

den Ladestromkreis, während durch die gleichzeitige Betätigung der Hauptstromspule der Schalter in seiner Stellung festgehalten wird. Sinkt die Stromstärke bis auf fünf Prozent des normalen Stromes, so fällt der Schalter ab, so daß Rückstrom vermieden wird. Bei allmählicher Spannungsabnahme der Batterie infolge fortschreitender Entladung sucht Relais 6 die Dynamo wieder einzuschalten, doch wird dies erst möglich, sobald die Dynamospannung überwiegt. Um die Spannung auf der Verbrauchsseite konstant zu halten, ist ein selbsttätiger Hauptstromregulator 7 (nur schematisch angedeutet) vorhanden, dessen Motor durch ein Spannungsrelais 8 ein- und ausgeschaltet wird. Es sind ferner 9 und 10 die notwendigen Schalter; 11, 11 Sicherungen; 12 zwei Vorschaltwiderstände.

Ein Windkraft-Elektrizitätswerk ist kein kostenloser Betrieb, denn es sind Zinsen, Amortisation und Unterhaltungskosten zu berücksichtigen, und die Akkumulatorenbatterie ist verhältnismäßig teuer. Man wählt die Batterie meist so groß, daß sie den Strombedarf für zwei Tage größten Verbrauches zu decken vermag, nicht dagegen so groß, daß sie jede mögliche Windstille überdauern kann. Vielmehr ist es bei größeren Anlagen empfehlenswerter, für Zeiten absoluter Windstille eine Reservekraft (z. B. einen Benzinmotor) aufzustellen. —

Alle Windmotoren soll man so berechnen, daß sie die verlangte Leistung schon bei einem leichten Winde leisten, d. h. bei einer Windgeschwindigkeit von 4—5 m in der Sekunde, wie man sie an den meisten Tagen mehrere Stunden lang erwarten darf. Bei Winden von 6—7 m steigt die Leistung schon auf das Doppelte, entsprechend der S. 6 genannten Formel  $N = F \cdot v^3 \cdot k$ .

## B. Die Wassermotoren.

### I. Einleitung.

Der Sonnenwärme verdanken wir den großen „Kreislauf des Wassers“. Dieser besteht darin, daß das Wasser in die Luft verdunstet, mit dieser fortgeführt wird und in Form von Niederschlägen auf die Erdoberfläche gelangt, wo die Niederschläge sich zu Bächen, Flüssen, Strömen vereinigen und ins Meer fließen, worauf von hier die Verdunstung wieder ihren Ausgang nimmt. Das auf eine gewisse Höhe gehobene Wasser besitzt einen Energievorrat, der beim Transport nach tieferen Stellen entnommen werden kann. Wir verdanken diese Energiequelle also ebenso der Sonnenwärme, wie dies bei dem Winde der Fall ist. Jedes Rinnsal, jeder murmelnde Bach bildet eine Energiequelle, und überall, wo ein Wasserlauf ungenutzt zu Tale fließt, ist ein — je nach der Wassermenge und dem Gefälle größerer oder kleinerer — Kraftverlust zu beklagen. Nicht immer freilich läßt sich eine solche Kraftquelle vorteilhaft in der gegebenen Form ausnutzen; häufig genug ist dazu erforderlich, kleine Wassermengen hinter Staumauern in den sogenannten *Talsperren* zu größeren Massen zu vereinigen, sie auf diese Weise (oder aber in kleinerem Umfange durch Wehre) anzustauen, wodurch man die gleichzeitig nutzbare Wassermasse vergrößert und vor allem das Gefälle einer langen Flußstrecke eng zusammendrängt. Andererseits muß man oft genug auf die Ausnutzung der Wasserkräfte verzichten, weil der mit diesem Verzicht verbundene Energieverlust gering ist gegenüber sonstigen Vorteilen, so namentlich gegenüber der Schifffahrt, die ja durch die Anlage von Stauwehren verhindert oder doch sehr erschwert wird. Freilich ist gerade da, wo die Schifffahrt den größten Umfang hat, also auf den breiten Flußteilen der Niederungen, sowieso an eine Ausnutzung der Wasserkräfte wenig zu denken, denn wenn auf der einen Seite die breiten schiffbaren Ströme gewaltige Wassermengen führen, so fließen diese Ströme doch sehr langsam dahin, d. h. das Gefälle ist so gering, daß man zwecks motorischer Ausnutzung übermäßig lange Flußstrecken reservieren müßte. Es könnte die Frage aufgeworfen werden, wo denn die Energie bleibt, wenn Flußläufe ohne motorische Ausnutzung zu Tale fließen. Ein Teil dieser Energie wird bei schnellen Wasserflächen häufig sichtbar, indem das Wasser Erde von den Böschungen spült, ja selbst kleine Steine mitreißt. Im übrigen wird die ganze Energie dazu verbraucht, das Wasser am Grunde des Flußlaufes und an den Ufern (also da, wo es sich

