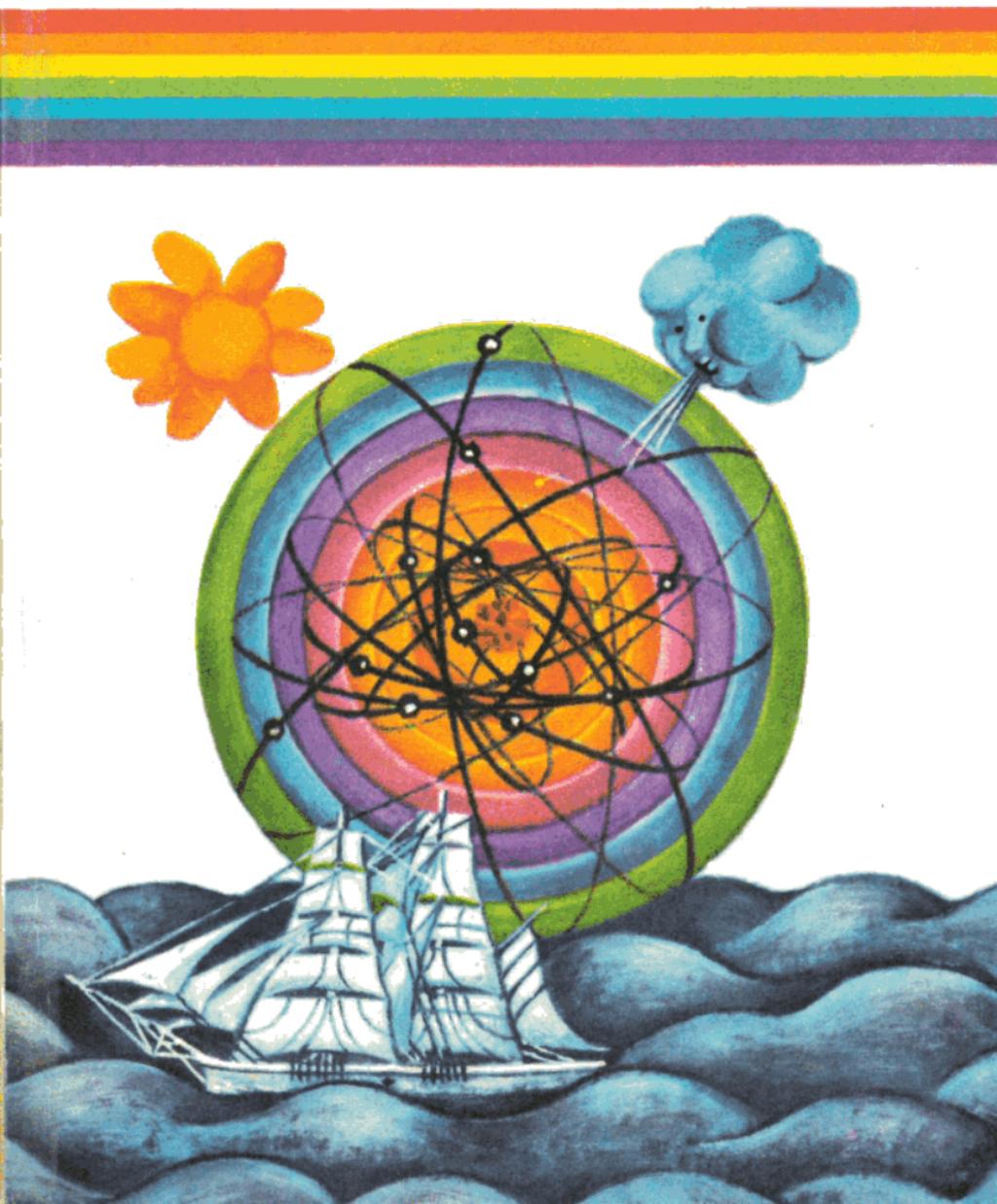


Hans Kleffe
Energie
Kraftquell der Natur

REGEN
BOGEN
REIHE



Hans Kleffe

Energie – Kraftquell der Natur

Wie der Mensch die Naturkräfte
beherrschen lernte

Illustrationen von Renate Totzke-Israel



Der Kinderbuchverlag Berlin

Auf dem Flug zur Hölle

Wir sind an Bord des ersten Raumschiffs, das bis in die Nähe der Sonne fliegen und in eine Satellitenbahn um sie einschwenken wird. Schon jetzt können wir auf dem Bildschirm unseres Fernsehteleskops viel mehr Einzelheiten der Sonnenoberfläche erkennen als mit den besten Fernrohren von der Erde aus. Unser Heimatplanet erscheint von hier aus, mit bloßem Auge betrachtet, als winziges Lichtpunktchen, nicht größer als die Lichtpunkte anderer Sterne und Planeten. Nur das Teleskop zeigt ihn als kleine Scheibe. Rund 150 Millionen Kilometer trennen uns jetzt von Mutter Erde.

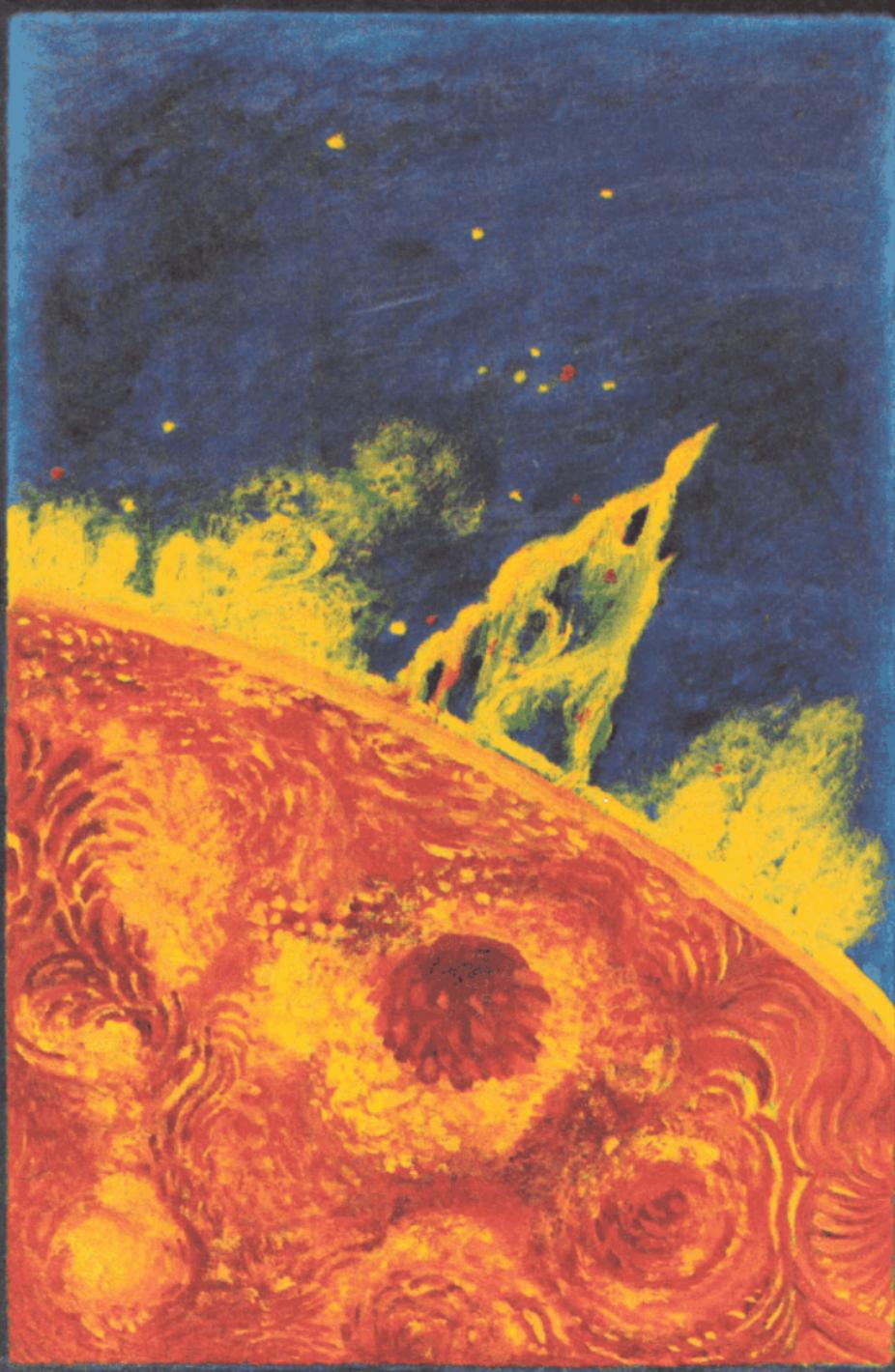
Wir sind der Sonne schon so nahe, daß sie fast die Hälfte des Horizonts verdeckt. Der Anblick ihrer Oberfläche ist aufregend. Kein ruhiges Leuchten, wie es von der Erde aus erscheint, sondern ein ständiges Brodeln, ein Auf- und Absteigen riesiger Gasblasen, jede im Durchschnitt so groß wie Mitteleuropa. Mit gigantischer Geschwindigkeit steigen die Gasblasen aus dem Innern der Sonne empor und sinken, wenn sie sich abgekühlt haben, wieder herab. Dauernd wechselt die „Landschaft“ aus glühenden Gasblasen; keine lebt länger als drei bis fünf Minuten, dann sind wieder neue emporgebrodelt, und die „Landkarte“ der Sonne sieht ganz anders aus.

Wenn wir unser Gerät einschalten, das Radiowellenstrahlen der Sonne in sichtbares Licht umwandelt, so erblicken wir eine Art Gewitter, nur viel grandioser als auf der Erde. Gewaltige Flächenblitze, Strahlungsausbrüche flackern auf. Gigantische Säulen glühenden Gases schießen aus der Sonne hervor.

Daß wir uns dieser brodelnden Gluthölle so weit nähern können, wurde erst durch jahrhundertelanges Forschen möglich. Die Wissenschaftler und Techniker fanden schließlich Werkstoffe, die die Licht- und Wärmestrahlen der Sonne wie ein Spiegel fast restlos zurückwerfen und trotz der ungeheuren Hitze nicht schmelzen. Man könnte die spiegelnde Außenverkleidung unseres Raumschiffes in Sonnennähe keinen Moment von außen betrachten, ohne augenblicklich zu erblinden und versengt zu werden. Unter der spiegelnden Außenhaut befinden sich weitere komplizierte Werkstoffsysteme, die den Rest der Wärmestrahlung sowie die tödlich starken Ultra-violett-, Röntgen- und anderen Strahlen der Sonne zurückhalten. In dieses Gefängnis aus Schutzwänden sind wir völlig eingeschlossen. Es gibt kein Fenster in der Kabine. Nur über ein Spezialteleskop und eine Fernseh-einrichtung können wir indirekt nach außen blicken. Das gleißende Licht der Sonne wird durch überstarke Filter so weit geschwächt, daß eine Beobachtung ohne Be-schädigung der Apparatur möglich ist.

Der Flug ist trotz alledem nicht ungefährlich. Aber wir wollen diesen Himmelskörper, ohne den das Leben auf der Erde nicht möglich wäre und auch die Technik nicht, aus der Nähe erforschen, denn der Motor der natürlichen Lebensvorgänge wie auch der menschlichen Technik ist die Energie. Fast sämtliche Energien, die in der Technik genutzt werden, kommen aber von der Sonne. Erst in jüngster Zeit haben die Menschen Energien zu entfes-seln gelernt, die nicht aus der Sonne stammen.

In der Sonne werden ungeheure Energien freigesetzt



Unser Weltraumflug zur Sonne ist heute jedoch noch nicht möglich. Vielleicht aber nach Tausenden oder gar Hunderten von Jahren?

In unserem 20. Jahrhundert befinden wir uns in der Übergangsphase zwischen zwei Epochen der Energietechnik. Die erste ist noch nicht beendet, die zweite wird aber bereits vorbereitet.

In der ersten Epoche, die mit der Anwendung des Feuers begann, nutzte der Mensch die Sonnenenergie in der Technik nur indirekt, indem er Holz, Torf, Kohle, Erdöl und Erdgas verbrannte. In der zweiten Epoche lernt er, Urkräfte der Materie zu entfesseln und auf eine Weise Energie zu erzeugen, durch die auch in der Sonne jene gigantischen Energien entstehen, die nun schon seit Jahrmilliarden rundum in den Weltraum strahlen. Gleichzeitig lernt der Mensch in der zweiten Epoche aber auch, die Sonnenenergie direkt zu nutzen und nicht nur auf dem Umweg über Kohle, Erdöl, Erdgas und andere Brennstoffe.

Noch erzeugen wir den größten Teil der technisch genutzten Energien durch Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas. Aber diese Brennstoffe werden keine weiteren tausend Jahre mehr reichen. Deshalb müssen wir uns nach neuen Verfahren der Energiegewinnung umsehen.

Es wäre auch unverantwortlich, sämtliche Vorräte der Erde an Kohle, Erdöl und Erdgas verbrennen zu wollen, denn es sind wertvolle Rohstoffe, aus denen die Chemieindustrie eine unübersehbare Fülle von Erzeugnissen herstellen kann.

Wir verfolgen eine Spur

Was ist nun eigentlich Energie? Was hat die Sonnenenergie mit der Kohle, dem Erdöl und den anderen Brennstoffen zu tun? Warum sind ohne Sonnenenergie kein Leben und keine Technik möglich? Das sind viele Fragen.

Sie sind nicht mit wenigen Sätzen zu beantworten. Verfolgen wir deshalb einmal die Fährte der Energie! Wo und in welchen Formen begegnet sie uns im täglichen Leben? Sehen wir, ob uns die Spur der Energie zu dem Ziel unserer einstweilen noch utopischen Reise, zur Sonne, führt!

Minus 273,15 Grad

Viele denken bei dem Begriff Energie nur an elektrischen Strom, weil er die im Haushalt und in Betrieben am meisten und vielseitigsten verwendete Form der Energie ist. Aber Energie ist noch vieles andere mehr! Die behagliche Wärme in der Wohnung, gleichgültig, ob sie durch die Heizung oder das warme Sommerwetter hervorgerufen wird, ist gleichfalls eine Form der Energie. In unserem Körper findet ständig ein Verbrauch chemischer Energie statt. Wir wären sonst nicht imstande, auch nur den kleinen Finger zu heben. Im Wind, der die Zweige der Bäume bewegt, steckt Energie. Das Licht, gleich, ob es von der Sonne oder von elektrischen Lampen stammt, ist ebenfalls eine Form der Energie. Ohne Energie wäre die ganze Welt nicht vorstellbar. Energie ist etwas, das

in allen Vorgängen, die sich auf der Erde und im Weltall ereignen, eine große und unentbehrliche Rolle spielt.

Würden plötzlich alle mit Energie verbundenen Vorgänge in der Welt aufhören, dann wäre es stockdunkel und unvorstellbar kalt. Es herrschte eine Temperatur von minus 273,15 Grad Celsius. Man bezeichnet sie als den absoluten Nullpunkt der Temperatur. Alle Wärme beruht nämlich auf winzig feinen Bewegungen, welche die kleinsten Teilchen aller Stoffe ständig ausführen. Wir können weder diese kleinsten Teilchen, die Atome und Moleküle heißen, noch ihre winzigen Bewegungen sehen. Aber wenn diese Bewegungen vollständig aufhören, dann wäre auch alle Wärme verschwunden.

Doch auch die Bewegungen sichtbarer, großer Körper sind eine Form der Energie, nämlich Bewegungsenergie. In jeder Bewegung steckt Energie. Ohne Energie kämen folglich alle Menschen, Tiere und Gegenstände zum Stillstand. Es wäre ähnlich wie im Märchen von Dornröschen, in dem ein ganzer Königspalast mit allen Menschen plötzlich in einen hundertjährigen Schlaf verfällt und alle Dinge an dem Ort stehen- oder liegenbleiben, an dem sie sich gerade befinden. Aber selbst im Schlaf verbraucht der Mensch noch Energie. Und während im Märchen wenigstens noch die Dornenhecke weiterwuchs, würden in Wirklichkeit bei Aufhören aller mit Energie verbundenen Prozesse auch keine Pflanzen mehr wachsen. Denn sie verbrauchen bei ihrer Lebenstätigkeit und ihrem Wachstum ebenfalls ständig Energie.

Ohne Energie würde selbstverständlich auch kein elektrischer Strom mehr fließen, weder aus der Netzsteckdose noch aus Batterien. Alle elektrischen Geräte stän-

den still. Das Radio verstummte, das Fernsehbild verschwände. Kein Feuer würde mehr brennen und wärmen. Auch alle Uhren blieben stehen, und zwar nicht nur die durch elektrischen Strom betriebenen, sondern ebenso die mit einem gewöhnlichen Federwerk zum Aufziehen.

Warum geht eine Uhr?

Wie kommt es eigentlich, daß sich die Zeiger der Uhr ganz langsam über das Zifferblatt bewegen und dadurch die Zeit anzeigen? Wenn wir die Uhr aufziehen, bewegen wir die Finger und spannen dabei die Feder des Uhrwerks. Ihre Spannung ist gleichfalls eine Form der Energie. Wir nehmen beim Aufziehen eine Umwandlung von Energie aus der einen in eine andere Form vor. Die Bewegungsenergie der Finger wird in die Spannungsenergie der Feder umgewandelt.

Wenn das Uhrwerk läuft, entspannt sich die Feder allmählich. Dadurch gibt sie ihre Spannungsenergie über die Rädchen des Werks an die Zeiger ab. Die Spannungsenergie der Feder verwandelt sich in die Bewegungsenergie der Zeiger.

Energieumwandlungen spielen in der gesamten Technik eine große Rolle. Immer wenn es heißt, es werde Energie erzeugt oder gewonnen, so bedeutet das in Wirklichkeit stets nur: Energie wird aus einer Form in eine andere umgewandelt. Denn die insgesamt in der Welt vorhandene Energie bleibt immer gleich. Wir können sie weder vergrößern noch verkleinern.

Keinerlei Energie kann also aus dem Nichts entstehen,

sondern nur durch Umwandlung aus einer anderen Energieform. Die Energie hat die Eigenschaft, sich in die verschiedensten Formen verwandeln zu können. Viele solcher Energiewandlungen vollziehen sich in der Natur von selbst, ohne Zutun des Menschen. Die menschliche Energietechnik besteht darin, Wandlungen der Energie aus einer nicht unmittelbar für uns nutzbaren in andere, nutzbare Formen künstlich herbeizuführen! Das klingt ein bißchen abstrakt. Veranschaulichen wir es uns deshalb, indem wir eine Kette von Energieumwandlungen bis zu ihrem Anfang zurückverfolgen!

Wenn wir am Lichtschalter knipsen, schließen wir einen elektrischen Stromkreis, durch den jetzt Elektroenergie fließt. Sie wird in der Glühlampe in Licht- und Wärmeenergie umgewandelt. Die elektrische Energie kommt durch Kabel aus dem Kraftwerk. Dort gewinnt man elektrische Energie mittels einer Dynamomaschine. Sie ähnelt in ihrem Funktionsprinzip dem Fahrraddynamo. Er ist ein Kraftwerk im kleinen. Ein Dynamo wandelt die Bewegungsenergie eines rotierenden, umlaufenden Teils dieser Maschine in elektrische Energie um. Die Frage, auf welche Weise das geschieht, wollen wir zurückstellen. Vorerst halten wir nur fest: Bewegungsenergie wird in elektrische Energie umgewandelt.

Aber woher stammt die Bewegungsenergie der Dynamomaschine im Kraftwerk? Sie wird aus einer anderen Form von Bewegungsenergie gewonnen, z. B. dadurch, daß heißer Dampf infolge seines hohen Druckes gegen ein Laufrad strömt. Es ähnelt dem Rad einer Wassermühle und ist an seinem Rand mit vielen schaufelförmigen Flächen versehen. Wenn der Dampf dagegen strömt, wird

das Laufrad in schnelle Drehung versetzt. Man nennt eine solche Maschine Turbine. Sie wandelt die Bewegungsenergie des Dampfes in die Bewegungsenergie eines Laufrades um.

