

wesentlichen auf der Übertragungsweise der Kraft auf das Wasser beruht, während im Interesse der Übersichtlichkeit die Art des Motors erst in zweiter Linie berücksichtigt ist, da für verschiedene Wasserhebemaschinen ein und dieselbe Triebkraft benutzt werden kann; hierauf wird bei der Beschreibung der Pumpenkonstruktionen in erforderlicher Weise eingegangen werden.

### A. Heben des Wassers mittelst offener Gefäße. Wasserschöpfmaschinen.

§ 2. Werfen des Wassers. Die hierher gehörigen Apparate geben sämtlich nur geringen Nutzeffekt, da sich bei ihrer stoßweisen Wirkung die aufgewendete Arbeit nur in geringem Maße nützlich übertragen läßt, dagegen sind sie durchweg sehr einfach und finden deshalb in solchen Fällen, wo nur kleine Wassermengen bei geringer Hubhöhe zu fördern sind oder nur kurze Zeit geschöpft zu werden brauchen, vorteilhafte Anwendung.

Die **Wurfschaufel**, Fig. 1 u. 2, Taf. XIV, ist eine hölzerne oder eiserne Schippe mit hölzernem Stiel. Ein Arbeiter kann mit dieser Schaufel das Wasser vorteilhaft circa 0,9 m hoch und 1,8 m weit werfen. Das Schöpfen läßt sich über einem Dielenboden am zweckmäßigsten vornehmen, wie dies beim Ausschöpfen des Leckwassers offener flachgehender Schiffe gewöhnlich geschieht.

Die **Schwungschaufel**, Fig. 8, wird an einem Gerüst aufgehängt und ist erheblich größer als die Wurfschaufel. Zwei Arbeiter ziehen an Seilen, während ein dritter den Stiel handhabt. Das Wasser läßt sich mit dieser Einrichtung bis 1,5 m hoch fördern, zweckmäßigerweise findet die Schwungschaufel jedoch nur bis 1 m Hubhöhe Anwendung. Das Gerüst für die Aufhängung ist dabei ungefähr 2,7 m hoch und steht etwa 1,8 m von der Abflusrinne entfernt.

Die **Schwungschaufel mit fester Aufstellung**, Fig. 10 bis 12, bewegt sich in einem festen gekrümmten Gerinne und ist mit Klappen versehen, welche beim Rückgange sich öffnen und beim Aufgange sich schließsen, wie in Fig. 11 und 12 angegeben. Der nach oben gerichtete Stiel ist mit einem oberhalb an dem festen Gerüst drehbar gelagerten Balancier fest verbunden, so daß die Schaufel beim Hin- und Rückgange stets genau denselben Weg durchläuft. Die Arbeiter stehen vor und hinter der Schaufel entsprechend verteilt an geeigneten Plätzen und bewegen den Balancier und damit die Schaufel durch Ziehen an Seilen.

Das **Wurfrad**, Fig. 14, darf als eine weitere Ausbildung der Schwungschaufel mit fester Aufstellung betrachtet werden. Die auf einem Wellbaum befestigten Schaufeln bewegen sich gleichmäßig mit circa 3 m Umfangsgeschwindigkeit in einem festen Gerinne. Direkt für Bauzwecke findet das Wurfrad wohl kaum noch Anwendung, dagegen wird es vielfach zum Entwässern von Ländereien gebraucht. Der Antrieb geschieht dann gewöhnlich durch ein Windrad. Die größte Hubhöhe beträgt 1,5 m. Bedeutendere Hubhöhen erfordern die Aufstellung mehrerer Wurfräder hinter einander. Um ein Zurückfließen des Wassers beim Stillstande des Rades zu verhindern, wird in dem Abflußgerinne eine selbstthätig schließende Klappe (Wachthüre) angebracht.

Nach Versuchen von Smeaton läßt sich mit einem derartigen Rade, betrieben durch ein Pferd, eine effektive Tagesleistung von 1344560 mkg erreichen, was bei 10 stündiger Arbeitszeit eine sekundliche Nutzleistung von 37,3 mkg ausmacht und einem Güteverhältnis von  $\eta = 0,4 - 0,5$  entspricht.

**§ 3. Schöpfen des Wassers in Gefäßen.** Die Apparate dieser Gattung arbeiten im ganzen vorteilhafter als die zuerst genannten. Der Verlust an Arbeit entsteht hauptsächlich durch die erforderliche Bewegung schwerer Gefäße und den unvermeidlichen Verlust an Hubhöhe beim Entleeren derselben.