gegen sein Bett reibt) zu erwärmen, und diese Wärme ist auch die Ursache, weshalb schnell fließende Wasserläufe im Winter kaum zufrieren.

Die Vorrichtungen zur Ausnutzung der Energie des Wassers heißen *Wassermotoren*. Sollen sie dem Wasser seine Energie entziehen, so muß man den Kraftverlust durch Reibung zwischen strömendem Wasser und Flußbett möglichst aufheben, und dazu ist es nötig, daß das Wasser seine schnelle Bewegung verliert. Man erreicht dies eben durch Stauanlagen.

Die Wassermotoren oder *Wasserkraftmaschinen* kann man einteilen in 1. *Wasserräder*, 2. *Turbinen*, 3. *Wassersäulenmaschinen* und 4. *Hydraulische Widder*. Hiervon haben 3. und 4. nur geringe Wichtigkeit und sollen daher nicht besprochen werden. Eigentlich sind die Turbinen auch nichts anderes als Wasserräder, so daß die Unterabteilungen 1. und 2. zusammenfallen müßten. Aber man hat sich doch zu der Trennung entschlossen, aus Gründen, die später zu behandeln sind.

Das fließende Wasser wird den Wassermotoren an einer gewissen Stelle zugeführt und verläßt sie an einer anderen Stelle. Das zugeführte Wasser nennt man *Aufschlagwasser*. Die Zuleitung erfolgt durch einen Kanal oder eine Röhrenleitung. Die Größe der ausnutzbaren Wasserenergie bestimmt sich nach der *Menge* des Aufschlagwassers und nach dem *Gefälle*, d. h. dem Höhenunterschied. In den Motoren kann das Wasser auf zwei Arten wirken, entweder durch seine lebendige Kraft (Geschwindigkeit) oder durch sein Gewicht. Die lebendige Kraft des fließenden Wassers wird in den Wassermotoren mit einem geringeren Nutzeffekt ausgenutzt als sein Gewicht. Bei der Ausnutzung nach dem Gewicht sind die Menge des Aufschlagwassers und das Gefälle auf den Nutzeffekt von gleichem Einfluß, jedoch ist es praktischer, Anlagen mit möglichst großer Fallhöhe und kleiner Wassermenge zu wählen. Von der Energie des Aufschlagwassers läßt sich nur ein Teil in den Motoren nutzbar machen; unvermeidbare Verluste entstehen durch den Widerstand der Maschinenteile gegenüber dem einströmenden Wasser, durch die Reibung des Wassers im Motor und durch die Reibungswiderstände der Maschinenteile gegeneinander, endlich dadurch, daß das Wasser auch noch beim Verlassen des Motors eine gewisse lebendige Kraft haben muß, daß also nicht die ganze lebendige Kraft im Wassermotor verbraucht werden darf.