Aber wir müssen noch weiter fragen: Woher stammt die Bewegungsenergie des strömenden Dampfes? Sie wird z. B. durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas gewonnen. Hier stoßen wir schon wieder auf eine weitere Energiewandlung. In Kohle, Erdöl und Erdgas steckt eine besondere Form von Energie, chemische Energie. Bei der Verbrennung dieser Stoffe wird sie in Wärmeenergie umgewandelt. Die Hitze der Flammen unter dem Kessel des Kraftwerks erwärmt Wasser. Das Wasser wird dadurch zu Dampf, der gegen die Schaufeln des Turbinenlaufrades strömt. So wird chemische Energie in Wärme und diese in Bewegungsenergie des Dampfes umgewandelt.

Pflanzen sind Energiespeicher

Von der Kohle, dem Erdöl und Erdgas führt die Spur der Energie schließlich zu dem Reiseziel unseres Raumschiffs der Zukunft, zur Sonne. Denn die chemische Energie, die in den Brennstoffen steckt, ist durch Umwandlung von Sonnenenergie entstanden. Zwei Formen der Sonnenenergie sind uns wohlbekannt: das Licht und die Wärmestrahlung. Also auch Strahlen sind eine Form der Energie!

Pflanzen haben die Fähigkeit, die Strahlungsenergie des Lichts dafür zu verwenden, um aus Wasser und dem in

der Luft enthaltenen Kohlendioxidgas andere chemische Stoffe aufzubauen. In den neu aufgebauten Stoffen steckt mehr chemische Energie als in Wasser und Kohlendioxid zusammengenommen! Die Pflanze hat also gewissermaßen die Energie des Sonnenlichts mit in die neu entstandenen Stoffe eingebaut.

Riesige Mengen von Sonnenenergie sind so in Pflanzen gespeichert, die im Verlaufe von Hunderten von Millionen Jahren auf der Erde wuchsen. Vor etwa 300 bis 250 Millionen Jahren gab es riesige Urwälder in den Niederungen des Landes. Sie bestanden aus anderen Pflanzen als heute.

Man nennt diese Epoche der Erdgeschichte die Steinkohlenzeit oder das Karbon (von lateinisch carbo = Kohle), weil sich aus Resten damaliger Pflanzen die Steinkohlenlagerstätten bildeten. Nach ihrem Absterben versanken die Pflanzenreste in der Erde, wurden lange Zeit von Sümpfen und Meeren bedeckt, dadurch von der Luft abgeschlossen und unter der Last der darüberliegenden Gesteinschichten zusammengepreßt. Dadurch bildete sich allmählich aus den Blättern, Stengeln und Stämmen der Bäume und anderen Pflanzen die Kohle.

Aus Überresten von Pflanzen, die vor etwa 60 Millionen Jahren auf der Erde wuchsen, bildete sich die Braunkohle. Aus kleinen Organismen entstand auf andere Weise das Erdöl. In allen diesen Stoffen steckt chemische Energie, die einst durch Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne entstand.

Urwald der Steinkohlenzeit



Aber woher stammt die Strahlungsenergie der Sonne? Der glühende Sonnenball besteht weder aus Kohle noch aus Erdöl oder Erdgas, das verbrennt. Würde die Strahlung der Sonne auf der Verbrennung solcher Stoffe beruhen, so wäre sie längst ausgebrannt. Denn sogar eine Menge dieser Brennstoffe, die so groß wie die Masse des Sonnenballs ist, würde nicht ausreichen, um viele Milliarden Jahre lang eine Strahlung aufrechtzuerhalten, wie sie unsere Sonne aussendet.

Die Energieerzeugung in der Sonne erfolgt auf ganz andere Weise. Tief im Innern der Sonne wird bei Temperaturen von vielen Millionen Grad und unter höchstem Druck der einfachste Stoff, den es im Weltall gibt, nämlich das Gas Wasserstoff, über zahlreiche Zwischenprozesse in ein anderes Gas, das Helium, verwandelt. Dies ist aber kein Verbrennungsvorgang, wie wir ihn von der Kohle und anderen Brennstoffen her kennen. Vielmehr werden dabei kleinste Teilchen des Wasserstoffs, nämlich seine Atomkerne, zu Helium-Atomkernen verschmolzen. Daher heißt dieser Vorgang Atomkernverschmelzung oder Kernfusion.

Dieser Prozeß liefert weit mehr Energie als die chemische Verbrennung irgendeines Stoffes. Aber der Mensch kann die Kernfusion technisch noch nicht so nachahmen, daß dabei gleichmäßig, über einen langen Zeitraum verteilt, Energie frei wird, sondern nur in der explosiven Form der Wasserstoffbombe. Doch arbeiten Wissenschaftler daran, die Kernfusion als fortlaufenden Vorgang ähnlich wie auf der Sonne technisch nachzuahmen. Wenn das gelänge, wäre der Menschheit eine praktisch unerschöpfliche neue Energiequelle erschlossen.

Wie wir unseren Körper heilen

Fast alle heute auf der Erde genutzte Energie stammt, wenn wir sie bis zu ihrem Ursprung zurückverfolgen, von der Sonne. Das gilt sogar für die geringe Bewegungsenergie, mit der wir die Feder unserer Uhr gespannt haben. Die Bewegungsenergie der Finger wurde nämlich durch Umwandlung aus chemischer Energie der Nahrungsstoffe gewonnen. Im Organismus von Mensch und Tier werden durch die Verdauung Nährstoffe in andere chemische Substanzen umgewandelt, die nur einen geringeren Energiegehalt als die Nahrungsstoffe haben. Der Differenzbetrag der Energie ist aber nicht verschwunden, sondern wird in Körperwärme und Bewegungsenergie der Muskeln umgewandelt. Was die Erzeugung der Körperwärme betrifft, so ähneln Essen und Trinken daher dem Heizen eines Ofens. So wie wir Holz und Kohlen im Ofen verbrennen und dadurch Wärme erzeugen, so müssen wir essen und trinken, um Körperwärme entstehen zu lassen.

Einen Teil der Nährstoffe verbrauchen wir nicht sofort zur Erzeugung von Wärme- und Bewegungsenergie, sondern bauen aus ihnen andere körpereigene chemische Stoffe auf, die ebenfalls einen hohen Gehalt von chemischer Energie haben. Darum sinkt unsere Körpertemperatur nicht, wenn wir einige Tage lang nichts essen. Während dieser Zeit greift der Körper z. B. die in den Fettpolstern gespeicherte chemische Energie an und verbraucht sie. Der Körper magert dadurch ab. Da ein großer Teil der chemischen Energie der Nahrungsstoffe in Bewegungsenergie der Muskeln umgewandelt

wird, müssen Menschen, die schwere körperliche Arbeit verrichten, mehr essen als Menschen, die ihre Arbeit am Schreibtisch sitzend verrichten.

Auch die Spur der chemischen Energie unserer Nahrungsmittel führt zur Sonne. Unsere Nahrung wird aus Pflanzen sowie aus dem Fleisch und Fett von Tieren bereitet. Die Pflanzen aber haben diese Stoffe unter Verwertung der Sonnenenergie gebildet. Die Körpersubstanz der Tiere entstand ebenfalls unter Verwertung der Sonnenenergie, nur auf dem Umweg über die Pflanzen. Die Tiere fressen Pflanzen, wachsen dadurch und setzen Fleisch und Fett an, das wir dann verzehren.

Fassen wir das Ergebnis unserer Verfolgung der Spur von Energie zusammen! Zweierlei haben wir festgestellt: 1.

Energie kommt in vielen Formen vor. An Energieformen lernten wir bisher kennen:

Strahlungsenergie (Lichtstrahlen, Wärmestrahlen)

Bewegungsenergie (Wasserströmung, Luftströmung, Wind, strömender Dampf, Rotationsenergie des Turbinen-Laufrades)

Spannungsenergie

chemische Energie

elektrische Energie.

Die verschiedenen Arten von Bewegungsenergie sowie die Spannungsenergie und einige weitere Energieformen, die wir noch nicht kennengelernten, werden unter der Bezeichnung „mechanische Energie“ zusammengefaßt.

**Mammut – Steinzeitliche Jäger –
Frühmenschen an einer Feuerstelle**

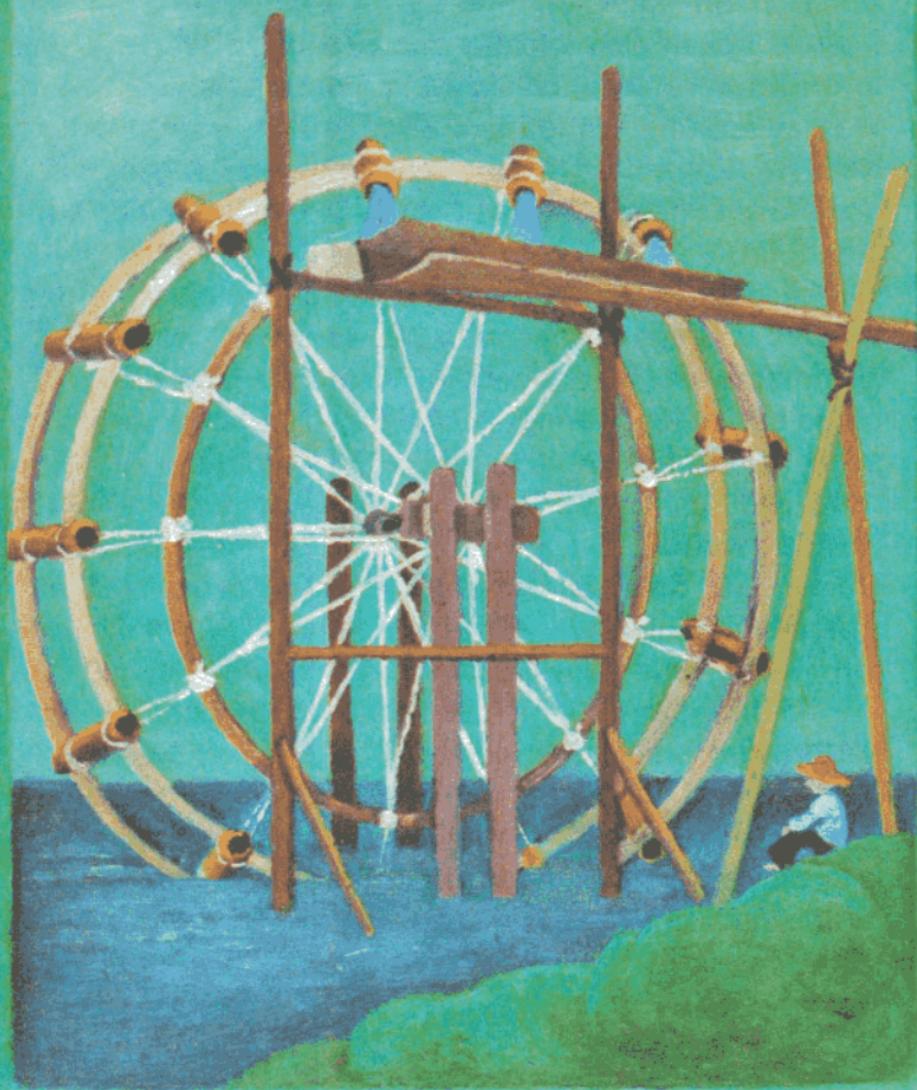


2.

Energie läßt sich von einer Form in andere Formen umwandeln. Jede Gewinnung oder Erzeugung von Energie ist daher gar keine echte Gewinnung, sondern nur eine Energieumwandlung. Die menschliche Energietechnik verfolgt das Ziel, Energieformen, die wir nicht unmittelbar für unsere Zwecke nutzen können, in für uns gebrauchsfähige Energieformen umzuwandeln. Über eine entsprechende Kette von Wandlungen läßt sich dabei jede Form von Energie in mechanische Energie umwandeln.

Vom Steppenfeuer zur Dampfmaschine

Die Geschichte der planvollen Umwandlung einer Energieform in eine andere durch den Menschen begann mit der Nutzung des Feuers. Mit ihr löste sich, wie Friedrich Engels schrieb, der Mensch endgültig vom Tierreich. In Steppen und Wäldern entsteht Feuer manchmal von selbst. Das werden die Menschen schon vor Jahrtausenden mit Schrecken beobachtet haben. Doch irgendwann fiel ihnen auf, daß das Feuer neben verheerenden auch nützlichen Wirkungen hat. War ein Tier längere Zeit der Wärme in unmittelbarer Nähe der Flammen ausgesetzt, ohne von ihnen direkt erfaßt oder verbrannt zu werden, so war sein Fleisch viel weicher und schmackhafter als in rohem Zustand. Auch Knollen, Früchte und andere pflanzliche Nahrungsmittel wurden durch Rösten am



Feuer genießbarer und insbesondere das Fleisch auch haltbarer. Man konnte sich kleine Vorräte anlegen, ohne daß sie in kurzer Zeit verdarben. In kalten Nächten verbreitete das Feuer behagliche Wärme. Es schuf in Wohnhöhlen auch spärliche Beleuchtung.

Vor etwa 6000 Jahren lernte man, durch Wärme Metalle aus Erzen zu erschmelzen. Erze sind metallhaltige Stoffe, die sich an manchen Stellen im Erdboden befinden. Metalle ließen sich leichter und besser zu Werkzeugen und Waffen verarbeiten als Stein. Vordem hatte man alle Werkzeuge und Waffen aus Stein und Holz angefertigt. Noch heute wird ein großer Teil der technisch gewonnenen Wärmeenergie für das Schmelzen von Metallen verwendet.

Neben dem Feuer werden die Bewegungsenergie des Windes und des strömenden Wassers der Flüsse schon seit mehreren Jahrtausenden technisch genutzt, allerdings nur in sehr geringem Umfang. Denn man verstand es im Altertum noch nicht, den Wind auch dann zum Antrieb von Schiffen zu benutzen, wenn er nicht in Fahrtichtung wehte.

Durch die Strömungsenergie des Wassers wurden Schöpfwerke über Wasserräder angetrieben. Sie schöpften Wasser aus dem Fluß in eine hölzerne Rinne, aus der es dann über die Felder floß und das Land bewässerte. Aber nur einige wenige Schöpfwerke wurden in dieser Weise betrieben. Die Hauptquelle der mechanischen Energie, die für die Lebenstätigkeit der Menschen erforderlich war, bildete seit frühester Vergangenheit die Muskelkraft von Mensch und Tier.

Sklaven anstelle von Maschinen

Diese schwere körperliche Arbeit hatten im Altertum ausschließlich die armen und besitzlosen Menschen zu verrichten. Für die Reichen galt es als unwürdig, körperlich zu arbeiten. Im Altertum besaßen alle Reichen eine mehr oder weniger große Zahl von Sklaven. Sie waren wie leblose Gegenstände persönliches Eigentum ihres Besitzers. Man konnte sie kaufen und verkaufen. Die Angehörigen eines im Kriege besieгten Volkes wurden als Sklaven in das Land der Sieger verschleppt. Manchmal schloß ein Feldherr schon Verträge über den Verkauf von Sklaven, die er bei seinem bevorstehenden Kriegszug erst noch erbeuten wollte. Er verschaffte sich dadurch bereits im voraus Gelder, mit denen er seinen Feldzug finanzierte.

Die Muskelarbeit der Tiere wurde im Vergleich dazu weit weniger genutzt. Das Pferd diente zwar den Kriegern als Reittier, und mit Pferden wurden die Wagen gezogen, in denen die Reichen fuhren. Aber große Arbeitsleistungen bei der Bestellung der Felder oder dem Transport schwerer Lasten konnten die Tiere nicht vollbringen. Der Grund dafür war, daß man das Geschirr, in das man Pferde, Ochsen und andere Zugtiere einspannen muß, wenn sie schwere Arbeit leisten sollen, noch nicht erfunden hatte. Man band den Tieren einfach einen Strick um den Hals. So konnten die Tiere nur mit mäßiger Kraft ziehen. Andernfalls hätten sie sich mit dem Strick erwürgt.

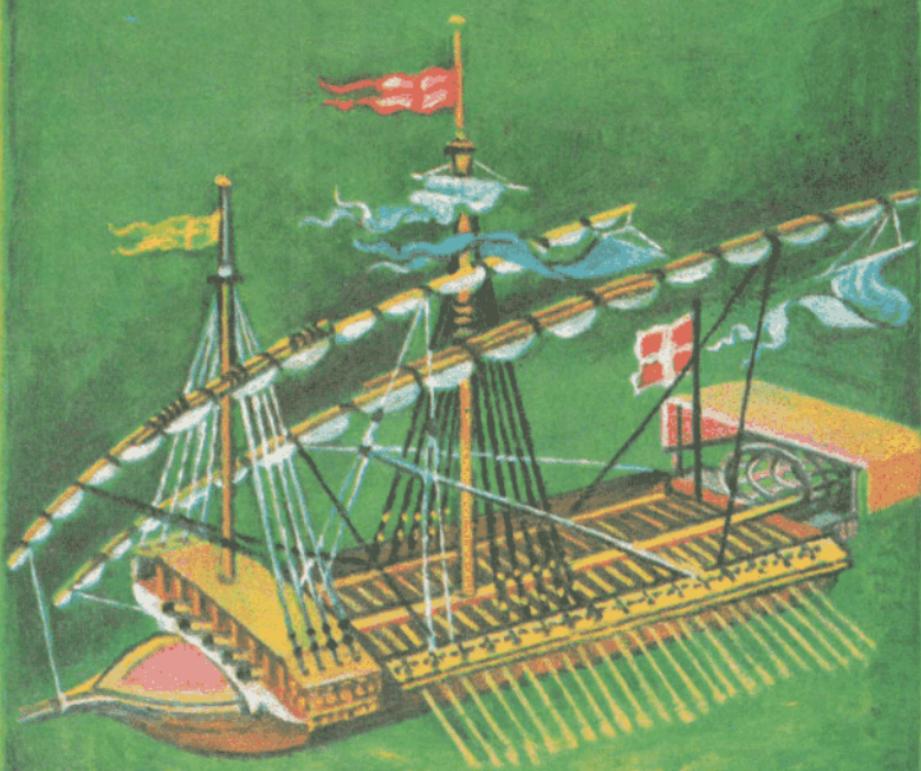
Da es genügend viele Sklaven gab und, wenn sie knapp wurden, durch kriegerische Raubzüge oder durch Kauf

neue zu beschaffen waren, bestand kein Anreiz zu Erfindungen, durch welche die Energie von Naturerscheinungen in technisch gebrauchsfähige Energieformen umgewandelt werden konnte. Die gesellschaftlichen Verhältnisse des Altertums bildeten so auch ein Hindernis für die technische Weiterentwicklung der Produktivkräfte.

Die Muskelarbeit von Sklaven wurde auch zum Antrieb von Schiffen, die man Galeeren nannte, verwendet. Die Sklaven waren im Schiffsrumpf in langen Reihen angekettet. Ein Aufseher schlug auf einer dröhnenden Holztrommel den Takt, nach dem die Sklaven lange Ruder bewegten.

Sklaven hatten ferner alle Bauwerke zu errichten. Die berühmten ägyptischen Pyramiden kosteten Legionen von Sklaven das Leben. Sie starben vor Erschöpfung infolge der schweren Arbeit unter der heißen Sonne. Die großen und schweren Steinblöcke, aus denen die Pyramiden bestehen, wurden auf Baumstämme gehoben. Sie dienten als Rollen. Dann spannte man so viele Sklaven an Seilen vor die schweren Steine, bis die vereinte Zugkraft ausreichte, um sie weiterzurollen. Es gab auch noch keine Kräne, mit denen man die mühsam zum Bauplatz geschafften Blöcke aufwärts heben konnte. Statt dessen mußten Sklaven so viel Erde aufschüttten, daß eine geneigte Ebene entstand. Die Steine wurden dann schräg nach oben gezogen.

Eine gräßliche Qual waren für ungezählte Sklaven die Treträder, an die noch heute der Ausdruck Tretmühle



erinnert. Das Tretrad war eine große, mit Leitersprossen versehene Walze. Die Sklaven ergriffen mit den Händen eine feststehende Stange und traten dabei mit den Füßen nach unten gegen die Leitersprossen. Es war so, als würden sie stundenlang eine Leiter aufwärts steigen müssen, ohne dabei vom Fleck zu kommen. Denn die Leitersprossen drehten sich immer wieder unter ihren Füßen hinweg und bewegten dadurch die große Walze, um deren Achse ein Seil gewickelt war, das bei der Umdrehung mit großer Kraft gezogen wurde. Durch diese mechanische Energie konnte man schwere Lasten beim Errichten von Gebäuden in die Höhe heben, Schöpferwerke für die Bewässerung der Felder antreiben und viele andere Arbeiten verrichten. Für die Sklaven war die Tätigkeit an der Tretmühle ein Todesurteil. Sie starben nach kurzer Zeit durch Überanstrengung.

