

25 Kerzenstärken ungefähr  $\frac{1}{30}$  PS verbraucht. Nehmen wir jetzt an, daß bei der Erzeugung des elektrischen Stromes im Generator von den oben errechneten 470 PS noch 13% und bei der Verteilung nach den Verbrauchsstellen weitere 4%, zusammen also 17% verloren gehen — oder, genauer ausgedrückt, nutzlos in Wärme umgesetzt werden —, so stehen für die Lampen 83% von 470, d. h. 390 PS zur Verfügung. Werden nun z. B. für die Beleuchtung von Straßen, Bahnhöfen und Fabriken 200 große Lampen zu 0,4 PS, also zusammen 80 PS gebraucht, so bleiben 310 PS für die Kleinbeleuchtung mit Glühlampen. Mit  $\frac{1}{30}$  PS für die Lampe würden 9300 Lampen von 25 Kerzen an das Leitungsnetz anzuschließen sein. Brauchen wir nicht so viel, vielleicht nur 4500 Glühlampen, so wären dazu nur 150 PS erforderlich, und wir behielten noch 160 PS übrig, die z. B. an kleine Gewerbetreibende, an Tischlereien oder Schlossereien, zum Antrieb von Motoren abgegeben werden können. Während der Tagesstunden steht sogar noch viel mehr elektrischer Strom für Kraftzwecke zur Verfügung, weil dann nur wenige Lampen brennen.

Um noch einmal kurz den Gedankengang zu wiederholen: Wir wissen nach den Messungen von Wassermenge und Gefälle, welche Arbeitsmenge in der Sekunde uns zur Verfügung steht. Schätzungsweise war nach den Erfahrungen bei anderen Maschinenanlagen angenommen, daß bei der Ausnutzung durch die Wasserkraftmaschine 21% und von dem Rest bei der Erzeugung und Nutzbarmachung der Elektrizität noch einmal 17% verloren gehen. Somit bleibt eine ganz bestimmte Energiemenge übrig, die in den Lampen oder Motoren verbraucht wird. Wollen wir überschläglich berechnen, ob eine bestimmte Wasserkraft für die Versorgung einer Stadt oder eines Landkreises mit Elektrizität ausreicht, so brauchen wir uns also zunächst gar nicht um die Maschinen zu kümmern, sondern können uns auf Grund einer einfachen Leistungsrechnung mit einigen wenigen Zahlen ein Bild von der Sachlage machen. Wir kommen also wieder zum Überspringen der Zwischenglieder auf Grund des Gesetzes von der Erhaltung der Energie.

## 9. Grundlagen der Elektrotechnik.

Die letzte Rechnung hat auf ein neues Gebiet geführt, zu der Elektrizität, die für den Laien — und, um es ruhig zu gestehen, auch für den Physiker — noch mit einem gewissen Schleier des Geheimnisses umwoben ist. Der Techniker ist aber nicht Natur-

forscher. Ihm kommt es für seine Arbeit nicht darauf an, ob die elektrischen Erscheinungen auf Schwingungen des Äthers, eines von den Physikern hypothetisch angenommenen Stoffes, zurückzuführen sind. Für ihn ist die Elektrizität ein Träger von Energie, von Arbeitsvermögen, genau wie das aus der Höhe niedersinkende Wasser, und um sich klar zu machen, wie er dieses Arbeitsvermögen ausnutzen kann, greift er zu dem Bild, das ihm die Wasserkraft darbietet, und stellt sich vor, daß die Elektrizität ein leicht beweglicher Stoff ist, der durch Kupferdrähte hindurchfließt, wie das Wasser durch ein Rohr hindurchströmt. Man spricht daher auch vom „elektrischen Strom“; nur kann man seine Menge und Stärke nicht durch Kubikmeter in der Sekunde ausdrücken, sondern man hat für die Elektrizität ein neues Maßsystem gebildet und bezeichnet die Stromstärke nach dem Namen eines bekannten Forschers mit „Ampère“.

Wenn man also sagt, daß durch eine elektrische Leitung so und so viel Ampère fließen, so ist das in demselben Sinne zu verstehen wie die oben gemachte Angabe, daß durch die Rohrleitung in Abb. 81 eine Wassermenge von 1400 Liter in der Sekunde fließt. Nur müssen wir darauf verzichten, diese Elektrizitätsmenge körperlich zu sehen; als fließender Strom besteht sie nur in der Vorstellung.

