

bietet den Vorteil, daß die Kompressionswirkung bestehen bleibt, ob nun der Dampf auspufft oder in einen Kondensator entweicht\*).

Von verschiedenen einfachwirkenden Schnellläufern, welche in der allgemeinen Anordnung der Willans-Maschine sehr ähnlich sind, sei hier noch die Maschine von Mather & Platt erwähnt, bei welcher das Gestänge statt unter Druck beständig unter Zug erhalten wird, indem der Frischdampf nicht über, sondern nur unter den Kolben eingelassen wird.

Ein Balancekolben, dessen untere Fläche fortwährend unter Dampfdruck steht, hält die Zugwirkung auch während jener Periode aufrecht, während welcher zufolge der Trägheit des abwechselnd bewegten Gestänges ein Wechsel von Zug in Druck eintreten würde. Auch diese Maschine wurde bereits an früherer Stelle (§ 181) hinsichtlich der Wirkung der bewegten Massen derselben besprochen.

**203. Wasserhebemaschinen.** Maschinen zum Betriebe von Pumpen und Gebläsen können ohne Rotationsbewegung arbeiten, indem die hin- und hergehende Bewegung des Dampfkolbens direkt oder indirekt (durch Vermittlung eines Balanciers) auf die Pumpen- oder Gebläsekolben übertragen werden kann. Man findet jedoch in neuerer Zeit sehr häufig Ausführungen mit Rotationsbewegung; Gebläsemaschinen werden heutzutage fast ausschließlich als Kurbelmaschinen, liegend oder stehend, gebaut.

Die Aufstellungsart der Wasserhebemaschinen wird durch die Tiefe des Wasserspiegels unter dem Niveau des Aufstellungsortes mit beeinflusst. Liegt der Wasserspiegel hoch genug, dann werden gewöhnliche liegende Maschinen mit rückwärts angehängter liegender Pumpe bevorzugt; bei tief liegendem Wasserspiegel, wie dies beispielsweise in Bergbauen stets der Fall ist, ist die direkt oder indirekt wirkende Vertikalmaschine die gebräuchlichste Aufstellungsart, doch können auch liegende Maschinen in solchen Fällen verwendet werden, wenn man sogenannte Kunstkreuze mit rechtwinkliger Bewegungsumkehr zum Antriebe der tiefstehenden Pumpen benützt; die Pumpe hängt dann an dem horizontalen Arm, während die über Tag liegende Dampfmaschine an dem vertikalen Arm des Kreuzes angreift.

\*) Beschreibung und Zeichnung von Willans Dampfmaschine siehe u. a.: *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, 1885, S. 925, 1886, S. 579 und 1892, S. 960. Anlässlich der Pariser Ausstellung 1900 war von Willans & Robinson, Victoria-Werke, Rugby, eine 2400 PS Dreifach-Expansionsmaschine ausgestellt, welche eine Bodenfläche von 9,4 m  $\times$  3,4 m beanspruchte; die Cylinder hatten 480, 770 beziehungsweise 1240 mm Durchmesser bei 600 mm Hub; die Maschine lief bei 10 Atmosphären Dampfspannung mit 200 Umdrehungen pro Minute; *Engineering*, 1900, S. 552. Die Ausstellung in Glasgow brachte zwei Maschinen von je 1500 PS; Raumbedürfnis 4,8 m  $\times$  2,6 m pro Maschine. Die Maschinen arbeiteten bei 380, 600 beziehungsweise 950 mm Cylinderdurchmesser und 430 mm Hub und einer Dampfspannung von 12,7 Atmosphären mit 230 Umdrehungen pro Minute.

