

Zweiter Abschnitt.

Die Ausnutzung der Energie.

1. Ausnutzung von Wasserkraften durch Wasserräder.

Unter den Energiequellen, die uns von der Natur zur Verfügung gestellt werden, sind Wasserkraft und Wärme die wichtigsten. Wasser ist fast gebrauchsfertig da; die Stoffe dagegen, die Wärme erzeugen, müssen wir erst aus dem Innern der Erde hervorholen, und oft genug haben wir auch noch Veredelungsprozesse mit ihnen vorzunehmen, ehe es möglich ist, sie nutzbar zu machen. Jedes Kilogramm Brennstoff kostet also Arbeit oder Geld, und mit ihm muß daher möglichst sparsam umgegangen werden; wenn dagegen 1000 Kubikmeter Wasser täglich mehr durch eine Maschinenanlage fließen, so kann das, wie es zunächst scheinen will, gleichgültig sein, denn dieses Wasser ist ja ohne Kosten zu haben.

Danach würde es im Sinne technisch-wirtschaftlichen Denkens notwendig sein, die Wärme der Brennstoffe auf das äußerste auszunutzen, mit dem Wasser dagegen könnte man, sobald es nur für den beabsichtigten Zweck reichlich da ist, verschwenderisch umgehen.

Daß diese Schlußfolgerung dem Techniker nicht gefällt, der gewohnt ist, seine Maschinen so durchzubilden, daß sie möglichst geringe Verluste haben, bedarf kaum der Erwähnung. Und der Techniker hat auch recht, wenn er sich dagegen sträubt, denn dieser Gedanke würde zum technischen Raubbau führen. Die uns von der Natur gespendeten Güter sind nicht Eigentum des einzelnen, auch wenn er durch ein Stück Papier sein ausschließliches Recht zu ihrer Nutzung nachweisen kann, sondern die Allgemeinheit hat ein Recht darauf, daß sie nicht verschwendet werden. Ebenso wie man es dem Landwirt als eine Sünde, nicht nur gegen sich allein, sondern auch gegen seine Mitbürger, anrechnet, wenn er sein Feld schlecht bewirtschaftet, so tut der Besitzer einer Wasserkraft im volkswirtschaftlichen Sinne ein Unrecht, wenn er, um Geld zu sparen, eine

Maschine einbaut, die das Wasser vergeudet, es sei denn, daß es sich um eine vorläufige Anlage handelt, die leicht wieder entfernt werden kann, sobald sich der Bedarf nach einer besseren Ausnutzung herausstellt.

Schärfer vielleicht als auf irgendeinem anderen Gebiete des Maschinenbaues tritt der Unterschied zwischen der technischen „Ausnutzung“ einer Naturkraft und der alten handwerksmäßigen „Benutzung“, die immer eine ungeheure Energieverschwendung bedeutet, beim Vergleich eines alten und eines neuen Wasserrades hervor. Wir haben wohl alle noch das eine oder andere von den alten romantischen Mühlenrädern gesehen, in die das Wasser sich brausend hineinstürzt, um, nachdem es seine Arbeit getan hat, mit starker Strömung weiterzufließen. Dieses Brausen sollte den, der an technisches Denken gewöhnt ist, sofort stutzig machen. Wasser, das schäumt und durcheinanderwirbelt, besitzt in seinen einzelnen Teilen eine Bewegungsenergie, die unnütz verloren geht und nur dazu dient, das Wasser zu erwärmen. Schnell abfließendes Wasser nimmt gleichfalls Arbeitsvermögen in Form von Bewegungsenergie oder lebendiger Kraft mit. Man darf also hieraus schon schließen, daß ein solches Rad ein großer Kraftvergeuder ist.

