

$$\left(V \cdot z \cdot \gamma \cdot 1000 + \frac{V \cdot \gamma \cdot c_o^2 \cdot 1000}{2g} - \frac{V \cdot \gamma \cdot c_u^2 \cdot 1000}{2g} \right) \text{kgm/sec}$$

oder

$$(5) \quad \dots \quad N_a = \frac{V \cdot \gamma \cdot 1000}{75} \cdot \left(z + \frac{c_o^2 - c_u^2}{2g} \right) \text{Pferdestärken.}$$

Die Größe $\left(z + \frac{c_o^2 - c_u^2}{2g} \right)$ wird Nutzgefälle genannt und sei kurz mit z' bezeichnet; man hat somit für das Nutzgefälle und das Arbeitsvermögen der Wasserkraft, auch absolute Leistung genannt, die Beziehungen

$$(6) \quad \dots \quad z' = z + \frac{c_o^2 - c_u^2}{2g},$$

$$(7) \quad \dots \quad N_a = \frac{V \cdot z' \cdot \gamma \cdot 1000}{75}.$$

Häufig ist die Größe $\frac{c_o^2 - c_u^2}{2g}$ gegenüber dem Gefälle z unbedeutend, und man kann alsdann ohne Fehler $z' = z$ setzen. Bei kleinen Gefällen jedoch, wie solche gerade durch tiefschlächtige Wasserräder häufig ausgenutzt werden, würde man einen großen Fehler begehen, wenn man $\frac{c_o^2 - c_u^2}{2g}$ vernachlässigen wollte; ja in manchen Fällen wird das Nutzgefälle sogar ausschließlich durch $\frac{c_o^2 - c_u^2}{2g}$ gebildet, während das Spiegelgefälle z gleich Null zu setzen ist.

Kurze Besprechung der verschiedenen Wasserradtypen.

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten eine Einteilung der Wasserräder und die verschiedene Wirkungsweise des Wassers behandelt worden ist, soll im folgenden ein kurzer Überblick über die verschiedenen Klassen von Wasserrädern unter dem Gesichtspunkte der Verwendbarkeit und des Nutzeffektes derselben gegeben werden. Eine eingehendere Beschreibung und Würdigung der verschiedenen Typen, insbesondere bezüglich Theorie und Konstruktion, ist nicht der Zweck der folgenden Ausführungen, vielmehr sei in dieser Hinsicht auf ausführlichere Abhandlungen über Wasserräder verwiesen ¹⁾.

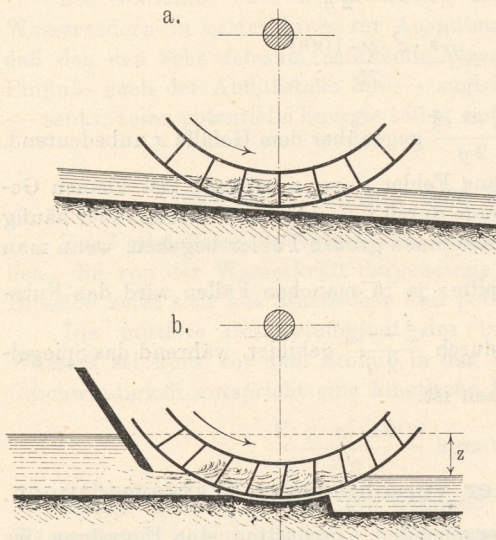
¹⁾ Bach, Wasserräder; Grashof, Theoretische Maschinenlehre; Henne, Wasserräder und Turbinen; Redtenbacher, Theorie und Bau der Wasserräder; Rühlmann, Allgemeine Maschinenlehre, I. Band; Weisbach-Herrmanns Handbuch der Ingenieur- und Maschinenmechanik.

I. Unterschlächtige Wasserräder.

Bei den gewöhnlichen unterschlächtigen Wasserrädern tritt das Wasser nahe am tiefsten Punkte des Rades ein. Die Schaufeln sind gerade und radial oder etwas geneigt (s. Fig. 22 u. 23) angeordnet. Die Wirkung des Wassers ist fast ausschließlich die des Stoßes. Das Wasser trifft mit größerer Geschwindigkeit als derjenigen der rotierenden Schaufeln auf, so daß eine plötzliche Geschwindigkeitsverminderung des Wassers eintritt (Stoßwirkung).