Für Wasserförderung aus beträchtlicher Tiefe, sowie zur Bewältigung größerer und stark veränderlicher Wassermengen verwendet man heutzutage noch gerne die stehenden direkt oder indirekt wirkenden über Tag liegenden Wasserhaltungsmaschinen. Die direkt wirkenden Maschinen sind entweder von der einfachsten Bauart einfachwirkender Eincylindermaschinen mit sogenannter Kataraktsteuerung, deren Cylinder direkt über dem Schachte

aufgestellt ist, sodaß die tiefstehenden Pumpen (bei Tiefbauten sind mehrere Pumpensätze in verschiedenen Etagen aufgestellt) direkt an dem Maschinenkolben hängen, oder man führt die Maschinen als doppelwirkende Compoundmaschinen mit parallel geschalteten oder übereinander liegenden Cylindern aus. Fig. 218 zeigt die Anordnung einer solchen Maschine, deren Kolbenstangen

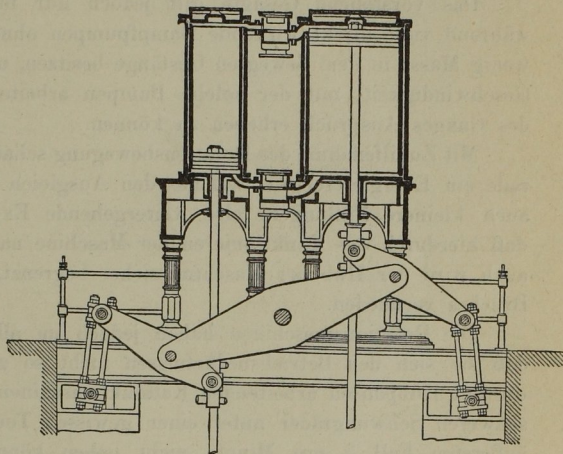


Fig. 218.

durch einen Hilfsbalancier gekuppelt und durch Lenker gerade geführt sind, wie sie von der Firma Hathorn, Davey & Cie. für eine größere Anzahl von Wasserhaltungsanlagen ausgeführt wurden.

Zur Steuerung dieser Maschinen ohne Rotationsbewegung werden ausschließlich entlastete Ventile in Verbindung mit einem Katarakt, welcher die Pausen nach jedem Hubwechsel, somit die Funktion der Maschine regelt, gesteuert; solche Maschinen werden daher Kataraktmaschinen genannt.

Maschinen ohne rotierende Bewegung haben den Nachteil, daß die Anwendung größerer Expansion unzulässig ist, wodurch die Ökonomie des Betriebes nachteilig beeinflusst wird. Das schwere Gestänge speichert allerdings zufolge seiner Trägheit während der Bewegung soviel Energie auf, daß bei nicht weitgehender Expansion die Ungleichförmigkeit der Bewegung zufolge des veränderlichen Dampfdruckes soweit ausgeglichen wird, daß die Pumpen mit dem erforderlichen, nahezu gleichbleibenden Drucke arbeiten. Das schwere Gestänge, welches der Hauptsache nach aus dem Gewichte der massiven Pumpenstangen besteht, bedarf bei seinem Anhuben eines so großen Beschleunigungsdruckes, daß hierzu der volle



Dampfdruck auf den Kolben der Maschine erforderlich ist; in dem Maße der zunehmenden Beschleunigung des Gestänges nach Art der Beschleunigungsdruckkurve Fig. 170 kann der Dampfdruck abnehmen, sodaß die beiden Kurven einen derartigen Verlauf nehmen können, daß der die auf den Plunger der Pumpe übertragene Arbeit darstellende Abstand der beiden Kurven nahezu konstant bleiben kann.

Das vorstehend Gesagte gilt jedoch nur für tiefliegende Pumpen, während viele direkt wirkende Dampfpumpen ohne Rotationsbewegung zu wenig Masse in dem bewegten Gestänge besitzen, um bei der gewöhnlichen Geschwindigkeit, mit der solche Pumpen arbeiten, auf Gleichförmigkeit des Ganges Anspruch erheben zu können.

Mit Zuhilfenahme der Rotationsbewegung schafft man in dem Schwungrade ein Energiereservoir, welches den Ausgleich übernimmt, andererseits auch kleinere Füllungen, also weitergehende Expansion gestattet, ohne daß hierdurch das Funktionieren der Maschine nachteilig beeinflusst wird; auch wird der Hub der Maschine sicher begrenzt, somit die Gefahr eines Bruches vermieden.