Betrachten wir nun einmal schärfer die Wirkung eines „unterschlächtigen Wasserrades“ alter Bauart, Abb. 91, wie es früher für kleinere Gefälle von allen Mühlen benutzt wurde. Das Gefälle, das ausgenutzt werden soll, sei $1\frac{1}{2}$ m. Das Wasser, das in einem tiefen Graben ankommt, wird durch ein quer gestelltes Brett, eine sogenannte Schütze, zurückgehalten und fließt unter dieser Schütze mit großer Geschwindigkeit aus. Soweit ist alles in Ordnung. Abgesehen von der Reibung beim Durchtritt durch die enge Öffnung ist kein Verlust entstanden, sondern das Arbeitsvermögen des Wassers — Gewicht \times Fallhöhe — hat sich in lebendige Kraft umgesetzt. Nun aber stößt das Wasser mit großer Wucht gegen die Schaufeln. Auf S. 51 war bereits ausgeführt, daß ein Stoß immer einen Verlust bedeutet. Das Wasser kann seine Energie nur zu einem geringen Teil abgeben und der Rest wird, wie schon erwähnt, dazu verbraucht, das Wasser aufschäumen und durcheinanderwirbeln zu lassen. Je langsamer man die Schaufeln sich bewegen läßt, um so heftiger ist der eigentliche Stoß; würden die Schaufeln ganz still stehen, der Wasser-

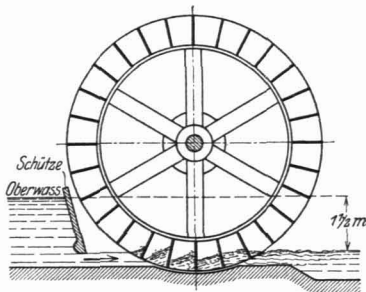


Abb. 91. Unterschlächtiges Wasserrad (TWT 1602).

strahl also gegen eine feste Wand treffen, so fände ja überhaupt keine Arbeitsübertragung statt. Man muß also das Rad, um Arbeit in nennenswertem Maße zu gewinnen, ziemlich rasch laufen lassen, was dann aber zur Folge hat, daß das Wasser mit großer Geschwindigkeit wegströmt. Werden in einem solchen Rade 30% des verfügbaren Arbeitsvermögens des Wassers ausgenutzt, so darf man ganz zufrieden sein. Zur Ehre der Müller früherer Zeiten dürfen wir annehmen, daß sie nicht wußten, was für Kraftverschwender sie in ihren Wasserrädern hatten, und wenn sie es wußten, daß sie jedenfalls keinen Weg kannten, um es besser zu machen. Man sagt ja sonst den Müllern nach, daß sie sich auf wirtschaftliches Denken recht gut verstehen.

In der Tat kann nur wissenschaftliche Überlegung, die sich auf das Gesetz von der Erhaltung der Energie gründet, zur Erkenntnis der auftretenden Verluste und zu einer besseren Wasserradbauart führen, wie sie in Abb. 92 dargestellt ist. Es kommt dabei vor allem darauf an, die Verluste beim Eintritt und beim Austritt des Wassers zu vermindern.

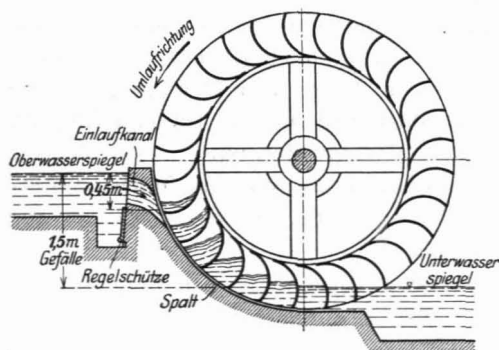


Abb. 92. Richtig gebautes mittelschlächtiges Wasserrad (TWL 1603).

Zunächst der Eintritt ins Rad. Je größer die Geschwindigkeit ist, mit der das Wasser einströmt, um so stärker ist der Stoßverlust. Wir

müssen also darauf sehen, die Eintrittsgeschwindigkeit möglichst klein zu machen, und legen deshalb den Eintrittspunkt nicht zu tief unter den Wasserspiegel, in diesem Falle um ungefähr $\frac{1}{3}$ der Gefällhöhe. Wenn also das Arbeitsvermögen, das diesen 0,45 m entspricht, ebenso schlecht ausgenutzt würde wie beim einfachen Stoßrad, d. h. mit 70% Verlust, so würde eine Gefällhöhe von $\frac{70}{100} \times 0,45 = 0,315$ m verloren gehen, also immerhin nur 21% des Gesamtgefälles von 1,5 m. Aber auch davon läßt sich ein großer Teil sparen, indem man das Wasser durch einen Leitkanal so einführt, daß es möglichst stoßfrei auf die Schaufeln trifft.