Der **Handeimer**. Als Gefäße werden gewöhnliche hölzerne oder wegen geringeren Gewichtes besser lederne Eimer, wie sie für Feuerlöschzwecke Verwendung finden, gebraucht. Die Arbeiter stehen in dem auszuschöpfenden Wasser und können direkt bis auf 1,2 m Höhe heben. Bei größerer Hubhöhe sind mehrere Reihen Arbeiter über einander aufzustellen. Der Inhalt eines Eimers beträgt ungefähr 9 l und wird der Eimer von einem Arbeiter in der Minute etwa 15 Mal gefüllt und gehoben. Die sekundliche Nutzleistung eines Arbeiters ist demnach  $\frac{15 \times 9 \times 1,2}{60} = 2,7$  mkg, während er an der Kurbel drehend bequem 6 bis 7 mkg dauernd leisten kann. Die Nutzleistung ist also eine sehr geringe. Trotzdem findet das Schöpfen mittelst Eimer bei geringem Wasserzufluß und wenn wenig Raum vorhanden ist, wie bei Fundierung der Gebäude auf einzelnen Pfeilern oft Verwendung.

Für Bewässerungszwecke und zum Schöpfen aus Brunnen hat man den Eimer vielfach mit einem Schwingbaum in Verbindung gebracht. Die Verbindung wird meistens durch eine Holzstange hergestellt. Das Eigengewicht sowie ein Teil des Inhalts werden durch ein Gegengewicht ausbalanciert.<sup>1)</sup>

Im Bergbau dienen zur Wasserhebung aus den Gruben größere Kübel oder auch Kasten bis 2 cbm Inhalt. Diese Gefäße werden durch die Fördermaschine am Seil bewegt und erhalten am Boden ein Ventil zum Füllen und oft noch ein zweites zum Entleeren.<sup>2)</sup>

**Eimerkette und Kastenwerke.** Die Gefäße, Eimer oder Kasten, sind an endlosen Ketten oder Seilen befestigt, welche über eine Trommel mit Triebstöcken, Fig. 6 u. 7, oder geeignete Kettenscheiben, siehe Fig. 9 u. 13, gelegt werden, während unten die Gefäße in das auszuschöpfende Wasser tauchen.

In der Regel laufen zwei langgliedrige mit einander verbundene Ketten neben einander. Die Kasten können dabei als Glieder dieser Ketten dienen, wie in Fig. 9, oder auch an denselben, siehe Fig. 13, befestigt werden.

Das Ausgießen der Gefäße findet in eine Schüttrinne statt, welche entweder innerhalb der Triebstöcke der Trommel liegt, siehe Fig. 6, wobei die Axe einseitig gelagert sein muß, oder seitlich von den Kettenscheiben, wie in Fig. 9 u. 13. Bezüglich der Lage der Schüttrinne ist zu bemerken, daß diese in Fig. 9 an der Seite liegt, an welcher die Kasten sich abwärts bewegen, während in Fig. 13 das Ausgießen gegen Ende der Aufwärtsbewegung erfolgt. Im ersteren Falle haben die Kasten an der Ausgußstelle eine schlitzartige Öffnung und im Boden ein Ventil, welches beim Heben sich selbstthätig schließt, während es beim Ausguß durch den Luftdruck geöffnet wird. Im übrigen sind die Kasten ganz geschlossen. In der Nähe der Schüttrinne ist noch eine zweite Kettenscheibe angeordnet, welche das Passieren der Kasten an der Schüttrinne vorbei ermöglicht.

Die Kasten in Fig. 13 sind derart mit den Ketten verbunden, daß eine Drehung derselben unabhängig von der Bewegung der Ketten möglich ist. Durch einen an der Schüttrinne befestigten Anschlag werden die Kasten zum Ausschütten gebracht.

<sup>1)</sup> Rühlmann. Allgemeine Maschinenlehre. Bd. IV. S. 550.

<sup>2)</sup> von Hauer. Die Wasserhaltungsmaschinen der Bergwerke. Leipzig 1879. S. 746.

Derartige Eimerwerke, auch Norien genannt, finden als Wasserhebemaschinen für Bewässerungen von Ländereien oder für sehr unreine, schlammige Flüssigkeiten wohl Anwendung, bei Bauten dagegen sind sie gegenwärtig wohl kaum noch im Gebrauch. Nach Angaben von d'Aubuisson<sup>3)</sup> beträgt die Nutzleistung bis 0,657 der aufgewendeten Arbeitsleistung.

