufsehen. Die Berichte, welche über diese Erfindung in die Öffentlichkeit gelangten, waren zumeist übertrieben und mit der Wirklichkeit durchaus nicht im Einklange stehend; das allgemeine Interesse wendete sich daher in hohem Maße dieser Neuheit zu. In Frankreich wurde eine eigene Gesellschaft, die Société Lenoir, gegründet, welche sich nur mit der Ausbeutung des Lenoirschen Patentes befaßte. In England nahm die Reading Iron Works Company die fabriksmäßige Erzeugung dieser Maschine in die Hand und diesem Beispiele folgten andere Firmen Englands und

*) Zeichnung und Beschreibung dieser Maschine siehe Knoke, *Die Kraftmaschinen des Kleingewerbes*, Berlin 1899, S. 195. Ferner Schöttler, *Die Gasmachine*, 3. Aufl., Braunschweig 1899, sowie Donkins *Text-book of Gas, Oil and Air-Engines* und Witz, *Traité des moteurs à Gaz et à Pétrole*.

des Kontinentes, sodaß innerhalb weniger Jahre hunderte von Lenoirschen, zumeist in Größen von $\frac{1}{2}$ bis 3 PS zur Ausführung gelangten.

Da nun an ausgeführten Maschinen eingehende Versuche hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Gasverbrauch durchgeführt werden konnten, erwiesen sich die ursprünglichen Berichte über den Gasverbrauch der Lenoirschen Maschine, welche namentlich durch technische Zeitschriften in die Öffentlichkeit gebracht waren, als unwahr und übertrieben. Während man sich anfänglich mit einem angeblichen Gasverbrauche von $\frac{1}{2}$ cbm pro PS-Stunde täuschte, ergaben die Versuche einen wirklichen Verbrauch von 3 cbm und darüber. Durch diese nun nicht mehr zu leugnende Tatsache wurde die anfängliche Begeisterung in kürzester Zeit sehr herabgemindert und nachdem sich der Betrieb nunmehr viel kostspieliger stellte, als erhofft war, so wurde derselbe von vielen Seiten wieder eingestellt. Die frühere Begeisterung schlug nun in das Gegenteil um; die Maschinen wurden nun, und zwar mit Unrecht, schlechter gemacht, als sie es verdienten.

Die Arbeitsweise der Lenoirschen Maschine war folgende: Während des ersten Teiles des Kolbenhubes wurde Gas und Luft in richtigem Verhältnisse gemischt in den Cylinder gesaugt. Ungefähr in der Mitte des Hubes wurde das Einlaßorgan geschlossen und die Mischung durch einen elektrischen Funken entzündet; die Entzündung erfolgte explosionsartig unter plötzlicher Drucksteigerung. Die hochoerhitzten Verbrennungsprodukte verrichteten, während des restlichen Kolbenhubes expandierend, Arbeit, um während des darauffolgenden Kolbenrücklaufes ausgestoßen zu werden. Die Maschine war doppelwirkend; um der übermäßigen Erhitzung des Cylinders vorzubeugen, war derselbe mit einem Kühlmantel umgeben, durch welchen beständig Wasser zirkulierte. Dieser Kühlmantel hat sich auch bei allen späteren Gasmaschinen bis zum heutigen Tage als ein notwendiges Glied der Maschine erhalten.

In Lenoirs Maschine war jeder Hub aktiv; während einer Umdrehung fanden zwei Explosionen und zwar je eine zu jeder Kolbenseite statt.

Ein Indikatorgramm einer Lenoirschen Maschine ist in Fig. 248 dargestellt. Nach erfolgter Explosion fällt die Druckkurve ab, teils infolge der Expansion, teils infolge der Abkühlung durch die Cylinderwand; andererseits wird der Verlauf dieser Linie durch das sogenannte Nachbrennen, auf welches später zurückgekommen werden soll, beeinflusst. Da bei diesen

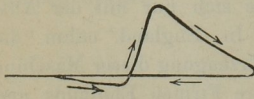


Fig. 248.