Von der Menge der Elektrizität hängt es nun aber nicht allein ab, welche Arbeit geleistet werden kann. Beim Wasser mußten wir wissen, wie groß das Gefälle war, und erst dadurch, daß die Wassermenge — 1400 kg/s — mit dem Gefälle — 32 m — multipliziert wurde, erhielten wir das Arbeitsvermögen der Wasserkraft, denn nur durch den Druck dieser hohen Wassersäule von 32 m wird das Wasser mit solcher Gewalt in die Maschine hineingepreßt, daß es sie mit der berechneten Kraft herumtreibt. Bei der Elektrizität sprechen wir nicht von Gefälle, sondern von „Spannung“ und messen sie in „Volt“; dies ist aber für unsere Rechnungen grundsätzlich nichts anderes als die in Metern gemessene Gefällhöhe der Wasserkraft in Abb. 81.

Um den Vergleich recht anschaulich zu machen, sind in Abb. 82 das Schema einer Wasserkraft und das einer elektrischen Anlage nebeneinander gezeichnet. Bei der Wasserkraft erhalten wir

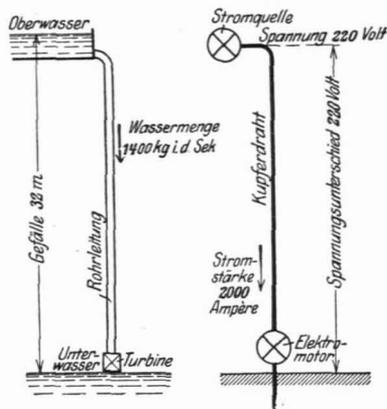


Abb. 82. Gegenüberstellung einer Wasserkraft- und einer elektrischen Anlage.

$1400 \times 32 = 45\,000$  mkg/s oder, da 75 mkg/s eine Pferdekraft sind,  
 $\frac{45\,000}{75} = 600$  PS als verfügbare Leistung. Im zweiten Falle tritt an

die Stelle des Oberwassers die „Stromquelle“, durch welche die Elektrizität erzeugt wird. Zwischen ihr und der Erde, in welche die Elektrizität zurückfließt, herrscht ein „elektrisches Gefälle“ oder eine Spannung von 220 Volt. Die Stromstärke betrage 2000 Ampère, die verfügbare Leistung ist demnach  $2000 \times 220 = 440\,000$  Volt-Ampère. 1 Volt-Ampère bezeichnet man abgekürzt als Watt, und zwar ist die Arbeitsleistung von 736 Watt dieselbe, wie die einer Pferdestärke. 440 000 Watt entsprechen also  $\frac{440\,000}{736} = 600$  Pferdestärken,

d. i. gerade dieselbe Zahl, die wir auch früher bei der Turbine hatten. Wie dort infolge des Reibungswiderstandes in der Rohrleitung ungefähr 1% verloren ging, so wird hier durch den elektrischen Widerstand in der Leitung ein gewisser Teil der Spannung zunichte gemacht, und zwar, wie bei der Wasserkraft, um so mehr, je dünner die Leitung — in diesem Falle der Kupferdraht — und je länger sie ist. Nehmen wir wieder einen Verlust von etwa 1% (ungefähr 2 Volt) an, und schätzen wir den Verlust in dem Elektromotor auf 16%, so gehen 17% verloren, und der Elektromotor gibt also 83% von 600, das sind 500 PS, als Nutzleistung ab.

Die Wirkungsweise eines Elektromotors kann an Hand von Abb. 83 erläutert werden. Bekanntlich wird, wenn man einen Eisenstab mit Draht umwickelt und durch den Draht einen elektrischen Strom schickt, der Stab magnetisch, und zwar bildet sich am einen Ende des Stabes, wie bei jedem gewöhnlichen Magneten, ein Nordpol, am anderen Ende ein Südpol. Nähert man nun zwei Magneten einander so, daß ein Nordpol in die Nähe des Südpols des anderen Magneten kommt, so zeigt sich, daß diese beiden Pole zueinander hinstreben, sich gegenseitig anziehen. Den Versuch kann jeder leicht mit ein paar Magneten machen. Bei dem Elektromotor wird nun ein solcher Stab, den wir als „Anker“ bezeichnen, drehbar zwischen dem Nordpol und dem Südpol eines Magneten aufgehängt und der Anker durch einen elektrischen Strom magnetisiert. Infolgedessen wird sein Nordpol (*N*) vom Südpol des Magneten und sein Südpol (*S*) vom Nordpol des Magneten mit einer gewissen Kraft angezogen, der Anker dreht sich also in der Richtung, wie es die Pfeile andeuten. Nun würde aber die Maschine stehen bleiben, wenn der Anker gerade den Magnetpolen, d. h. der Nordpol des Ankers dem Südpol des Magneten und umgekehrt, gegenübersteht. Deshalb wird jetzt plötzlich der Strom in umgekehrter Richtung durch den Draht geschickt, so daß der Nordpol zum Südpol und der Südpol zum

