

b. Gasmaschinen.

§ 9. Die Arbeitsprinzipien der Gasmaschinen. Die Gasmaschinen unterscheiden sich von den offenen Luftmaschinen mit geschlossener Feuerung prinzipiell nur durch die Form, in welcher das Brennmaterial zugeführt, und die Art, in welcher die Verbrennung bewirkt wird. Auch bei ihnen findet die Verbrennung des Brennstoffes (Leuchtgas) in einem luftdicht geschlossenen Raume statt, und die Feuergase kommen behufs Arbeitsverrichtung direkt mit dem Arbeitskolben in Berührung. Man könnte geneigt sein, auch eine mit Leuchtgas geheizte geschlossene Luftmaschine Gasmaschine zu nennen. Bis jetzt ist dies jedoch nicht üblich. Die Grenze zwischen beiden Wortgebieten ist indessen unbestimmt.

Die Verbrennung des Leuchtgas erfolgt besonders vollkommen, wenn es vor der Entzündung mit dem erforderlichen 9 bis 12fachen Volumen atmosphärischer Luft vermengt wird. Deshalb ist diese Art der Verbrennung bei allen mehr oder weniger bekannt gewordenen Gasmaschinen zur Anwendung gekommen, obgleich eine plötzliche, explosionsartige Verbrennung untrennbar damit verknüpft ist. Der hierbei spontan auftretende Druck ist nun möglichst schnell in mechanische Arbeit umzusetzen, um dadurch die sonst eintretende Wärmeausstrahlung zu verhüten. Diese schwierige Aufgabe bildet den eigentlichen Hauptzielpunkt für alle Gasmaschinenkonstruktoren und giebt eine natürliche Erklärung für die komplizierten Konstruktionen der meisten Gasmaschinen.

Bei der ältesten, einer gewöhnlichen Kolbendampfmaschine ähnlichen Gasmaschine von Lenoir, in welcher das bei Beginn des Kolbenhubes angesaugte Gas- und Luftgemenge nach Abschluß der Zuströmungskanäle durch einen elektrischen Funken entzündet wird, erfolgte wegen zu geringer Kolbengeschwindigkeit die Umsetzung der Wärme in Arbeit so langsam, daß der Cylinder nur durch einen kräftigen Strom fließenden Kühlwassers vor zu großer Erhitzung geschützt werden konnte. Ein großer Teil der Wärme ging daher, statt Arbeit zu verrichten, in das zwecklos erwärmte Kühlwasser über, dessen Verbrauch, 2—4 cbm pro Stunde und Pferd, die ohnehin schon beträchtlichen Kosten von 4 cbm Leuchtgas pro Stunde und Pferd noch erheblich steigerte.

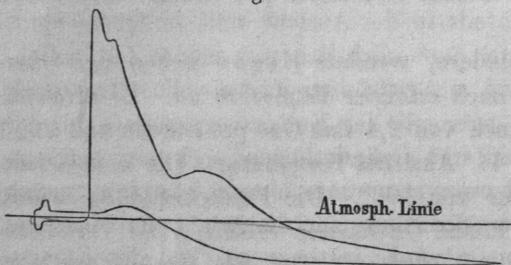
Um den Wasserverbrauch zu vermindern, wendete Hugon neben der Oberflächenkühlung, Einspritzung von Wasser nach erfolgter Explosion an. Er erreichte nach Versuchen von Tresca einen Verbrauch von 2,4 cbm Gas pro Stunde und Pferd und 0,6 cbm Wasser bei 19° Eintritts- und 44° Austritts-Temperatur. Die entweichenden Gase hatten eine mittlere Temperatur von 186°. Die Funkenzündung wurde durch eine mit Hochdruck eingetriebene kleine Gasflamme ersetzt. Die Verminderung des Gasverbrauchs erklärt sich dadurch, daß ein Teil der Explosionswärme zur Bildung von Wasserdampf verwendet und im weiteren Verlauf der Kolbenbewegung in Arbeit umgesetzt wird.

Ganz anders haben Otto und Langen durch ihre epochemachende „atmosphärische Gaskraftmaschine“ der hervorgehobenen Hauptschwierigkeit zu begegnen gesucht.