**3. Eimerrad, Schöpfrad oder Kastenrad.** Die Gefäße sind mit dem Umfange eines Rades verbunden, entweder beweglich wie in Fig. 15, oder fest, siehe Fig. 17, 18 und 22, 23. Bei der ersteren Anordnung schwingen die Gefäße um ihre Befestigungsbolzen am Umfang des Rades. Das Füllen und Entleeren derselben vollzieht sich dabei ähnlich wie bei der Handarbeit.

Fig. 17 zeigt eine Anordnung mit Schöpfgefäßen von röhrenartiger Form, die in einer gewissen Neigung fest mit dem Umfange des Rades verbunden sind. Dieser Neigungswinkel der Schöpfrohre beträgt ungefähr 25°. Derartige Schöpfräder sind in China seit uralten Zeiten zum Heben des Wassers für Bewässerungszwecke im Gebrauch. Das ganze Rad mit seinen Schöpfgefäßen wird aus Bambusstäben hergestellt und meistens durch ein fließendes Gewässer umgetrieben, für welchen Antrieb das Rad noch mit besonderen Schaufeln wie ein gewöhnliches Wasserrad versehen werden muß.

In Spanien und in ausgedehnterem Maße in Egypten sind ähnliche Konstruktionen verbreitet, wobei irdene Töpfe von 4 bis 5 l Inhalt die Schöpfgefäße bilden.

Nach Aymard<sup>4)</sup> ist in der Nähe von Palma, Provinz Cordova, ein derartiges Rad von 9,10 m Durchmesser mit Schaufeln von 1,2 m Breite und 0,40 m Höhe, an dessen Umfange 96 Töpfe mittelst Seilen befestigt sind, im Betriebe. Das Rad macht circa 2 Umdrehungen pro Minute und hebt dabei pro Umlauf 459 l Wasser auf 6,8 m Höhe. ca 1 m pro Sek.

Konstruktionen, wie Fig. 17, finden sich im südlichen Frankreich und in Tirol. Nach Weisbach sind die Räder meistens auf einem Schemel mit Gegengewicht so gelagert, daß man die Höhenlage des Rades dem zeitweiligen Wasserstande entsprechend verändern kann.

Fig. 22 giebt die Konstruktion eines Zellenrades, dessen ganzer Umfang durch die Querverbände in einzelne Zellen geteilt ist, welche die Schöpfgefäße bilden. Ein solches Rad wurde von Perronet zum Trockenlegen der Baugrube beim Bau der Neuillybrücke benutzt. Der Durchmesser des Rades betrug circa 4,2 m, die Breite 1 m, die Förderhöhe 2,7 m. Die Bewegung geschah durch ein von der Seine betriebenes Wasserrad mittelst Zahnradvorgelege ohne Übersetzung.

**§ 4. Heben des Wassers in beweglichen Kanälen.** Für diese Art der Wasserhebung fallen die Einrichtungen, obgleich nur für geringe Förderhöhen verwendbar, durchweg sehr voluminös aus. Zwar ergeben sie einen verhältnismäßig nicht ungünstigen Wirkungsgrad, doch kann derselbe häufig nicht ausgenutzt werden, indem man diese Maschinen für die vorkommenden verschiedenen Fälle der Verwendung nicht wohl speciell anpassen kann und demnach oft mit verlorenem Gefälle arbeitet.

Der **Wipptrog**. Fig. 3 u. 4, Taf. XIV, zeigen einen doppelt-, d. h. beiderseitig wirkenden, Fig. 5 einen einfachwirkenden Wipptrog. Die oben offene hölzerne Rinne, bei doppelter Ausführung in der Mitte, bei einfacher an einem Ende mit

<sup>3)</sup> d'Aubuisson. Traité d'hydraulique. Paris 1840.

<sup>4)</sup> Aymard. Irrigation du Midi de l'Espagne. Paris 1864. S. 279.

einer horizontalen Drehaxe versehen, wird durch Handhaben oder Seile in schwingende Bewegung gebracht. Der doppeltwirkende Wipptrog ist in der Mitte mit einer Scheidewand und für jede Hälfte mit einem seitlichen Ausgufs versehen. Beim Eintauchen in das auszuschöpfende Wasser öffnet sich ein im Boden der Rinne angebrachtes Ventil, welches sich beim Anheben der Rinne wieder schließt. Die doppelte Ausführung hat vermöge der Ausbalancierung des Eigengewichts den Vorteil leichterer Beweglichkeit.