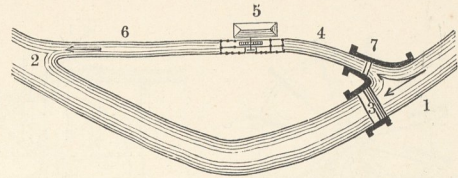


Fig. 23. Anlage einer Zuleitung aus einem Flusse.

Man kann Wasserkraftmaschinen nicht einfach in den Lauf des fließenden Wassers einbauen, denn der Wasserspiegel verändert sich, und die Leistung des Motors würde dementsprechend ganz ungleichmäßig werden. Vielmehr muß man den Wasserspiegel möglichst gleichmäßig auf derselben Höhe erhalten. Man leitet die motorisch auszunutzende Wassermenge durch einen Kanal von dem Flußlauf ab und führt sie nach der Ausnutzung ebenso durch einen Kanal an einer tieferen Stelle dem ursprünglichen Laufe wieder zu. Eine derartige Anlage zeigt Fig. 23. Der Höhenunterschied des Flußniveaus zwischen 1 und 2 ist das nutzbar gemachte Gefälle. 3 ist ein Stauwehr und 4 der Zuleitungsgraben (*Obergraben, Mühlgraben*), der die auszunutzende Wassermenge der Wasserkraftanlage 5 zuführt. Hat das Wasser den Motor passiert, so fließt es durch den *Untergraben* 6 dem Flusse wieder zu. In 4 und 6 wird das Wasser möglichst horizontal geleitet, damit bei 5 das Gefälle, also die Fallhöhe, möglichst groß wird. Bei 7 befindet sich gewöhnlich eine Einlaßschleuse, um die Wasserzufuhr verändern zu können. Die Aufstellung des Wassermotors erfolgt an der Stelle, die nach praktischen Rücksichten die günstigste ist. Demnach überwiegt in Gebirgsgegenden in der Regel die Länge des Obergrabens, weil der meist felsige Boden die Herstellung eines langen Untergrabens (der ja tiefer gegraben werden muß) wesentlich verteuern würde. Im Flachlande dagegen macht man den Untergraben recht lang, denn der Obergraben erfordert in der Anlage größere Sorgfalt, um die Reibungsverluste des Wassers in engen Grenzen zu halten. Das Stauwehr 3 wird so hoch gemacht, daß die zum Betriebe des Motors erforderliche Wassermenge nach 5 gelangt, der Überschuß aber über 3 hinwegfließen kann.

Als Wassermenge bezeichnet man das Volumen, das durch den Querschnitt der Zuleitung

dem Wassermotor in 1 Sekunde zuströmt. Die mechanische Arbeitsmenge aus einer verfügbaren Wassermenge  $Q$  in Kubikmetern pro Sekunde und einer Gefällhöhe  $H$  in Metern beträgt  $\frac{1000 \cdot Q \cdot H}{75}$  Pferdestärken oder  $13,3 \cdot Q \cdot H$  Pferdestärken.

Dieser *absolute Nutzeffekt des fallenden Wassers* gilt in bezug auf die motorische Ausnutzung nur theoretisch, d. h. er muß noch mit dem Wirkungsgrad des Wassermotors multipliziert werden, um dessen effektive Leistung zu finden. Je nach der Art des Wassermotors schwankt der Wirkungsgrad zwischen 0,5 und 0,85.

Wo nicht das Gewicht des fallenden, sondern die lebendige Kraft des fließenden Wassers der Berechnung zugrunde zu legen ist, geht man von folgender Formel aus: Ist  $v$  die mittlere Geschwindigkeit eines Stromes,  $Q$  das Volumen der durch den Querschnitt fließenden Wassermenge und  $g$  die Beschleunigung durch die Schwerkraft, so berechnet sich der absolute Nutzeffekt ( $N$ ) des fließenden Wassers zu  $N = \frac{1000 Q}{75} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{6,67 Q v^2}{g}$ .