Die Räder werden mit geraden, sogenannten Schnurgerinnen, welche meist etwas geneigt sind (s. Fig. 22 a), oder besser noch mit

Fig. 22.



gekrümmten Gerinnen (s. Fig. 22 b) ausgeführt, da in dem letzteren Falle die Wasserverluste zwischen Rad und Gerinne kleiner sind. Gleichzeitig wird hierbei das Wasser im Schaufelraum etwas über dem Unterwasserspiegel angestaut, so daß es auf die in schiefer Stellung befindlichen Schaufeln zum kleinen Teil auch durch Druck wirkt, wodurch der Wirkungsgrad gegenüber dem Rade in Fig. 22 a ein wenig verbessert wird. Die Tourenzahl der im allgemeinen langsam laufenden, unter-

schlächtigen Räder wird bei Anbringung einer Durchlaßschütze (Fig. 22 b) erhöht, da das Wasser unter der Wirkung der Druckhöhe z den Schaufeln mit größerer Geschwindigkeit zufließt, als bei einem Überfalle.

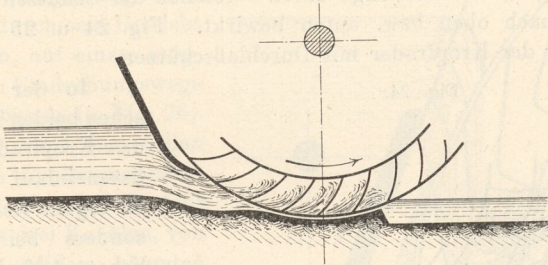
Der Nutzeffekt der gewöhnlichen unterschlächtigen Räder beträgt bei der ungünstigen Wirkung des Wassers höchstens 35 Proz.

Einen bedeutenden Fortschritt im Bau der unterschlächtigen Wasserräder stellt das von Poncelet eingeführte Rad mit gekrümmten Schaufeln dar (s. Fig. 23). Dasselbe wird für Gefälle von $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ m angewandt. Beim Poncelet-Rad trifft das Wasser auf die Schaufeln beim Eintritt nahezu stoßfrei und wirkt alsdann, indem es allmählich durch die Schaufeln aus seiner Richtung abgelenkt wird und so seine lebendige Kraft verliert, in der Hauptsache durch die letztere; es ist dies die auf S. 26 besprochene „Geschwindigkeitswirkung“. Durch

eine geeignete Krümmung des Gerinnes wie auch der Durchlaßschütze vor der Eintrittsstelle wird dem Rade das Wasser möglichst vorteilhaft zugeführt.

Der Nutzeffekt dieses Rades erreicht schon den Betrag von 60 bis 65 Proz.

Fig. 23.



Auf die Wasserräder in freiem Strome, wie solche als Schiffsmühlräder in Anwendung sind, näher einzugehen, liegt hier kein Grund vor, um so mehr, als dieselben einen äußerst geringen Nutzeffekt besitzen.

II. Halb-, mittel- und tiefschlächlige Wasserräder.

Die Konstruktion der Kropfräder schließt sich derjenigen der unterschlächtigen Räder mit gebogenem Gerinne an. Sie kommen bei mittleren Gefällen zur Verwendung. Der Mantel oder Kropf beginnt an einer mehr oder weniger hohen Stelle des Umfanges unterhalb der Radmitte und reicht bis ungefähr zum tiefsten Punkte des Rades. Bezüglich der Wirkungsweise des Wassers haben die Kropfräder die Eigenschaft, daß schon ein beträchtlicher Teil der Kraftäußerung des Wassers auf der Gewichtswirkung beruht, indem das Wasser, je nach der Höhe der Einlaufstelle, bald mehr, bald weniger im Schaufelraum zur Ruhe kommt und alsdann infolge seines Gewichtes ein Drehmoment auf die Radachse ausübt. Diese Wirkung wird durch geeignete Konstruktion der Schaufeln unterstützt; man gibt den im großen und ganzen ebenen Schaufeln am äußeren Umfange eine kleine Neigung nach oben.

Hinsichtlich des Wasserzufflusses kommen Überfallschützen, Durchlaßschützen und Coulisseneinlauf in Anwendung.

Die erstere Anordnung, mit Überfallschützen, ist dann angebracht, wenn das Wasser möglichst langsam und vorteilhaft in das Rad eintreten soll.

Das Wasser wirkt hierbei fast ausschließlich durch sein Gewicht auf die Schaufeln. Dementsprechend werden mit diesem Rade auch Wirkungsgrade zwischen 60 und 70 Proz. erreicht.

Zur Erzielung größerer Geschwindigkeiten ist die Anwendung einer Durchlaßschütze geeigneter. Allerdings ist die große Zuflußgeschwindigkeit für den Nutzeffekt wieder weniger von Vorteil.