Das Arbeiten mit dem Wipptrog verursacht heftige, oftmals schädliche Bewegungen des Wassers in der Baugrube, übrigens ist die mögliche Hubhöhe nur gering und ebenso der Nutzeffekt.

Das **Schneckenrad (Tympaunum)** besteht im wesentlichen aus zwei kreisförmigen Scheiben, zwischen denen spiralförmig gekrümmte Scheidewände liegen. Es werden auf diese Weise Zellen gebildet, welche vom Umfang bis zur Welle führen und hier entweder durch die hohle Welle selbst oder durch ein besonderes Gehäuse den Ausgufs des Wassers ermöglichen. Fig. 20 u. 21 und Fig. 24 u. 25 zeigen zwei derartige Räder.

Perronet benutzte beim Bau der Orléansbrücke ein Schneckenrad von 6,30 m Durchmesser und 0,16 m Eintauchung im Unterwasser. Durch 12 Arbeiter, welche täglich 8 Stunden in einem Laufrade thätig waren, wurde bei 3 Umdrehungen pro Minute 12,34 cbm Wasser auf 2,60 m Höhe gehoben.

In neuerer Zeit werden derartige Räder aus Eisenblech hergestellt und sollen damit gute Resultate erzielt worden sein; siehe Ann. des ponts et chaussées. 1856. S. 273.

Das Schneckenrad ist zwar theoretisch eine vortreffliche Wasserhebemaschine, hat jedoch den Übelstand, im Verhältnis zu anderen Maschinen von derselben Leistungsfähigkeit wesentlich mehr Raum einzunehmen, indem selbst geringe Hubhöhen große Durchmesser erfordern. Für Baustellen empfiehlt sich die Maschine schon deshalb nicht, da das Versetzen viel Mühe macht. Bei zeitweiliger Wasserhebung spricht der hohe Anschaffungspreis gegen die Verwendung, auch läßt sich für veränderliche Hubhöhen das Rad nicht mit Vorteil verwenden.

**§ 5. Die Wasserschraube und Wasserschnecke oder Tonnenmühle.** Die **Wasserschraube**, Fig. 27, Taf. XIV, unterscheidet sich von der **Wasserschnecke**, Fig. 28, nur dadurch, daß bei der ersteren die Schraubengänge nicht ummantelt sind, während bei der Wasserschnecke oder Tonnenmühle die Schraubengänge vollständig von einem Mantel umschlossen sind. Sie rotiert in einem festliegenden Troge von halbkreisförmigem Querschnitt, siehe Fig. 32, mit möglichst geringem Spielraum behufs Einschränkung des Wasserverlustes. Die Spindel der Wasserschraube muß so stark sein, daß eine schädliche Durchbiegung beim Betriebe nicht eintritt, während bei der Wasserschnecke der Mantel die Biegefestigkeit vergrößert, auch kann man sich vorteilhaft besonderer Versteifung durch Zugstangen bedienen. Die Wasserschraube wird meistens nur für kleinere Hubhöhen angewendet. Für geringe Wasserquantitäten und für Bauzwecke wird sowohl der Trog als auch die Schraube mit Spindel gewöhnlich aus Holz angefertigt. Für größere Wasserquantitäten hingegen und stationäre Anlagen, namentlich für Ent- und Bewässerung von Ländereien stellt man den Trog in Stein und die Schraube selbst aus Holz oder besser ganz aus Eisen her, wie Fig. 27<sup>b</sup>) zeigt.

<sup>b</sup>) Ann. des ponts et chaussées. No. 77. 1843. S. 1—18 und Rühlmann. Allgemeine Maschinenlehre. Bd. IV. S. 692.

Diese ganz aus Eisenblech konstruierte Schraube hat einen Durchmesser von 1,59 m und 6,10 m Länge. Der Spielraum zwischen dem gemauerten Trog und den Schraubengängen soll nur 5 mm betragen.