Wir können hier nur einige wenige Beispiele dafür anführen, wie in früheren Zeiten die menschliche Muskelaktivität als Energiequelle ausgenutzt und mißbraucht wurde. Auch als die Sklaverei zum Ausgang des Altertums offiziell abgeschafft wurde, änderte sich das Los der Armen dadurch nicht wesentlich. Alle schweren körperlichen Arbeiten hatten sie weiterhin zu verrichten. In der Sprache der Energietechnik ausgedrückt: die menschliche und tierische Muskelaktivität blieb weiterhin die Hauptquelle der für die Produktion erforderlichen mechanischen Energie. Daran änderten auch die Wind- und Wassermühlen nicht viel, in denen das Korn nunmehr durch Wind- oder Wasserkraft gemahlen wurde.

Sklaven an der Tretmühle



Feuermaschinen

Die Möglichkeiten, die mechanische Energie von Wind und Wasserströmung technisch zu nutzen, sind begrenzt. Ein ausreichend starker Wind weht nicht immer. Die Energie des Windes kann man deshalb nur für eine Produktionstätigkeit nutzen, die Unterbrechungen erlaubt. Wasserkräfte sind nicht an allen Orten vorhanden, an denen mechanische Energie gebraucht wird. Man mußte nach einer Quelle mechanischer Energie suchen, die überall und jederzeit verfügbar ist.

Das Feuer erfüllt beide Bedingungen, wenn man nur dafür sorgt, daß Brennstoffe vorhanden sind. Also fehlte es nur noch an einer Maschine, um die Wärmeenergie, in welche die chemische Energie der Kohle durch die Verbrennung umgewandelt wird, noch ein weiteres Mal zu verwandeln, nämlich in mechanische Energie, in Bewegungsenergie. Eine erste erfolgreich arbeitende Maschine dieser Art baute – nach vielen vorangegangenen Versuchen anderer Erfinder – ein Mechaniker der Universität Glasgow in Schottland namens James Watt. Am 25. April 1769 erhielt er ein Patent auf seine Dampfmaschine. Sie verbrauchte bei gleicher Leistung nur ein Viertel der Kohlenmenge, die vorher gebaute „Feuermaschinen“ verschlangen.

Das Funktionsprinzip der Dampfmaschine können wir uns am Pfeifkessel veranschaulichen. Wir verwandeln die chemische Energie der Kohle durch Verbrennung in Wärme. Sie wird auf das Wasser im Pfeifkessel übertragen. Es erhitzt sich dadurch und verdampft.

Verwandelt man einen Liter Wasser in Wasserdampf, so

ist es bestrebt, einen wesentlich größeren Raum einzunehmen als dieselbe Menge Wasser in flüssigem Zustand. Verhindert man die Ausdehnung des Dampfes, indem man ihn in ein Gefäß mit sehr festen Wänden einschließt, so erhöht sich der Druck des Dampfes. In jedem Gas, das sich durch Erhitzung ausdehnen möchte, aber nicht kann, erhöht sich der Druck.

Dieser Vorgang ist mit dem Spannen einer Feder zu vergleichen. Und ebenso wie in der Spannung der Feder eine Form mechanischer Energie steckt, so auch im Druck eines Gases bzw. im Wasserdampf, der unter Druck steht. Man spricht deshalb in der Technik auch von gespanntem Dampf. Und so wie eine zusammengedrückte Feder, wenn wir sie loslassen, ihr also „Bewegungsfreiheit“ geben, auseinanderschnellt, so entspannt sich auch Dampf, sobald wir ihm die Möglichkeit zur Ausdehnung geben.

Im Pfeifkessel können wir keinen großen Dampfdruck erzeugen, denn der Dampf hat die Möglichkeit, durch die kleine Pfeife, die in den Deckel eingebaut ist, zu entweichen und sich auszudehnen. Dabei ertönt die Pfeife und zeigt uns an, daß das Wasser siedet. Legen wir den Deckel nur ganz lose auf und lassen ihn eine Weile pfeifen, ohne die Flamme kleiner zu drehen, so kommt es vor, daß der Deckel in einem Bogen davonfliegt. Wir sehen daran, daß Dampf, der unter Druck steht, imstande ist, bei seiner Entspannung und Ausdehnung Gegenstände in Bewegung zu setzen, also die Spannungsenergie in Bewegungsenergie umzuwandeln.

Wie die Dampfmaschine funktioniert

Ähnliches geschieht in der Dampfmaschine. Für ihren Betrieb braucht man zunächst einen Dampferzeuger, in dem durch Zufuhr von Wärmeenergie Wasser in Wasserdampf umgewandelt wird. Der Dampf wird so fest eingeschlossen, daß er unter hohem Druck steht. Wären die Wände des Dampfkessels dünn wie die eines Pfeifkessels, dann würden sie durch den Druck zerreißen. Durch eine Rohrleitung wird der Dampf unter hohem Druck zu einem „Topf“ mit einem zylinderförmigen Hohlraum geleitet. Man nennt diesen Topf deshalb Zylinder. In ihm steckt ein Kolben. Das ist ein ebenfalls zylinderförmiger Metallkörper. Sein Durchmesser ist ebenso groß wie der des Hohlraums im Zylinder. Folglich kann sich der Kolben im Zylinder hin- und herbewegen. Die Strecke, um die sich der Kolben bewegt, nennt man den Kolbenhub, die beiden Endpunkte der Bewegung heißen Totpunkte. Am Kolben ist eine Stange befestigt, die durch eine Öffnung des Zylinders nach außen ragt. Bewegt sich der Kolben, so bewegt sich die Stange mit.

Der Zylinder hat auf der linken und rechten Seite je zwei Öffnungen, durch die Dampf ein- und ausströmen kann. Befindet sich der Kolben z. B. auf der linken Seite im Zylinder, so läßt man durch die linke Eintrittsöffnung den unter Druck stehenden Dampf einströmen. Die linke Auslaßöffnung ist während dieser Zeit verschlossen. Der Dampf drückt den Kolben mit großer Kraft nach rechts und entspannt sich dabei.

Schema der Dampfmaschine mit Ventilsteuerung

linker Einlaßöffnung

rechter Einlaß-

Dampfeintritt



linker Auslaßöffnung

rechte Auslaß-
öffnung

linker Einlaßöffnung

rechter Einlaß-

Dampfeintritt



linker Auslaßöffnung

rechte Auslaß-
öffnung

Dampfaustritt

Zugleich treibt der Kolben den noch rechts im Zylinder befindlichen Dampf durch die rechte Auslaßöffnung des Zylinders, die während dieser Arbeitsphase offen ist, aus. Die rechte Eintrittsöffnung bleibt jetzt verschlossen.

Die Auslaßöffnung ist über eine Rohrleitung mit einem Gefäß verbunden, das man Kondensator nennt. Im Kondensator erfolgt ein genau umgekehrter Prozeß als im Dampferzeuger. Hier wird der Wasserdampf durch Abkühlung wieder in flüssiges Wasser zurückverwandelt. Zu diesem Zweck befinden sich im Kondensator viele Rohre, durch die kaltes Wasser, Kühlwasser, fließt. Der Dampf kühlt sich dadurch ab, das Kühlwasser wird dagegen erwärmt.

Da die gleiche Menge Wasser im flüssigen Zustand weit weniger Raum einnimmt als im dampfförmigen und im Kondensator Wasserdampf in flüssiges Wasser zurückverwandelt wird, entsteht ein Unterdruck, der sich bis auf die rechte Auslaßöffnung des Zylinders auswirkt. Der Kolben wird dadurch nicht nur durch den Druck des von links einströmenden Dampfes nach rechts gestoßen, sondern auch noch durch den Unterdruck nach rechts gesaugt.

Im nächsten Moment kehrt sich aber das ganze Spiel um. Schieber oder Ventile sorgen jetzt dafür, daß die rechte Auslaßöffnung des Zylinders gegen den Kondensator hin gesperrt, die rechte Eintrittsöffnung jedoch zum Dampferzeuger hin offen ist. Folglich strömt jetzt der unter Druck stehende Dampf von rechts in den Zylinder. Zu gleicher Zeit ist die linke Eintrittsöffnung des Zylinders gegen den Dampferzeuger gesperrt, aber die linke

Auslaßöffnung zum Kondensator hin offen. Folglich wird der Kolben jetzt mit großer Kraft von rechts nach links bewegt. Dieses Spiel wiederholt sich in ständigem Wechsel.

Mit dem Kolben bewegt sich die Kolbenstange hin und her oder bei senkrechter Anordnung des Zylinders auf und nieder. Man nennt solche hin- und hergehenden Bewegungen oszillierend. Für viele Zwecke muß die oszillierende Bewegung erst in eine rotierende, in eine Umdrehungsbewegung verwandelt werden, um sie technisch nutzen zu können. Das ist über eine beweglich mit der Kolbenstange verbundene Pleuelstange und eine Kurbel möglich. So wie der Mensch beim Kurbeln den Arm abwechselnd streckt und wieder anzieht, so bewegt jetzt die Pleuelstange den „Griff“ der kurbelartigen Vorrichtung.

Die erste Eisenbahn

Dampfmaschinen wurden anfangs vor allem benutzt, um Pumpen anzutreiben, die das ständig in Bergwerke einsickernde Wasser absaugten. Auch die damals gerade erfundenen Webmaschinen wurden in England mit Dampfmaschinen betrieben. Später führte die Dampfmaschine zu revolutionierenden Umwälzungen im Verkehrswesen. Bisher mußte man mit von Pferden gezogenen Postkutschen reisen. Jetzt entstanden die ersten Dampflokomotiven. Sie konnten mehrere Wagen ziehen, in denen weit mehr Menschen Platz fanden als in einer Postkutsche.

Bald wurden auch wesentlich größere Geschwindigkeiten erreicht. Während eine 1804 gebaute und im Bergwerk für den Kohletransport eingesetzte Lokomotive erst ein Tempo von etwa 4 km/h erreichte, kam bei einem 1829 veranstalteten Lokomotivrennen die schnellste bereits auf eine Spitzengeschwindigkeit von 56 km/h. Die erste, nur sechs Kilometer lange Eisenbahnlinie in Deutschland wurde am 7. Dezember 1835 zwischen Nürnberg und Fürth in Betrieb genommen. Bis 1850 gab es in Deutschland schon 6044 km Eisenbahnstrecken. Aber trotz Dampfmaschine fiel auch jetzt die Hauptlast der Arbeit weiterhin den menschlichen und tierischen Muskeln zu. Mehr als 90 Prozent aller technisch genutzten Energie wurden um die Mitte des vorigen Jahrhunderts noch durch menschliche und tierische Muskeltätigkeit aufgebracht. Erst 6 Prozent entfielen auf Windmühlen, Wasserräder und Dampfmaschinen. Heute hat sich das Verhältnis umgekehrt. In technisch hoch entwickelten Ländern entfällt nur noch etwa 1 Prozent der insgesamt genutzten Energie auf die Muskeltätigkeit von Mensch und Tier. Dieser Umschwung wurde selbstverständlich nicht allein durch die Dampfmaschine erreicht. Dafür mußten noch viele andere Maschinen zur Umwandlung von Naturkräften in technisch gebrauchsfähige Energie erfunden werden.

Wieviel ist ein PS?

Dampfmaschinen kann man nicht für den Hausgebrauch verwenden. Je kleiner eine Dampfmaschinenanlage

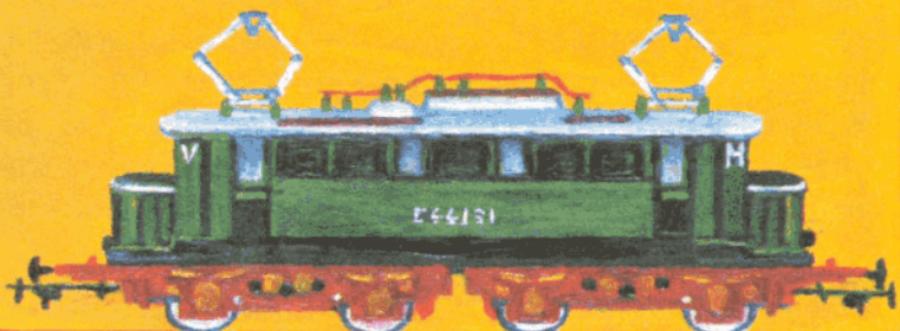
Lokomotive „Adler“ 1835



Diesellok



E-Lok



ausgeführt wird, desto unwirtschaftlicher ist sie. Das heißt: Das Verhältnis zwischen Anschaffungs- und Betriebskosten einerseits und der Nutzleistung andererseits wird immer ungünstiger. Handwerker und Kleinbetriebe konnten sich deshalb keine Dampfmaschine leisten. Ja, sogar ein mittlerer Betrieb mußte genau kalkulieren, ob es auf die Dauer billiger wäre, eine Dampfmaschine anstelle von menschlicher und tierischer Muskelkraft zu verwenden.

Eine solche Vorausberechnung wollte auch der Besitzer einer Brauerei anstellen. Dafür mußte er zunächst feststellen, wieviel Arbeitsleistung man aus einem Pferd herausholen kann. Deshalb ließ er das Wasserpumpwerk einen Tag lang von einem Pferd antreiben. Um aus dem Tier das Höchstmaß von Leistung herauszupressen, wurde es durch ständige Peitschenhiebe gejagt.

Aus der berechneten Arbeitsleistung des Tieres leitete James Watt eine technische Einheit für die Leistung von Dampfmaschinen ab, die sogenannte Pferdestärke, Abkürzung: PS. Sie ist aber viel zu hoch angesetzt, weil nicht berücksichtigt wurde, daß ein so geschundenes Pferd binnen weniger Tage infolge Erschöpfung sterben müßte. In Wirklichkeit beträgt die Leistung eines Pferdes nur etwa 1/2 PS. Ein Pkw „Wartburg“ mit einem Motor von 50 PS verfügt also über so viel Kraft wie 100 Zugpferde.

Um auch für Zwecke, für die nur verhältnismäßig kleine Leistungen benötigt wurden, die menschliche und tierische Muskelarbeit durch Maschinen zu ersetzen, mußten sich die Techniker etwas Neues einfallen lassen. Zunächst erfand der Pariser Mechaniker Lenoir einen Mo-

tor, der nicht durch Dampf, sondern durch Gas betrieben wurde, das man im Zylinder zur Verbrennung brachte. Gaswerke, in denen durch Verkokung von Steinkohle Leuchtgas hergestellt wurde, gab es schon in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in London, Berlin und anderen großen Städten.

Ein Ingenieur aus der Fabrik, in der Watts Dampfmaschinen hergestellt wurden, hatte entdeckt, daß das aus der verkokten Steinkohle entweichende Gas mit einem bläulich leuchtenden Flämmchen brennt. Eines abends soll er – wie die Anekdote berichtet – Gas aus Steinkohlen in einer Schweinsblase aufgefangen, diese mit dem Mundstück seiner Pfeife verschlossen und das ausströmende Gas angezündet haben. Mit dieser Schweinsblasenlampe in der Hand ging er durch die nächtlichen Straßen nach Hause. Bald darauf, es war 1798, ließ James Watt die Werkstätten der Fabrik mit Gasbeleuchtung ausstatten.

Wie der Automotor funktioniert

Abgesehen von technischen Mängeln befriedigte der Gasmotor auch deshalb nicht, weil man ihn nur dort betreiben konnte, wo Gaswerke und Gasleitungen vorhanden waren. In kleineren Städten und auf dem Lande war das noch nicht der Fall.

Ein Kölner Lebensmittelreisender namens Nikolaus Otto bastelte, obwohl er kein Techniker war, ein kleines Motormodell. Von der Dampfmaschine und dem Gasmotor wurden Zylinder und Kolben übernommen. An-

stelle von Dampf oder Gas wurde jedoch ein Gemisch von Spiritus oder Benzin und Luft durch einen elektrischen Funken zur Entzündung und damit zur Verbrennung gebracht. Um dieses Kraftstoff-Luft-Gemisch herzustellen, braucht man einen Vergaser. Er ähnelt einem Parfümzerstäuber und zerteilt den flüssigen Kraftstoff in viele feine Tröpfchen.

Die Kraftstofftröpfchen werden zusammen mit Luft in den Zylinder des Motors angesaugt. In unserem Bild sieht man am oberen Ende des Zylinders links eine Einlaßöffnung und rechts eine Auslaßöffnung. Beide können durch je ein Ventil geöffnet und verschlossen werden. Wenn sich der Kolben im ersten Takt der Arbeitsweise des Motors nach unten bewegt, ist das Einlaßventil geöffnet, das Auslaßventil aber geschlossen. Durch die nach unten gehende Bewegung des Kolbens entsteht im Zylinder ein Unterdruck. Dadurch wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinderraum gesaugt. Kolben und Zylinder wirken hierbei wie eine Pumpe. Dieser erste Takt heißt deshalb Ansaugen.

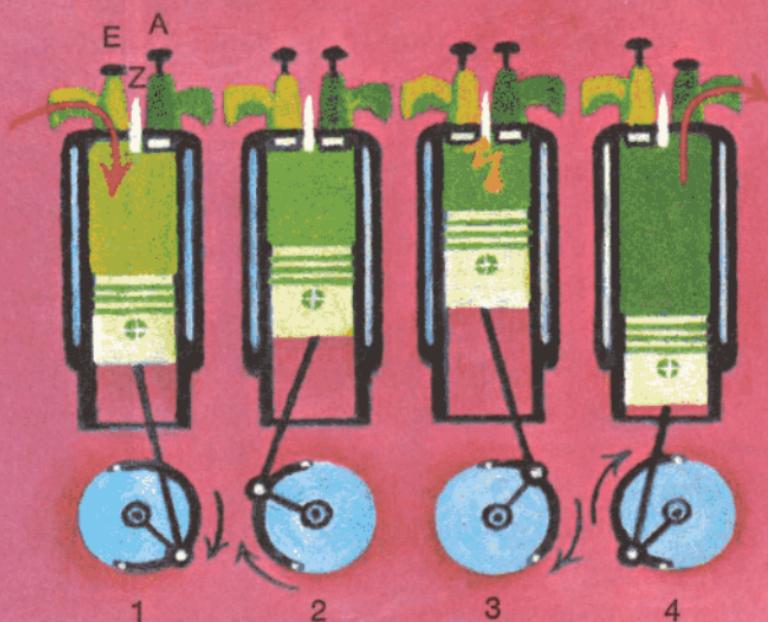
Im zweiten Takt geht der Kolben wieder nach oben. Während dieser Zeit sind sowohl das Einlaß- wie das Auslaßventil geschlossen. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch kann daher nicht aus dem Zylinder entweichen. Es wird durch den Kolben stark zusammengedrückt, verdichtet oder, wie man auch sagt, komprimiert. Der zweite Takt heißt daher Verdichten.