Indem sie der Ausdehnung der durch die Explosion entwickelten Gase als Widerstand nur das Eigenwicht des vertikal frei beweglichen Kolbens plus dem darauf lastenden Druck der Atmosphäre entgegensetzten, ermöglichen sie eine so rasche Expansion, daß eine erhebliche Temperatursteigerung nicht eintritt, sondern die Verbrennungswärme sofort nach ihrem Entstehen in mechanische Arbeit umgesetzt wird,

Die Maschine besteht aus einem oben offenen, senkrecht stehenden Cylinder, in welchem sich ein einziger Kolben bewegt. Dieser saugt bei Beginn jeder Arbeitsperiode, von dem laufenden Werk der Maschine getrieben, das explosive Gemenge von Leuchtgas und Luft an, dessen Eintritt durch den in der Nähe des Cylinderbodens befindlichen Steuerungsschieber geregelt wird. Hierauf wird das Gasgemenge durch eine kontinuierlich brennende Gasflamme entzündet. Es explodiert und schleudert, da die Einlaßkanäle am Cylinderboden vorher geschlossen werden, den Kolben in die Höhe. Dieser, durch den Mechanismus in keiner Weise am Aufwärtsgehen behindert, wird durch den Überdruck der Verbrennungsgase über Atmosphärendruck und Kolbengewicht so lange beschleunigt, bis infolge der Verdünnung unter dem Kolben dieser Überdruck Null wird. Die nutzbare Arbeit der Explosion ist jetzt größtenteils in lebendige Kraft des Kolbens umgesetzt, welche, indem der Kolben noch weiter fliegt, trotz des unter demselben entstehenden teilweisen Vacuums den Atmosphärendruck überwindet, bis die Geschwindigkeit aufgezehrt ist. Von diesem Augenblicke an würde der Kolben, durch den Atmosphärendruck und sein Eigengewicht getrieben, wieder herabfallen, wenn er sich auch nach unten völlig frei bewegen könnte. Daran wird er jedoch durch ein Klemmschaltwerk behindert, welches ein in die verzahnte Kolbenstange eingreifendes Zahnrad während des Kolbenniedergangs mit der Schwungradwelle verkuppelt und so dem niedergehenden Kolben den ganzen Widerstand der zu betreibenden Arbeitsmaschinen entgegengesetzt. Beim Niedergange wird mithin die Explosionsarbeit erst nutzbar gemacht. Es hat nun den Anschein, als müßten während des Kolbenniedergangs durch Kompression dieselben Spannungen unter dem Kolben hervorgerufen werden, welche beim Aufgang herrschten. Wie aus beistehendem Diagramm, Figur 3, hervorgeht, ist dies jedoch nicht der Fall. Das Vacuum unter dem Kolben hält sich vielmehr ziemlich lange konstant, und erst in der untersten Hälfte des Kolbenweges steigt der Druck bis auf eine Atmosphäre, worauf wegen der beginnenden Ausströmung der Verbrennungsrückstände eine wesentliche Drucksteigerung nicht mehr möglich ist. Dafs die Kompressionslinie so wesent-

Fig. 3.



Indikator-
diagramm einer atmosphärischen Gaskraft-
maschine von Otto u. Langen.

lich unter der Expansionslinie bleibt und daher die durch die Diagrammfläche gemessene Arbeit disponibel wird, hat seinen Grund in der Abkühlung der Gase durch die Cylinderwände, resp. den Wassermantel, welcher den untersten Teil des Cylinders umgiebt. In demselben braucht jedoch nicht fließendes Wasser zu circulieren, sondern durch Verbindung mit einem Kühlgefäß von mäfsigen Dimensionen kann die Wassertemperatur auf

30 bis 35° erhalten werden, so dafs ein Ersatz des Kühlwassers nicht erforderlich ist. Hieraus geht schon hervor, dafs während der Explosion kein grofser Wärmeverlust stattfinden kann. Wärmeausstrahlung während des Aufgangs ist Arbeitsverlust, deshalb ist es vorteilhaft, wenn der Aufgang möglichst schnell erfolgt. Beim Niedergang hingegen soll möglichst niedere Temperatur herrschen, da hierdurch das Vacuum vollkommener, also die Arbeitsleistung erhöht wird; in dieser Periode ist daher langsame Bewegung zweckmäfsig.

Die Regulierung der Maschine ist in verschiedener Weise bewirkt worden,

anfänglich dadurch, daß dem sinkenden Kolben auf dem letzten Teile seines Weges durch Drosselung der abziehenden Gase ein vom Regulator zu beeinflussender Widerstand entgegengesetzt und damit die Zeit zwischen zwei Kolbenflügen verändert wurde; später wurde jedoch am Ende jedes Kolbenniederganges eine wirkliche Hubpause eingeschaltet, welche so lange dauerte, bis durch Senken des Regulators infolge der Verzögerung der Schwungradbewegung der nächste Kolbenflug eingeleitet wurde.