Das scheint nun allerdings in Abb. 92 durchaus nicht der Fall zu sein. Das Wasser trifft in schräger Richtung auf die Schaufel.

Sollte kein Stoß stattfinden, so müßte doch der Wasserstrahl so geführt werden, daß er sich zu Anfang, beim Auftreffen, in der Richtung der Schaufel bewegt, an ihr entlang gleitet und sich ihr anschmiegt. Später kann ja die Schaufel beliebig gekrümmt und dadurch der Wasserstrahl abgelenkt werden.

Untersuchen wir die Sache näher. In Abb. 93 ist die Eintrittsstelle in größerem Maßstabe herausgezeichnet und zunächst einmal angenommen, daß tatsächlich der Eintritt so geändert ist, daß das Wasser in der Richtung AB , also in der Richtung des ersten Schaufelstückchens, in das Rad strömt. Jetzt geht also das erste Auftreffen anscheinend ganz ohne Stoß vor sich — solange die Schaufel still steht. Wie wird es aber, wenn das Rad sich bewegt, die Schaufel also fortschreitet?

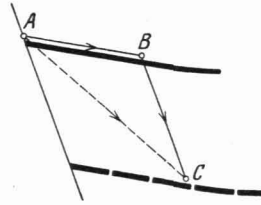


Abb. 93. Eintritt des Wassers beim mittelschlächtigen Wasserrad nach Abb. 92.

Angenommen sei, daß das Wasserteilchen sich in $\frac{1}{100}$ Sekunde von A nach B bewegt, und daß in dieser Zeit die Schaufel ebenfalls fortschreitet, und zwar in die Stellung, die etwas tiefer gestrichelt gezeichnet ist. Nach $\frac{1}{100}$ Sekunde also befindet sich das Wasserteilchen in B , die Stelle der Schaufel aber, auf die es hätte auftreffen sollen, bereits in C . Das Wasser erreicht also in Wirklichkeit die Schaufel gar nicht, sondern strömt in den freien Schaufelraum hinein und wird an irgendeinem Punkt, selbstverständlich mit Stoß, den Schaufelboden berühren.

Daraus ergibt sich ohne weiteres die Folgerung: Der Wasserstrahl ist so zu lenken, daß er sich nicht in der Richtung AB , sondern in der Richtung AC bewegt. Der Schaufel gegenüber oder „relativ zur Schaufel“ erhält er dann, wenn diese mit der richtigen Geschwindigkeit umläuft, die Richtung AB . Wir nennen deshalb, wenn AC die wirkliche Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers ist, AB die Relativgeschwindigkeit, und sie ist maßgebend für die richtige Wirkung in der Schaufel.

Das Wasser strömt mit dieser Relativgeschwindigkeit an der gekrümmten Schaufelwand in die Höhe und übt bei der Ablenkung einen Druck auf die Schaufel aus, der das Rad drehen hilft. Die lebendige Kraft des Wassers wird also nutzbringend verwandt.

Allerdings ist hier nur der mittlere Wasserfaden ins Auge gefaßt. Aus Abb. 92 geht aber hervor, daß der Teil des Wassers, der aus dem oberen und unteren Teil des Leitkanals ausströmt, nicht in der beabsichtigten Weise stoßfrei auftritt, und daß somit doch ein Verlust entsteht. Immerhin darf man annehmen, daß der ge-

samte Verlust beim Eintritt einschließlich der Reibung im Leitkanal nicht größer als etwa 15% des Gefälles sein wird.

Das Wasser wirkt weiter durch sein Gewicht, indem es in den Schaufeln heruntersinkt, und gibt dabei sein Arbeitsvermögen fast verlustfrei ab. Ein geringer Verlust entsteht dadurch, daß durch den Spalt zwischen der Schaufelkante und dem Mantel, der das Rad einschließt, beständig etwas Wasser aus den höheren Zellen in die tieferen entweicht. Dieser Spaltverlust beträgt aber nur ungefähr 3% des gesamten Arbeitsvermögens.