Wenn der Kolben seine obere Endstellung, man nennt

So funktioniert ein Ottomotor

E = Einlaßventil, A = Auslaßventil, Z = Zündkerze

Takt	1. Takt	2. Takt	3. Takt	4. Takt
Bezeichnung	Ansaugen	Verdichten	Zünden und Ausschieben	Ausdehnen
Einlaßventil	geöffnet	geschlossen	geschlossen	geschlossen
Auslaßventil	geschlossen	geschlossen	geschlossen	geöffnet
Kolben bewegt sich in Richtung	Kurbelwelle	Zylinderkopf	Kurbelwelle	Zylinderkopf
Vorgang im Zylinder	Kraftstoff- Luft-Ge- misch wird angesaugt	Gemisch wird ver- dichtet	Gemisch wird ent- zündet, ver- brennt und dehnt sich aus	Verbren- nungsgase werden aus- geschoben



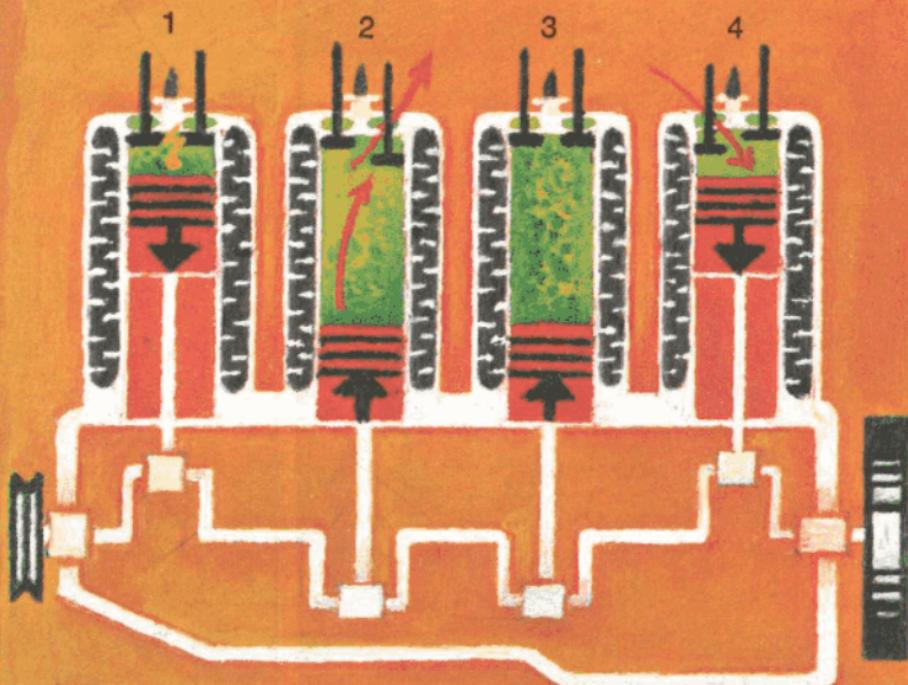
sie den oberen Totpunkt, erreicht hat, entsteht an der Zündkerze, die von oben in den Zylinderraum ragt, ein elektrischer Funke. Er entzündet das Kraftstoff-Luft-Gemisch. Es verbrennt zu heißem Gas, das sich schnell ausdehnt. Da das Ein- und Auslaßventil weiterhin geschlossen bleiben, drückt das sich ausdehnende Brenngas mit großer Kraft gegen den Kolben und bewegt ihn bis zu seinem unteren Totpunkt. Dieser dritte ist der Arbeitstakt.

Danach bewegt sich der Kolben wieder nach oben. Während dieses vierten Taktes ist das Einlaßventil geschlossen, aber das Auslaßventil geöffnet. Folglich wird das verbrannte Gas, das nun keine nutzbare chemische Energie mehr enthält, durch den aufwärts gehenden Kolben aus dem Zylinderraum ausgetrieben. Es strömt in die Auspuffanlage und von hier aus ins Freie. Diesen vierten Takt nennt man Ausschieben. Nach dem vierten beginnt dasselbe Spiel mit dem ersten Takt wieder von neuem.

Unter dem Zylinder befindet sich die Kurbelwelle. Kolben und Kurbelwelle sind durch eine in ihren beiden Endpunkten beweglich gelagerte Stange verbunden. Durch sie wird die auf- und niedergehende, oszillierende Bewegung wie bei der Dampfmaschine in eine rotierende Bewegung der Kurbelwelle umgewandelt. Diese Welle treibt über das Getriebe die Räder des Fahrzeugs an.

Außer dem Viertakt- wurden später noch ein Zweitakt-

Taktfolge eines Vierzylinder-Viertaktmotors



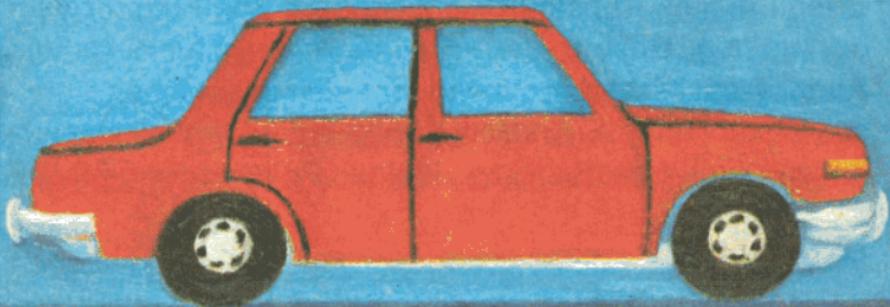
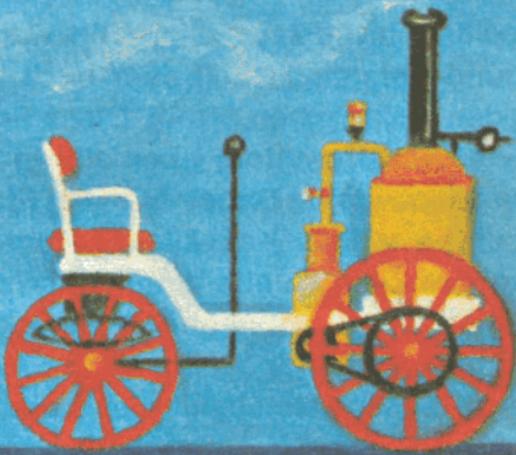
Zylinder 1	Arbeiten	Ausschieben	Ansaugen	Verdichten
Zylinder 2	Ausschieben	Ansaugen	Verdichten	Arbeiten
Zylinder 3	Verdichten	Arbeiten	Ausschieben	Ansaugen
Zylinder 4	Ansaugen	Verdichten	Arbeiten	Ausschieben
Zündfolge	1	3	4	2

Motor sowie von Rudolf Diesel der nach ihm benannte Dieselmotor erfunden. Das alles sind Maschinen, die chemische Energie flüssiger Kraftstoffe, wie z. B. Benzin, auf dem Wege über Wärmeenergie und Druck eines Verbrennungsgases in mechanische Energie umwandeln. Alle diese Maschinen sind nicht ortsfest gebunden und eignen sich daher besonders für den Antrieb von Fahrzeugen. So konnte das Zeitalter des Autos beginnen.

Das Gemeinsame dieser Maschinen ist, daß in einem Zylinder eine Verbrennung flüssiger Kraftstoffe zu Brenngasen stattfindet, deren Druck mit großer Kraft den Kolben bewegt. Deshalb faßt man sie unter der Bezeichnung Brennkraft-Kolbenmaschinen zusammen. Die Dampfmaschinen gehören nicht dazu, weil in ihren Zylindern der Kolben nicht direkt durch Brennkraft, sondern durch Dampfdruck bewegt wird.

Um uns das Funktionsprinzip klarzumachen, haben wir zunächst nur die Arbeitsweise eines Zylinders betrachtet. In Wirklichkeit haben die meisten Brennkraft-Kolbenmaschinen mehrere Zylinder, deren Arbeitstakte aufeinander abgestimmt sind. Das zeigt wiederum unser Bild. Während der Zylinder 1 dieses Viertaktmotors seinen Arbeitstakt vollzieht, finden im Zylinder 4 die Ansaugung, im Zylinder 3 die Verdichtung, im Zylinder 2 das Ausschieben statt. Die Zylinder werden in der Reihenfolge 1 – 3 – 4 – 2 gezündet.

Mit den Brennkraft-Kolbenmaschinen standen der Technik Quellen mechanischer Energie zur Verfügung, die



sehr vielseitig einzusetzen sind. Sie werden an Vielseitigkeit und Bequemlichkeit aber noch weit übertrffen durch den elektrischen Strom. Diese Energieform ist mit Hilfe des Elektromotors ebenfalls in mechanische Energie umzuwandeln. Dabei hat die Elektrizität den Vorteil, daß sie mittels Kabel leicht überall hin transportiert werden kann, in alle Wohnungen und Betriebe. Deshalb spielt sie in der heutigen Energietechnik eine besonders hervorragende Rolle. Mit ihr wollen wir uns deshalb auch besonders ausführlich beschäftigen.

Funken aus der Schwertspitze

Vor etwa zweihundert Jahren lebte in der damaligen Hansestadt Danzig, dem heutigen Gdansk, ein Bürgermeister namens Gralath, der für ein sonderbares Kunststückchen bekannt war. Mit der linken Hand hielt er ein Eisenrohr an eine Schwefelkugel, die mittels einer Vorrichtung von einem Helfer sehr schnell gedreht wurde. In die rechte Hand nahm er ein kurzes Schwert. Dessen Spitze hielt er an den Docht einer Kerze, deren Flamme soeben ausgelöscht worden war. Wurde die Schwefelkugel gedreht, so konnte Bürgermeister Gralath durch einen Funken, der aus der Schwertspitze zuckte, die Kerze wieder entzünden.

Er soll dieses Kunststück mit großem Spaß immer wieder seinen Gästen und Freunden vorgeführt haben. Aber er war nicht der einzige, der sich mit solchen Spielchen beschäftigte. An den Königshöfen war es damals üblich, zur Unterhaltung kleine Pulverladungen mit

elektrischen Funken zur Explosion zu bringen oder nichtsahnenden Personen durch Berühren mit einem geeigneten Gegenstand einen elektrischen Schlag zu versetzen. Wenn sie dann vor Schreck zusammenzuckten und das Gesicht schmerhaft verzerrten, schütteten sich die anderen vor Lachen aus.

Weder Bürgermeister Gralath noch irgendwelche Könige hatten diese Kunststücke erfunden. Sie waren auch nicht imstande zu erklären, auf welchen Ursachen sie beruhen. Typisch an dieser Geschichte ist aber, daß die Elektrizität nur für spielerische Zwecke benutzt wurde. Schon die alten Griechen hatten beobachtet, daß Bernstein, wenn man ihn rieb, die Eigenschaft erlangte, kleine leichte Körperchen anzuziehen. Man wußte auch schon im Altertum, daß es magnetische Stoffe gibt, die gleichfalls manche anderen Stoffe anziehen. Um die Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert beschäftigte sich der Leibarzt der englischen Königin, William Gilbert, in seiner Freizeit mit der Frage, ob die Anziehungskraft des geriebenen Bernsteins und der Magnetismus von gleicher Natur seien. Aufgrund seiner Experimente und Überlegungen verneinte er die Frage.

Ein Magnet zieht, auch ohne daß man ihn vorher reibt, manche, doch nicht alle Stoffe an, z. B. Eisen, aber kein Holz. Bernstein zieht nur an, wenn man ihn vorher reibt. Aber er zieht Gegenstände aus beliebigem Stoff an, jedoch nur, wenn sie sehr leicht sind. Die Anziehungskraft von Magneten ist also stärker, doch auf wenige Stoffe beschränkt. Die Anziehungskraft geriebenen Bernsteins ist schwach, aber auf alle Stoffe wirksam. Folglich handelt es sich um verschiedenartige Kräfte.

Die erste Elektrisiermaschine

Die Bernsteinkraft nannte Gilbert elektrische Kraft, weil Bernstein in der Sprache der alten Griechen „elektron“ hieß. Welche Bedeutung diese heute als Elektrizität bezeichnete Naturerscheinung einmal erlangen sollte, ahnte Gilbert nicht.

Es vergingen an die siebzig Jahre, ohne daß man in der Erforschung der geheimnisvollen Elektrizität weiterkam. Aber einige Leute ahmten Gilberts Experimente nach. Einem Magdeburger Bürgermeister, der sich nebenbei mit Naturforschung beschäftigte und dem die Wissenschaft einige wichtige Erkenntnisse verdankt, Otto von Guericke, wurde das ständige Reiben von Körpern, denen man die elektrische Kraft entlocken wollte, lästig. Er ersann deshalb eine Maschine, mit der Stoffe auf bequemere Weise zu elektrisieren sind.

Er füllte eine hohle Glaskugel mit Schwefelpulver, schmolz das Pulver und ließ es erstarren. Dann zerschlug er die Glashülle, so daß nur die Schwefelkugel übrigblieb. In sie wurde ein Loch gebohrt und eine Achse hineingesteckt. Dann kam die Kugel in eine Vorrichtung, in der sie mittels Kurbelrad und Treibriemen schnell gedreht werden konnte. Wenn man einen Handschuh anzog und die Hand auf die rotierende Kugel legte, rieben sich der Stoff des Handschuhs und die Schwefelkugel schnell aneinander. Dabei wurden Kugel und Handschuh elektrisiert oder, wie wir heute sagen würden, elektrisch aufgeladen. Das war die erste Elektrisiermaschine in der Geschichte der Technik.

Guericke gelangen noch drei weitere Entdeckungen:

Körper können bereits dadurch aufgeladen werden, daß man sie in die Nähe der geladenen Schwefelkugel bringt. Ferner: Es gibt nicht nur eine elektrische Anziehungs-, sondern auch eine Abstoßungskraft. Schließlich beobachtete er, daß Elektrizität durch einen feuchten Faden fortgeleitet wird, nicht aber durch einen trockenen.

Plus und Minus

Wieder vergingen Jahrzehnte, bis dem Franzosen Dufay im ersten Viertel des 18. Jahrhunderts eine weitere Entdeckung gelang, nämlich, daß es offenbar zwei verschiedene Arten von Elektrizität gibt. Die eine entstand, wenn man Glas mit einem Wollappen reibt, die andere, wenn man Siegellack auf Katzenfell reibt. Er nannte die erste Glas-, die zweite Harzelektrizität. Später führte der Göttinger Professor Georg Christoph Lichtenberg dafür die Bezeichnung positive (+) und negative (-) Elektrizität ein. Die Glaselektrizität ist die positive, die des Harzes die negative.

Durch Reiben positiv aufgeladene Glasstäbe stoßen einander ab. Dagegen werden negativ geladene kleine Harzbröckchen von einem positiv geladenen Glasstab angezogen. Hier begegnen wir einem ersten Grundgesetz der Elektrizitätslehre: Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an. Guericke hatte über seine Beobachtungen auch dem Gelehrten Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646 bis 1716) berichtet, der in Berlin eine Akademie gründete, aus der die heutige Akademie der Wissenschaften der DDR

hervorgegangen ist. Er hatte von Guericke auch eine Schwefelkugel geschickt bekommen. Als Leibniz sie eines Abends drehte, sah er plötzlich Funken zwischen seiner Hand und der Kugel überspringen. Gleichzeitig hörte er ein feines Knistern. Vielleicht war Leibniz der erste, der in diesem Augenblick auf die Idee kam, die Funken und das Knistern könnten ein Gewitter im kleinen sein und dem Blitz und Donner entsprechen. Waren die Gewitterblitze also auch eine elektrische Erscheinung? Den Beweis, daß es sich tatsächlich so verhält, erbrachte 1752 der Amerikaner Benjamin Franklin.

Franklin zog den Blitz auf Flaschen

Er hatte beobachtet, daß elektrische Erscheinungen besonders leicht an Metallspitzen auftreten. Deshalb befestigte er einen geraden Metalldraht an einem Drachen. An das untere Ende der Drachenschnur band er einen großen Hausschlüssel und daran noch ein Seidenband. Es sollte verhindern, daß er durch die Berührung des Schlüssels einen elektrischen Schlag bekam. Als sich an einem Junitag 1752 ein schweres Gewitter über Philadelphia zusammenbraute, ließ er den Drachen steigen. Solange es nicht regnete, war nichts Auffälliges zu bemerken. Denn die trockene Drachenschnur leitete die Elektrizität nicht. Als sie aber vom Regen durchnäßt war, sprangen klatschende Funken über, wenn Franklin seine Hand dem Hausschlüssel näherte.

Benjamin Franklin beim Gewitterexperiment



Wie gefährlich das Experiment war, ahnte er nicht. Er hatte Glück, daß ihm dabei nichts passierte. Später baute er sich eine Vorrichtung, durch welche die Gewitterelektrizität ein kleines Glöckchen zum Anschlagen brachte. Schließlich erfand Franklin auch den Blitzableiter. Er versuchte ferner, die Gewitterelektrizität in einer Art von Flaschen einzufangen, die inzwischen andere Naturforscher erfunden hatten. Das waren Vorrichtungen, in denen man elektrische Ladung speichern kann. Die Leute sagten: „Franklin zieht den Blitz auf Flaschen.“

In der heutigen Fachsprache heißt ein elektrischer Ladungsspeicher Kondensator. Er ist nicht zu verwechseln mit einer Batterie, wie wir sie für Taschenlampen und Transistorradios benutzen. In der Batterie wird elektrische Energie erzeugt, in einem Kondensator nicht. Er kann elektrische Energie nur speichern, aber nicht erzeugen. Sie muß ihm also von außen zugeführt werden.

Die ersten Kondensatoren wurden 1745 von E. von Kleist und unabhängig davon ein Jahr später von den Professoren Cunaeus und Musschenbroek an der Universität der niederländischen Stadt Leiden erfunden. Deshalb nannte man sie Leidener Flaschen. Es war eine Zufallsentdeckung. Als Cunaeus versuchte, Wasser in einem Glasgefäß zu elektrisieren, und dabei einen Metallstab ins Wasser hielt, bekam er einen so starken elektrischen Schlag, daß er mit schmerzverzogenem Gesicht im Labor umhergehüpft sein soll.

In Kondensatoren können so große elektrische Ladungen gespeichert werden, daß die Berührung lebens-

gefährlich ist. Auch in jedem Rundfunk- und Fernsehgerät befinden sich Kondensatoren. In ihnen ist selbst dann noch Ladung gespeichert, wenn das Gerät längst ausgeschaltet und der Netzstecker abgezogen ist. Der Fachmann, der solche Geräte repariert, begnügt sich deshalb nicht damit, den Netzstecker zu ziehen, sondern er entlädt die Kondensatoren und prüft mit einem Meßgerät, ob alle entladen sind, bevor er mit den eigentlichen Reparaturarbeiten beginnt.

Ein Kondensator besteht aus zwei einander gegenüberstehenden elektrisch leitfähigen Metallschichten, zwischen denen sich ein elektrisch nicht leitfähiger, also isolierender Stoff befindet. Beim Kondensator nennt man ihn Dielektrikum. Auch Luft kann als Dielektrikum dienen.

Eine einfache Ausführung der Leidener Flasche ist deshalb beispielsweise ein Glasgefäß, das innen und außen bis zu einer gewissen Höhe mit einer papierdünnen Metallfolie beklebt ist. Zwischen den beiden Metallfolien befindet sich als Dielektrikum das Glas. In das Innere der Flasche ragt ein Metallstab, der mittels zweier kreuzweise angeordneter Drähte auf der inneren Staniolfolie steht und oben in einer Metallkugel endet. Die mit der Elektrisiermaschine erzeugte Elektrizität wird über die Kugel dem Kondensator zugeleitet.

Bisher war alle Elektrizität durch Reiben geeigneter Stoffe erzeugt worden, war Reibungselektrizität. In der heutigen Fachsprache nennen wir sie statische Elektrizität. Viele merkwürdige Erscheinungen, die wir alltäglich beobachten können, beruhen auf der statischen Elektrizität, z. B. das Knistern beim An- und Ausziehen von

Wäschestücken aus Dederon oder anderen Synthesefasern.

Die Elektrizität entsteht bei der Bewegung der Wäsche über unsere Haut oder über die Unterkleidung. Das Knistern ist die hörbare Begleiterscheinung winziger Entladungsfunken, die aber so lichtschwach sind, daß man sie höchstens nach längerer Gewöhnung des Auges an völlige Dunkelheit sehen kann. Wenn wir trockene Haare mit einem Kamm aus Plastwerkstoff kämmen, zieht er einzelne Haare und kleine Papierstückchen an. Wenn wir eine Postkarte in die Ofenröhre legen, so daß die im Papier stets enthaltene Feuchtigkeit verdunstet, und sie dann kräftig bürsten, wird sie ebenfalls elektrostatisch aufgeladen und zieht kleine Papierschnitzel an. Gewöhnen wir unsere Augen einige Zeit an völlige Dunkelheit, so können wir eventuell sogar kleine Funken überspringen sehen, wenn wir den Finger der Postkarte nähern. Die statische Elektrizität ermöglichte viele interessante Experimente, aber um mit ihr Maschinen anzutreiben, dafür war sie zu schwach. Daran änderte auch die Leidener Flasche nichts. Denn die darin gespeicherte Ladung entlädt sich schlagartig, liefert aber nicht wie z. B. eine Batterie einen lang andauernden kontinuierlichen Fluß elektrischer Energie.