Der Gasverbrauch dieser Maschine beträgt pro Stunde und effektive (gebremste) Pferdestärke 0,75 bis 1 cbm Leuchtgas, läßt also an Billigkeit des Betriebes kaum etwas zu wünschen übrig. Der einzige Übelstand des Systems ist ein höchst störendes Geräusch, von welchem jeder Kolbenflug begleitet ist. Dasselbe hat jedoch nicht verhindert, daß die Maschine innerhalb eines Zeitraumes von 10 Jahren in mehr als 4000 Exemplaren zur Ausführung gekommen ist.⁸⁾

Durch die Gasmaschine von Gilles (s. Musil a. a. O. 1878), welche auf demselben Arbeitsprinzip beruht, ist das Geräusch fast vollständig vermieden worden, indem zwei Kolben, nämlich ein Flugkolben und ein Arbeitskolben zur Verwendung kommen, von denen der erstere infolge der zwischen beiden stattfindenden Explosion emporgeworfen und durch ein Gesperre am Niedergang verhindert wird, während der letztere, welcher mittelst Pleuelstangen auf eine unter demselben liegende Kurbel wirkt, beim Niedergang einen Teil der Explosionsarbeit, beim Rückgang aber die durch das Vacuum erzeugte Arbeit auf die Welle überträgt.

Diese Maschine wurde bald nach ihrem Bekanntwerden durch den von der Deutzer Gasmotorenfabrik gebauten neuen Otto'schen Gasmotor überflügelt, welcher sich in kürzester Zeit sehr verbreitet hat und der früheren Otto'- und Langen'schen Konstruktion, wenn auch nicht hinsichtlich des Gasverbrauches, so doch durch ruhigen Gang bedeutend überlegen ist.

§ 10. Der Otto'sche Gasmotor, Fig. 1 u. 2, Taf. VII. Obgleich die Erfindearbeit auf dem Gebiete der Gasmaschinen eine sehr rege ist, so muß doch zur Zeit der Otto'sche Gasmotor (D. R. P. No. 532 u. 2735) als der eigentlich herrschende bezeichnet werden.

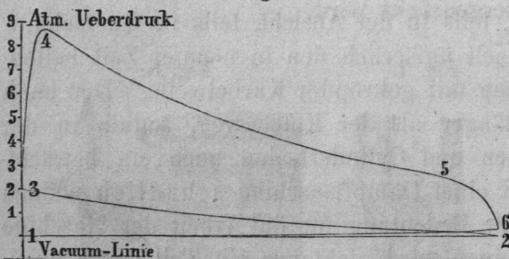
Die Maschine ist in Fig. 1, Taf. VII, teils in der Ansicht, teils im Querschnitt, in Fig. 2 im Grundriß dargestellt und ähnelt äußerlich den in neuerer Zeit beliebten kleinen schnellgehenden Dampfmaschinen mit gekröpfter Kurbelwelle. Der nach der Kurbel zu offene Cylinder ist etwas länger als der Kolbenweg, sodaß in der gezeichneten Kurbelstellung zwischen Kolben und Cylinderboden noch ein beträchtlicher Raum übrig bleibt, welchen man bei einer Dampfmaschine schädlich nennen würde, welcher jedoch hier von prinzipieller Bedeutung für die Arbeit der Maschine ist. Im Unterschied zu anderen Gasmaschinen wird nicht nur ein Teil des Kolbhubes zum Ansaugen des Gasmisches verwendet, sondern es dient hierzu ein voller Kolbenausgang. Die Entzündung erfolgt, nachdem durch den Kolbenrückgang das Gasmisch auf etwa 2 Atmosphären komprimiert worden ist, sodaß erst der folgende Kolbenausgang zur Arbeitsentwicklung verwendet wird. Diese Maschine ist daher, sofern sie nur bei dem zweiten Kolbenausgang Arbeit leistet, treffend als halbwirkend bezeichnet worden. Der Kolbenrückgang nach dem Arbeitshub dient zum Ausstoßen der Verbrennungsprodukte, sodaß zu dem vollen Arbeitsprozeß der Maschine 2 Kurbelumdrehungen erforderlich sind. Der in der gezeichneten Stellung