Nordpol wird. Der Nordpol stößt jetzt, in Stellung II, den Nordpol und der Südpol den Südpol ab, die Maschine dreht sich also weiter. Der Anker kommt dann wieder in die Stellung I, so daß

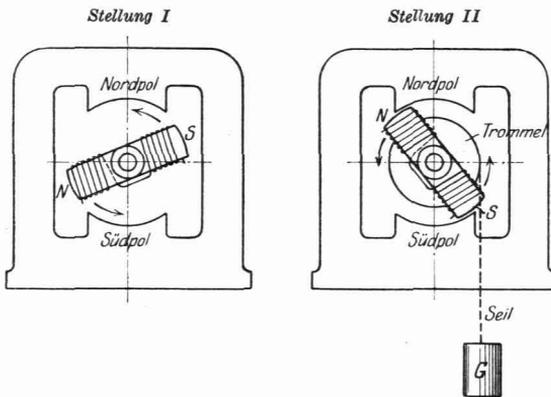


Abb. 83. Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines Elektromotors.

sich statt der Abstoßung die Anziehung geltend macht; darauf wird wieder ummagnetisiert, usw. Auf die Welle, die vom Anker gedreht wird, kann man nun z. B., wie in Stellung II, Abb. 83, angedeutet, eine Windentrommel setzen, die ein Gewicht  $G$  hebt, oder man überträgt die Arbeit weiter durch Zahnräder oder Riemetrieb.

Bisher ist immer von der Verwendung der Elektrizität gesprochen worden. — Woher kommt nun aber die Elektrizität und wie ist sie auf technischem Wege zu erzeugen?

Nehmen wir wieder einmal das Wasser zu Hilfe. In Abb. 84 ist die Annahme gemacht, daß an einen hoch gelegenen Vorratsbehälter eine Wasserleitung angeschlossen ist, die zu einem Zylinder führt, in dem sich ein Kolben bewegt. Den Druck, der durch das Gewicht der hohen Wassersäule auf das Wasser im Zylinder ausgeübt wird, überträgt das Wasser auf den Kolben; es sucht ihn nach rechts zu schieben und somit, genau wie bei der Dampfmaschine, die Kurbelwelle zu drehen. Das Wasser wird also benutzt, um mechanische

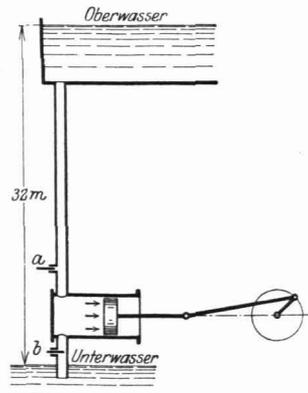


Abb. 84. Schema zur Erläuterung der Umkehrbarkeit von Antriebs- und Arbeitsmaschinen.

Arbeit zu erzeugen. Geht der Kolben zurück, so wird die Verbindung nach oben durch den Schieber *a* abgesperrt und die Verbindung nach dem Unterwasser durch den Schieber *b* geöffnet, so daß der Kolben das Wasser ohne Gegendruck herausstoßen kann. Dann wiederholt sich dasselbe Spiel. Nehmen wir nun aber einmal umgekehrt an, daß die Verbindung mit dem Oberwasser offen gelassen wird, wenn der Kolben nach links geht, dann schiebt der Kolben, vorausgesetzt daß eine entsprechende Kraft auf ihn wirkt, das Wasser, das sich im Zylinder befindet, gegen den Druck der hohen Wassersäule heraus und befördert es durch die Leitung in den Hochbehälter. Geht er nach rechts, so füllt sich der Zylinder, da Wasser aus dem unteren Behälter angesaugt wird, und dieses Wasser wird dann beim nächsten Spiel wieder in den Hochbehälter geschoben.

Wir haben also zwei entgegengesetzte Vorgänge: Dieselbe Maschine arbeitet einmal als Kraftmaschine, indem sie die Wasserenergie in mechanische Arbeit verwandelt, das andere Mal als Arbeitsmaschine oder Pumpe, indem sie Wasser auf die Höhe von 32 m hinaufbefördert; im letzteren Falle wird von außen her, z. B. durch eine Dampfmaschine, mechanische Arbeit aufgewandt, um die Welle zu drehen und dadurch Wasserenergie zu erzeugen.