Das Wasser tritt mit der Geschwindigkeit, mit der die Schaufeln sich bewegen, aus dem Rad aus. Diese Geschwindigkeit ist nach Abb. 93 abhängig von der Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers — sie verhält sich zu ihr wie die Strecke BC zu AC . Die Eintrittsgeschwindigkeit aber hatten wir möglichst gering gemacht, indem wir den Eintrittspunkt A nahe unter den Wasserspiegel (nur 0,45 m tiefer) legten. Durch diese Maßnahme wird also nicht nur der Eintritt-, sondern auch der Austrittsverlust verringert, da das abfließende Wasser wenig lebendige Kraft mitnimmt.

Im ganzen werden sich erfahrungsgemäß die Verluste etwa folgendermaßen stellen:

Eintrittsverlust	15%
Spaltverlust	3%
Austrittsverlust	5%
Zapfenreibung	2%
<hr/>	
zusammen 25%.	

Durch die Ausführung nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten und Regeln ist demnach erreicht worden, daß die Ausnutzung der verfügbaren Wasserenergie jetzt 75% beträgt gegen 30% bei der handwerksmäßigen Bauweise; aus der Wasserkraft wird also $2\frac{1}{2}$ mal so viel herausgeholt! Das ist ein glänzender wirtschaftlicher Erfolg technisch-wissenschaftlicher Arbeit.

In dem Beispiel war ein bestimmtes Gefälle, d. h. ein bestimmter Höhenunterschied zwischen dem Ober- und dem Unterwasserspiegel, als fest gegeben angesehen worden, und es handelte sich darum, dieses Gefälle von 1,5 m so gut wie möglich auszunutzen. Wir müssen uns aber darüber klar werden, daß das Gefälle, wenn man an die Ausnutzung einer Wasserkraft herantritt, auch noch keineswegs festliegt, sondern oft erst künstlich gewonnen werden muß und durch Aufwendung besonderer Mittel erhöht werden kann. Im Abschnitt I S. 76 war hierauf bereits kurz hingewiesen worden.

Stellen wir uns einmal gemäß Abb. 94 und 95 das Bett eines Flusses vor, in dem an einer Stelle ein Wehr errichtet wird, das das Wasser im Flußbett aufstaut. Das Gefälle des Flusses ist in der Abbildung natürlich stark übertrieben gezeichnet. Oberhalb des Wehres wird ein Graben abgezweigt, der den größten Teil des Wassers aus dem Fluß entnimmt und einem Wasserrad zuführt, in dem es, der Wassermenge und dem Gefälle entsprechend, Arbeit verrichtet. Unten strömt das Wasser aus dem Rade ab in den Untergraben, der es an einer tieferen Stelle wieder in das Flußbett zurückführt.

Abb. 94.

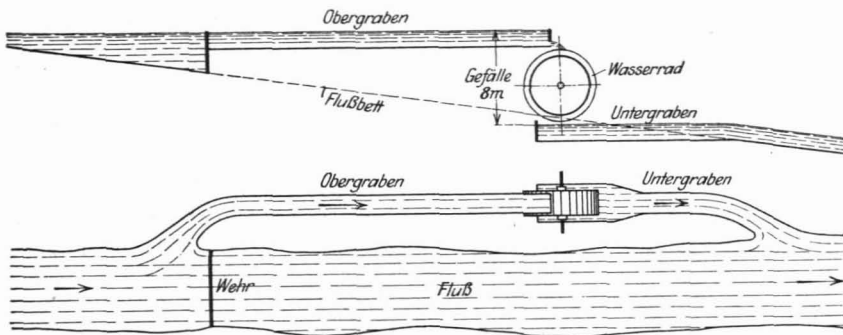


Abb. 95.

Abb. 94 und 95. Grabenanlage für ein Wasserrad (TWL 1604).