⁸⁾ Abbildungen und Beschreibung aller Details enthält ein Vortrag Reuleaux's in den Verh. d. Ver. zur Bef. d. Gewöbl. in Preußen 1867, S. 198—209.

verbleibende Raum ist bei Beginn eines neuen Arbeitsprozesses noch vom vorhergehenden mit gasförmigen Verbrennungsprodukten von atmosphärischer Spannung gefüllt. Die Gas- und Luftzuströmung wird durch einen an dem Cylinderboden befindlichen Schieber in der Weise reguliert, daß während der ersten Hälfte des Kolbenhubes Luft allein in den Cylinder tritt, während bei dem zweiten Teil des Hubes eine Mischung von Gas und Luft eingesogen werden kann. Die so entstehende Schichtung, zufolge deren dicht an dem Kolben Verbrennungsrückstände, dann Luft und endlich ein Gemisch aus Luft und Gas sich befindet, bleibt auch während der Kompression noch insoweit erhalten, als das Gemisch in unmittelbarer Nähe des Cylinderbodens, wo die Zündung erfolgen soll, am meisten mit Gas gesättigt ist. Die Zündung selbst erfolgt, indem durch den Schieber eine Verbindung zwischen einer kleinen von außen herein transportierten Vermittlungsflamme und dem Innern des Cylinders hergestellt wird, unmittelbar nach Überschreitung des Todpunktes, verbreitet sich aber infolge der eigentümlichen Schichtung nicht mit derselben Schnelligkeit wie bei gleichmäßiger Füllung des Raumes durch die ganze Masse. Infolge dessen hat die Verbrennung nicht in gleichem Maße wie bei anderen Gasmaschinen den Charakter der Explosion, sondern sie erfolgt ruhiger und ohne so bedeutende Erhitzung als sonst, wozu der Umstand noch wesentlich mitwirkt, daß die Verbrennungsprodukte, selbst von der Kolbenbewegung abgesehen, sofort Gelegenheit finden, sich etwas auszudehnen, indem sie die in demselben Raume befindlichen Verbrennungsrückstände noch weiter komprimieren. Hierdurch wird natürlich die Spannungs- und somit auch die Temperaturzunahme der Gase bedeutend eingeschränkt, also die Wärmeausstrahlung reduziert.

In welcher Weise die Spannungen sich nach der Zündung und während des ganzen Kolbenweges verändern, läßt sich aus dem beistehenden Indikatordiagramm Fig. 4 leicht erkennen. Es entspricht die Linie 1 2 dem Ansaugen des Gasgemisches, 2 3 der Kompression, 3 4 der Zündung und Verbrennung, 4 5 der Expansion, 5 6 der Vorausströmung und 6 1 der Ausströmung beim Kolbenrückgang.

Fig. 4.

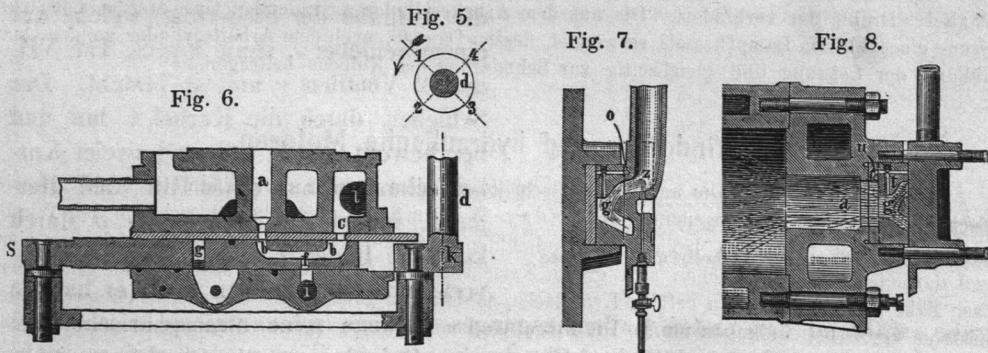


Indikatordiagramm eines 2-pferdigen Otto'schen Gasmotors.