Man kann sich nun leicht vorstellen, daß der Fall bei der elektrischen Maschine entsprechend liegt; d. h., wenn wir bei der Maschine, die in Abb. 83 skizziert ist, keine Elektrizität zuführen, sondern durch eine äußere Kraft, z. B. dadurch, daß wir das Gewicht *G* (Stellung II) heruntersinken lassen, den Anker entgegengesetzt drehen, so wird umgekehrt in dem Draht Elektrizität erzeugt, die wir nun nach außen leiten und irgendwie verwerten können. Wir bezeichnen die Maschine dann als elektrischen „Generator“ oder Stromerzeuger (Dynamomaschine).

Denken wir uns beispielsweise eine elektrische Straßenbahn, Abb. 85. An irgendeinem beliebigen Punkte der Stadt, im „Kraftwerk“, ist der Generator aufgestellt, der durch eine Dampfmaschine angetrieben wird und der in dem Drahte *A* eine Spannung — ein elektrisches Gefälle — von 220 Volt erzeugt. Der Draht *A* ist mit dem Schleifdraht der Straßenbahn verbunden, an dem der Stromabnehmer *B* des Wagens mit einer Rolle oder einem Bügel entlang gleitet. Der Strom wird infolgedessen über den Stromabnehmer nach dem Drahte *C* und auf diese Weise zum Elektromotor geleitet, der unten an den Wagen angehängt ist. Auf der Welle des Elektromotors sitzt ein Zahnrad, und dieses greift in ein größeres Zahnrad ein, das auf der einen Wagenachse sitzt. Durch die Dre-

hung des Motors wird also die Wagenachse gedreht, und der Wagen bewegt sich fort, und zwar um so rascher, je schneller der Motor sich dreht. Der Führer hat es in der Hand, die Umlaufgeschwindigkeit des Motors zu ändern oder die Leitung *C* an irgendeinem Punkt zu unterbrechen und dadurch den Motor ganz auszuschalten, wenn der Wagen halten soll.

In dem Motor gibt der elektrische Strom seine Spannung her, er kommt auf die Spannung 0 herunter. Durch die Schiene und den daran anschließenden Draht *D* wird er zu dem Generator zurückgeleitet und hier wieder auf die hohe Spannung gebracht.

Um den Kreislauf des elektrischen Stromes ganz anschaulich zu machen, stellen wir uns noch einmal die Elektrizität als Wasser vor: der Generator ist die Pumpe, die das Wasser auf eine Höhe von 220 m hebt. Durch eine Leitung wird das Wasser, das unter dem Druck dieser hohen Wassersäule von 220 m steht, in den Straßenbahnwagen geleitet, wo es auf einen Kolben drückt und sein Arbeitsvermögen hergibt, indem es den Wagen vorwärts bewegt. Das Wasser wird ohne Druck aus dem Zylinder wieder ausgestoßen und muß jetzt im Unterwasserkanal zu der

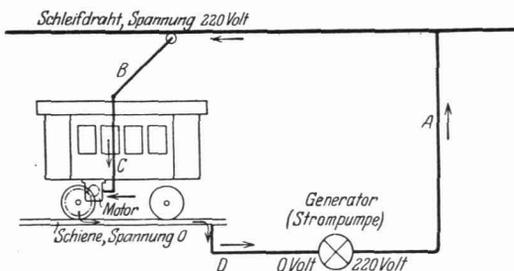


Abb. 85. Stromverlauf bei einer elektrischen Straßenbahn.

Pumpe (dem Generator) zurückgeleitet werden, die es von neuem auf den hohen Druck von 220 m Wassersäule bringt.

Oben war schon bemerkt, daß bei jeder Fortleitung der Elektrizität Energie verloren geht und in Wärme umgesetzt wird, und zwar um so mehr, je dünner der Draht ist. Nimmt man also ein solches gehörig langes, dünnes Drahtstück und wickelt es auf, so daß es bequem auf einem kleinen Raum untergebracht werden kann, so erhält man einen elektrischen Ofen, der ein sehr bequemes, nur etwas teures Mittel zum Heizen darstellt. Viel mehr aber wird die Umsetzung elektrischer Energie in Wärme für die elektrische Beleuchtung mit Glühlampen benutzt. In der Lampe befindet sich ein ganz feiner Draht, durch den der Strom nur unter sehr großem Spannungsverlust hindurchgehen kann, so daß viel Wärme entwickelt wird. Der Draht erhitzt sich so stark, daß er hell zu glühen beginnt. Allerdings würde ein solcher Draht sofort verbrennen, d. h. sich mit Sauerstoff verbinden, wenn man ihn mit der freien Luft in Berührung ließe. Deshalb bringt man ihn in einer Glasbirne unter,