Maschinen die explosible Mischung vor der Entzündung nicht komprimiert wurde, war die vom Kühlmantel aufgenommene Wärme im Verhältnisse zur Gesamtwärme außerordentlich groß. Der Wirkungsgrad der Maschine

war aus diesem Grunde sowie in anbetracht der engen Temperaturgrenzen, innerhalb welcher die Expansion der erhitzten Verbrennungsprodukte stattfand, verhältnismäßig gering. Der Gasverbrauch betrug, wie bereits erwähnt, durchschnittlich 2,8 cbm pro PS₁-Stunde, als ungefähr 4- bis 5-mal so viel, als eine gleich leistungsfähige Gasmaschine heutiger Bauart benötigt.

Die Lenoirsche Maschine arbeitete bei sorgfältiger Wartung im allgemeinen ruhig und ohne störendes Geräusch, in dieser Beziehung daher ebenso gut als eine Dampfmaschine, nur war der Betrieb im Vergleiche mit dieser viel zu teuer. In Fällen, wo die Ökonomie des Betriebes erst in zweiter Linie in Betracht kam oder die Aufstellung eines Kessels unstatthaft war, namentlich aber in Fällen aussetzenden Betriebes, fand die Lenoirsche Maschine häufige Verwendung, und selbst dann noch, als durch die viel ökonomischer, aber sehr geräuschvoll arbeitende atmosphärische Gaskraftmaschine eine wesentlich billigere Betriebskraft gefunden war. Erst gegen das Jahr 1880 wurde die Lenoirsche Maschine durch nach jeder Richtung bessere Konstruktionen gänzlich verdrängt und bietet daher heute nur mehr geschichtliches Interesse.

Obgleich Lenoir unbestritten das Verdienst gebührt, Erfinder der ersten praktisch brauchbaren Gasmaschine gewesen zu sein, so kann er doch nicht als der Erfinder der Gasmaschine überhaupt angesehen werden, indem bereits vor ihm zahlreiche Versuche, das Leuchtgas als Kraftquelle auszunützen, gemacht wurden.

Philipp Lebon, welcher von französischer Seite als Erfinder des Leuchtgases bezeichnet wird, nahm bereits 1801 zu seinem Patente auf Leuchtgaserzeugung vom Jahre 1799 ein Zusatzpatent auf eine eigentümliche Maschine, welche durch dieses Gas betrieben werden soll und der Wesenheit nach der heutigen Gasmaschine entsprach. Die Lebonsche Maschine bestand aus zwei Pumpen, welche Gas und Luft getrennt ansaugten und in einen gemeinschaftlichen Behälter drückten, von welchem das explosible Gemenge in einen doppeltwirkenden Arbeitscylinder überströmte und durch einen elektrischen Funken entzündet wurde. Zur Erzeugung dieser Funken diente ein elektrischer Apparat, der vom Motor selbst getrieben wurde.

Nachdem die Bestrebungen Lebons mit dem Zeitpunkte der Entdeckung des Leuchtgases zusammenfallen (es wird sogar behauptet, daß der leitende Gedanke der Erfindung Lebons in der Anwendung des von ihm erzeugten Gases als Kraftgas gelegen und somit die Verwendung desselben als Leuchtgas nicht der Hauptzweck seiner Erfindung gewesen sei), so kann strenge genommen die geschichtliche Entwicklung der Gasmaschine erst vom Jahre 1800 an gerechnet werden.

Die Nachfolger Lebons (Lebon wurde 1804 ermordet) entfernten sich eigentümlicherweise anfänglich wieder von dem, was er erreicht hatte und trachteten das Leuchtgas durch andere explosible Stoffe zu ersetzen; doch blieben all diese Versuche ohne Erfolg.