Die richtige Ausführung dieser nacheinanderfolgenden Vorgänge ist die Aufgabe der Steuerung, welche aus einem Schieber *s*, siehe Fig. 2, Taf. VII, und 2 Ventilen *v* und *w* besteht. Der Schieber, durch die Kurbel *k* hin und her bewegt, macht während zweier Kurbeldrehungen nur einen Hin- und Hergang, indem die Steuerwelle *d* durch konische Räder *e e*, vom Übersetzungsverhältnis 1/2 getrieben wird; er hat die

Aufgabe, während des ersten Kolbenausganges anfangs reine atmosphärische Luft und dann ein Gemisch von Luft und Gas in den Cylinder eintreten zu lassen, während des Kolbenrückganges den Cylinder geschlossen zu halten, eine Vermittlungsflamme in einem seiner Kanäle an der kontinuierlich brennenden Entzündungsflamme zu entzünden und diese bei Beginn des zweiten Kolbenausganges nach vorheriger Druckausgleichung in das Innere des Cylinders zu übertragen. Das Ventil *v* dient zur Zulassung des Gases und gleichzeitig zur Regulierung der Maschine, während das Ventil *w* die Ausströmung der Gase aus dem Cylinder gestattet.

Während der Saugperiode durchläuft die Schieberkurbel den Quadranten 1—2, siehe Holzschn. 5, sodafs während dieser ganzen Zeit der innere Cyllinderraum durch die Kanäle *a*, *b*, *c*, siehe Holzschn. 6, mit dem Zuführungsrohre *l* atmosphärischer Luft kommuniziert. Gleichzeitig gestattet der nach dem Schieberdeckel führende Kanal *f* den Eintritt von Gas aus dem Gaszuführungsrohre *i*, wenn dieses selbst durch die Öffnung des Ventils *v* mit der Gasleitung in Verbindung gebracht ist, was, vergl. Fig. 1, Taf. VII, durch einen auf der Steuerwelle sitzenden Hebadaumen und den Winkelhebel *n n*, jedoch nur dann geschieht, wenn die Maschine so langsam geht, dafs eine neue Explosion erforderlich ist. Geht die Maschine infolge der Arbeitsleistung der vorhergehenden Explosion noch hinreichend schnell, so wird die Daumenmuffe durch den Regulator *r* so weit seitwärts verschoben, dafs sie den Hebel *n n* nicht trifft, mithin auch kein Gas in die Maschine einströmt. Die Maschine wird also durch das Ausbleiben einzelner Explosionen reguliert. Während der Kompressionsperiode durchläuft die Schieberkurbel den Bogen 2—3 und der Kanal *g* des Schiebers tritt, wie aus dem Querschnitt, Holzschn. 7, ersichtlich ist, mit einer in der Schubrichtung laufenden Nut *o* in Verbindung, welche mit einem senkrecht durch den Schieberdeckel geführten Gasrohr kommuniziert. Gleichzeitig ist aber die Verbindung mit atmosphärischer Luft und einer Entzündungsflamme *z* hergestellt, sodafs sich in dem Kanale *g* eine Gasflamme bilden wird, welche im nächsten Moment, nach dem die Verbindung mit den Öffnungen des Schieberdeckels wieder unterbrochen ist, die Zündung bewirkt, indem die Kammer *g* mit dem Kanal *a*, Holzschn. 8, in Verbindung tritt. Zwischen beiden Momenten war es jedoch notwendig, den Druck in dem Kanal auf die Höhe des im Cylinder komprimierten Gemisches zu bringen; deshalb wird noch vor dem Zusammentreffen der Kanäle *g* und *a* die Kanalverbindung *g u* hergestellt, vermöge deren aus dem Cylinder Gas in den Kanal *g* eintritt und dort dieselbe Kompression hervorruft, welche im Cylinder herrscht, sodafs bei Herstellung der gröfseren Kommunikation zwischen Vermittelungsflamme und Cylinder durch die Kanäle *g* und *a*, die Gefahr des Verlöschens ausgeschlossen ist. Das Austrittsventil wird durch einen Hebel *p* geöffnet, welcher durch einen Hebadaumen regelmäßig nach je zwei Kurbeldrehungen niedergedrückt wird.



Der Cylinder ist mit einem Wassermantel umgeben, durch welchen jedoch nicht, wie bei Lenoir, ein konstanter Strom kalten Wassers zu fließen braucht. Es genügt vielmehr, denselben, wie bei der atmosphärischen Gaskraftmaschine, mit Zu- und Abfluss von und nach einem geschlossenen Reservoir von mäßiger Gröfse zu versehen, um die Temperatur auf richtiger Höhe zu erhalten. Die Schmierung des

Cylinders wird durch ein kleines Schöpfwerk automatisch vollzogen. Der Ölverbrauch ist jedoch beträchtlich. Der Gasverbrauch beträgt nach vielen Versuchen 1 cbm pro Stunde und effektive (gebremste) Pferdestärke, ist jedoch von der Qualität des Gases nicht ganz unabhängig.