Elektrizität aus Froschschenkeln

Die Erfindung der ersten, längere Zeit gleichmäßig elektrische Energie liefernden Vorrichtung hat eine merkwürdige Vorgeschichte, die mit vielen Irrtümern begann.

Luigi Galvani, ein italienischer Medizinprofessor der Universität Bologna, glaubte, daß in allen Lebewesen eine geheimnisvolle „Lebenskraft“ stecke. Um sie näher zu untersuchen, sezerte er viele tote Tiere, insbesondere Frösche.

Die Froschschenkel hängte er reihenweise mittels kleiner Kupferhaken auf eine Wäscheleine. Als sein Gehilfe in der Nähe eine Elektrisiermaschine drehte, begannen die Froschschenkel zu zucken. Dasselbe konnte er auch bei Gewitter beobachten. Aber ganz verwirrend wurde die Sache, als er feststellte, daß die Froschschenkel auch ohne Elektrisiermaschine und Gewitter zuckten, wenn sie durch den Wind gegen das Eisengitter stießen. Von jetzt an glaubte er, daß in Froschschenkeln eine „tierische Elektrizität“ stecke.

Die wirkliche Ursache der Zuckungen erkannte erst sein Landsmann Alessandro Volta, dem zu Ehren die Maßeinheit der elektrischen Spannung mit Volt bezeichnet wird. Die Schenkel hingen oben in einem Haken aus Kupfer, unten stießen sie gegen Eisen. Sie überbrückten somit zwei verschiedene Metalle. Volta schlußfolgerte daraus: Wenn sich zwischen zwei unterschiedlichen Metallen eine geeignete Substanz befindet, wie z. B. das Muskelgewebe der Froschschenkel, dann entsteht ebenfalls elektrische Energie. Sie löst eine Muskelzuckung aus. Das Zucken zeigt die elektrische Energie nur an, ist eine Reaktion darauf, aber es ist nicht die elektrische Erscheinung selbst.

Wie Volta bald feststellte, braucht man, um in dieser Weise Elektroenergie zu erzeugen, nicht unbedingt Kupfer, Eisen und Froschschenkel. Er baute die erste

elektrische Batterie, die Voltasche Säule. Sie ist die Urform der Batterien, mit denen wir Taschenlampen und Transistorradios betreiben. In der Voltaschen Säule waren abwechselnd Zink- und Kupferplättchen übereinander gestapelt. Zwischen allen Metallplättchen befand sich nochmals je ein feuchtes Tuchläppchen. Das Kupferplättchen am oberen Ende der Säule und das Zinkplättchen am unteren Ende wurden mit einem Draht verbunden. Schließt man an die beiden Drähte irgendein Elektroenergie verbrauchendes Gerät an, so fließt elektrischer Strom. Zu Ehren Galvanis nennt man Spannungsquellen dieser Art auch galvanische Elemente.

Was für Batterien gibt es?

Heute sind hauptsächlich folgende Arten von Batterien gebräuchlich:

3 R 12,

Flachbatterie genannt. Sie enthält nebeneinander drei zusammengeschlossene galvanische Elemente von je 1,5 Volt und gibt deshalb 4,5 Volt Spannung ab. Das kurze Kupferblech ist der Plus-, das lange der Minuspol. Zylindrische Form haben folgende Batterietypen:

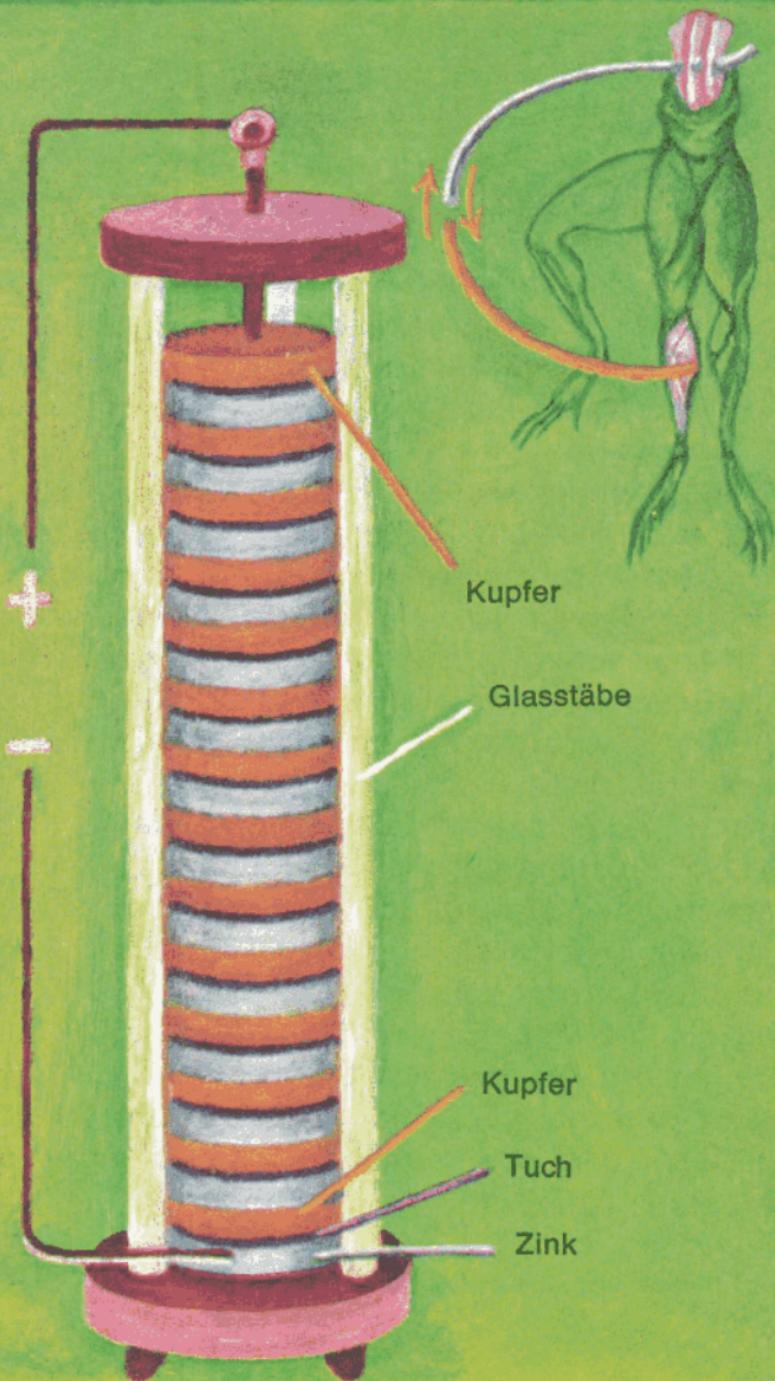
R 20,

auch Monozellen genannt, Spannung 1,5 Volt

R 14,

auch Babyzellen genannt, kleiner als Monozellen, Spannung 1,5 Volt

Voltasäule, die erste Batterie



R 6,

auch Gnomzellen genannt, noch kleiner als Babyzellen,
Spannung 1,5 Volt

2 R 10,

auch Stabbatterien genannt, länger, aber wesentlich schmäler als Monozellen. Sie enthalten übereinander zwei zusammengeschlossene galvanische Elemente von je 1,5 Volt und geben deshalb 3 Volt ab.

Bei allen zylindrischen Batterien ist der kleine Stift, der aus dem oberen Ende des Bechers ragt, der Pluspol, der Boden des Bechers der Minuspol.

Knopfzellen haben etwa die Größe und Form eines Hosenknopfes und dienen als Spannungsquelle für Armbanduhren mit elektrischem Werk, kleine Wecker mit elektrischem Summer und für besonders hochwertige Arten von fotografischen Belichtungsmessern.

Alle Batterien entladen sich allmählich. Die abgegebene Spannung wird dadurch immer geringer. Wir erkennen das daran, daß z. B. das Licht der Taschenlampe schwächer wird oder bei batteriegespeisten Radios der Klang verzerrt ist. Dann sollte man die Batterien unbedingt aus dem Radio entfernen, auch wenn man noch keine neuen hat. Denn jetzt besteht erhöhte Gefahr, daß der Zinkbecher an einer Stelle ein kleines Loch bekommt und eine in der Batterie enthaltene Flüssigkeit, die man Elektrolyt nennt, ausläuft. Sie frißt nicht nur Löcher in den Zinkbecher der Batterie, sondern kann auch Bauelemente des Radiogeräts so beschädigen, daß eine Reparatur nötig wird.

Die gebräuchlichsten Batterien



Klingt der Ton eines Radios schon nach kurzem Gebrauch der Batterien verzerrt, dann ist wahrscheinlich eine der Batterien ausgelaufen. Dadurch sinkt die Spannung sofort stark ab. Die Batterie muß dann ebenfalls entfernt werden. Von Monozellen gibt es eine relativ lecksichere Ausführung (Aufdruck englisch „Leakproof“), bei der ein Auslaufen sehr unwahrscheinlich, aber auch nicht völlig ausgeschlossen ist.

Ein Akkumulator, wie er zum Beispiel im Auto verwendet wird, läßt sich nach der Entladung wieder neu aufladen. Dabei wird ihm elektrische Energie zugeführt und in chemische Energie umgewandelt. Beim Gebrauch des Akkus findet umgekehrt wieder eine Wandlung der chemischen in elektrische Energie statt. Dieses Verwandlungsspiel läßt sich viele Male wiederholen. Nach etwa zwei Jahren sind einige im Akku enthaltene Stoffe allerdings so verändert, daß er sich nicht mehr hinreichend stark aufladen läßt.

Batteriestrom 1000mal teurer

Mit Batterien und Akkumulatoren – beide Arten nennt man zusammenfassend elektrochemische Spannungsquellen – sind kleinere Radios, Taschenlampenbirnen, Autoscheinwerfer und sogar kleinere Elektromotoren zu betreiben. Aber die großen Mengen Elektroenergie, die heute in Haushalten und Fabriken verbraucht werden, mit Batterien und Akkumulatoren zu erzeugen, wäre nicht möglich.

Durch die vielen kleinen Transistorradios und sonstigen

von der Steckdose unabhängigen elektrischen Geräte sind Batterien heute zwar wieder sehr gebräuchlich geworden, aber nur für Zwecke, für die geringe elektrische Leistungen genügen. Für große Leistungen wäre Strom aus Batterien zu teuer. So bezahlen wir z. B. den aus Monozellen entnommenen Betriebsstrom für ein Transistorradio 1000- bis 2000mal teurer, als die gleiche Menge Elektroenergie aus der Steckdose kostet! Das ist nur sinnvoll bei geringen Leistungen und wenn es darauf ankommt, ein elektrisches Gerät betreiben zu können, ohne an einer Netzsteckdose zu „hängen“. Für die Erzeugung großer Mengen elektrischer Energie bedurfte es weiterer neuer Entdeckungen.

Die Kompaßnadel zuckte

Es war im Jahr 1819, als Hans Christian Oerstedt, Physikprofessor in Kopenhagen, eine weitere wichtige Entdeckung gelang. Er führte seinen Studenten die Wirkung des elektrischen Stroms auf einen dünnen Platindraht vor. Wenn man ihn an die Voltasche Säule anschloß, begann er zu glühen. Zufällig lag in der Nähe ein Kompaß, und ebenso zufällig fiel Oerstedts Blick auf die Magnetnadel. Dabei fiel ihm auf, daß sie jedesmal etwas zuckte, wenn der Strom eingeschaltet wurde. Wirkte der stromdurchflossene Draht wie ein Magnet und war er imstande, die Magnetnadel etwas abzulenken? Oerstedt untersuchte die Erscheinung weiter und entdeckte den Elektromagnetismus. Normale Magnete, wie wir sie z. B. in Hufeisenform und von verschiedenen

Spielzeugen her kennen, sind auch ohne Einwirkung elektrischen Stroms magnetisch, Elektromagnete dagegen nur, solange der Strom eingeschaltet ist.

Jeder Magnet hat zwei Pole, die man Nord- und Südpol nennt. Die Nord- und die Südpole zweier Magnete stoßen sich gegenseitig ab. Der Nordpol des einen und der Südpol eines anderen Magneten ziehen sich dagegen an.

Den Raum, in dem solche Wirkungen vorhanden sind, nennt man magnetisches Feld. Das Magnetfeld veranschaulichen wir uns durch magnetische Kraftlinien. Sie verlaufen von dem einen Pol des Magneten durch die Luft oder einen anderen den Magneten umgebenden Stoff zum anderen Magnetpol. Auch im Innern des Magneten kann man sie sich von Pol zu Pol fortgeführt denken.

Um jeden stromdurchflossenen Draht entsteht ein Magnetfeld. Bei einem gerade verlaufenden Draht ist es nur schwach. Es wird stärker, wenn man den Draht zu vielen Windungen, zu einer Spule aufwickelt. Je mehr Windungen und je stärker der durchfließende Strom, desto stärker das elektromagnetische Feld. Noch wesentlich kräftiger wird es, wenn in der Spule ein Stab, man sagt: ein Kern, aus Weicheisen steckt. (Weicheisen ist Eisen, in dem fast kein Magnetismus zurückbleibt.) Schon eine einfache Spule aus isoliertem Draht, deren Enden an die Pole einer Flachbatterie angeschlossen werden, erzeugt ein Magnetfeld, das stark genug ist, um die Magnetnadel eines Kompasses abzulenken. Hat sich die Magnetnadel so ausgerichtet, daß z. B. ihr Südpol zum Nordpol des Magnetfeldes der Spule zeigt, und

man vertauscht schnell die beiden Anschlüsse der Spule an der Flachbatterie, so dreht sich die Magnetnadel weiter. Denn infolge des Vertauschens der Anschlüsse am Plus- und Minuspol der Batterie fließt jetzt der Strom in umgekehrter Richtung durch die Spule. Dabei kehrt sich auch die Richtung des Magnetfeldes um.

Wo vordem der Nordpol war, ist jetzt der Südpol. Folglich muß die Magnetnadel eine halbe Umdrehung ausführen, damit ihr Südpol wieder auf den Nordpol des Elektromagneten zeigt. Bei schnell abwechselndem Umpolen kann man so durch viele aufeinanderfolgende halbe Drehungen die Magnetnadel in ständiger Umdrehung halten. Das ist das einfachste Modell eines Elektromotors, der elektrische Energie in mechanische Energie, in Drehbewegung umwandelt.

So funktioniert ein Elektromotor

Im Prinzip ist ein Elektromotor wie folgt aufgebaut: Zwischen den zwei Polen eines ruhenden Magneten oder Elektromagneten, den man den Ständer des Motors nennt, ist drehbar ein sogenannter Läufer angeordnet. Er ist ebenfalls ein Elektromagnet und besteht aus einem Eisenkern, auf den eine oder mehrere Drahtspulen gewickelt sind. Wenn durch die Läuferspulen elektrischer Strom fließt, dreht sich der Läufer so lange, bis sein Nordpol dem Südpol des ruhenden Magneten gegenübersteht. In diesem Augenblick wird der Läuferstrom umgeschaltet. Dadurch kehrt sich auch das Magnetfeld des Läufers um. Der Pol, der soeben noch

Nordpol war, ist jetzt Südpol. Um sich dem Nordpol des ruhenden Magneten gegenüberzustellen, muß der Läufer eine halbe Umdrehung ausführen. Das wiederholt sich in ständigem Wechsel, und so ergibt sich eine ständige Rotation des Läufers.

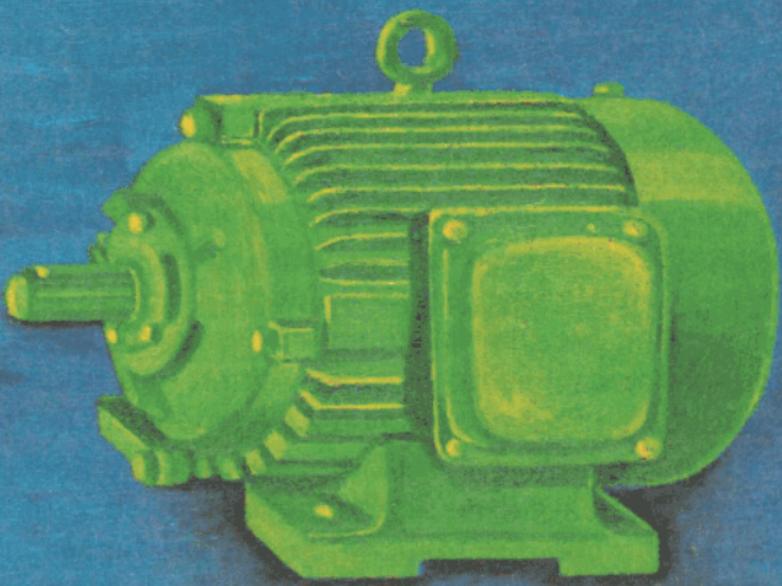
Einen solchen Elektromotor benutzte schon 1838 Moritz Hermann von Jacobi in Petersburg, dem heutigen Lenin-grad, zum Antrieb der Schiffsschraube eines Bootes. Es war der erste elektrische Antrieb eines Verkehrsmittels in der Geschichte der Technik. Er hatte freilich nur die Bedeutung eines Versuchs. Denn solange man den elektrischen Strom zum Betrieb des Motors aus Batterien entnehmen mußte, war das eine sehr teure Angelegenheit, und weit konnte man mit der elektrischen Energie eines Batteriesatzes nicht fahren.

Wie man durch Magnete Strom erzeugt

Wenn man durch elektrischen Strom Magnetismus erzeugen kann, sollte dann vielleicht nicht auch das Umkehrte möglich sein, also durch Magnetismus Elektrizität zu erzeugen? Eine Anekdote erzählt, daß Michael Faraday jahrelang ein Stückchen Kupferdraht und einen Magneten bei sich getragen habe. Sie sollten ihn ständig daran erinnern, daß er die Lösung des Problems suchen wollte, wie man Oerstedts Entdeckung umkehren und durch Magnetismus Elektrizität erzeugen kann.

Etwa zehn Jahre überlegte und experimentierte er ohne

Elektromotor – Vereinfachtes Schema



Erfolg. Er konnte noch so starke Magnete in eine Spule hineinbringen, in der Spule floß dabei kein Strom. Schließlich entdeckte er aber, daß der Zeiger eines neu entwickelten, empfindlicheren Meßinstrumentes jedesmal in dem Moment ausschlug, in dem er einen Stabmagneten in die Spule schob. Bewegte er den Magneten nicht mehr, so hörte auch der Stromfluß auf. Ein ruhender Magnet in einer Spule erzeugte also keine elektrische Spannung. Wurde der Magnet jedoch in der Spule schnell hin und her bewegt, dann schlug der Zeiger des Instruments abwechselnd nach der einen und anderen Seite aus. Damit hatte Faraday die sogenannte elektromagnetische Induktion entdeckt.

Die erzeugte elektrische Spannung ist um so größer, je mehr Windungen die Spule hat, je stärker der Magnet ist und je schneller er in der Spule bewegt wird. Am besten eignet sich ein Elektromagnet, weil man mit ihm stärkere Magnetfelder erzeugen kann, als sie ein Dauermagnet hat. Statt des Magneten können wir auch die Spule bewegen. Es kommt nur auf die Bewegung beider zueinander an. Denn die elektrische Induktionsspannung beruht darauf, daß sich die Zahl der magnetischen Kraftlinien, die von der Spule umschlossen werden, verändert.

Wir nennen eine solche Vorrichtung zum Erzeugen elektrischer Spannungen Generator. Er ist gewissermaßen das Gegenstück des Elektromotors. Im Generator bewegen sich Drahtwicklungen eines Läufers in einem Magnetfeld, wobei durch elektromagnetische Induktion in den Wicklungen elektrische Spannung erzeugt wird.

Damit waren jetzt drei mögliche Verfahren zur Erzeugung elektrischer Spannung bekannt: 1. das Reiben von Glas- und Harzstäben usw., 2. die galvanischen Elemente, 3. der Generator. Der weitaus überwiegende Teil der heute genutzten Elektroenergie wird mit Generatoren erzeugt. Bevor es dazu kommen konnte, mußte jedoch erst eine wesentliche Verbesserung des Generators erfunden werden. Das gelang 1866 Werner von Siemens. Er nannte seinen verbesserten Generator **Dynamomaschine**.