Wie weit die Versuche, explosible Stoffe überhaupt als motorische Kraftquelle auszunützen, zurückdatieren, läßt sich nicht genau bestimmen. Nach einzelnen Quellen soll Abbé Hautefeuille bereits 1678 die erste Idee einer Pulvermaschine gefaßt haben, um damit Wasser anheben zu können. Die Maschine bestand nach den beiden Schriften Hautefeulles vom Jahre 1678 und 1682 aus einem rechteckigen, mit Klappen oder Ventilen versehenen Gefäße, welches durch ein Rohr mit dem zu entleerenden Wasserbehälter in Verbindung stand. Das Pulver in dem Gefäße explodierte, die Gase schlugen durch die Ventile hinaus und die nun entstehende Luftleere saugte das Wasser an. In einer zweiten Maschine soll Hautefeuille die durch die Ausdehnung der Pulvergase erzeugte Arbeit unmittelbar zur Wasserförderung benützt haben. Zu einer Ausführung seiner Ideen ist der Genannte nie gelangt, doch liegt in seinen Erfindungen bereits der Grundgedanke der späteren Gasmachine.

Die erste Idee Hautefeulles wurde erst durch Huyghens 1680 in einem Versuchsmodelle verkörpert, später von Papin verbessert und 1688 als dessen Erfindung beschrieben. Die Maschine Huyghens war bereits mit Cylinder und Kolben ausgerüstet; die nach der Explosion des Pulvers im Cylinder entstandene Leere ermöglichte der äußeren Luft den Kolben arbeitverrichtend wieder in seine Anfangstellung zurückzuführen. Diese Experimente blieben jedoch ohne Erfolg, da man namentlich in der Herstellung auf unüberwindbare Hindernisse stieß, da ja zu jener Zeit die Bearbeitung der Metalle noch in den Kinderschuhen ruhte. Papin gab daher diese Gedanken auf und wandte sich wieder der Verwendung des Wasserdampfes zu.

Mehr als hundert Jahre ruhte nun der Gedanke der Explosionsmaschine; die allgemeine Aufmerksamkeit wendete sich den Fortschritten der Dampfmaschine zu und erst mit Ende des achtzehnten Jahrhunderts wurde neuerdings der Gedanke aufgegriffen, an Stelle des Dampfes permanente Gase zum Betriebe von Kraftmaschinen zu verwenden.

John Barber nahm 1791 ein Patent auf eine Vorrichtung, durch Vergasung von Holz, Kohle oder anderen Brennstoffen Kohlenwasserstoffe zu erzeugen, diese in einem Gefäße, „exploder“ genannt, mit Luft zu mischen und beim Austritte aus demselben zu entzünden; der austretende Feuerstrahl sollte dann gegen ein Schaufelrad wirken und dieses umtreiben.

Einen weiteren Fortschritt bedeutet das Patent Robert Street vom Jahre 1794. Auf den durch Feuer erhitzten Boden des Arbeitcylinders

einer Kolbenmaschine wurde Terpentin oder Teeröl gespritzt und hierdurch vergast; bei der Bewegung des Kolbens wurde das so gebildete Gas mit Luft gemengt und durch eine außen brennende Flamme entzündet. Die Explosionswirkung trieb den Kolben in die Höhe; durch ein Hebelwerk wurde Kraft und Bewegung auf die Arbeitsmaschine übertragen. Auch mit dieser Maschine wurde ihrer Unvollkommenheit wegen kein Erfolg erzielt. Als nun kurze Zeit darauf Lebon durch die Entdeckung des Leuchtgases ein brennbares Gas schuf, wendete sich die Aufmerksamkeit neuerdings in erhöhtem Maße diesem Gegenstande zu und es entstand eine Reihe neuer Anordnungen, so die atmosphärische Gasmaschine mit Flammenzündung von Samuel Brown (1823); die doppeltwirkende, einer Hochdruckdampfmaschine ähnlich angeordnete Gasmaschine von W. Wright (1833); ferner drei einfach- bzw. doppeltwirkende Maschinen von William Barnett (1838), welcher in seinen Patentschriften die Grundlagen, auf welchen die heutige Gasmaschine der Wesenheit nach beruht, bereits ziemlich klar bespricht. Barnett war darnach der erste, welcher den Laderaum bereits als Verlängerung des Arbeitssylinders ausbildete, die angesaugte Gasmischung durch die im Laderaume zurückgebliebenen Verbrennungsprodukte verdünnte, die Zündung in den Totpunkt verlegte und Kompression der Mischung behufs besserer Entzündung derselben verwendete*).