die luftleer ausgepumpt und dann zugeschmolzen wird. Die älteren Lampen, bei denen die Glühfäden durch ein besonderes Verfahren aus Kohle hergestellt wurden, verbrauchten 3 bis 3,5 Watt für die Lichtstärkeneinheit, d. h. für die Lichtmenge, die der Lichtstärke einer „Hefnerkerze“ entspricht. Eine Lampe von 25 Kerzen verbrauchte demnach ungefähr 80 Watt oder, da 736 Watt 1 Pferdestärke sind, etwas mehr als  $\frac{1}{10}$  PS. Die neueren Lampen mit Leuchtdrähten aus Wolframmetall verbrauchen nur ungefähr den dritten Teil an elektrischer Energie, so daß mit etwa  $\frac{1}{30}$  PS für die 25kerzige Lampe gerechnet werden kann. Größere Lampen, von etwa 40 Watt an, werden mit Gas (Stickstoff) gefüllt; ihr Leistungsverbrauch geht bis auf  $\frac{1}{2}$  Watt für die Hefnerkerze herunter.

Bei den Bogenlampen kommt die Lichtwirkung auf ganz andere Weise zustande. Zwei Kohlenstücke werden auf kurze Entfernung einander gegenübergestellt, Abb. 86, und so an die elektrische Leitung angeschlossen, daß die Spannung an der einen Kohle 40 Volt



Abb. 86. Elektrische Bogenlampe.

höher ist als an der anderen. Zwischen beiden springt nun, wie zwischen einer elektrisch geladenen Wolke und der Erde, ein Funken über, der Helligkeit verbreitet. Da aber nicht, wie beim Blitz, der ganze Vorrat an Elektrizität sich auf einmal entlädt, sondern immer wieder neue Elektrizität von der Stromquelle aus heranfließt und durch die Verbrennungsgase eine Art von leitender Verbindung zwischen den beiden Stoffen entsteht, so bleibt der Funken stehen, und es bildet sich eine ruhig brennende Flamme. Wie beim Blitz, gehen die Funken übrigens nicht geradlinig über, sondern die Flamme nimmt eine gekrümmte Form an. Man spricht deshalb von einem „Lichtbogen“ und hat der Lampe den Namen Bogenlampe gegeben. Größere Bogenlampen, von etwa 500 Hefnerkerzen an, verbrauchen 0,2 bis 0,25 Watt für die Hefnerkerze, also ungefähr halb so viel wie Glühlampen größerer Leuchtstärke (Halbwatt-Lampen). Sie werden heute verhältnismäßig selten ausgeführt, indessen spielt der Lichtbogen für andere Zwecke, z. B. zur Erhitzung des Metalles im elektrischen Schmelzofen, eine Rolle. Für kleine Lichtstärken können Bogenlampen nicht ausgeführt werden.

Bisher war immer angenommen worden, daß der Generator die Elektrizität auf eine Spannung von 220 Volt hinaufpumpt, daß also im Leitungsnetz überall diese Spannung zur Verfügung steht. Nun kann aber eine Bogenlampe nur mit etwa 40 Volt Spannung arbeiten, weil eine höhere Spannung einen so gewaltigen Elektrizitätsstrom hindurchtreiben würde, daß die Kohlen sich sofort übermäßig

erhitzen und verbrennen würden. Wie wird man sich nun unter diesen Umständen helfen?<sup>1)</sup>

Wir nehmen wieder einmal zum Wasser unsere Zuflucht und stellen uns vor, wir hätten einen Wasservorrat, dessen Spiegel 220 m über dem Oberwasser liegt; die Maschinen, die zur Verfügung stehen und die durch das Wasser getrieben werden sollen, wären aber so schwach gebaut, daß sie den Druck der ganzen Wassersäule von 220 m nicht aushalten könnten, sondern nur einen Druck von 40 m. Dann kann die Einrichtung so getroffen werden, wie in Abb. 87 skizziert. Wir bringen die erste Maschine 40 m unter dem Ober-

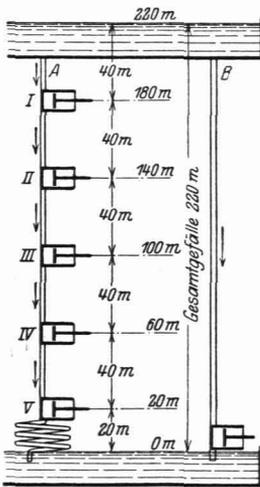


Abb. 87.