Die Rotationsmaschinen haben jedoch im allgemeinen den Nachteil, daß sie sich den Betriebsbedürfnissen nicht so gut anpassen lassen, als die mit Hubpausen arbeitenden Kataraktmaschinen, nachdem sie trotz der schweren Schwungräder unter einer gewissen Tourenzahl von 4 bis im äußersten Fall 3 pro Minute nicht gehen können. Der Abgang der Hubpausen hatte schon bei manchen Gruben die Folge, daß man neben der Rotationsmaschine andere Wasserhaltungsmaschinen aufstellen mußte, da die Wässer der Grube zeitweilig nicht genügten, um die schwere Rotationsmaschine mit ihrer Minimalgeschwindigkeit arbeiten lassen zu können; unter diese Umlaufzahl bringt man die Maschinen auch mit den schwersten Schwungrädern nicht, sie bleiben dann einfach stehen.

Diesem Übelstande der Rotationsmaschine hat Civilingenieur C. Kley in Bonn durch seine Konstruktion abgeholfen und die nach ihm benannten Wasserhaltungsmaschinen haben eine verhältnismäßig sehr rasche Verbreitung gefunden, sodaß innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren nach Bekanntwerden dieser Konstruktion (1875 bis 1885) bereits 38 Maschinen mit Leistungen von 30 bis 1000 PS in Betrieb standen.

Die Kleysche Wasserhaltungsmaschine ist eine Kombination der Rotations- und Kataraktmaschinen, in welcher die Vorteile beider Systeme ohne deren Nachteile vereinigt sind. Es sind dies Maschinen mit Hilfsrotation, deren Steuerung aber ganz unabhängig von der rotierenden Bewegung ist und wie bei Kataraktmaschinen nur durch Steuerstangen, Streichhebel und Katarakte bewirkt wird. Bei geringen Hubzahlen geht die Maschine in Pausen, indem die im Schwungrade angesammelte Energie

nur hinreicht den Hub zu vollenden und daher die Maschine vor oder hinter dem toten Punkte der Kurbel stehen bleibt, bis der Katarakt das Einlaßventil öffnet und ein neuer Hub beginnt. Je größer die Hubzahl, desto kürzer wird die Pause, bis dieselbe ganz verschwindet (bei etwa acht Umdrehungen) und die Maschine ohne Unterbrechung rotiert. Je nachdem die Maschine vor oder hinter dem toten Punkte stehen bleibt, erfolgt die Drehung gegenüber dem früheren Hub im entgegengesetzten oder gleichen Sinne; auch kann die Maschine bei nur halbem Hube die Bewegungsrichtung umkehren.

Nachdem diese Maschinen nur bei größerer Geschwindigkeit mit kontinuierlicher Rotation gehen, so kann das Schwungrad viel leichter gemacht werden als bei gewöhnlichen Rotationsmaschinen, nur muß es so schwer sein, daß die beabsichtigte Expansion erzielt werden kann. Das leichte Schwungrad bietet außerdem den Vorteil, daß bei schnellerem Gange der Maschine die Bewegung in der Nähe der toten Punkte sehr verzögert wird, was für den ruhigen Gang der Pumpen nur ersprießlich ist.

Die Kleysche Maschine kann als Eincylinder-, als Woolf- oder Compoundreceivermaschine mit oben oder unten liegendem Balancier ausgeführt werden. Da die Steuerung von der rotierenden Bewegung ganz unabhängig ist, kann die Maschine bei abgekuppelter Lenkstange auch als gewöhnliche Kataraktmaschine arbeiten.

Die untere Grenze der Hubzahl ist die der gewöhnlichen Kataraktmaschinen; die obere Grenze kann hier größer genommen werden als bei gewöhnlichen Rotationsmaschinen, da zufolge der kleinen Geschwindigkeiten an den Totpunkten die Pumpenventile Zeit haben sich zu schließen, daher die Geschwindigkeit in der Mitte des Hubes ohne Nachteil für die Pumpen ziemlich bedeutend sein kann. Die Maschinen arbeiten infolgedessen bei 1,5 m Hub mit 18, bei 2,5 m Hub mit 10 Touren pro Minute im Maximum.