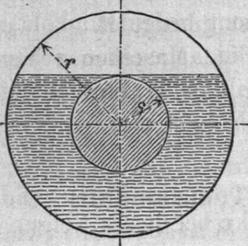
Die Schraube hat bei 40 bis 43 Umdrehungen pro Minute 0,347 cbm Wasser pro Umdrehung und Schraubengang auf 1,75 m zu fördern. Sie hat drei Gänge, deren Steigung ungefähr gleich dem äußeren Durchmesser der Schraube ist. Der Neigungswinkel der Schraubenaxe gegen den Horizont beträgt 33°. Zum Betrieb dient eine Dampfmaschine.

Ähnliche durch Windräder betriebene hölzerne Wasserschrauben mit Steintrögen sind im Oldenburgischen verbreitet, werden jedoch in neuerer Zeit umgebaut und durch vollkommene Maschinen mit Dampftrieb verdrängt.

Die Wasserschrauben mit festliegenden Trögen haben den Übelstand, daß die Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben wird, immer dieselbe bleibt, obgleich man bei veränderlichem Oberwasserstande oft mit viel geringerer Hubhöhe auskommen könnte. Man muß die Konstruktion für den Maximalwasserstand, bei welchem noch geschöpft werden soll, ausführen; es wird daher das Wasser meistens höher gehoben, als gerade erforderlich ist.

Für Bauzwecke findet die **Wasserschnecke** häufigere Anwendung. Fig. 28, Taf. XIV, zeigt die Aufstellung einer solchen, Fig. 29 den vertikalen Längenschnitt des unteren Teiles, während Fig. 30 den Querschnitt angiebt. Die Dimensionen der Schnecke richten sich nach der Hubhöhe und dem Wasserquantum, welches gefördert werden soll. Als Maximalhubhöhe einer Wasserschnecke darf circa 4 m angegeben werden. Die steilste Lage der Axe gegen den Horizont ist etwa 30 bis 33° anzunehmen. Die Länge des Mantels würde dann bei 4 m Hubhöhe 9 m betragen. Die Dicke der Spindel nehme man gleich 0,4 der lichten Weite des Mantels, den Steigungswinkel der Schraubenfläche in der mittleren Cylinderfläche nach vielen bewährten Ausführungen etwa 30°.

Fig. 1.



Bezeichnet nach beistehender Fig. 1:

$r$  den Radius der Schnecke,

$\rho$  den Radius der Spindel,

$h$  die Ganghöhe der Schraubenwindung,

so erhält man  $h = \frac{r + \rho}{2} \cdot 2\pi \cdot \tan 30^\circ$

und  $h = 2,538 r$  für  $\rho = 0,4 r$ .

Größere Schnecken werden in der Regel dreigängig ausgeführt, während kleinere nur zwei Gänge erhalten.

Für hölzerne Schnecken giebt man den Brettchen eine Dicke von etwa  $0,06 r$ . Dieselben sind mindestens 20 mm tief in die Spindel und circa 12 mm tief in den Mantel einzulassen. Die Stärke des Mantels beträgt je nach der Länge der Schraube bis 75 mm. In Eisen stellt man die Spindel und auch die Schraubengänge aus Blech mit Winkeleisenverband her. Die Blechstärke der Spindel ist etwa  $= \frac{1}{30}$  des Spindel-durchmessers zu nehmen, die Schraubengänge selbst je nach der Größe der Schnecke 3—5 mm stark.

Den hölzernen Mantel verfertigt man am besten aus astfreien kiefernen Dauben von etwa 75 bis 125 mm Breite und 40 bis 50 mm Dicke, in welche die Windungsbleche etwa 12 mm tief einzulassen sind. Besonders ist darauf zu achten, daß die einzelnen Schüsse aus welchen die Spindel gebildet wird, in solider Weise durch kräftige Laschen und mehrfache Nietreihen mit einander verbunden werden. Der Holzmantel wird durch Zugbänder zusammengehalten und mittels Werg gedichtet.

Die Ausführung in Eisen ist vorzuziehen, da bei der Herstellung aus Holz durch das Zusammentrocknen und Quellen der vielen kleinen Brettchen, sowie der Spindel leicht alle Teile lose werden, zumal bei langen Schnecken das Biegemoment ein bedeutendes wird. Den günstigsten Wirkungsgrad erreicht man, wenn die Schnecke so tief in das Wasser eintaucht, daß in der unteren Endfläche der Wasserspiegel den Spindelkreis oben tangiert. Eine geringe Änderung in der Höhenlage hat wenig Einfluß auf das geförderte Wasserquantum, läßt man jedoch die Schnecke ganz unter Wasser gehen, so verringert sich der Effekt bedeutend. Aus dem angeführten Grunde lagert man die Schnecke zweckmäÙig so, daß man bei veränderlichem Wasserstande das untere Ende derselben leicht heben und senken kann, wozu ein Flaschenzug, eine Winde, Schraube oder Zahnstange benutzt wird.

