

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 Zahnradpaare dazwischengeschaltet werden, um die richtige Umlaufzahl für den Antrieb des Generators herzustellen. Jedes von diesen Zahnradpaaren 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

Abb. 92 und 93, doch bleibt das Wasser nicht in der Zelle, sondern strömt ganz hindurch; die Gewichtswirkung fällt fort. Wie in Abb. 96 skizziert, werden zwei Räder benutzt, ein feststehendes Leitrad und ein Laufrad, das sich dreht und die Energie vom Wasser übertragen bekommt. Das Laufrad ist fest mit der Welle verbunden.

Das Wasser wird im Turbinengehäuse, das die ganze Vorrichtung einschließt, den Leitradzellen zugeführt. Es strömt durch sie hindurch und erhält dabei eine bestimmte Richtung. Mit großer Geschwindigkeit trifft das Wasser dann auf die Schaufeln des Laufrades. Es ist bestrebt, das Laufrad in der Richtung zu drehen, wie durch den Pfeil angedeutet, und dabei Arbeit zu leisten. Durch die in eigenartiger Weise gekrümmten Schaufeln wird das Wasser in der Richtung der Achse abgeleitet und durch ein gebogenes Rohr dem Unterwasser zugeführt.

Nun kommt es darauf an, die Verluste so niedrig wie möglich zu halten, und zwar handelt es sich auch hier zunächst um den Stoßverlust beim Eintritt und um die Energie, die

das Wasser mit sich fortnimmt, wenn es die Zellen durchströmt hat und durch ein Rohr abgeführt wird. Was den Stoß beim Eintritt anlangt, so kann auf das verwiesen werden, was über das Wasserrad gesagt wurde. In Abb. 97 ist AB die in der Richtung des ersten Schaufelstückes gezeichnete „Relativgeschwindigkeit“ und BC die Geschwindigkeit, mit der das Schaufelstück sich bewegt. Damit das Wasser richtig auf die Schaufel trifft, muß es in der Richtung AC in das Rad eintreten, und dementsprechend sind die Leitschaufeln zu formen.

Entsprechend liegen die Verhältnisse beim Austritt des Wassers aus dem Laufrade. Denkt man sich das Laufrad stillstehend, so würde das Wasser bei D mit der Relativgeschwindigkeit DE das Laufrad verlassen. Ein Wasserteilchen würde in $\frac{1}{100}$ Sekunde von D nach E gelangen. Dreht sich aber das Laufrad mit der ihm vorgeschriebenen Geschwindigkeit, so wird sich in derselben Zeit das Wasser-

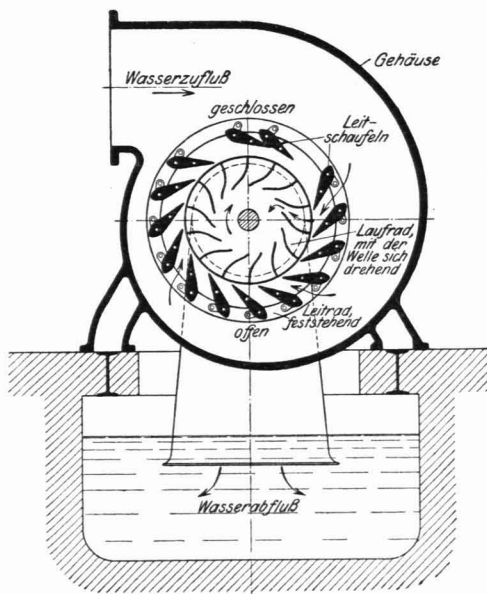


Abb. 96. Wasserturbine (TWL 1605).

teilchen mit der Schaufel wieder um die Strecke EF zurück bewegen, so daß es in Wirklichkeit nur von D nach F gelangt.

Während sich also das Wasser bei seinem Eintritt in das Laufrad mit der großen Geschwindigkeit AC in der Drehrichtung bewegt, löst es sich, nachdem es beim Durchströmen der gekrümmten Laufradschaufel seine Wucht verloren hat, in tragem, ruhigem Strom von den Laufradzellen in einer Richtung, in der es weder arbeitend noch hemmend wirksam sein kann.

Es ist ein beinahe geheimnisvoll anmutendes Gesetz, das hier wirkt. Vergleichen wir einmal die beiden Schaufeln I und II in Abb. 98 miteinander. Auf beide strömt das Wasser mit der gleichen Ge-

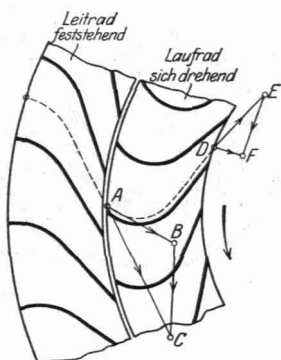


Abb. 97. Ein- und Austritt des Wassers bei der Turbine.