Die Kleyschen Maschinen werden zumeist mit obenliegendem ungleicharmigen Balancier ausgeführt; an dem kürzeren Arm hängt die Pumpe, am längeren Arme greift die durch Lenker oder in anderer Weise geradlinig geführte Kolbenstange der Maschine an; die Schwungradwelle liegt entweder zur Seite der Maschine und empfängt ihre Bewegung vom Balancier, oder sie liegt unter den Dampfzylindern und erhält ihre Bewegung direkt vom Kreuzkopf der Maschine durch Vermittlung von Schubstangen. Die letztere Aufstellungsart bietet den Vorteil, daß die von dem Schwungrade aufzunehmende, beziehungsweise an dasselbe abzugebende Beschleunigungsarbeit von dem Dampfkolben direkt durch die den Kreuzkopf ersetzende Traverse und die beiden seitlichen Schubstangen an die Kurbelwelle übertragen wird, somit nicht durch den Balancier geleitet



und von diesem erst an dieselbe abgegeben wird; der Balancier hat infolge dieser Anordnung nur die Nutzarbeit zu übertragen, wird daher viel weniger beansprucht.

In Fig. 219 und 220 ist eine Kleysche Wasserhaltungsmaschine dieser Bauart dargestellt.

Eine andere Wasserförderungsmaschine, welche gleichfalls auch in großen Ausführungen zur Wasserversorgung von Städten, sowie zur För-

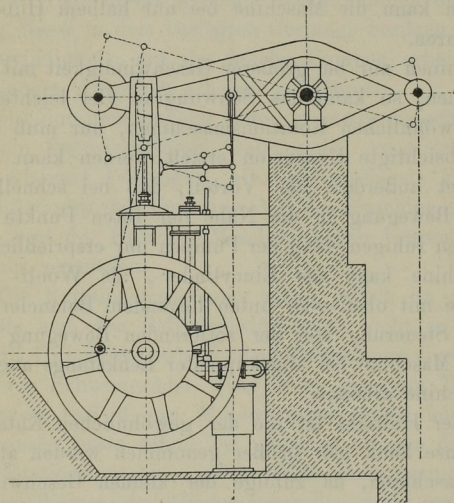


Fig. 219.

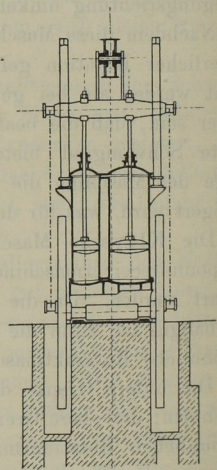


Fig. 220.

derung von Petroleum auf größere Distanzen, namentlich in den Vereinigten Staaten, ungemeine Verbreitung gefunden hat, ist die bekannte Worthingtonmaschine. Für größere Leistungen wird diese Maschine als Tandemcompoundmaschine gebaut. Bemerkenswert ist bei dieser Maschine ein Detail, welchem die Aufgabe zufällt, die durch den frühzeitigen Schluß der Füllung hervorgerufene Ungleichförmigkeit des auf den Dampfkolben übertragenen Druckes auszugleichen, damit dieselbe nicht auf den Kolben der Pumpe übertragen werde. Dieses Detail, in Fig. 221 in einigen Linien skizziert, besteht aus zwei gepaarten, oszillierenden Cylindern *BB*, deren Plungerkolben an einem Querhaupte *A* der Dampfkolbenstange angelenkt sind. Die kleinen Cylinder sind mit Wasser gefüllt und stehen mit einem Reservoir komprimierter Luft, deren Spannung etwa 20 Atm. beträgt, in fortwährender Verbindung. Wenn der Kolbenhub (in der Richtung des Pfeiles) beginnt, werden die beiden Kolben *B* zunächst nach innen gedrückt und ein gewisser Arbeitsaufwand, entsprechend dem

Widerstände der Luft und dem verdrängten Volumen seitens der Maschine, an die gepreßte Luft abgegeben; dies dauert jedoch nur so lange, als sich die Kolben einwärts bewegen, also bis zu jener Stellung des Querhauptes, in welcher die Oszillationscyliner zur Richtung des Kolbenhubes der Maschine senkrecht stehen. Von dieser Stellung an bis Ende des Hubes bewegen sich die Kolben *B* unter dem Drucke der komprimierten Luft nach auswärts, unterstützen die Kolbenstange in ihrer Bewegung, indem die komprimierte Luft die während der ersten Hubhälfte empfangene Energie nahezu verlustlos wieder an die Maschine zurückgibt. Das Volumen des Luftbehälters ist so groß bemessen, daß der Druck in demselben durch die hin- und hergehende Bewegung der Kolben *B* kaum merklich beeinflusst wird, also nahezu konstant bleibt. Die durch Undichtheiten verloren gehende Luft wird durch eine kleine, der Maschine angehängte Luftpumpe immer wieder ersetzt. Die Wasserfüllung dient zur Dichtung der Kolben.