Eine einfache empirische Formel für die Bestimmung der Förderwassermenge, welche nach vielen angestellten Versuchen für die Praxis genügend genaue Resultate liefert, hat Köpcke aufgestellt.<sup>6)</sup> Ist  $r$  der Radius der Schnecke und  $\rho$  der Radius der Spindel, so beträgt die Querschnittsfläche  $F$  der Wasserfüllung bei horizontal gedachter Lage der Schnecke:

$$F = r^2 \left( \frac{\pi}{2} + \text{arc. sin. } \frac{\rho}{r} \right) + \rho \sqrt{r^2 - \rho^2} - \rho^2 \pi \dots \dots \dots 1.$$

Bezeichnet ferner  $n$  die Anzahl der Schraubengänge und  $a$  die lichte Weite der einzelnen Gänge in axialer Richtung gemessen, so erhält man das Wasserquantum  $V$ , welches die Schnecke pro Umdrehung liefert:

$$V = n \cdot a \cdot F \left( \frac{\pi}{2} - \text{arc} (\alpha + \beta) \right), \dots \dots \dots 2.$$

wobei  $\alpha$  der Steigungswinkel der Schraubenfläche in der Mitte dieser Fläche gemessen und  $\beta$  der Steigungswinkel der Schraubenaxe gegen den Horizont bedeutet.

Nimmt man für eine neu zu konstruierende Schraube die angegebenen Verhältnisse an, so vereinfachen sich die Formeln erheblich. Für  $\rho = 0,4 r$  ergibt sich

$$F = 1,846 r^2, \dots \dots \dots 3.$$

ferner für  $\alpha = 30^\circ$  und  $h = 2,538 r$

$$n \cdot a \cdot F = 4,37687 r^3$$

und für  $\beta = 30^\circ$  das Wasserquantum, welches durch die Schnecke bei dieser Neigung gefördert wird:

$$V = 4,37687 r^3 \left( \frac{\pi}{2} - \text{arc. } 60^\circ \right) \\ V = 2,2917 r^3 \dots \dots \dots 4.$$

Bei günstigen Verhältnissen darf also angenommen werden, daß eine Wasserschnecke ein Wasserquantum  $V = 2,3 r^3$  pro Umdrehung fördert.

Die Umdrehungszahlen sind sehr verschieden. Für eine Schnecke von 1 m Durchmesser sind bis höchstens 40 Umdrehungen pro Minute zulässig, doch arbeitet dieselbe auch mit erheblich geringerer Geschwindigkeit, etwa 15 Umdrehungen, noch günstig. Bei der Bestimmung der zum Betriebe einer Schnecke erforderlichen Maschinenkraft darf man annehmen, daß 60% der von der Maschine geleisteten effektiven Arbeit durch die Schnecke nutzbar gemacht werden. Es wurden Wirkungs-

<sup>6)</sup> Andere Formeln siehe: Eytelwein, Handbuch der Mechanik. — Pitot, Memoiren der Pariser Akademie. 1736. — Daniel Bernoulli, Hydrodynamica. 1738. — Euler, Petersburger Commentarien. 1754 und 1755. — Navier, Résumé des Leçons. III, § 232. — Grahn, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1863, S. 276. — Ferner: Die steuerfreie Niederlage zu Harburg. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1860, S. 263.

grade bis 85% konstatiert, doch ist es zweckmäßiger, bei einer neuen Anlage nicht einen so hohen Wirkungsgrad vorauszusetzen, da man oft unter ungünstigen Verhältnissen, welche sich beim Beginn der Arbeit nicht übersehen lassen, zu arbeiten hat.

Nach vorstehenden Angaben ist es leicht, für ein zu förderndes Wasserquantum die Dimensionen der dazu nötigen Schnecke zu bestimmen.