Die Dynamomaschine

Vor dieser Erfindung mußte man die elektrische Energie für den Elektromagneten des Generators aus Batterien oder Akkumulatoren entnehmen. Das war keine gute Lösung. Denn abgesehen davon, daß Batteriestrom sehr teuer ist und sich Batterien schnell entladen, konnte man damit auch keine starken Magnetfelder erzeugen. Da aber die Induktionsspannung u. a. von der Stärke des Magnetfeldes abhängig ist, in dem sich die Läuferwicklungen des Generators bewegen, war die Leistung der Generatoren schon durch diesen Umstand begrenzt.

Bei der Dynamomaschine wird die elektrische Energie für die Wicklungen des Elektromagneten ohne Batterien von der Maschine selbst erzeugt. Das ist möglich, weil die Weicheisenkerne eines Elektromagneten nach dem Abschalten des Stroms nicht wieder ganz unmagnetisch werden, sondern einen geringen Restmagnetismus behalten. Der Läufer dreht sich zunächst nur in diesem

sehr schwachen Magnetfeld, und in seinen Wicklungen entsteht daher nur eine geringe Spannung.

Führt man diese Spannung den Wicklungen des Elektromagneten zu, so verstärkt sich dessen Magnetfeld etwas, und dementsprechend steigt auch die Spannung in den Läuferwicklungen an. Fließt der dadurch erhöhte Strom wieder in die Wicklungen des Elektromagneten, so verstärkt sich das Magnetfeld abermals, und mit ihm erhöht sich erneut die Spannung in den Läuferwicklungen. So steigern sich Magnetfeld und Läuferspannung beim Anlaufen der Dynamomaschine gegenseitig, bis in den Läuferwicklungen so viel elektrische Energie erzeugt wird, daß man zur Speisung des Elektromagneten nur noch einen geringen Teil davon verbraucht und den weitaus größeren Teil für technische Zwecke nutzen kann.

Entscheidend für den Siegeszug der Elektroenergie in der Technik waren zwei Umstände: die vielseitige Verwendbarkeit der Elektroenergie und die Möglichkeit, sie durch Kabel über große Entfernungen zu transportieren, in jedes Haus, in jede Werkstatt und Fabrik. Dampf kann man nicht 50 oder gar 100 km weit unter ausreichendem Druck transportieren, Elektroenergie dagegen über Tausende von Kilometern. Außerdem läßt sich Elektroenergie in alle anderen gewünschten Energieformen umwandeln. Der Elektromotor verwandelt sie in mechanische Energie zum Antrieb von Maschinen. Glühlampen und Leuchtstofflampen verwandeln sie in Licht, Elektroöfen und Infrarotstrahler in Wärme.

Die Funkenkutsche

Die Möglichkeiten des Transports von Elektroenergie durch Kabel mußten allerdings erst allmählich entwickelt werden. Anfangs war die Fortleitung über Tausende von Kilometern noch nicht möglich. Es war deshalb eine Sensation, als Oskar von Miller 1882 auf der Internationalen Elektrizitätsausstellung in München zum ersten Mal eine Wasserpumpe mit elektrischer Energie betrieb, die ein Generator erzeugte, der 57 km entfernt in Miesbach stand. Die elektrische Energie wurde von dort über Telegrafendrähte bis nach München geleitet. Die Energieübertragung erfolgte nach Ideen des Franzosen Deprez.

Marx und Engels, die damals in London lebten, erkannten sofort die große Bedeutung des Elektroenergietransports für den technischen und industriellen Fortschritt. Engels schrieb an Marx: „Das Ding macht auf einmal die ganze kolossale, bisher brachliegende Masse von Wasserkräften nutzbar.“ Denn jetzt war abzusehen, daß man Generatoren nicht nur mittels Dampfmaschinen, sondern auch durch die Bewegungsenergie strömenden Wassers antreiben konnte.

Auf der Ausstellung in München waren, wie schon ein Jahr zuvor in Paris, viele durch die Elektrizität ermöglichte „Wunderdinge“ zu sehen, die uns heute längst Selbstverständlichkeiten sind. So standen in Paris Hunderte von Menschen Schlange an einem ganz gewöhnlichen Lichtschalter, mit dem sie selbst eine elektrische Glühlampe des amerikanischen Erfinders Thomas Alva Edison ein- und ausschalten durften. So bequem hatte

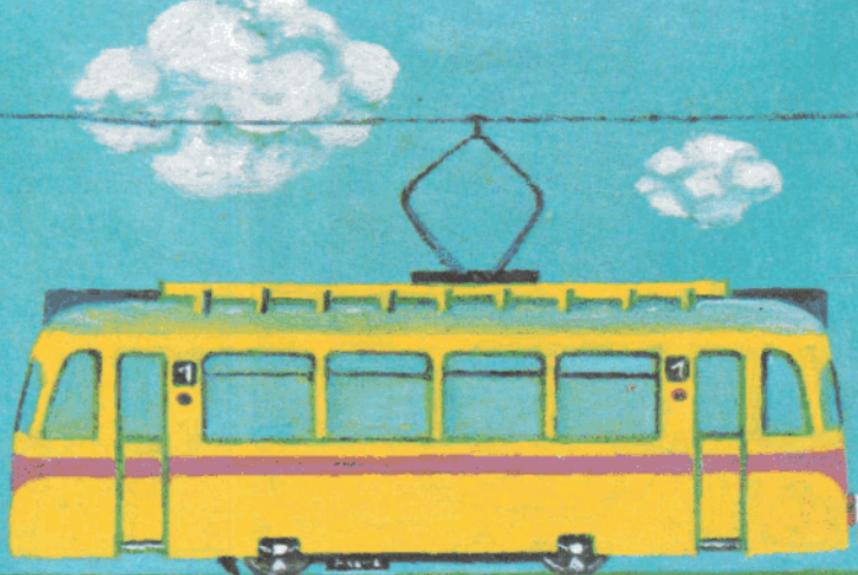
man noch nie Licht erzeugen und wieder löschen können – nur durch eine einfache Drehung am Schalter! Im gleichen Jahr 1881 fuhr in Berlin die erste elektrische Straßenbahn der Welt. Die Spannung wurde noch nicht durch einen Oberleitungsdraht, sondern unterirdisch zugeführt. Sie befuhrt eine 2,5 km lange Strecke, erreichte eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h und bot 25 Personen Platz. Die Berliner nannten sie die Funkenkutsche.

Die „Pfennige“ der Elektrizität

Jetzt kennen wir schon einige Wirkungen der Elektrizität und drei verschiedene Verfahren, sie zu erzeugen. Aber was ist eigentlich Elektrizität? – Bei Beantwortung dieser Frage müssen wir bis zu sehr kleinen Teilchen der Materie vordringen. So wie ein Sandhaufen aus ungezählten einzelnen Körnchen besteht, so sind alle Stoffe, gleichgültig ob feste Körper, Flüssigkeiten oder Gase, aus unvorstellbar vielen winzigen Teilchen zusammengesetzt. Man nennt sie Atome. Sie sind so winzig, daß man sie auch unter dem Mikroskop nicht sehen kann. Ihre Größe mißt nach zehnmillionstel Millimetern. Das aus der altgriechischen Sprache entlehnte Wort Atom bedeutet eigentlich soviel wie „das Unteilbare“. In Wirklichkeit ist aber auch das Atom aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt.

In der Mitte des Atoms befindet sich der Atomkern. Um ihn bewegen sich in weiten Abständen wie Planeten um

Elektrische Straßenbahn, 1881 und heute

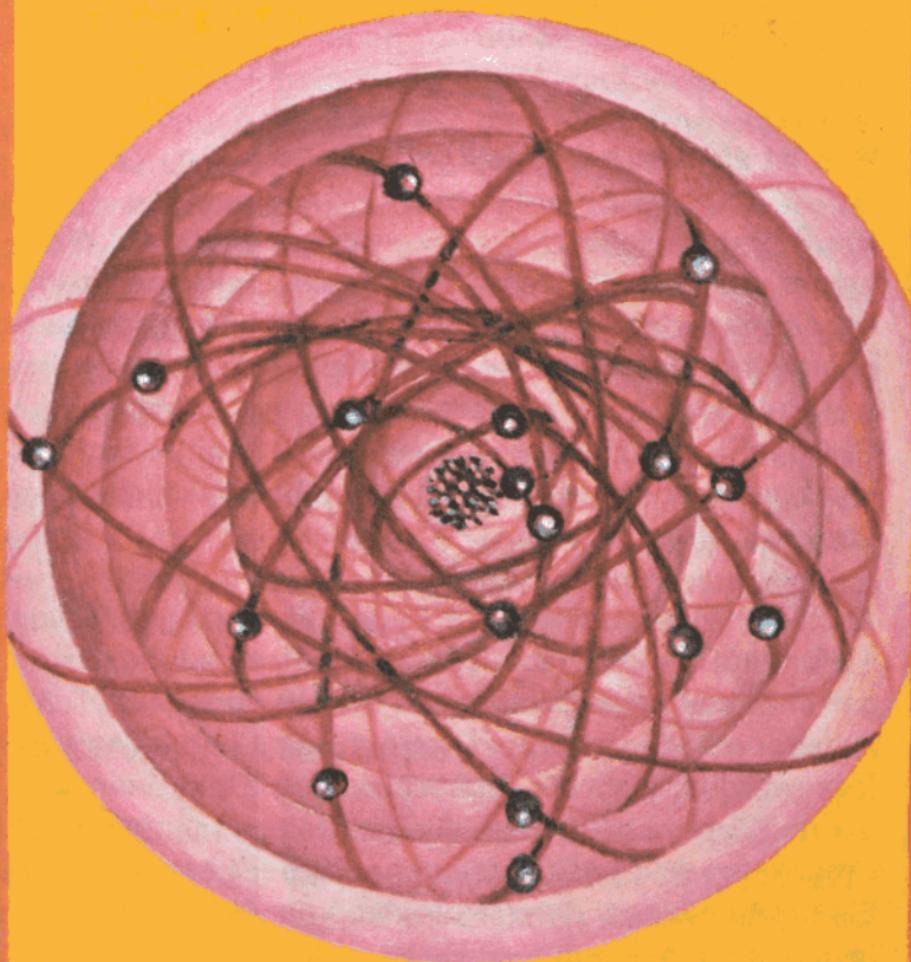


die Sonne Teilchen, die man Elektronen nennt. Alle Elektronen, die sich um einen Kern bewegen, bezeichnet man zusammengenommen als Atomhülle. Jedes Elektron trägt eine negative elektrische Elementarladung. Die Elementarladung ist die kleinstmögliche Menge elektrischer Ladung, die es überhaupt gibt, so wie der Pfennig die kleinstmögliche Menge unseres Geldes ist. Noch kleinere Geldstücke gibt es nicht und auch nicht noch kleinere Ladungen.

Im Atomkern befinden sich ebenfalls elektrische Ladungsträger. Ihre Ladung ist positiv. Jedes Atom hat nun ebenso viele Elektronen, also negative Elementarladungen, in seiner Hülle wie positive Elementarladungen in seinem Kern. Dadurch ist die negative Ladung der Hülle insgesamt ebensogroß wie die positive Ladung des Kerns. Negative und positive Ladung heben sich gegenseitig zu Null auf. So kann das Atom zwar viele Ladungen in sich tragen, aber es erscheint trotzdem nach außen hin ungeladen. Man sagt: Es ist elektrisch neutral.

Werden jedoch ein oder mehrere Elektronen aus der Atomhülle abgestreift oder ihr zusätzlich angelagert, dann heben sich die negativen und positiven Ladungen innerhalb des Atoms nicht mehr gegenseitig auf, sondern es verbleibt ein positiver oder negativer Ladungsüberschuß. Jetzt tritt es auch nach außen hin als ein geladenes Teilchen in Erscheinung. Man nennt ein solches Teilchen Ion. Das bedeutet eigentlich soviel wie „das Wandernde“.

Atommodell mit Kern und Elektronen



Durch Abtrennung von Elektronen aus Atomhüllen oder durch Anlagerung zusätzlicher Elektronen können wir also an einer Stelle Elektronenmangel, an anderer Stelle Elektronenüberschuß herbeiführen. Alle positiven elektrischen Ladungen beruhen auf einem Elektronenmangel, alle negativen Ladungen auf Elektronenüberschuß. Die Stelle, an der Elektronenmangel herrscht, nennt man den elektrischen Pluspol, die Stelle mit Elektronenüberschuß den Minuspol.

Was ist elektrischer Strom?

Die Reibungselektrizität können wir so erklären: Wenn man z. B. einen Glasstab mit einem Wollappen reibt, werden aus einer großen Zahl von Atomhüllen der Glasoberfläche Elektronen gewissermaßen abgewischt. Sie treten in den Lappen über. Dadurch entsteht an der Glasoberfläche Elektronenmangel, also positive Ladung, im Lappen dagegen ein Elektronenüberschuß, negative Ladung.

Auch bei allen anderen Verfahren der Erzeugung von Elektrizität werden negative und positive Ladungsträger getrennt und an verschiedenen Stellen angehäuft. Doch ist jeder geladene Körper bestrebt, seine Ladung wieder loszuwerden, also die überschüssigen Elektronen wieder an Körper abzugeben, die Elektronenmangel haben. Umgekehrt sind positiv geladene Körper bestrebt, ihren Elektronenmangel durch Aufnahme der fehlenden Elektronen zu beseitigen.

Dieses Bestreben nach einem Ausgleich der Ladungen nennen wir elektrische Spannung. Zwischen jeder positiven und negativen Ladung, zwischen jedem Plus- und Minuspol besteht eine solche Spannung. Sie gleicht sich durch Übergang elektrischer Ladungsträger aus, wenn sie die Möglichkeit dazu hat.

In den weitaus meisten Fällen technisch genutzter Elektroenergie erfolgt dieser Ladungsausgleich dadurch, daß sich Elektronen von der Stelle mit Elektronenüberschuß in Richtung zu der Stelle mit Elektronenmangel in Bewegung setzen. Diese gerichtete Bewegung von Elektronen ist der elektrische Strom.

Elektronen können sich aber nicht durch alle Stoffe gleich gut bewegen. Wir wissen, daß z. B. Kupfer, Aluminium und andere Metalle Elektrizität leiten. Holz, Glas, Porzellan, Gummi und Plaste leiten sie jedoch nicht. Wir unterscheiden deshalb Leiter und Nichtleiter. Die Nichtleiter heißen auch Isolatoren. Ein Klingeldraht hat eine „Seele“ aus Kupfer oder Aluminium als Leiter. Sie ist umhüllt mit einem Isolator. Wichtig ist die Isolation besonders auch bei den elektrischen Leitungen unseres Haushaltnetzes, damit wir keinen elektrischen Schlag bekommen, wenn wir die Leitung berühren.

Wir schlüpfen in einen Draht

Was geschieht nun, wenn elektrischer Strom fließt? Um das zu erfahren, wollen wir uns einmal in Gedanken ebenso klein machen wie ein Elektron und in den Leiter eines Kabels schlüpfen. Wenn uns diese märchenhafte

Verkleinerung gelänge, würden wir zunächst eine höchst überraschende Feststellung treffen. Das Metall des Leiters ist gar nicht so undurchdringlich, wie es uns mit bloßem Auge und auch unter dem Mikroskop betrachtet erscheint. Das Metall ist ähnlich wie ein Gitter aus Atomen aufgebaut. Aber zwischen den Atomen kann man noch gut hindurchschlüpfen und im Draht spazieren gehen. Ja, wir fänden im Innern des Metalldrahtes viele weitere Elektronen, die nicht fest an Atomen haften, sondern frei umherlaufen. Schon in einem ganz kurzen Stückchen Draht gehen weit mehr Elektronen „spazieren“, als es Menschen auf der ganzen Erde gibt. Aber diese Elektronen laufen nicht in eine Richtung, sondern tollen herum, bald in diese, bald in jene Richtung. Es ist ein unvorstellbares Durcheinander. Doch in dem Moment, in dem das eine Ende des Leiters an den Pluspol und das andere Ende an den Minuspol einer elektrischen Spannungsquelle angeschlossen werden, ändert sich schlagartig das Bild. Wie auf Kommando bewegen sich plötzlich alle Elektronen in Richtung auf das Ende des Leiters zu, das an den Pluspol angeschlossen ist.

Blitzschnell und doch Schnekkentempo

Dieser Zustand der Bewegung in nur noch gleicher Richtung breitet sich mit der unvorstellbaren Geschwindigkeit von etwa 300 000 km je Sekunde über die Länge des Leiters aus. 300 000 km – das ist fast so weit wie von der Erde zum Mond. Er ist rund 384 000 km entfernt. Stellen wir uns vor, es gäbe eine Leitung von der Erde

zum Mond, so würden die Elektronen also schon $1\frac{1}{3}$ Sekunde, nachdem auf der Erde der Schalter betätigt wurde, an dem auf dem Mond befindlichen Ende des Kabels in die gleichgerichtete Bewegung geraten.

Aber bewegen sich auch die Elektronen selbst so schnell durch den Leiter? Das ist nicht der Fall. Im Gegenteil: Für menschliche Begriffe kriechen sie äußerst langsam durch den Draht. Beispielsweise bewegen sich die Elektronen in einem Kupferleiter von einem Quadratmillimeter Querschnitt und bei einer Stromstärke von 1 Ampere mit einer Geschwindigkeit von nur 0,0074 cm je Sekunde.

Das ist Schneckentempo, wenn wir unsere menschlichen Maßstäbe anlegen. Wenn wir die Geschwindigkeit jedoch in ein Verhältnis zur Größe der Elektronen setzen, ist es ein rasendes Tempo. Sofern es überhaupt erlaubt ist, sich Elektronen als kleine Kugelchen vorzustellen, könnte man ihren Durchmesser mit etwa 6 billionstel Millimeter (genau $5,62 \cdot 10^{-12}$ mm) berechnen.

Folglich legt das Elektron in einer Sekunde immerhin das rund Zehnmilliardenfache seines Durchmessers zurück. Wollten wir Menschen uns mit dem Zehnmilliardenfachen unserer Körperlänge bewegen, so ergäbe das eine Geschwindigkeit von 10 000 000 000 mal etwa 1,60 m, also 16 000 000 km/s.

Auch die Zahl der Elektronen, die sich beim Fließen elektrischen Stroms durch den Leiter bewegen, ist märchenhaft groß. So bewegen sich z. B. bei einer Stromstärke von 1 Ampere innerhalb einer einzigen Sekunde $6\,410\,000\,000\,000\,000$ Elektronen oder $6,41 \cdot 10^{18}$ Elektronen

in gleicher Richtung durch jeden beliebigen Querschnitt des Leiters.

Würde man diese Anzahl von Elektronen gleichmäßig auf die rund 3 Milliarden Menschen verteilen, die unseren Erdball gegenwärtig bewohnen, so bekäme jeder einzelne Mensch noch ein „Päckchen“ mit 2 Milliarden Elektronen. Wollte er sie einzeln nachzählen mit einer Zählgeschwindigkeit von 1 Elektron je Sekunde, so brauchte er bei täglich 8 Stunden Zählarbeit dafür rund 200 Jahre.

Wann brennt die Sicherung durch?

Die Stromstärke, die beim Einschalten eines elektrischen Verbrauchers durch die Leitung fließt, kann man errechnen, wenn die Spannung und die Leistungsaufnahme des Verbrauchers bekannt sind. Als Verbraucher wird in der Fachsprache der Elektrotechnik jeder Gegenstand bezeichnet, der elektrische Energie aufnimmt, gleichgültig, ob es sich um eine Glühlampe, ein Radio, eine Waschmaschine oder was sonst handelt.

Die Einheit der elektrischen Spannung heißt Volt (V), die der elektrischen Leistung Watt (W) oder auch Voltampere (VA). Die Einheit der Stromstärke heißt Ampere (A). Sie ist zu Ehren des französischen Wissenschaftlers André Ampère benannt. Zwischen diesen Kenngrößen der Elektrizität bestehen folgende Beziehungen:

$$\text{Leistung} = \text{Spannung} \cdot \text{Stromstärke} \quad (W = V \cdot A)$$

$$\text{Stromstärke} = \text{Leistung} : \text{Spannung} \quad (A = W : V).$$

Wird eine Glühlampe von 25 W an den Akkumulator

eines Pkw „Wartburg 353“ von 12 V angeschlossen, so ergibt die Rechnung

$$25 \text{ W} : 12 \text{ V} = 2,1 \text{ A.}$$

Schließen wir eine Glühlampe von 25 W an das Haushaltsnetz von 220 Volt an, so beträgt die Stromstärke nur

$$25 \text{ W} : 220 \text{ V} = 0,1 \text{ A.}$$

Für dieselbe Leistung ist bei niedriger Spannung also eine größere Stromstärke erforderlich als bei höherer Spannung.