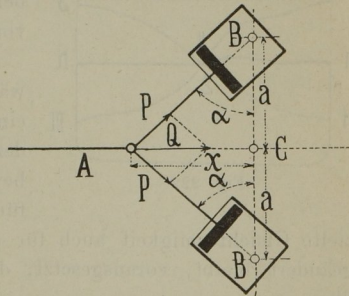


Fig. 221.

Die Resultierende *Q* aus den beiden konstanten Kolbendrücken *P* ergibt sich unter Bezug auf Fig. 221, wenn der veränderliche Neigungswinkel der Cylinderachsen mit  $\alpha$ , beziehungsweise der veränderliche Abstand des Punktes *A* von der Linie *BB*, d. i. der Kolbenweg vom Punkte *C* als Nullpunkt gerechnet, mit *x* bezeichnet wird, aus der Beziehung

$$Q = 2P \sin \alpha = 2P \frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} = 2P \frac{\frac{x}{a}}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{a}\right)^2}},$$

oder

$$Q = 2P \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}}.$$

Trägt man über die Veränderliche *x* (Kolbenwege) als Abscisse die *Q*-Werte auf, so ergibt sich die Kurve 1, 2, 3 Fig. 222 (s. S. 532).

Diese Widerstandskurve mit der Dampfdruckkurve I, II, III vereint soll eine Kurve *m*, *n* ergeben, welche mit jener des Pumpenwiderstandes nahezu übereinstimmt.

Ein in der Wirkungsweise identischer Kraftausgleicher wurde von Hülsenberg in Freiberg ersonnen; den Kraftspeicher bildet bei diesem



Apparat eine Spiralfeder, welche während der ersten Hubhälfte durch ein an die Kolbenstange angelenktes Hebelwerk zusammengepreßt wird, um sich während der zweiten Hubhälfte wieder auszudehnen und dabei schiebend auf die Kolbenstange einzuwirken. Statt der Feder kann Wasserdruck, gepreßte Luft oder Dampf verwendet werden. Obwohl auf dem-

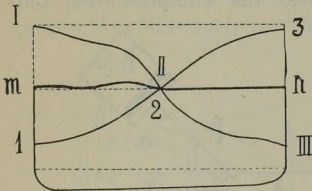


Fig. 222.

selben Gedanken beruhend, wurden die beiden Apparate doch ganz unabhängig von einander erdacht.

Diese Methode des Ausgleiches der während eines Hubes veränderlichen Leistung einer Expansionsmaschine hat gegenüber dem Ausgleich durch die Trägheit der bewegten Massen den Nachteil, daß die für eine bestimmte Geschwindigkeit er-

zielte Gleichförmigkeit auch für jede andere Geschwindigkeit nahezu ungeändert bleibt, vorausgesetzt, daß die Trägheit der bewegten Massen klein sei.

Die Worthingtonmaschine arbeitet ebenso ökonomisch wie jede andere erstklassige Pumpmaschine, wie aus den an früherer Stelle (V. Abschnitt § 98) angeführten Versuchsergebnissen zu ersehen ist\*).

Im Zusammenhange sei hier erwähnt, daß die Worthingtondampfmaschine ohne Rotationsbewegung für kleinere Leistungen als sogenannte Duplexstoßpumpe in der Weise ausgeführt wird, daß zwei Cylinder, von welchen jeder einen eigenen Pumpenkolben bewegt, parallel geschaltet sind; die Kolbenstange jedes Cylinders ist durch ein kurzes Glied mit einer schwingenden Stange verbunden, welche den Steuerschieber des anderen Cylinders betätigt. Auf die Weise beginnt der eine Kolben seinen Hub, wenn die Bewegung des anderen nahezu endet, wodurch ein weicher und kontinuierlicher Gang der Pumpe gesichert ist\*\*).