Bezüglich der Betriebskosten finden sich Angaben von Köpcke an bereits angegebener Stelle. Dieselben haben für die Wasserschöpfarbeiten der steuerfreien Niederlage in Harburg 1856 pro 1 cbm Wasser und 1 m Förderhöhe 0,21 hannoversche Pfennige betragen, wovon auf Brennmaterial 72%, Schmiere 10% und Wärter, Heizung, Reinigung, Verbrauch an kleinen Geräten 18% entfielen. Es wurde ununterbrochen Tag und Nacht gearbeitet und pro Arbeitstag von 24 Stunden 32400 cbm Wasser circa 5 m hoch gehoben.

Hiernach stellen sich die Kosten pro Pferdekraft und Stunde Nutzleistung auf

$$\frac{75 \times 60 \times 60 \cdot 0,21}{1000} = 56,7 \text{ Pfennige.}$$

Nach einer anderen Angabe, Erbka m's Zeitschrift für Bauwesen, 1853, S. 465, wurden mit 6 Scheffel guter engl. Kohle pro 24 Stunden 90—120 Kubikfuß Wasser pro Minute auf circa 8—11 Fuß Höhe gefördert. Demnach wurden mit 1 kg Kohle etwa 50 cbm Wasser 1 m hoch gehoben oder pro Pferdekraft Nutzleistung 5,4 kg Kohlen gebraucht.

Sowohl die Wasserschraube als auch die Wasserschnecke finden zum Wasserschöpfen aus Baugruben vielfach Anwendung, weil der Nutzeffekt günstig ist und auch unreines, namentlich sandiges Wasser ohne Schwierigkeit gefördert werden kann. Als besondere Nachteile sind hervorzuheben, daß bei Ausführung in Holz die Spindel durch die Torsion leicht Verdrehungen erleidet, die Brettchen, welche die Windungen bilden, werden dadurch lose, namentlich wenn nicht stets darauf geachtet wird, daß die Bänder des Mantels gut angezogen sind. Der unten im Wasser befindliche Zapfen, welcher doch einen bedeutenden Druck aufzunehmen hat, läßt sich nicht gut schmieren. In neuerer Zeit werden die Wasserschraube und Schnecke, namentlich bei Benutzung von Dampfkraft, durch die Centrifugalpumpe verdrängt. Bei veränderlichem Oberwasserstand ist die letztere stets vorzuziehen. Außerdem lassen sich die Centrifugalpumpen bequem aufstellen und nehmen erheblich weniger Raum ein, weshalb gegenwärtig die Herstellung neuer Wasserschrauben oder Schnecken nicht ratsam erscheint, dagegen kann bei kleinen Anlagen die Verwendung der vorhandenen Einrichtungen gegenüber Neuanschaffungen zweckmäßig sein.

§ 6. Das Pumprad, Fig. 19, Taf. XIV, ist eine aus dem Wurfrade hervorgegangene Erfindung des Ingenieurs H. Overmars in Rotterdam. Es besteht aus einer mit etwa 6—8 gekrümmten Schaufeln besetzten Trommel, die sich mit sehr geringem Spielraum in einem entsprechend geformten Gerinne derart bewegt, daß nicht allein die Schaufeln, wie dieses beim Schöpfrade der Fall ist, sondern auch die Trommel das Oberwasser vom Unterwasser abschließt. Infolge dieser Einrichtung hat das Pumprad bei demselben Durchmesser eine erheblich größere Förderhöhe als das Schöpfrad, für welche jedoch als äußerste immerhin nicht erreichbare Grenze der Trommeldurchmesser besteht.

Die Höhe der Schaufeln beträgt etwa 0,15 bis 0,2 des Trommeldurchmessers; normale Umfangsgeschwindigkeit 1 bis 1,5 m pro Sek.

Derartige Pumpräder werden sowohl in Holz als in Eisen ausgeführt. Bei Holz ist es wegen der Veränderlichkeit des Materials schwierig, auf die Dauer einen sehr geringen Spielraum zwischen dem Rade und Gerinne zu erhalten, weshalb die Ausführung in Eisen, mit Trommel und Schaufeln aus Blech, den Vorzug verdient. Seitlich werden die Schaufeln durch Winkeleisen versteift und am äußeren Umfange durch besondere mit der Trommel und den Schaufeln verbundene Stützen in der richtigen Lage erhalten. Für die Herstellung eines guten Wasserabschlusses versieht man die Trommel

an jeder Seite mit einem aus hartem Holze hergestellten Ringe von circa 100 mm Breite und 30 mm Dicke. Ebenso erhalten die Schaufeln Holzränder von 50 mm Breite und derselben Stärke, welche sich an die Holzbekleidung der Trommel anschließen.