Man kann durch einen Leiter nicht beliebig große Mengen Elektronen „transportieren“, also keine beliebig starken Ströme fließen lassen. Wird die Stromstärke zu groß, dann erwärmt sich der Leiter zu sehr. Das Kabel beginnt zu „schmoren“ und kann leicht einen Wohnungsbrand verursachen. Die Sicherungen dienen dazu, das zu verhindern. In der Sicherung befindet sich ein sehr dünner Draht. Wird eine bestimmte Stromstärke überschritten, dann erwärmt er sich so, daß er schmilzt.

Damit ist aber die Leitung unterbrochen. Denn der Strom, der in die Leitungen und Verbraucher der Wohnung fließt, muß vorher durch den Sicherungsdraht. Ist er weggeschmolzen, so ist der Stromfluß automatisch unterbrochen. Das Licht geht aus, alle elektrischen Geräte funktionieren nicht mehr.

Die Sicherungen brennen durch, wenn wir entweder zuviel Verbraucher gleichzeitig anschließen oder wenn in irgendeinem Kabel oder in einem Verbraucher ein Kurzschluß entsteht. Wieviel Verbraucher man gleichzeitig anschließen kann, ohne daß die Sicherungen durchbrennen, ist nach den obigen Formeln leicht zu errechnen. Auf der Sicherung ist angegeben, welche Stromstärke

sie durchläßt. Für Haushaltanschlüsse sind Sicherungen von 6 und 10 Ampere gebräuchlich. Sicherungen für 6 A sind mit einem grünen, für 10 A mit einem roten Farbpunkt gekennzeichnet. Multiplizieren wir diese Stromstärke mit der Spannung, so ergeben sich bei 220 Volt für Sicherungen von 6 Ampere $220\text{ V} \cdot 6\text{ A} = 1320\text{ W}$, für Sicherungen von 10 A $220\text{ V} \cdot 10\text{ A} = 2200\text{ W}$. Verbraucht die Waschmaschine z. B. 2000 W, so dürfen wir gleichzeitig nur noch weitere Verbraucher von insgesamt 200 W anschließen. Bei Anschluß eines elektrischen Bügeleisens von 500 W brennt die Sicherung durch.

Wie finden wir den Kurzschluß?

Höchst gefährlich wäre es, durchgebrannte Sicherungen mit einem Stück normalen Drahtes zu „flicken“, weil man im Moment keine neue Sicherung im Haus hat. Denn der normale Draht brennt bei Überlastung der Leitung nicht durch. Folglich können sich die Leitungen übermäßig erhitzen und einen Brand verursachen. Man muß deshalb stets Sicherungen zum Auswechseln im Hause haben und am besten in unmittelbarer Nähe des Sicherungskastens aufbewahren, damit man sie im Dunkeln nicht erst lange suchen muß.

Ist eine Sicherung durchgebrannt, so schalten wir zuerst die Verbraucher mit starker Leistungsaufnahme aus, bevor wir eine neue Sicherung einschrauben. Brennt sie trotzdem sofort wieder durch, dann war die Ursache ein

Wechselstromzähler – Schnitt durch eine Sicherung

W 23

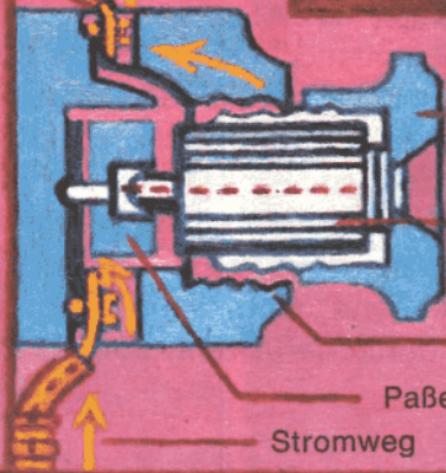
750 U/kWh

0 2 2 0 1,5

Kilowattstunden
Wechselstromzähler

212
702

Form W 23 750 U/kWh
220 V 10 (30) A 50 Hz
100 1414254 IV



Deckel

Schmelzeinsatz

Schraubfassung

Paßeinsatz

Stromweg

Kurzschluß. Um herauszukriegen, in welchem Gerät oder Kabel der Kurzschluß besteht, schalten wir vor dem erneuten Einschrauben einer Sicherung sämtliche Geräte aus und ziehen alle Kabel aus den Steckdosen. Dann schalten wir einzeln nacheinander die Geräte wieder ein. Sobald das Gerät oder Kabel angeschlossen wird, in dem der Kurzschluß vorliegt, brennt die Sicherung wieder durch. Wir haben auf diese Weise zwar ein paar Sicherungen verbraucht, aber dafür das fehlerhafte Gerät ausfindig gemacht.

Die Geheimsprache des Stromzählers

Wenn wir uns den Stromzähler genau ansehen, so finden wir darauf viele Zahlen und Buchstaben. Manche können wir schon entziffern. So bedeutet „220 V“, daß es sich um eine Anlage mit 220 Volt Spannung handelt. Auch die Bezeichnung „10 A“ ist uns verständlich. Sie besagt, daß die Stromstärke auf 10 Ampere begrenzt ist. Unverständlich sind uns dagegen noch das Zeichen ∞ sowie die Angabe „50 Hz“.

Das Zeichen ∞ oder auch einfach \sim bedeutet Wechselspannung. Das Gegenstück dazu ist Gleichspannung, das Symbol dafür ist = . Es gibt also Gleich- und Wechselspannungsquellen. Alle Batterien und Akkumulatoren sind Gleichspannungsquellen. Wenn wir an den Plus- und Minuspol einer Batterie einen Verbraucher, z. B. eine kleine Taschenlampenbirne, anschließen, fließt Gleichstrom. Das bedeutet: Vom Minuspol der Batterie setzen sich längs durch den Draht, durch den

Glühfadenwendel der Lampe und durch den anderen Draht bis zum Pluspol der Batterie Elektronen in Bewegung. Alle diese Elektronen bewegen sich nur in Richtung vom Minus- zum Pluspol der Batterie.

Da der Elektronenstrom von der Batterie über die Leitung und den Verbraucher wieder zurück zur Batterie fließt, spricht man von einem Stromkreis. Das Wort Kreis dürfen wir dabei allerdings nicht wörtlich nehmen, sondern nur im Sinne einer in sich geschlossenen Bewegung. Den „äußeren Stromkreis“ vom Minuspol über Leitung und Lampe zum Pluspol der Batterie können wir uns fortgesetzt denken durch den „inneren Stromkreis“, der innerhalb der Batterie vom Pluspol zurück zum Minuspol führt. So bewegen sich die Elektronen ständig im Kreis. Verwandeln wir uns noch einmal in ein Elektron und schlüpfen am Minuspol der Batterie in den Draht, so könnten wir nach hinreichend langer Zeit den ganzen äußeren und inneren Stromkreis durchwandert haben und wieder am Minuspol eintreffen.

Um den Stromkreis sowohl schließen als auch öffnen zu können, benutzen wir einen Schalter. In jedem Schalter stehen sich zwei Leitungsdrähte mit kurzem Abstand gegenüber. Durch ein bewegliches Metallstück, den Schaltkontakt, können wir eine elektrisch leitende Verbindung zwischen den beiden Drähten herstellen oder auch unterbrechen. Erst in dem Moment, in dem wir den Stromkreis schließen, geraten die Elektronen in die gerichtete Bewegung, die wir elektrischen Strom nennen.

Der Stromkreis unserer elektrischen Haushaltanlage führt nicht nur bis zu dem Sicherungskasten, sondern

über lange Kabel, die entweder in der Erde verlegt oder an Leitungsmasten aufgehängt sind, bis zum Kraftwerk. In dem Moment, in dem wir z. B. den Lichtschalter anknipsen, fließt elektrischer Strom vom Generator im Kraftwerk bis in unsere Wohnung, durch den Schalter zur Lampe und von hier durch einen anderen Draht des Kabels wieder zurück bis zum Generator im Kraftwerk – ein sehr langer Stromkreis also.

Was ist Wechselstrom?

Wenn wir uns wieder in ein Elektron verwandelten und am Minuspol des Generators in den Draht schlüpften, würden wir jedoch auch nach noch so langer Zeit niemals bis in unsere häusliche Glühlampe gelangen. Das liegt nicht etwa nur daran, daß der Stromkreis so lang und die Bewegungsgeschwindigkeit der Elektronen sehr klein ist. Nein, wir kämen schon in Verlegenheit, wenn wir den Minuspol des Generators suchen wollten. In gewissem Sinne gibt es den nämlich gar nicht. Genauer gesagt: Der Pol, der soeben noch Minuspol war, ist im nächsten Moment schon Pluspol, im folgenden Moment wieder Minuspol und das so fort in ständigem schnellem Wechsel.

Der Minuspol einer Batterie und eines Akkumulators bleibt immer der Minuspol, der Pluspol immer der Pluspol. Beim Wechselspannungsgenerator wechselt dagegen dauernd die Polarität, daher die Bezeichnungen Wechselspannung und Wechselstrom. Die Folge davon ist, daß sich auch die Elektronen im Leiter in dauernd

abwechselnder Richtung bewegen. Das ist aber nicht dasselbe wie die ungeordnete Bewegung der Elektronen, die in dem Leiter stattfindet, solange kein Strom hindurchfließt.

Auch wenn sich die Elektronen nur für sehr kurze Zeit eine ganz kurze Strecke in derselben Richtung bewegen, ist das ein elektrischer Stromfluß. Man kann diesen Wechselstrom für die meisten Zwecke ebensogut verwenden wie Gleichstrom. Entscheidend ist also nicht, daß sich die Elektronen während der ganzen Zeit in derselben Richtung bewegen, sondern nur, daß sich in einem bestimmten Moment alle Elektronen in derselben Richtung bewegen. Im nächsten Moment kann die Bewegungsrichtung genau umgekehrt sein, im folgenden wieder umgekehrt usw. In einem Wechselstromkreis bewegen sich die Elektronen daher ständig hin und her, aber alle bewegen sich zu gleicher Zeit stets in gleicher Richtung.

Jetzt verstehen wir auch die Bezeichnung „50 Hz“ auf unserem Stromzähler. „Hz“ ist die Abkürzung für Hertz. Dies ist die Maßeinheit für Schwingungen je Sekunde. Bei der Wechselspannung spricht man auch von 50 Perioden. Jedes Hin und Her der Elektronen ist eine Periode. Folglich ereignet sich in jeder Sekunde 50mal ein solches Hin und Her.

Besser können wir uns das Wesen der Wechselspannung vorstellen, wenn wir nicht von der Bewegung der Elektronen ausgehen, sondern vom wechselnden Ansteigen und Wiederabfallen der elektrischen Spannung. Zu diesem Zwecke wollen wir in Gedanken eine Messung durchführen. Wir schließen einen Spannungsmes-

ser an die Buchsen der Netzsteckdose an. Er sei so beschaffen, daß er bei Plusspannung nach der rechten, bei Minusspannung nach der linken Seite ausschlägt. Ist keine Spannung vorhanden, dann steht der Zeiger in der Mitte.

Eine Salve von Spannungsstößen

Der Zeiger würde, falls er sich überhaupt so schnell bewegen könnte, in jeder Sekunde 50mal nach rechts und 50mal nach links ausschlagen. Das bedeutet: Die Spannung pendelt in jeder Sekunde 50mal zwischen + 220 Volt und - 220 Volt. Zwischendurch fällt dabei die Spannung immer wieder auf Null ab. Es folgen also nur lauter kurze Spannungsstöße aufeinander.

Nun gibt es allerdings keine Instrumente, an denen ein mechanischer Zeiger 50mal in jeder Sekunde nach beiden Richtungen ausschlägt. Unsere Augen könnten das auch nicht so schnell verfolgen. Aber ein Elektronenstrahl, eine Art Lichtzeiger, der auf dem Leuchtschirm einen Lichtfleck erzeugt, ist so schnell abzulenken.

Warum gerade 50 Perioden in der Sekunde? Warum nicht bloß 10 oder 100? Auch das hat mehrere Gründe, die teils mit der Technik, teils mit unseren Augen zusammenhängen. Da Wechselstrom eine Folge vieler kurzer Stromstöße ist, geht z. B. eine Glühlampe auch dann, wenn der Schalter auf „Ein“ steht, eigentlich in jeder Sekunde 100mal an und wieder aus. Denn in jeder der 50 Perioden erreicht die Spannung ja zweimal ihren Höchstwert und zweimal den Wert Null.

Nun kann eine Glühlampe aber erstens nicht so schnell abwechselnd ganz hell und ganz dunkel werden, weil sie, wenn ihr Metallfaden erst einmal glüht, noch einen kurzen Moment weiterglüht, auch wenn die Spannung abfällt. Zweitens ist unser Auge nicht imstande, einen derart schnellen Wechsel von Hell und Dunkel überhaupt wahrzunehmen. Denn ein Lichtreiz wirkt auch dann, wenn er soeben erloschen ist, im Auge noch einen kurzen Moment nach. Bei 50 Perioden je Sekunde sehen unsere Augen daher ein gleichbleibend helles Licht. Wären es aber z. B. nur 10 oder 20 Perioden, so würde das Licht flimmern.

Andererseits kann man die Periodenzahl nicht beliebig steigern. Denn sie hängt auch von der Umdrehungszahl des Läufers der Dynamomaschine ab. Je größer die Umdrehungszahl wird, desto schwierigere technische Probleme entstehen. Deshalb geht man nicht über 50 oder 60 Perioden hinaus. In einigen Ländern arbeiten Generatoren für Wechselspannungen von 60 Hertz, in der DDR beträgt die Periodenzahl einheitlich 50 Hertz.

Was kostet eine Stunde Licht?

Nun bliebe an unserem Stromzähler noch die Bezeichnung „kWh“ zu enträteln. Sie ist die Abkürzung für „Kilowattstunde“. Dies ist die Einheit der elektrischen Arbeit. Die elektrische *Leistung* wird in *Watt* oder *Kilowatt* angegeben, die elektrische *Arbeit* in *Wattstunden* oder *Kilowattstunden*. Der Vorsatz „Kilo“ bedeutet hierbei ebenso wie bei allen anderen Maßeinheiten das

Tausendfache der Grundmaßeinheit. So wie 1000 Gramm = 1 Kilogramm sind, so sind 1000 Watt = 1 Kilowatt (kW) und 1000 Wattstunden (Wh) = 1 Kilowattstunde (kWh).

In der Technik und Physik müssen wir also genau unterscheiden zwischen Leistung und Arbeit. Denn hier haben diese Begriffe eine engere und speziellere Bedeutung als im allgemeinen Sprachgebrauch.

In der Umgangssprache unterscheiden wir nicht scharf zwischen Arbeit und Leistung. 100 kg Kohlen in den Keller zu tragen, bezeichnen wir als Arbeit oder auch als Leistung, je nachdem, welcher Ausdruck uns besser gefällt oder im Moment gerade „auf der Zunge liegt“. Auch ein Diktat oder einen Aufsatz zu schreiben, können wir sowohl als Leistung wie als Arbeit bezeichnen. Im Sinne der Physik und Technik ist beides weder eine Arbeit noch eine Leistung.

Die elektrische Arbeit ist das Produkt von elektrischer Leistung mal Zeit. Die Leistung drücken wir in der Maßeinheit Watt (W) aus, die Zeit in Sekunden (s) oder Stunden (h, von lateinisch hora = Stunde). Brennt eine Glühlampe von 60 W 1 Sekunde lang, so hat der Strom eine Arbeit von $60 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 60 \text{ Ws}$ (Wattsekunden) verrichtet. In 20 Stunden sind $60 \text{ W} \cdot 20 \text{ h} = 1200 \text{ Wh}$ (Wattstunden) = 1,2 kWh (Kilowattstunden) elektrische Arbeit verrichtet worden. Nach der geleisteten Arbeit wird uns der elektrische Strom berechnet. Eine Kilowattstunde kostet für den privaten Verbrauch im Haushalt 8 Pfennig. 1,2 kWh kosten folglich $1,2 \cdot 8 \text{ Pf} = 9,6 \text{ Pf}$, eine Stunde folglich nur rund einen halben Pfennig.

Dampfstrahl bricht Eisen

In den ältesten Elektrizitätswerken wurden die Generatoren noch mit Kolbendampfmaschinen angetrieben. Inzwischen ist die Dampfmaschine in den Kraftwerken durch die vorteilhaftere Dampfturbine verdrängt. Ihr Funktionsprinzip können wir uns durch den Vergleich mit einer Spielzeugwindmühle veranschaulichen. So wie sie sich durch die Luftströmung dreht, wird die Turbine in Drehung versetzt, wenn Dampf gegen ihre „Windmühlenflügel“ strömt. Halten wir eine Windmühle so neben den pfeifenden Wasserkessel, daß der Dampfstrahl, der aus der Pfeife entweicht, von der Seite gegen die Flügel strömt, so dreht sie sich auch ein bißchen. Sie ist jetzt eine kleine Dampfturbine.

Die Turbine im Kraftwerk ist freilich viel komplizierter gebaut. Sie besteht aus Stahl und ist sehr groß und schwer. Wir sehen nebeneinander viele räderartige Gebilde. Das erste Rad ist drehbar, das zweite steht fest, das dritte wieder drehbar, das vierte feststehend usw. Alle drehbaren Räder sitzen fest auf einer langen durchgehenden Welle. Drehen sich die Räder, dann dreht sich die Welle mit. Die drehbaren nennt man Laufräder, die feststehenden Leiträder.

Auf dem Umfang aller Räder befinden sich Vorsprünge, ähnlich Windmühlenflügeln, aber sehr viel mehr als bei einer Windmühle. Sie haben eine schaufelähnliche Form. Deshalb nennt man sie Schaufeln. Gegen diese Schaufeln strömt der Dampfstrahl und versetzt dadurch die Laufräder in Drehung. Wenn wir in die Turbinenhalle eines Kraftwerks kommen, sehen wir von alledem aber

nichts. Denn die Turbinenwelle mit ihren Lauf- und Leiträder befindet sich in einem dicht schließenden Gehäuse. Nur bei Reparaturarbeiten wird das Gehäuse abgenommen, so daß man die Welle mit den Turbinenräder sehen kann.

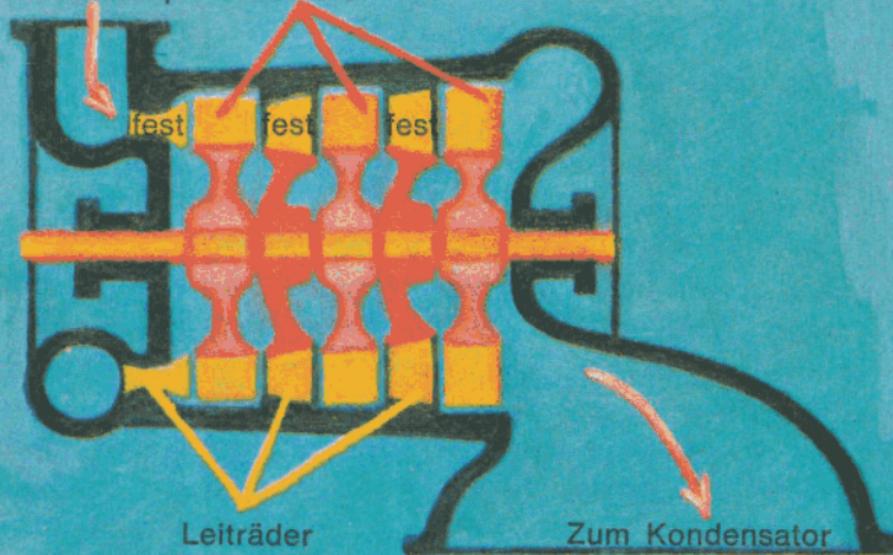
Innerhalb des fest verschlossenen Gehäuses strömt ein Dampfstrahl mit großer Wucht zuerst gegen die Schaufeln des ersten Laufrades. Würde man ihn sofort mit der vollen Kraft, die er bei Vollast erreicht, gegen die Schaufeln strömen lassen, so würden sie sich verbiegen oder gar abbrechen, obwohl sie aus hochfestem Stahl bestehen. So groß ist die Kraft des Dampfstrahls. Man muß deshalb eine Turbine erst langsam anfahren, d. h., den Dampfdruck und somit die Umdrehungszahl allmählich steigern.