Bei den meisten direkt wirkenden, kleineren Dampfmaschinen ohne Rotationsbewegung findet Dampfeintritt fast während des ganzen Kolbenhubes statt, da die Trägheit des bewegten Gestänges zumeist nicht genügt, um bei Expansionsarbeit die für die gleichmäßige Wirkung der Pumpe erforderliche Gleichförmigkeit des Ganges zu erreichen.

Die Umsteuerung wird bei dieser Klasse von Pumpen auf verschie-

\*) Eine Zeichnung einer Eincylinder-Worthingtonpumpe siehe K. Hartmann, *Die Pumpen*, Berlin 1889, S. 345.

\*\*\*) Detailausführungen dieser und ähnlicher kleinerer Dampfmaschinen siehe: *Proceedings Institution of Mechanical Engineers*, 1893, sowie in dem vorstehenden Werke von Hartmann S. 327—342, in welchem speziell die Steuerung, der Worthington-Stoßpumpe ausführlich beschrieben ist.

dene Weise automatisch inszeniert; die Blakepumpe steuert z. B. dadurch um, daß der Kolben gegen Ende des Hubes gegen eine Knagge stößt und hierdurch einen Schieber umstellt, welcher Dampf zu der einen oder der anderen Seite eines Hilfskolbens eintreten läßt, welcher erst den eigentlichen Dampfeinlaßschieber betätigt. Bei den Pumpen von Cameron und Floyd stößt der Dampfkolben selbst mit Ende des Hubes gegen ein Ventil, welches den Hilfskolben und mit diesem den Dampfschieber umstellt. Bei Anwendung dieser Einrichtungen können Dampf- und Pumpencylinder so nahe, als es die Konstruktion der Stopfbüchsen gestattet, zusammengerückt sein, während bei den von der Kolbenstange betätigten Steuerungen zwischen den Cylindern ein freier Abstand vorhanden sein muß, welcher etwas größer ist als der Kolbenhub.

Außer den wenigen genannten gibt es noch eine Reihe mehr oder minder bewährter Konstruktionen von Dampfpumpen ohne Rotationsbewegung; der Unterschied liegt meist nur in der Detailanordnung der Steuerung, doch lassen sich sämtliche Konstruktionen, wie schon aus den angeführten Beispielen hervorgeht, in solche unterscheiden, bei welchen der Dampfverteilungsschieber von der Kolbenstange aus bewegt wird, und solche, bei welchen die Bewegung direkt vom Kolben selbst ausgeht.

Es ist wohl naheliegend, daß die in Rede stehenden Dampfpumpen mit Stoßsteuerung, da sie nur mit hohen Füllungen arbeiten können, einen sehr schlechten Nutzeffekt geben; der stündliche Dampfverbrauch pro PS<sub>e</sub>-Stunde beträgt zwischen 30 und 60 kg, selten darunter, häufig aber sogar darüber; infolgedessen sind diese Pumpen für größere feststehende Anlagen nur dann empfehlenswert, wenn die lokalen Verhältnisse gegen den Einbau von Schwungradmaschinen sprechen.

Schließlich sei noch einer Methode Erwähnung getan, um die bei Expansionsmaschinen erforderliche Ausgleichung des veränderlichen Dampfdruckes in Bezug auf den nahezu gleichbleibenden Kolbenwiderstand der Pumpe zu erzielen, welche dem Wesen nach darin besteht, daß man Dampf- und Pumpenkolben nicht direkt, sondern durch Vermittelung eines schwingenden Zwischenstückes derart verbindet, daß der Dampfkolben mit fortschreitender Expansion einen gewissen mechanischen Vorteil über den Pumpenkolben gewinnt. Diesen Gedanken verwertete z. B. Davey in Fällen, wo die Trägheit der abwechselnd bewegten Massen für den Ausgleich nicht genügte, in der Weise, daß er durch Einschaltung eines schwingenden Sektors das Verhältnis der beiderseitigen Kolbengeschwindigkeit derart regelte, daß sich anfänglich beide Kolben gleich schnell bewegten, während im weiteren Verlaufe des Hubes in dem Maße, als der Dampfdruck im Cylinder abnimmt, sich auch der Pumpenkolben langsamer bewegt als der Dampfkolben.