

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

genau mitmacht, sind zwei Gelenkstangen *a* angebracht, an deren äußeren Enden Schwungkugeln hängen. Dreht die Welle sich langsam, so stehen die Schwungkugeln, wie mit vollen Linien gezeichnet. Läuft sie schneller, so werden die Kugeln weiter nach außen geschleudert und ziehen dabei die senkrechte Stange in die Höhe, die nun z. B. einen Schieber bewegt, der das Wasser absperrt. Bei der Turbine in Abb. 96, S. 85, ist angenommen, daß die Schaufeln des Leitrades drehbar sind. Bei voller Leistung stehen die Schaufeln so, wie am größten Teil des Rades gezeichnet, d. h. sie geben den vollen Durchtrittsquerschnitt frei. Beginnt die Turbine rascher zu laufen, so dreht der Regler die Schaufeln und kann schließlich, wie an den beiden oberen Schaufeln gezeichnet, den Wasserstrom vollständig absperren.

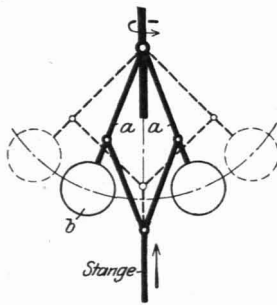


Abb. 99. Regler für eine Kraftmaschine.

Wird wieder eine größere Arbeit von der Turbine verlangt, so hat das die Wirkung, daß die Maschine anfängt, etwas langsamer zu laufen. Der Regler spürt das sofort, die Schwungkugeln gehen weiter nach unten, und die Laufradzellen werden wieder geöffnet, soweit es nötig ist.

Bei der Regelung auf verminderte Leistung sollte die Maschine eigentlich mit ebenso gutem Wirkungsgrad arbeiten wie vorher, d. h. sie sollte für jede abgegebene Pferdekraft nicht mehr Wasser verbrauchen, als wenn sie ihre volle Leistung abgibt. Das ist aber bei fast keiner Maschinengattung zu erreichen. Selbstverständlich wird durch die Absperrung des Zuflusses immer Wasser gespart; aber wenn z. B. bei voller Leistung der Turbine für jede vom Wasser empfangenen 100 mkg Arbeitsvermögen 75 mkg nützlich abgegeben werden, so werden bei halber Leistung — sagen wir bei 25 statt 50 Pferdestärken — vielleicht nur noch 60 mkg von 100 ausgenutzt, oder, technisch ausgedrückt, der Wirkungsgrad sinkt von 0,75 auf 0,60. Da die meisten Betriebe nur vorübergehend mit der größten Leistung arbeiten und meistens die Antriebmaschine nur teilweise ausnutzen, so ist es für deren Beurteilung von größter Wichtigkeit, zu wissen, wie sie sich bei geringeren Leistungen verhält. Z. B. kann eine Anlage bei voller Belastung einen Wirkungsgrad von 80%, eine andere dagegen unter gleichen Umständen nur einen solchen von 77% haben. Wenn aber bei der ersten Ausführung der Wirkungsgrad bei der Durchschnittbelastung auf 60%, bei der zweiten nur auf 65% sinkt, so ist die zweite Maschine doch vorzuziehen.

In dem Vertrage, den der Käufer einer Maschine mit dem Lieferer macht, wird meistens vereinbart, wieviel Wasser bei einem

bestimmten Gefälle und bei bestimmten Leistungen höchstens verbraucht werden darf, d. h. also, welchen Wirkungsgrad die Maschine z. B. bei voller und bei halber Belastung mindestens erreichen muß. Für alle Fabriken, die das Wasser nicht im Überfluß haben und vielleicht neben der Wasserkraft noch eine Dampfanlage zur Aushilfe in den trockenen Sommermonaten aufstellen müssen, ist es von großer Wichtigkeit, daß die Bedingungen eingehalten werden, und es ist daher notwendig, wenn die Maschine geliefert ist, Versuche vorzunehmen, bei denen die zugeführte Energie und die abgegebene Nutzleistung genau gemessen werden.