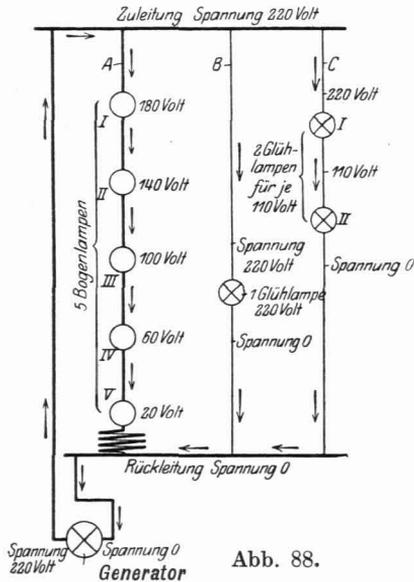


Abb. 88.

Abb. 87 und 88. Gegenüberstellung einer Wasserkraft- und einer elektrischen Anlage mit hintereinander und parallel geschalteten Energieverbrauchern.

wasserspiegel, also in 180 m Höhe an. Die Maschine verbraucht die Wasserenergie, um mechanische Arbeit hervorzubringen, und stößt das Wasser ohne Druck aus. In dem Rohrstück, das sich nun anschließt, lassen wir das Wasser wieder um 40 m sinken, haben also bei der Maschine II wieder denselben Druck wie vorher. Und so gehen

<sup>1)</sup> Die Schaltung der Bogenlampen ist trotz der heute nur noch geringen praktischen Bedeutung dieser Lampenart so ausführlich dargestellt, weil durch dieses Beispiel die Art des Hintereinanderschaltens elektrischer Apparate überhaupt verständlich gemacht und über den Begriff der Spannung am besten Klarheit geschaffen werden kann.

wir weiter durch 5 Maschinen, bis wir auf die Höhe 20 m gekommen sind. Für einen Wasserdruck von 20 m steht keine geeignete Maschine zur Verfügung. Damit nun das Wasser nicht einfach herunterstürzt, das Unterwasser aufwühlt und den Kanal zerstört, können wir uns in der Weise helfen, daß wir es auf dieser letzten Strecke durch ein ganz enges Rohr leiten, das nicht gerade heruntergeht, sondern eine ganze Reihe Windungen macht. In diesem langen, engen Rohr findet das Wasser einen solchen Widerstand, daß das Arbeitsvermögen, das ihm noch innewohnt, vollkommen aufgezehrt, d. h. in Wärme umgesetzt wird und der Wasserstrom ruhig in das Unterwasser mündet.

Steht nun vielleicht außerdem noch eine andere Maschine zur Verfügung, die stark genug ist, um den ganzen Wasserdruck aufzunehmen und verarbeiten zu können, und ist noch Betriebswasser übrig, so schließen wir an einer anderen Stelle des Wasserbeckens oder des Leitungskanals, der das Oberwasser zuführt, eine Leitung *B* an und führen durch diese der Leitung *A* parallel gelegte Leitung der stärkeren Maschine, die unmittelbar über dem Unterwasserspiegel angebracht ist, den Wasserdruck zu.

Bei der elektrischen Anlage nach Abb. 88 finden wir hierzu die vollkommenste Analogie. Der Oberwasserkanal wird zur elektrischen Leitung von 220 Volt Spannung, die die Elektrizität von der Stromquelle heranzuführt. Zwischen diese Leitung und die Rückleitung, in der die Spannung 0 herrscht, sind die Bogenlampen *I* bis *V* geschaltet, die jede 40 Volt, zusammen also  $5 \times 40 = 200$  Volt Spannung wegnehmen. 20 Volt bleiben übrig, und um diese Spannung zu vernichten, lassen wir den Strom — ebenso wie dort durch ein enges Rohr — durch einen dünnen Draht hindurchtreten, der vielfach gewunden ist, so daß er die nötige Länge erhält und dem elektrischen Strom den erforderlichen Widerstand bietet. Der Draht wird natürlich heiß, da die ganze elektrische Energie sich in Wärme verwandelt.

Eine Glühlampe, die 220 Volt vertragen kann, legen wir durch den Draht *B* unmittelbar zwischen die beiden Leitungen; wir schalten sie parallel zu den Bogenlampen. Stehen aber nur Glühlampen für 110 Volt Spannung zur Verfügung, so müssen wir, wie bei *C* in Abb. 88, zwei Lampen hintereinander schalten, von denen die eine die ersten 110 Volt und die andere die zweiten 110 Volt verbraucht. Wenn möglich, wird die Parallelschaltung vorgezogen, weil dabei die Lampen voneinander unabhängig sind, während beim Hintereinanderschalten durch Schadhaftwerden einer Lampe auch die Stromzuführung in der zweiten Lampe unterbrochen wird.