In den beiden darauffolgenden Jahrzehnten wurde eine Reihe weiterer Patente genommen, von welchen speziell die Maschine von Barsanti und Matteucci (1857) Erwähnung verdient, weil der freie Flug des Arbeitskolbens infolge der Explosionswirkung des unter dem Kolben gesaugten Gemisches zum erstenmale in Anwendung kam. In diese Zeit fallen die Patente von Hugon 1858, Reithmann 1858 und W. Siemens 1860. Von diesen Konstruktionen hat nur jene des Uhrmachers Reithmann in München (*Zeitschrift der Vereins d. Ing.* 1884 und *Bayr. Kunst- und Gewerbeblatt* 1860) insofern Bedeutung erlangt, weil sie später als Unterlage zur Herabminderung der Verdienste Ottos ausgenützt wurde.

Der größte Teil dieser Erfindungen blieb jedoch der Allgemeinheit der Techniker jener Zeit fremd; keine derselben kam über das Stadium des Versuches hinaus, nachdem einerseits die praktischen Schwierigkeiten, welche zu jener Zeit der Verkörperung solcher Ideen im Wege standen, nicht überwunden werden konnten, andererseits der Ehrgeiz der meisten Erfinder sich nicht mit dem bescheideneren Erfolge, eine Kleinkraftmaschine zu schaffen, begnügen wollte, sondern von dem Bestreben geleitet

*) Zeichnungen und Beschreibung der Maschinen von Brown, Wright und Barnett siehe: D. Clerk, *The Gas- and Oil-Engine*, 6. Aufl., London 1896.

war, in der Gasmaschine schon einen Ersatz der Dampfmaschine überhaupt zu sehen; dieses Bestreben kam in vielen Patentschriften deutlich zum Ausdrucke.

Lenoir war es endlich 1860 gegönnt, jene praktischen Schwierigkeiten zu überwinden und mit seiner Maschine Erfolge zu erzielen, die so vielen vor ihm versagt waren. Prof. Tresca hat eingehende Versuche mit den Lenoirschen Maschinen durchgeführt. Der Gasverbrauch betrug, wie bereits früher erwähnt, durchschnittlich 2,8 cbm Pariser Gas pro PS_i-Stunde. Eine Maschine von 210 mm Durchmesser und 410 mm Hub lief mit 50 Umdrehungen pro Minute; der maximale Druck im Cylinder erreichte ungefähr 3½ kg/qcm, der mittlere Druck 0,58 kg/qcm; die Maschine leistete daher 2 PS_i; ein Resultat, welches in anbetracht der Größe der Maschine als ein sehr minderwertiges bezeichnet werden muß. Der indizierte Wirkungsgrad erreichte als Durchschnittswert $\eta = 0,054$; es wurden daher nur etwa 5½% des Wärmewertes des verbrauchten Gases in indizierte Arbeit umgesetzt.

Die Priorität Lenoirs wurde, nachdem derselbe mit seiner Maschine sichtbare Erfolge erzielt hatte, von dem Direktor der Pariser Gasanstalt Hugon, sowie von dem Uhrmacher Reithmann, welche sich auf ihre Patente vom Jahre 1858 stützten, bestritten. Reithmann kann übergangen werden, während Hugon später insofern eine Verbesserung der Lenoirschen Maschine erzielte, daß er die elektrische Zündung, die nur zu oft versagte und infolge dessen zu Minderleistungen Veranlassung gab, durch Flammzündung ersetzte. Diese Verbesserung war jedoch auch nicht neu, da bereits früher Street und Brown, wie schon erwähnt, die Flammzündung in Vorschlag gebracht hatten. Eine weitere Neuerung Hugons bestand darin, daß er Wasser in den Cylinder einspritzte, wodurch ein Teil der Explosionswärme, welcher sonst nutzlos durch die Wandungen abgeführt wurde, zur Verdampfung des Einspritzwassers, somit zur Erhöhung des mittleren Betriebsdruckes verwertet werden konnte. Der gleiche Gedanke wurde später wiederholt aufgegriffen, ohne daß damit ein besonderes Resultat erzielt worden wäre. Auch in neuester Zeit hat Bánki bei seinem Petroleummotor die Wasserinjektion wieder angewendet, um den Kompressionsenddruck, ohne vorzeitige Selbstzündung der Ladung befürchten zu müssen, hinauftreiben und dadurch den Wirkungsgrad der Maschine erhöhen zu können.