Die Wassermenge läßt sich in der Weise feststellen, daß man in den Zuleitungskanal ein Flügelrad hineinhängt, das bei bestimmten Wassergeschwindigkeiten eine gewisse Anzahl von Umdrehungen macht. Auf diese Weise wird ermittelt, wieviel Liter Wasser in der Sekunde durch den Kanal strömen. Dann wird das Gefälle, d. h. der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasserspiegel gemessen. Man weiß jetzt, wieviel Energie der Turbine zugeführt wird. Beträgt die Wassermenge z. B. 500 Liter, also 500 kg, in der Sekunde und das Gefälle 6,3 m, so stehen sekundlich zur Verfügung $500 \times 6,3 = 3150$ mkg. Da aber 75 mkg in der Sekunde gleich einer Pferdekraft sind, so beträgt die verfügbare Leistung $\frac{3150}{75} = 42$ Pferdekräfte.

Ist nun bei dieser Leistung ein Wirkungsgrad von 79% gewährleistet, so müssen auf die Turbinenwelle mindestens $\frac{79}{100} \times 42 = 33,1$ PS übertragen werden.

Um festzustellen, ob das wirklich der Fall ist, bedient man sich einer „Bremse“, wie in Abb. 100 skizziert. Auf der Welle der Turbine wird eine Scheibe festgemacht und gegen diese Scheibe von oben und unten ein Bremsklotz gesetzt. Die Klötze werden durch ein Paar Schrauben gegen die Scheibe gedrückt, so daß zwischen der Scheibe und den Bremsklötzen Reibung entsteht und eine bestimmte Kraft dazu gehört, um die Scheibe zu drehen, wenn die Klötze festgehalten werden.

Angenommen sei, die Schrauben wären so angespannt, daß an den Wagebalken, der sich an dem unteren Bremsklotz befindet, 94 kg angehängt werden müssen, damit die Bremse sich gerade eben dreht, wenn die Scheibe festgehalten wird.

Denken wir uns nun einmal, daß ein paar Männer, die an dem Wagebalken anfassen, die Bremse einmal ganz herumdrehen, so kommt das auf dasselbe heraus, wie wenn sie an einer großen Scheibe von 2 m Halbmesser anpackten und diese einmal drehten. Sie haben dabei einen Weg ausgeführt gleich dem Umfang dieser Scheibe, näm-

lich $2 \times 3^{1/7} \times 2 = 12,56$ m, und haben auf diesem Wege immer mit der Kraft 94 kg gedrückt, so daß die Arbeit, die sie geleistet haben, $94 \times 12,56 = 1180$ mkg beträgt. Diese Arbeit ist vollständig dazu verwandt worden, um die Reibung zwischen der Bremsscheibe und den Bremsklötzen zu überwinden, d. h. sie ist in Wärme umgesetzt; Scheibe und Klötze haben sich erhitzt. Nun stellen wir uns umgekehrt vor, die Bremsscheibe drehte sich und die Männer ständen still. Sie müssen dann auch mit 94 kg gegen den Wagebalken drücken, um zu verhindern, daß die Reibung ihn mit herumnimmt. Die Arbeit, die bei einer vollständigen Drehung der Scheibe geleistet wird, ist offenbar ganz genau dieselbe wie vorher, nämlich 1180 mkg, denn es wird ja wieder, wie vorher, die Reibung am Umfang der Bremsscheibe

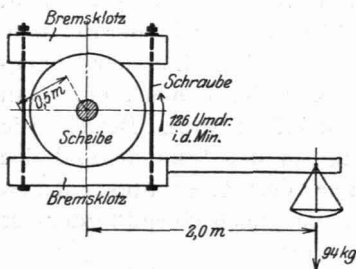


Abb. 100. Bremse zur Feststellung der abgegebenen Maschinenleistung.

überwunden. Dreht die Scheibe sich 126 mal in der Minute, also 2,1 mal in der Sekunde, so wird in jeder Sekunde eine Arbeit geleistet von $2,1 \times 1180 = 2480$ mkg, oder die abgegebene Leistung beträgt $\frac{2480}{75} = 33,1$ Pferdestärken.

Überraschend ist bei dieser Rechnung wieder, was wir ja schon häufiger fanden: Wir brauchen die Zwischenglieder nicht, der Durchmesser der Bremsscheibe ist gleichgültig, und ebensowenig fragen wir nach der Kraft, mit der die Bremsklötze angepreßt werden. Nur der Hebelarm des Wagebalkens und die Umdrehungszahl der Welle sind maßgebend für die Bestimmung der Leistung.