Die erstere Bauart wird für Gefälle bis zu 2,5 m und Wassermengen bis zu 2,5 cbm, die zweite Bauart für Gefälle bis zu 1,5 m und Wassermengen bis zu 2 cbm gewählt. In beiden Fällen wird die Regulierung der Zuflußmenge durch Verstellen der Schützen in schiefer Richtung nach oben bzw. unten bewirkt. Fig. 24 u. 25 zeigen die Anordnung der Kropfräder mit Durchlaßschützen.

Fig. 24.

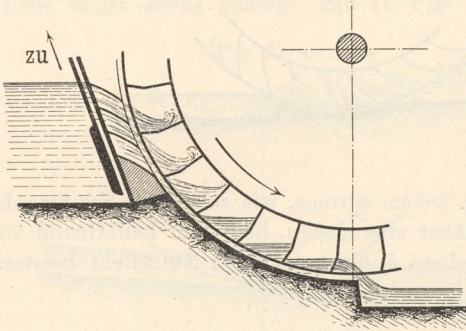
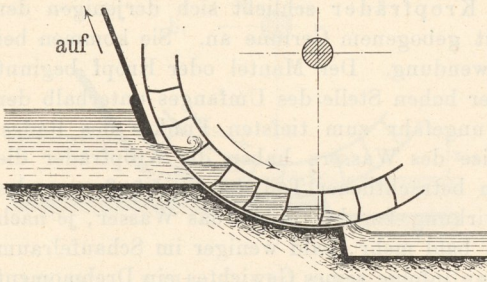


Fig. 25.



In der Mitte zwischen beiden Typen steht das Kropfrad mit Coullisseneinlauf (Fig. 24). Es eignet sich ganz besonders bei veränderlichem Aufschlagwasser, da die Regulierung des Wasserzuflusses durch Abschluß einzelner Schaufeln in sehr zweckmäßiger Weise erfolgen kann. Auch bei dieser Art des Zuflusses erfolgt im Augenblicke des Wassereintritts ein Stoß infolge der beträchtlichen Wassergeschwindigkeit.

Als eine besondere Art der tiefschlächtigen Kropfräder seien die Zuppinger-Räder und verwandte Konstruktionen, welche sich durch

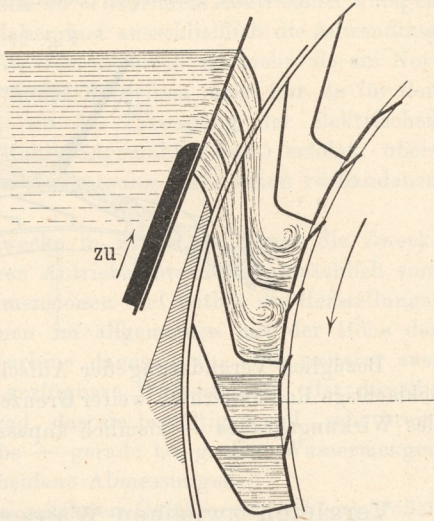
besonders große Schaufeltiefen in radialer Richtung auszeichnen, kurz erwähnt. Dieselben tauchen tief in das Unterwasser; sie eignen sich besonders für stark wechselnde Unterwasserstände, kleine Gefälle und große Wassermengen.

Bei Gefällen von 3 bis 4 m an und bei großen Wassermengen ist das Kropfrad mit im wesentlichen geraden Schaufeln nicht mehr gut verwendbar, da der Wasserverlust zwischen Rad und Kropf zu bedeutend wird. Es kommen alsdann rücken- oder Oberschlächtige Wasserräder in Betracht. Die ersteren sind bei sehr variablem Wasserstande vorteilhaft zu verwenden.

Das rückenschlächtige Rad wird im allgemeinen freihängend ausgeführt, kann aber auch — im Gegensatz zum Oberschlächtigen Rade —

im Unterwasser waten, da die Drehrichtung des Rades mit der Richtung des abfließenden Wassers übereinstimmt. Es ist wie das eigentliche Kropfrad auf seinem Umfange von der Wassereintritts- bis zur Austrittsstelle von einem Mantel umgeben; die Radschaufeln sind als sackartige Zellen ausgebildet, um das Wasser, welches bei dieser Radgattung sehr vorteilhaft durch sein Gewicht wirken kann, auf einem möglichst weiten Umdrehungswege fassen zu können (s. Fig. 26). Das Wasser wird den Zellen durch einen Coulissenapparat zugeführt. Meistens besteht derselbe aus drei Kanälen, von denen die beiden obersten unter normalen Verhältnissen genügen, während bei größerem Wasserbedarf der dritte Kanal ebenfalls eingeschaltet wird. Durch Ventilations-schlitzte am inneren Umfange des Rades ist das Entweichen der Luft aus den Zellen ermöglicht.