Durch diese Verbesserungen der Lenoirschen Maschine erreichte Hugon einen etwas ökonomischeren Betrieb, indem seine Maschinen durchschnittlich 2,4 bis 2,5 cbm Gas pro PS_i-Stunde verbrauchten; sie arbeiteten ebenso ruhig wie Lenoirs Maschine.

Der große Gasverbrauch dieser Maschinen verhinderte ihre aus-

gedehntere Verwendung und führte zu neuen Konstruktionen, in der Erwartung, mit diesen bessere Resultate zu erzielen. Die großen Wärmeverluste waren den Erfindern bekannt; die Versuche, durch Wassereinspritzung und Dampfzufuhr die Leistung zu erhöhen, führten zu keinem Resultate und so vergingen einige Jahre fieberhafter, aber erfolgloser Tätigkeit.

Die durch die Explosion einer Gasmischung hervorgerufene Kraft ist von außerordentlich kurzer Dauer; die anfängliche hohe Pressung verschwindet in der kürzesten Zeit; wenn daher Arbeit geleistet werden soll, bevor durch die Abkühlung die ganze Wärme aufgezehrt wird, dann muß dieser Umsetzungsprozeß sich sehr rasch vollziehen. An diesem Übelstande krankten die Maschinen von Lenoir und Hugon und der geringe Nutzeffekt derselben war in erster Linie eine Folge der geringen Kolbengeschwindigkeit nach erfolgter Explosion. Jede Arbeitsmethode, welche sich mit größerer Kolbengeschwindigkeit vereinen läßt, wird daher auch einen ökonomischeren Betrieb ergeben und es ist bereits durch die Erfahrung hinlänglich bestätigt, daß der Wirkungsgrad einer Maschine wächst mit der Kürze der Zeit, während welcher die Ladung nach erfolgter Explosion mit den umgebenden Wandungen in Berührung steht. Erfolgt die Expansion jedoch zu rasch, bevor die Explosion noch vollendet ist, dann findet natürlich statt Arbeitsgewinn Arbeitsverlust statt; die Expansion soll nicht früher beginnen, als die Explosion vollendet bezw. das Maximum des Druckes erreicht ist, weil dieselbe sonst einen Spannungsverlust zur Folge hätte. Bei Maschinen nach Lenoirs System kann, nachdem die Entzündung ungefähr in der Mitte des Hubes stattfindet, bei hoher Kolbengeschwindigkeit leicht der Fall gedacht werden, daß die Expansion im Verhältnisse zur Explosion so rasch verläuft, daß keine wesentliche Druckzunahme stattfindet, in welchem Falle die geleistete Arbeit gleich oder nahezu gleich Null werden könnte. Der erzielbare Arbeitsgewinn resultiert daher durch rasch verlaufende Expansion nach vollständig erfolgter Explosion. Dieser Weg wurde von verschiedenen Erfindern durch die Methode des freifliegenden Kolbens eingeschlagen; statt die durch die Explosion hervorgerufene Kraft auf einen mit der Kurbel zwangläufig verbundenen Kolben zu übertragen, wurde der Kolben freifliegend angeordnet. Durch die Explosionswirkung erhält der Kolben hohe Geschwindigkeit, welche zur Kompression der Außenluft ausgegeben wird, ein Vakuum unter dem Kolben im Cylinder erzeugend. Sobald die ganze Bewegungsenergie aufgezehrt ist, kommt der Kolben in seiner höchsten Lage zur Ruhe und kehrt unter dem Überdruck der Atmosphäre in seine ursprüngliche Lage zurück. In dem Momente als der Rücklauf beginnt, wird durch eine Kuppelung die Bewegung der Kolbenstange auf die Kurbelwelle übertragen.

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