Der Versuch spielt sich praktisch folgendermaßen ab. Die Wagschale wird mit Gewichten belastet, entsprechend der Leistung, die die Turbine abgeben soll, in unserem Falle also mit 94 kg. Die Turbine wird dann angelassen, so daß die Bremsscheibe sich dreht, und die Schrauben werden so lange angezogen, bis die Reibung imstande ist, die Gewichte eben anzuheben. Jetzt wird die Umdrehungszahl gemessen und die Wassermenge genau festgestellt. Stellt sich dabei heraus, daß die Wassermenge kleiner ist als 500 Liter in der Sekunde, so ist der Wirkungsgrad etwas besser, als vereinbart war, die Gewähr ist zum Vorteil des Käufers der Turbine überschritten. Bei größerer Wassermenge ist dagegen die Vereinbarung zum Nachteil des Käufers nicht erfüllt, der nun unter Umständen Ansprüche gegen den Lieferer der Maschine geltend machen kann.

Die Arbeit, die von der Turbine geleistet wird, verwandelt sich

vollständig in Wärme. Der Versuchsleiter hat dafür Sorge zu tragen, daß diese Wärme dauernd abgeführt wird, indem er die Scheibe durch einen Wasserstrom kühlt. Geschieht das nicht, so wird das Holz verkohlen und schließlich anfangen zu brennen. Es kommt immer vor, daß die Reibung sich während des Versuches ändert, so daß die Scheibe den Wagebalken mit hochnehmen würde. Deshalb müssen sofort, wenn der Versuchsleiter das merkt, die Schrauben ein wenig gelockert werden, so daß die Reibung wieder auf die richtige Größe zurückgeht.

4. Wärmeentwicklung bei der Verbrennung.

Hatten wir hier ein kleines Beispiel dafür, wie mechanische Arbeit in Wärme verwandelt wird, so bietet das große Feld der Wärmekraftmaschinen unendlich viele Vorgänge, bei denen die Technik umgekehrt die Wärme, die aus den Brennstoffen erzeugt wird, zur Gewinnung mechanischer Arbeit nutzbar macht. Dabei werden wir auch manche von den selbstgeschaffenen wissenschaftlichen Verfahren der Technik kennen lernen, mit deren Hilfe es möglich ist, in das Wesen der Vorgänge einzudringen und die Verlustquellen aufzustöbern, die bei der Energieumsetzung durch die Maschine eintreten. Der mit Bezug auf andere Wissenschaften so gern gebrauchte Ausdruck, daß sie dazu verhelfen, der Natur ihre Geheimnisse abzulauschen, läßt sich hier allerdings nicht mehr in dem Sinne anwenden. Denn es handelt sich nicht mehr um ein reines Erforschen natürlicher Vorgänge ohne anderen Zweck als den des Erkennens, sondern darum, festzustellen, wie die Natur sich verhält, wenn wir sie in bestimmter Weise mit den von Menschenhirnen erdachten Konstruktionen in Berührung bringen, mit dem Endziel, sie auf das äußerste auszunutzen.

Kohle, Gas, Öl entwickeln Wärme, indem sie verbrennen. Verbrennung ist bekanntlich nichts anderes als Verbindung mit Sauerstoff. Dieser bildet einen der Bestandteile der Luft, er steht also überall reichlich zur Verfügung. Ist der Zutritt der Luft zum Brennstoff abgesperrt, so kann auch keine Verbrennung stattfinden, weil der Sauerstoff fehlt. Das ist eine von unseren Stubenöfen her bekannte Erscheinung. Bei der Verbrennung von Braunkohlenbriketts z. B. entwickeln sich zunächst bei der Erhitzung, wenn die frischen Briketts auf die Glut gelegt sind, große Mengen von Gas, die mit heller Flamme verbrennen und dazu viel Luft gebrauchen. Schließt man nun die unteren Ofentüren, durch die die Luft hereinströmt, so hört das Gas plötzlich auf zu verbrennen und zieht ungenutzt zum Schornstein hinaus, dringt auch wohl durch die Ritzen des Ofens