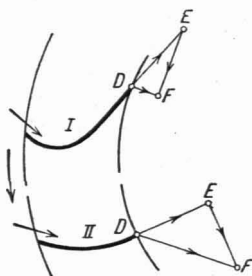


Abb. 98. Austrittsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Schaufelformen.

schwindigkeit; unser Gefühl sagt uns aber schon, daß der Wasserdruck auf die Schaufel I , wo der Wasserstrahl eine starke Ablenkung erfährt, jedenfalls eine viel größere Wirkung hat als der Druck auf die Schaufel II . Wirklich zeigt es sich nun beim Auftragen der Wegstrecken, die das Wasser beim Austritt zurücklegt, daß diese Strecken DE und EF sich bei den beiden Schaufeln ganz verschieden zusammensetzen und bei Schaufel I eine kleine, bei Schaufel II eine große verlorene Austrittsgeschwindigkeit DF ergeben. Man kann die Schaufeln formen wie man will, dieser eigenartige Zusammenhang zwischen dem ausgeübten Druck und der Austrittsgeschwindigkeit wird immer bestehen bleiben.

Da das Laufrad sich dreht, so treten immer neue Schaufeln vor die Zellen des Leitrades. Dabei finden Verluste statt, schon deshalb, weil die Schaufeln nicht papierdünn sind, sondern eine gewisse Dicke haben. Man stelle sich vor, daß man ein Brett mit der schmalen Kante gegen einen breiten Wasserstrahl hält. Derjenige Teil des Wassers, der auf das Brett trifft, wird verspritzt und stört auch

die Bewegung des Wassers, das an beiden Seiten des Brettes entlang strömen will. Kann man auch den Stoß durch Zuschärfen des Brettes erheblich kleiner machen, so läßt er sich doch nie beseitigen. Bei der Turbine ist daher im Durchschnitt mit einem Eintrittsverlust von 7% der im Wasser enthaltenen Bewegungsenergie zu rechnen. Dazu kommen dann noch die Verluste beim Durchströmen des Leit- und des Laufrades, der oben schon besprochene Austrittsverlust, der bei richtiger Ausführung nur 3 bis 5% der Gesamtenergie betragen darf, und die Reibung in den Lagern der Turbinenwelle. Im ganzen muß mit Verlusten von 20 bis 30% gerechnet werden, so daß der Wirkungsgrad, d. h. die Energieausnutzung, bei einer richtig gebauten Turbine 70 bis 80% beträgt. Bei großen Turbinen erhält man, wie bei größeren Maschinenanlagen überhaupt, bessere Wirkungsgrade als bei kleinen.

3. Regelung der Kraftmaschinen und Feststellung des Wirkungsgrades bei verschiedenen Leistungen.

Beim Wasserrad und bei der Turbine war davon gesprochen worden, daß wir dem Rad eine bestimmte Umlaufzahl geben, so daß z. B. der Punkt, an dem das Wasser eintritt, in $\frac{1}{100}$ Sekunde von *B* nach *C* gelangt. Es ist wichtig, daß das Rad wirklich diese Geschwindigkeit einhält, denn sonst stimmt natürlich die Berechnung nicht, und größere Stoßverluste beim Eintritt sind unvermeidlich. Außerdem aber würden, wenn das Rad zu rasch oder zu langsam läuft, auch die Müllereimaschinen oder elektrischen Maschinen, die von der Turbine angetrieben werden, rascher oder langsamer laufen, als sie sollen, und nicht mehr richtig arbeiten. Wenn z. B. ein Generator etwas langsamer läuft, so ist das, wie schon in Abschnitt I erwähnt, sofort daran zu merken, daß die Glühlampen, die von ihm versorgt werden, erheblich weniger hell brennen. Daher müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die Maschine auf der vorgeschriebenen Arbeitsgeschwindigkeit zu halten, d. h. ihre Umlaufzahl zu regeln.

Bei dem Wasserrad nach Abb. 92 geschieht das durch ein recht rohes Mittel. Wenn das Wasserrad weniger zu leisten hat, so wird das als Regelschütze bezeichnete Brett in die Höhe geschoben und dadurch der Zufluß des Wassers in den Einlaufkanal zum Teil abgesperrt.

Auf diese Weise kann wohl verhindert werden, daß das Rad eine ganz verkehrte Geschwindigkeit annimmt; kleineren Änderungen der Umlaufzahl wird dadurch aber nicht vorgebeugt.

Kommt es auf möglichst genaue Einhaltung der Umlaufzahl an, so muß die Maschine sich selbst regeln. Ein selbsttätiger Regler ist in Abb. 99 skizziert. An der senkrechten Welle, die von der Maschine aus getrieben wird und deren Geschwindigkeitschwankungen