Nachdem das Rad in seinem Gerinne montiert ist, wird die ganze seitliche Holzbekleidung der Trommel sowohl wie der Schaufeln genau abgedreht, dann das Rad etwas verschoben und nun das Gerinne mit Cement verputzt. Während dieser noch weich ist, bringt man das Rad wieder in seine richtige Lage und dreht es, wobei die Holzbekleidung als Schablone wirkt. Auf diese Weise läßt sich ein sehr genauer Anschluß des Rades an das Gerinne erzielen. Um allen Aufstau zu vermeiden erhält das Gerinne sowohl vor als hinter dem Rade eine bedeutende Erweiterung. Beim Betrieb wird das Eigengewicht des Rades durch den Auftrieb des Wassers teilweise aufgehoben, dagegen erhalten die Axlager durch das gehobene Wasser einen nicht unbedeutenden Seitendruck, aus welchem Grunde für eine sichere Fundirung und gute Befestigung der Lager Sorge zu tragen ist.

Das Pumprad eignet sich nur für stabile Anlagen, wie zur Ent- und Bewässerung von Ländereien und ist namentlich in Holland vielfach zur Anwendung gekommen, in Deutschland in großem Mafsstabe in Winsen a. d. Luhe bei Harburg. Für Bauzwecke würde das Pumprad zu schwerfällig und zu schwierig aufzustellen sein. Gegenüber der Kreiselpumpe hat es den Nachteil, sehr solide Fundamente und bei Dampftrieb große Räderübersetzung zwischen Maschine und Radwelle nötig zu haben; außerdem ist der Betrieb bei Frostwetter schwierig, da die Schaufeln in Berührung mit der kalten Luft leicht Eis ansetzen. Der Wirkungsgrad soll bis 90% betragen.<sup>7)</sup>

**§ 7. Kettenpumpen.** Fig. 16, Taf. XIV, zeigt eine derartige Pumpe, welche im wesentlichen aus einer geraden, innen möglichst glatten Röhre besteht, in welcher sich eine Kette ohne Ende bewegt. Die Kette ist in gewissen Abständen mit eisernen Tellern oder auch mit Lederscheiben von einem der Rohrweite entsprechenden Durchmesser versehen und oben über eine Kettenscheibe gelegt. Die Lager der Kettenscheibe sind mit dem Rohr fest verbunden, das oben eine Erweiterung mit Ausguß und unten einen trichterförmigen Ansatz erhält. Die Kettenscheibe wird direkt durch eine Handkurbel oder Riemenscheibe mit einer Geschwindigkeit der Kette von 0,9 bis 1,2 m pro Sekunde bewegt.

Die Kettenpumpen eignen sich vorzüglich zur Förderung stark verunreinigter oder dickflüssiger Substanzen, doch ist bei sandhaltigem Wasser die Abnutzung der Kettenglieder nicht unbedeutend. Die meiste Verwendung finden sie als Jauche-, Schlempe- oder Teerpumpen in Dimensionen von etwa 50 mm lichter Rohrweite. Die Röhren sind in der Regel aus Schmiedeeisen hergestellt, geschweisst und gezogen, während früher auch vielfach hölzerne Röhren von circa 100 mm lichter Weite in Gebrauch waren.

Ein Nachteil besteht darin, daß sie nur für eine bestimmte Förderhöhe geeignet sind, außerdem erfordern sie im Verhältnis zur Leistung große Betriebskraft und verursachen viel Reparaturkosten, weshalb sie für Baugruben wenig oder gar keine Anwendung finden.

Bei dem **geneigten Schaufelwerk**, Fig. 26, dient statt eines Rohres eine geneigt liegende offene Rinne, in welcher sich die mit der Kette verbundenen Schaufeln bewegen. Das für die Kettenpumpen Gesagte gilt auch hier, nur ist der Wirkungsgrad noch geringer, da die in der Rinne schleifenden Schaufeln große Reibung verursachen. Zudem ist der Raumbedarf ein erheblich größerer als bei der Kettenpumpe.

<sup>7)</sup> Näheres findet sich in der Zeitschr. f. Bauw. 1872. S. 251—264 (mit Detailzeichnungen) und in der Broschüre: Het Waterwerkting, genaamt Pomprad door H. Overmars, Jr. Civiel Ingenieur te Rotterdam. Te's Gravenhage bij Gebr. J. & H. van Langenhuijsen 1871.