Der Otto'sche Motor ist anfänglich nur in kleinen Dimensionen, namentlich von 1 bis 6 Pferdestärken, ausgeführt worden; neuerdings hat indessen die Deutzer Gasmotorenfabrik schon Maschinen von 60 Pferdestärken gebaut.

Für Bauten ist der Otto'sche Motor namentlich deshalb ganz besonders zu empfehlen, weil er sehr schnell zu montieren ist und in jedem Augenblick in Betrieb gesetzt werden kann. Da er nicht länger Gas konsumiert, als er wirklich arbeitet, so sind namentlich in Fällen häufig unterbrochenen Betriebes die täglichen Kosten gering im Vergleich zu Maschinen, welche erst längerer Zeit zum Anheizen bedürfen und dann während des vorübergehenden Nichtgebrauchs unter Feuer gehalten werden müssen.

Unter den zahlreichen patentierten Gasmotoren verdienen noch zwei Konstruktionen kurzer Erwähnung. Es sind dies die Maschinen von Bisschop und von Simon.

Die erstere, im Deutschen Reich in verbesserter Form unter No. 7925 patentiert, ist nur für sehr kleine Kräfte, in der Regel weniger als 1 Pferdestärke, bestimmt und hat sich trotz ihres beträchtlichen Gasverbrauchs wegen ihrer großen Einfachheit in der Kleinindustrie eingebürgert. Sie arbeitet mit vertikalem Cylinder und braucht überhaupt kein Kühlwasser, da die erforderliche Kühlung des Cylinders vermöge der großen Ausstrahlungsfläche eines den Cylinder umgebenden Systems von gußeisernen Rippen in ausreichendem Maße durch die Luft erfolgt.

Einige Abänderungen dieses Systems enthält der Gasmotor von Buß, Sombart und Co., D. R. P. No. 7896 und 8245.

Der Gasmotor von Simon, D. R. P. 2404, verdient wegen seines originellen Wirkungsprinzips besonderes Interesse. Bei dieser Maschine wird ein Gemisch aus Luft und Gas durch eine Kompressionspumpe auf ca. 5 Atmosphären verdichtet und so dem Arbeitscylinder zugeführt, in welchem es sich an einer unter Druck konstant brennenden kleinen Flamme allmählich entzündet und zunächst unter Volldruck, dann, nach Abschluß des Einströmungsschiebers, unter Expansion seinen Druck auf den Arbeitskolben überträgt.

Der Rückschlag der Entzündungsflamme in das Gaszuführungsrohr wird durch ein zwischen geschaltetes Drahtgitter verhindert. Die aus dem Arbeitscylinder austretenden Gase werden noch zur Speisung eines kleinen Dampfkessels verwendet, dessen Dämpfe, nach dem Arbeitscylinder geführt, zur Erhöhung der Leistung und gleichzeitig zur Schmierung des Kolbens beitragen.

c. Windräder und hydraulische Motoren.

§ 11. Windräder. Die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Windmotoren sind amerikanischen Ursprungs. Die sogenannte Halladay-Windmühle unterscheidet sich von den Windrädern der seither in Europa bekannten Windmühlen dadurch, daß sie dem Winde nicht nur vier Flügel darbieten, welche zwischen sich große Zwischenräume übrig lassen, sondern eine mit einer großen Zahl leichter Schaufeln gefüllte Kreisfläche, so daß der ganze dieser Kreisfläche entsprechende Windstrom zur Arbeit gelangen muß. Die Flügel sind mit Regulierungseinrichtungen versehen, durch welche sie automatisch aus dem Wind gestellt werden, wenn der Wind zu stark wird, so daß die Räder selbst bei starkem Sturm keinen Schaden leiden können. Das Halladay-Windrad hat sich auch in Europa in wenigen Jahren eingebürgert, vorzugsweise jedoch für dauernde Betriebe. Sein Auftauchen hat zahlreiche Abänderungen hervorgerufen, welche sich zumeist in Kl. 88 der deutschen Patente vorfinden.

§ 12. Hydraulische Motoren. Die hydraulischen Motoren für hohe Gefälle, welche für den vorübergehenden Betrieb von Baumaschinen hauptsächlich in Frage kommen, sind Turbinen und Wassersäulenmaschinen.