Der Generator ist die Pumpe, die die 220 Volt-Leitung

immer mit frischem Strom versorgt und zu der der verbrauchte, spannungslose Strom wieder zurückgeführt werden muß, um aufs neue auf die hohe Spannung hinaufgepumpt zu werden. Zwischen diese beiden Leitungskanäle können nicht nur die drei Leitungen *A*, *B* und *C*, sondern beliebig viele parallele Leitungen für Bogenlampen und Glühlampen geschaltet werden, außerdem Elektromotoren für Werkstätten, Straßenbahnwagen usw. Nur ist dafür zu sorgen, daß die Dynamomaschine auch genügend Strom liefern kann, und wenn die eine Maschine nicht mehr ausreicht, so muß sie eine zweite Maschine zur Hilfe erhalten. Reicht z. B. in dem Falle, der auf S. 64 untersucht war, die Wasserkraft nicht aus, um die ganze Arbeit zu leisten, so kann eine Dampfmaschine hinzugenommen werden, vorausgesetzt, daß die Kohle an dem betreffenden Orte nicht zu teuer zu stehen kommt. Die Berechnung auf S. 64 zeigt deutlich, was sich mit den vorhandenen Mitteln leisten läßt.

Sehr oft kommt es vor, daß die Elektrizität nicht an dem Orte erzeugt wird, wo sie verbraucht werden soll, sondern unter Umständen viele Kilometer davon entfernt. In großer Zahl sind ja in den letzten Jahrzehnten sogenannte Überlandzentralen entstanden, größere Kraftwerke, die an einer Stelle liegen, wo Wasserkraft oder billige Kohle zur Verfügung steht. Von hier aus wird der Strom in weitem Umkreis verteilt und zu sehr niedrigem Preise geliefert, so daß nicht nur für den Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen, sondern sogar für die Beleuchtung der Viehställe Elektrizität benutzt werden kann (vgl. hierzu S. 131 u. f.).

Denken wir uns, um zunächst wieder einen entsprechenden Fall aus dem Gebiete der Wasserwirtschaft heranzuziehen, nach Abb. 89, daß eine Wasserleitungsanlage für eine Stadt eingerichtet werden soll. In einiger Entfernung befindet sich ein Wasserfall mit 120 m Gefälle, der aber nicht genug Wasser liefert; dagegen liegt die Stadt an einem Fluß, der reichlich Wasser hat, jedoch muß das Wasser des Flusses zunächst durch eine Pumpe in einen Hochbehälter gehoben werden, von wo aus es durch Leitungen überallhin verteilt werden kann.

Um den Wasserfall auszunutzen, können wir hier folgende Einrichtung treffen. Das Wasser wird abgefangen und unter dem hohen Druck, der den 120 m Gefällhöhe entspricht, nach der Stadt geleitet. Man braucht dazu, da es sich um eine verhältnismäßig geringe Menge Wasser handelt, nur eine ziemlich enge und daher nicht sehr kostspielige Rohrleitung. Hier wird das Wasser nun in eine Maschine geführt, in der es gegen den Kolben *I* in Abb. 89 drückt; dieser Kolben schiebt den Kolben *II* vor sich her, der Wasser aus dem Fluß angesaugt hat und dieses jetzt auf eine Höhe von 30 m be-

fördert. Da diese Druckhöhe nur  $\frac{1}{4}$  derjenigen ist, die den Kolben *I* vorwärtsschiebt, so kann der Kolben *II* viermal so groß sein als Kolben *I*, und er liefert dementsprechend auch die vierfache Wassermenge. Aus dem Hochbehälter wird das Wasser nun bei *A, B, C, D* usw. entnommen und den einzelnen Verbrauchsstellen zugeführt.

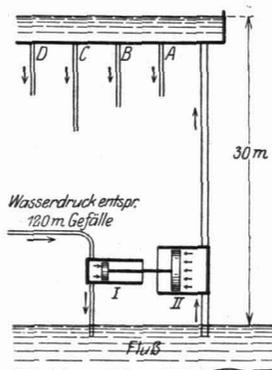


Abb. 89. Umsetzung von hohem zu niedrigem Wasserdruck.