Fig. 26.



Der Nutzeffekt gut konstruierter rückenschlächtiger Räder kann 75 Proz. und mehr erreichen.

III. Das überschlächtige Wasserrad.

Das überschlächtige Rad kommt besonders bei kleinen Wassermengen und großem Gefälle von 3 bis 12 m und mehr zur Anwendung.

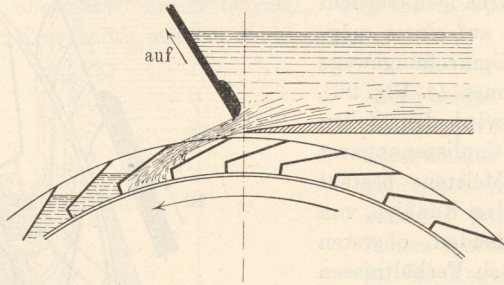
Der Einlauf erfolgt am Scheitel des Rades aus einer Öffnung des Gerinnebodens in Verbindung mit einer Spansschütze (s. Fig. 27).

Wie beim rückenschlächtigen wirkt das Wasser beim überschlächtigen Rade hauptsächlich durch sein Gewicht, indem es zwar mit einem gewissen Stoße eintritt, jedoch bei guter Konstruktion bald im Schaufelraum zur Ruhe gelangt und langsam mit der Drehung des Rades niedersinkt. Die Schaufelform ist daher ähnlich derjenigen der vorigen Radgattung. Das Rad muß stets völlig frei hängen, weil die Bewegungsrichtung desselben entgegengesetzt der Richtung des abfließenden Wassers ist. Mit Rücksicht darauf, daß durch die mit der rotierenden Bewegung verbundene Zentrifugalkraft die relative Ruhe des Wassers in den Zellen gestört und das Wasser zum Teil wieder aus denselben geschleudert werden kann, ist bei derartigen Rädern eine geringe Umfangsgeschwindigkeit geboten.

Je nach der Höhe des Obergerinnespiegels über dem Radscheitel treten beim Eintritt des Wassers beträchtliche Stoßwirkungen auf.

Der Nutzeffekt eines oberflächlichen Rades ist um so größer, je größer das Gefälle ist; er gestaltet sich ferner um so günstiger, je kleiner die Umfangsgeschwindigkeit gewählt werden kann. Der Nutzeffekt beträgt unter günstigen Bedingungen 75 bis 80 Proz.

Fig. 27.



Bezüglich Veränderung der Aufschlagwassermenge ist das oberflächliche Rad innerhalb weiter Grenzen — ohne wesentliche Änderung des Wirkungsgrades — ziemlich anpassungsfähig.

Vergleich zwischen Wasserrädern und Turbinen hinsichtlich der Verwendbarkeit, speziell auch für den Antrieb elektrischer Maschinen.

Aus den vorstehenden Betrachtungen geht hervor, daß im großen und ganzen der Wirkungsgrad von Wasserrädern demjenigen von anderen Betriebsmotoren, insbesondere der Turbinen, ziemlich nahe kommt. Auch ist als vorteilhafte Eigenschaft der Wasserräder hervorzuheben, daß bei den meisten derselben die Veränderung der Aufschlagwassermenge auf den Nutzeffekt einen verhältnismäßig geringen Einfluß besitzt.

Diesen Vorzügen steht als großer Nachteil die geringe Umdrehungszahl der Wasserräder gegenüber. Soweit es sich nicht um besonders langsam zu betreibende Anlagen handelt, ist eine große Übersetzung, bei bedeutenden Umdrehungszahlen der zu betreibenden Welle meist eine mehrfache Übersetzung erforderlich. Solche Übersetzungen, welche in der Regel durch große Zahnradgetriebe bewirkt werden, werden allein schon in konstruktiver, betriebstechnischer Hinsicht als ein Übelstand empfunden, vor allem aber bedingen sie eine wesentliche Herabsetzung des Gesamtwirkungsgrades der Wasserkraftanlage, welche letzteren man bei einem Vergleich mit anderen Betriebsmaschinen, ohne oder mit nur einer Übersetzung ins Langsame, z. B. den Turbinen, naturgemäß in Betracht ziehen muß. Berücksichtigt