Das Gefälle von 8 m, das auf diese Weise erreicht worden ist, ließe sich vergrößern, wenn man entweder das Wehr weiter nach oben setzte und das Wasser höher aufstaute, oder indem man den Untergraben an einer tieferen Stelle in den Fluß münden ließe. Im Flusse vorhanden ist also ein viel größeres Arbeitsvermögen, als im Falle der Abb. 94 wirklich nutzbar gemacht wird. Verlängerte man Ober- und Untergraben um das Doppelte, so käme man auf ungefähr 16 m. Ist aber das Gefälle von 8 m einmal festgelegt, so darf selbstverständlich nicht etwa der Maschine zur Last gelegt werden, daß sie nicht mehr als die 8 m ausnutzt, sondern ihre Nutzleistung läßt sich nur vergleichen mit dem, was ihr geboten ist, und das sind eben diese 8 m Gefälle.

Ob das Gefälle tatsächlich vergrößert wird, hängt zunächst davon ab, ob durch die Verlängerung der Gräben nicht zu hohe Kosten entstehen. Häufig werden die Gräben viele Kilometer weit geführt. Sodann aber fragt es sich, wie weit überhaupt ein Recht an der Wasserkraft besteht. Nehmen wir an, weiter oberhalb am gleichen Flusse befände sich ein anderer Müller. Dieser hatte bisher sein

Wasser ein Stück weit oberhalb unseres Wehres in den Fluß geleitet; dadurch, daß wir den Fluß aufgestaut haben und der Stau sich vielleicht weiter im Flußbett hinauf erstreckt, als angenommen war, steigt der Spiegel seines Untergrabens, und sein Wasserrad, das dem Entwurf entsprechend über dem Wasserspiegel bleiben müßte, hängt ins Wasser hinein. Infolgedessen geht ihm nicht nur ein Stück Gefälle verloren, sondern die Maschine arbeitet auch anders als sie sollte, mit schlechterem Wirkungsgrad, so daß unser Nachbar nicht mehr die nötige Kraft erhält, um seine Mühle voll zu betreiben. In einem solchen Falle können sich juristisch-technische Fragen von großer Schwierigkeit ergeben.

Eine andere Möglichkeit ist die, daß infolge der Erhöhung des Wasserspiegels im Flusse das Grundwasser in der Umgebung steigt, so daß Wiesen, die vorher trocken waren, versumpfen und die Grundbesitzer eine Vergütung für den Schaden verlangen, der ihnen entstanden ist. — Das Gefälle zu bestimmen, das sich ohne Schädigung fremder Rechte aus einer Wasserkraft gewinnen läßt, kann also eine sehr verwickelte Aufgabe sein, bei der technisch-wissenschaftliche, kaufmännische und juristische Gesichtspunkte eng miteinander verflochten sind.

2. Wasserturbinen.

Alle Wasserräder haben den Nachteil, daß sie sich sehr langsam drehen. Ein Rad, wie oben beschrieben, würde vielleicht 7 Umdrehungen in der Minute machen, während wir Generatoren für die Erzeugung von Elektrizität gern mit 1000minütlichen Umläufen bauen und auch allen anderen modernen Arbeitsmaschinen große Umdrehungszahlen geben, damit sie im Verhältnis zu ihrer Größe möglichst viel leisten. Die Umlaufzahl des Generators ist also 140 mal so groß wie die des Wasserrades, und es müßten 3 Zahnräderpaare dazwischengeschaltet werden, um die richtige Umlaufzahl für den Antrieb des Generators herzustellen. Jedes von diesen Zahnräderpaaren nimmt aber durch die entstehende Reibung Energie weg, so daß bei dieser Übertragung große Verluste auftreten. Auch verursachen die Zahnräder erhebliche Anschaffungs- und Instandhaltungskosten, und schließlich nimmt das große Wasserrad mit seinen Vorlegen viel Platz ein.

Alles dies bringt Verluste, die der Techniker vermeidet, wenn er irgend kann, und die Folge ist, daß die Wasserräder heute größtenteils von den schnellaufenden Turbinen verdrängt worden sind.

Wie eine Turbine arbeitet, ist leicht zu verstehen. Die Wirkung ist ähnlich, wie beim Eintritt des Wassers in das Wasserrad nach