Das Arbeitsvermögen des Wassers von 120 m Druckhöhe ist also dazu benutzt worden, um mit Hilfe der Maschine den vierfachen Betrag an Wasser von 30 m Druckhöhe zu gewinnen. Da Wassermenge mal Druckhöhe das verfügbare Arbeitsvermögen bedeutet, so ist keine Energie verloren gegangen. Daß der Wasserfall nur eine kleine Wassermenge bei hohem Gefälle lieferte, ist uns angenehmer als der umgekehrte Fall, weil es dabei möglich war, mit einer engen, nicht zu teuren Leitung auszukommen.

Bei der Fernleitung der Elektrizität von einer Überlandzentrale aus, Abb. 90, machen sich die gleichen Gesichtspunkte geltend. Es würde nicht richtig sein, an der Erzeugerstation Gleichstrom von der Gebrauchsspannung, also von 220 Volt, herzustellen, denn bei einer bestimmten Energiemenge, sagen wir z. B. bei 13000 Watt Maschinenleistung, würde die Stromstärke dann  $\frac{13000}{220} = 59$  Ampère betragen, wofür eine starke Leitung hin und zurück erforderlich wäre, die mehrere Hunderttausend Mark kosten würde.



Abb. 90. Schema einer elektrischen Kraftübertragung.

Wird dagegen Strom von 3000 Volt Spannung hergestellt, so ist die Stromstärke nur  $\frac{13000}{3000} = 4,3$  Ampère, und die 10 km lange Leitung kostet jetzt bei wenigen Millimetern Stärke nur noch einige Tausend Mark. Nahe an den Entnahmestellen wird dann, in entsprechender Weise wie vorher beim Wasser, die zugeführte Energie benutzt, um Elektrizität von niedriger Spannung — 220 Volt — und ent-

sprechend hoher Stromstärke herzustellen. Hierfür ist zwar eine starke, aber dafür nur kurze Leitung notwendig, aus der an den Stellen *A, B, C, D* usw. einzelne Leitungen abzweigt werden, um Strom für Beleuchtung oder Motorenantrieb zu entnehmen.

Blicken wir noch einmal zurück auf den Weg, der uns zum Verständnis der technischen Anwendung der Elektrizität geführt hatte: die physikalischen Grundlagen, die Anschauungen über das wahre Wesen der elektrischen Erscheinungen spielten kaum noch eine Rolle, sondern es blieb eigentlich nur noch das eine Grundgesetz übrig, der Satz von der Erhaltung der Energie. Er führte uns dazu, das elektrische Arbeitsvermögen mit dem Arbeitsvermögen des Wassers zu vergleichen und uns eine anschauliche Vorstellung davon zu geben, wie die Elektrizität von der „Stromquelle“ aus verteilt und zu Arbeitsverrichtungen verschiedenster Art, zur Erzeugung mechanischer Arbeit, zur reinen Wärmeentwicklung im elektrischen Ofen oder zur Speisung von Lichtquellen ausgenutzt wird. Auch hier haben wir also ein Beispiel, wie der Techniker sich seine Denkverfahren wählt, und wie er die einfachsten und anschaulichsten Mittel aussucht, um eine neue, fremde Sache in den Rahmen seiner Gedankenwelt hineinzufügen.

## 10. Wärmegefälle.

Wenn der Vergleich mit dem gehobenen Wasser bei der Elektrizität verhältnismäßig nahe lag, weil die älteren Physiker sich bei der Elektrizität tatsächlich einen fließenden Stoff vorgestellt hatten, so ist es schon ein kühnerer Schritt, nun diese Art der Anschauung auch auf die Wärme zu übertragen und sich deren Ausnutzung in den Wärmemotoren, d. h. in Dampfmaschinen, Gas- und Petroleummotoren und dergleichen mit Hilfe derselben Denkverfahren anschaulich zu machen.

Wiederholt war ja schon darauf hingewiesen worden, daß eine gewisse Wärmemenge einer bestimmten Menge Arbeitsenergie entspricht. Z. B. sind 427 mkg mechanische Arbeit nötig, um 1 kg Wasser um  $1^{\circ}$  Celsius zu erwärmen. Anschaulich können wir uns das so vorstellen: Wenn 1 kg, d. h. 1 Liter Wasser aus einer Höhe von 427 m herunterfällt und unten auf eine harte Platte auftrifft, so wird eine Arbeit von 427 mkg geleistet, und diese Arbeit verwandelt sich infolge des Stoßes beim Auftreffen in Wärme. Nun würde sich, wenn wir den Versuch wirklich ausführen könnten und dafür sorgten, daß alle diese Wärme auch im Wasser bleibt und nicht zum Teil an die Unterlage abgeleitet wird, das Wasser, das vorher vielleicht die Temperatur  $10^{\circ}$  hatte, auf  $11^{\circ}$  erwärmen. Um-