## II. Wasserräder.

Ein Wasserrad besteht aus einem Radkranz, der mit Schaufeln oder Zellen besetzt ist, und zwar erstrecken sich die Schaufeln oder Zellen in gleichen Abständen über den ganzen Umfang des Rades hin. Man unterscheidet hiernach *Schaufelräder* und *Zellenräder*;

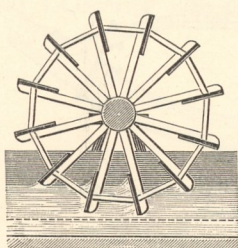


Fig. 24.  
Schiffmühlenrad.

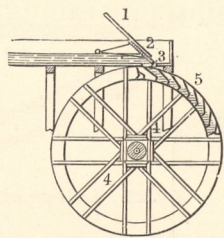


Fig. 25. Oberschlächtiges Wasserrad mit Spansschütze.

Bei den ersteren sind die Schaufeln am Radkranz befestigt, und es ist nur ein Boden vorhanden: *Wasserräder mit offenem Schaufelraum*. Bei den Zellenrädern, die auch *Kübelräder* genannt werden, sind die Schaufeln noch durch Seitenwände eingeschlossen so daß Zellen (Kübel) zur Aufnahme des Wassers entstehen: *Wasserräder mit geschlossenem Schaufelraum*. Dieser konstruktive Unterschied zeigt, daß in den Schaufelrädern das Wasser

nur durch seine lebendige Kraft wirken kann, indem es gegen die Schaufeln stößt, dagegen in den Zellenrädern durch sein Gewicht, indem es nach und nach die verschiedenen Zellen anfüllt und die so beschwerte Radseite niederdrückt.

Das einfachste Wasserrad ist die *Schiffmühle*, ein uralter Wassermotor. Die Schiffmühlenräder (Fig. 24) hängen frei im Strome, und zwar lagern sie auf zwei durch Balken verbundenen, im Flußlauf verankerten Kähnen. Da diese sich mit dem Wasserspiegel heben und senken, bedarf es einer Stauanlage nicht. Dafür hat die Schiffmühle aber auch nur einen geringen Wirkungsgrad, weil sehr viel Wasser seitlich den Schaufeln ausweicht. Deshalb werden Schiffmühlenräder nur noch wenig benutzt.

Die üblichste Einteilung der Wasserräder ist die nach der Stelle (Höhe) des Wassereintrittes in das Rad. Man erhält so *oberschlächlige*, *rückenschlächlige*, *mittelschlächlige* und *unterschlächlige Wasserräder*. Von diesen baut man die oberschlächligen und rückenschlächligen Räder als Zellenräder, dagegen die mittelschlächligen und unterschlächligen als Schaufelräder.

Die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers muß größer sein als die Umlaufgeschwindigkeit des Rades; daher läßt man es erst eine kleine Höhe, das *Stoßgefälle*, durchfallen, ehe es in das Rad eintritt. Der Einlauf des Wassers geschieht mittels einer am Ende der Zuleitung, des *Gerrinnes*, eingebauten Vorrichtung, nämlich einer Quervorlage (*Schütze*), über die das Wasser entweder hinwegfließt: *Überfallschütze*, oder unter der es hindurchfließt: *Spansschütze*, oder die es durch besondere Einlaufkanäle passiert: *Kulisseneinlauf*. Durch Hoch- oder Niederstellen der Schütze läßt sich die Wasserzufuhr regulieren.

**Oberschlächtiges Wasserrad.** Bei diesem (Fig. 25) tritt das Wasser unter einer Spansschütze 1, 2 hindurch in einem breiten, aber dünnen Strahle bei 3 in der unmittelbaren Nähe des Scheitels des Rades 4 ein, wobei der Strahl so weit über den Scheitel hinweg reicht, daß