Nützliche Wasserspiele

Die Schaufeln des ersten Laufrades sind so geformt, daß der Dampfstrahl seine Richtung wieder umkehrt. Dabei hat er noch eine so große Geschwindigkeit, daß er weitere Arbeit verrichten kann. Man läßt ihn deshalb jetzt gegen die Schaufeln des folgenden feststehenden Leitrades strömen. Sie sind so geformt, daß sie den Dampfstrahl erneut umlenken und gegen die Schaufeln des zweiten drehbaren Laufrades richten. Dadurch wird es ebenfalls mit großer Kraft gedreht. Da der Druck des Dampfes inzwischen geringer und sein Volumen da-

Schema einer Turbine — Geöffnete Dampfturbine

Frischdampf Laufräder



Leiträder

Zum Kondensator



durch größer geworden ist, muß das zweite Laufrad etwas größer als das erste sein.

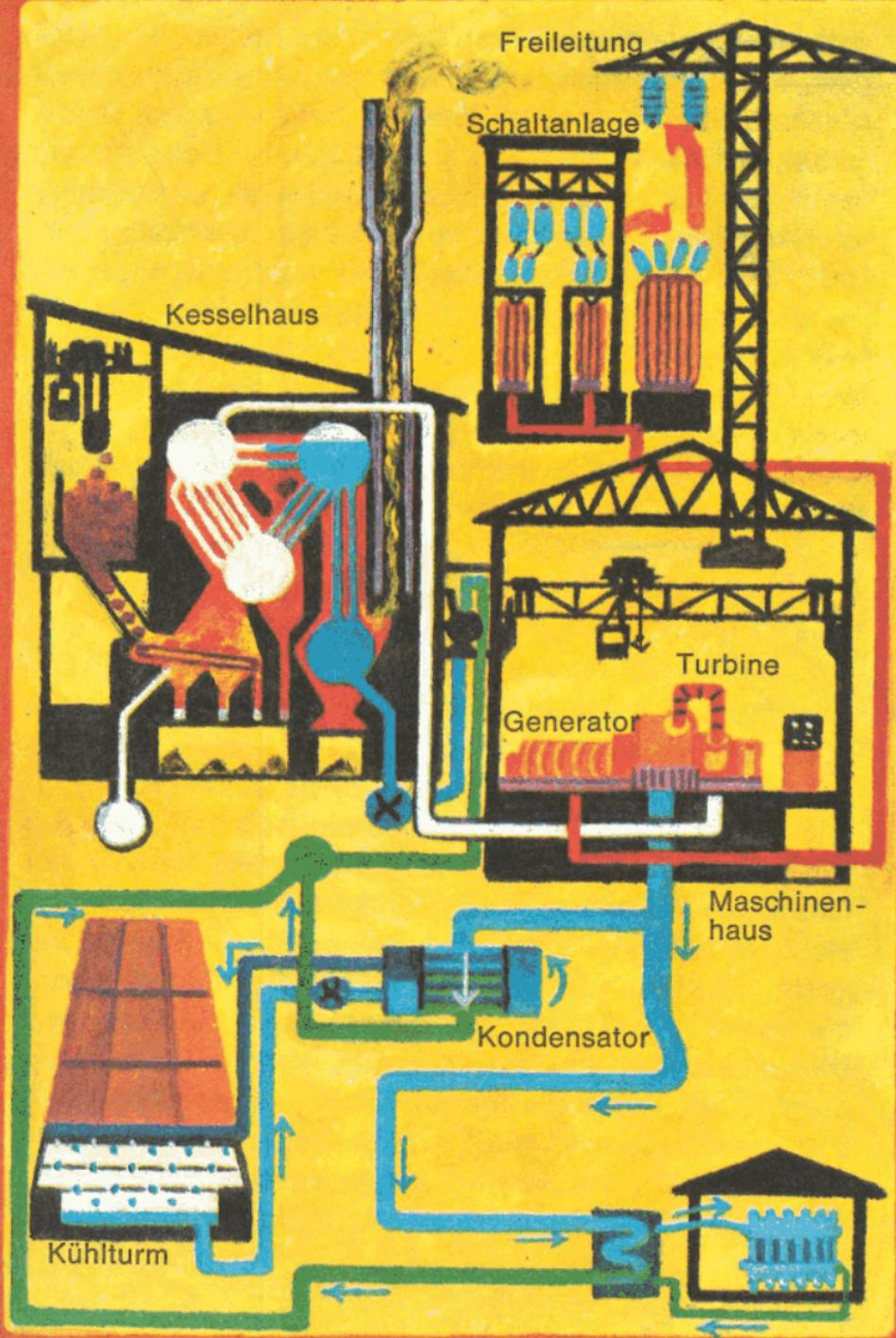
Das gleiche Spiel wiederholt sich bei den folgenden Leit- und Laufrädern. Man nennt eine solche Maschine mit mehreren Lauf- und Leiträder eine mehrstufige Turbine. Sie nutzt die Energie des Dampfes besser aus als eine einstufige mit nur einem Laufrad.

Ebenso wie bei der Dampfmaschine gelangt der Dampf, wenn sein Druck bzw. seine Strömungsgeschwindigkeit zu klein geworden ist, in den Kondensator. Dort wird er mit Hilfe von Kühlwasser wieder so stark abgekühlt, daß er sich verflüssigt, also zu Wasser kondensiert. Dieses Wasser bezeichnet man zum Unterschied vom Kühlwasser als Speisewasser. Es wird durch Pumpen wieder in die Dampferzeugungsanlage befördert und dort erneut zum Verdampfen gebracht.

Während man zur Kühlung normales gefiltertes Wasser, z. B. aus einem Fluß, verwenden kann, muß das Speisewasser sorgfältig aufbereitet sein. Es darf z. B. nicht so große Mengen gelöster Mineralien enthalten wie unser Leitungs- und Brunnenwasser, denn sie würden bald riesige Ablagerungen von Kesselstein erzeugen, wie wir ihn in jedem längere Zeit benutzten Wassertopf finden.

Die durch die Rotation der Laufräder mit in Drehung versetzte Turbinenwelle treibt den Läufer der Dynamomaschine, also des Generators an, der die elektrische Energie erzeugt. So sind Turbine und Generator zu einem Block, dem Turbogenerator, verbunden.

Schema eines Wärmekraftwerks



Um das Speisewasser in Dampf von hohem Druck zu verwandeln, braucht man Wärmeenergie. Man nennt deshalb alle Kraftwerke, die nach diesem Grundschema arbeiten, Wärmekraftwerke. Aus dieser Bezeichnung geht aber noch nicht hervor, aus welchem Brennstoff die Wärmeenergie gewonnen wird: aus Kohle, Erdöl, Erdgas oder durch Spaltung von Atomkernen. Ein mit Atomenergie betriebenes Kraftwerk ist also ebenfalls ein Wärmekraftwerk. Über 90 Prozent aller auf der Erde erzeugten Elektroenergie werden in Wärmekraftwerken produziert, und zwar der weitaus größte Teil davon in „konventionellen“ (herkömmlichen) Kraftwerken, die Kohle oder Erdöl als Brennstoff benutzen.

Was sind Primärenergieträger?

Den Stoff, der die Ausgangsform der Energie in sich trägt, also Kohle, Erdöl, Erdgas oder auch der „Kernbrennstoff“ Uran oder Plutonium, nennt man Primärenergieträger. Die Energieform, die daraus gewonnen wird und zum allgemeinen Verbrauch geeignet ist, heißt Gebrauchsenergieträger. Dazu gehören nicht nur der elektrische Strom, sondern auch das Gas, mit dem wir kochen, backen und das Badewasser erwärmen, ferner die flüssigen Kraftstoffe für die Motoren der Autos und Diesellokomotiven. Die flüssigen Kraftstoffe werden durch Weiterverarbeitung aus Erdöl gewonnen. Die verschiedenen Primärenergieträger liefern unterschiedliche Wärmemengen. Eine gebräuchliche Einheit für die Wärmeenergie ist die Kilokalorie (Abkürzung:

kcal). 1 kcal entspricht etwa der Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 Liter Wasser bei normalem Druck von 760 Torr um 1 Grad unserer Celsius-Temperaturskala zu erwärmen. Um 1 Liter Wasser von Zimmertemperatur (etwa 20 Grad C) auf Siedetemperatur (100 Grad C bei Normaldruck) zu erhitzen, braucht man also 80 kcal. 1 kg gute Steinkohle liefert bei der Verbrennung 7000 bis 8000 kcal, Rohbraunkohle 1500 bis 2800 kcal, Braunkohlenbriketts 3900 bis 4700 kcal, je nach Qualität. Der Heizwert von Erdöl (Petroleum) beträgt etwa 9700 kcal je kg, und die Verbrennung von 1 Kubikmeter Erdgas ergibt je nach Beschaffenheit und Aufbereitung 700 bis etwa 10 000 kcal. Weitaus am höchsten ist der Heizwert von Kernbrennstoffen. Theoretisch liefert reiner Kernbrennstoff eine rund zweieinhalbmillionenmal größere Wärmemenge als die beste Steinkohle. Praktisch ist der Wärmewert allerdings nicht ganz so gigantisch, weil sich im Kernbrennstoff bei Gebrauch Stoffe bilden, die ihn allmählich unbrauchbar machen. Man muß diese Stoffe erst wieder sorgfältig abtrennen, bevor der Kernbrennstoff erneut verwendbar ist. Deshalb kann man die oben genannte Wärmemenge nicht in einem Zuge, sondern nur etappenweise erhalten. Aber schon bei der ersten Benutzung liefert Kernbrennstoff eine weitaus größere Wärmemenge als Steinkohle.

Die weiße Kohle

Außer den bereits erwähnten Primärenergieträgern gibt es noch einen wichtigen weiteren, der manchmal sinn-

bildlich als „weiße Kohle“ bezeichnet wird. Es ist die Wasserkraft, also die Bewegungsenergie des strömenden Wassers großer Flüsse. In der Sowjetunion wurden gigantische Wasserkraftwerke errichtet. Sie haben einen großen Vorteil. Man spart den Umweg über die Wärme und die Dampferzeugung. Allerdings kann man Wasserkraft nicht wie die anderen Primärenergieträger zum Kraftwerk transportieren, sondern muß umgekehrt das Kraftwerk dort bauen, wo Wasserkraft vorhanden ist.

Eine Wasserkraftanlage ist also kein Wärmekraftwerk. Seine Turbinen werden durch die Bewegungsenergie des Wassers angetrieben. Miniaturausgaben von Wasserkraftwerken gab es noch bis in die fünfziger Jahre in Thüringen. Wenn man dort durch die Flüßäler wanderte, konnte man in Gasthöfen Wassermühlen sehen. Sie dienten aber nicht zum Mahlen von Korn, sondern trieben einen kleinen Generator an, der die Gastwirtschaft mit elektrischer Energie versorgte.

Die Quelle der Wasserkraft ist wiederum die Sonne. Ihre Wärmestrahlung lässt aus Flüssen, Seen und Ozeanen sowie aus den Blättern der Pflanzen Wasser verdunsten. Der Wasserdampf steigt auf in die Luft. Unter gewissen Bedingungen kondensiert er dort wieder zu winzigen schwebenden Wassertröpfchen oder Eiskristallen. Aus solchen Tröpfchen bzw. Kristallen bestehen die Wolken. Aus ihnen fallen Niederschläge, Regen und Schnee, zur Erde. Von den Gebirgen fließen das Regenwasser und das Schmelzwasser des Schnees in Form von Flüssen wieder zum Meer. Hier verdunstet es erneut in großen Mengen, und so bleibt der ganze Prozeß dauernd in Gang.

Nach Schätzungen sowjetischer Wissenschaftler könnte man theoretisch aus der Energie des fließenden Wassers aller Flüsse der Erde zusammengenommen etwa 3,75 Milliarden Kilowatt elektrische Leistung erzeugen. Sämtliche verfügbaren Wasserkräfte der Flüsse zu nutzen, ist aber praktisch nicht möglich. Zwar wird die Wasserkraft von der Natur kostenlos bereitgestellt und ohne Zutun des Menschen ständig nachgeliefert. Aber um die Wasserkräfte technisch zu nutzen, muß man Anlagen bauen, die sehr teuer sind. Es müssen gewaltige Bauleistungen erbracht werden. Sie lohnen nur dort, wo man aus Wasserkraft sehr große Mengen nutzbarer Energie gewinnen kann.

Die mit vernünftigen Kosten nutzbaren Wasserkräfte der Flüsse unserer Erde betragen nur etwa ein Drittel der obengenannten Zahl. Aber auch das ergäbe noch etwa das Tausendfache der Leistung unseres Großkraftwerks Lübbenau. Tatsächlich genutzt wird von diesen Wasserkräften aber erst ein geringer Teil, der weniger als zwei Prozent der Welt-Elektroenergie-Erzeugung ausmacht. Insbesondere in den kapitalistischen Ländern scheut man die hohen Kosten. Das beruht mit darauf, daß die kapitalistischen Kohle- und Ölkonzerne möglichst viel von den in ihrem Besitz befindlichen Brennstoffen gewinnbringend verkaufen möchten.

Giganten an der Wolga und Angara

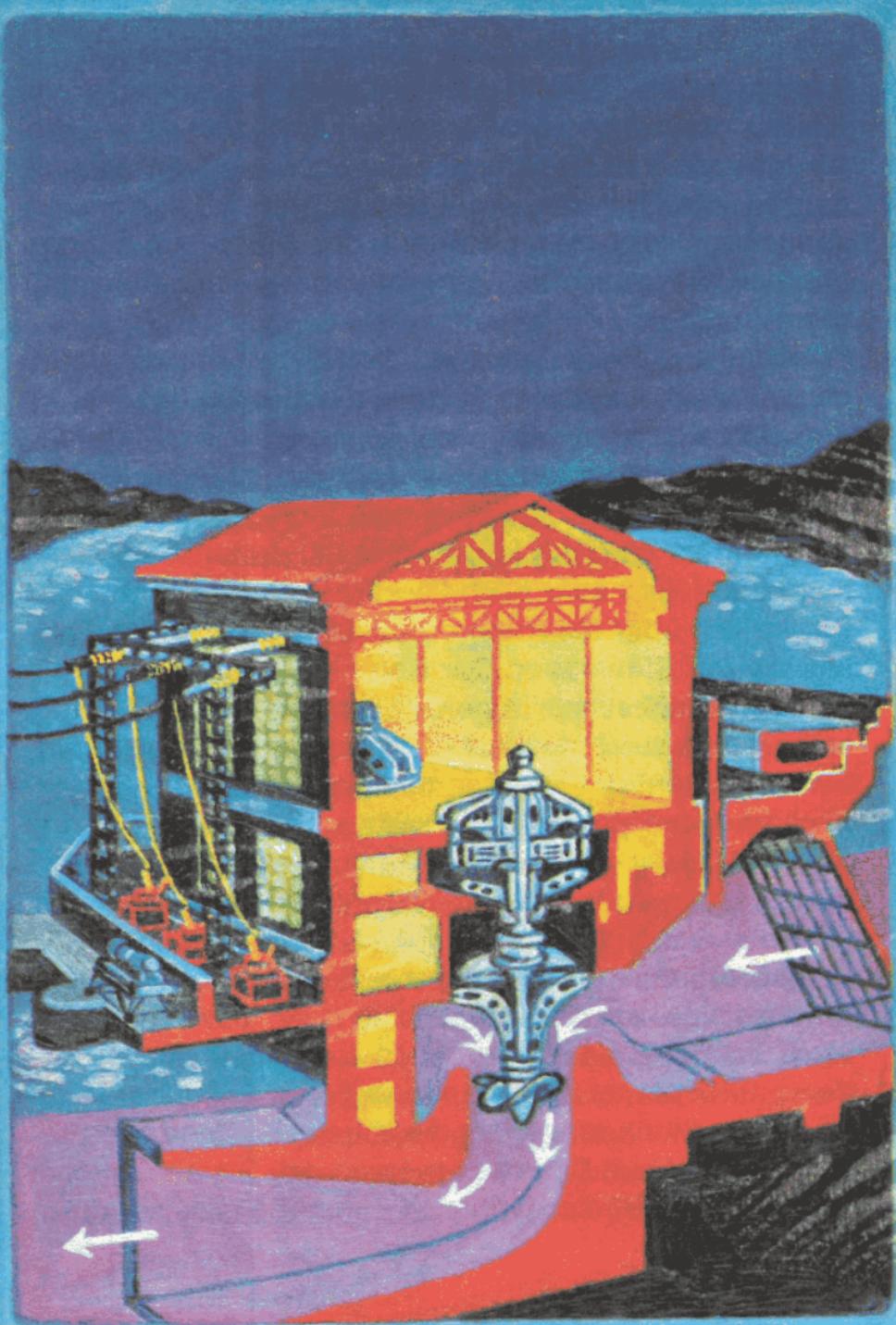
Da in den sozialistischen Ländern die Bodenschätze kein Privateigentum sind, gibt es hier keinen Konkur-

renzkampf um Kohle, Erdöl und Wasserkraft. Es ist deshalb kein Zufall, daß die Sowjetunion führend in der Nutzung von Wasserkräften ist. Auf ihrem Territorium sind nicht nur die natürlichen, sondern auch die gesellschaftlichen Voraussetzungen für die Errichtung gigantischer Wasserkraftwerke gegeben. So erzeugt z. B. das sowjetische Wasserkraftwerk „XXII. Parteitag“ an der Wolga eine elektrische Leistung von 2,56 Millionen kW, das Kraftwerk „Lenin“ 2,3 Millionen kW. Ein noch größeres Wasserkraftwerk wurde 1961 bei Bratsk an der Angara fertiggestellt. Es produziert 4,5 Millionen kW und bildet den Anfang einer ganzen Serie von Wassergroßkraftwerken Sibiriens. Die in ihnen erzeugte Elektroenergie wird entscheidend zur weiteren wirtschaftlichen Erschließung des an Bodenschätzen und Naturschönheiten besonders reichen Sibiriens beitragen.

In der Deutschen Demokratischen Republik stehen nur geringe Wasserkräfte zur Verfügung, so daß es lediglich einige kleinere Wasserkraftwerke gibt. Ihre Leistung macht nur etwa zwei Prozent der Gesamt-Elektroenergieproduktion der DDR aus. In befreundeten sozialistischen Ländern wurde jedoch mit Unterstützung durch die Sowjetunion das in früheren Zeiten kapitalistischer Gesellschaftsordnung immer wieder beiseite geschobene Projekt einer Kette von Donau-Wasserkraftwerken in Angriff genommen.

Die Energiemenge, die wir aus der Wasserkraft beziehen können, hängt von zwei Faktoren ab: einmal von der Wassermenge, die je Sekunde durch die Turbinen

So arbeitet ein Wasserkraftwerk



strömt, zum andern von der Höhe, aus der das Wasser herabfällt. Am vorteilhaftesten wäre es, wenn große Wassermassen aus großer Höhe herabfallen. Aber dieser Idealzustand ist äußerst selten gegeben. Im Gebirge ist zwar die Fallhöhe des Wassers groß, aber die Wassermenge klein. Am Unterlauf der Flüsse im flachen Land ist die Wassermenge groß, aber das Gefälle sehr gering.

Man muß, um ein brauchbares Gefälle zu erhalten, daher das Wasser durch eine Mauer künstlich aufstauen, so daß sich ein mehr oder weniger großer Stausee bildet. Sein Wasserspiegel liegt höher als der des Flusses hinter der Staumauer. Je höher man das Wasser aufstaut, desto größer wird der künstlich erzeugte Stausee, desto mehr Land wird aber auch überflutet. Denn der Stausee tritt freilich über die früheren natürlichen Ufer des Flusses vor der Staumauer. Der Bau eines Flusswasserkraftwerkes ist daher nur in dafür günstigem Gelände sinnvoll, in dem durch den Aufstau des Wassers nicht zuviel landwirtschaftlich oder anderweitig nutzbare Bodenfläche verlorengeht. Wollten wir z. B. an der Elbe ein großes Wasserkraftwerk errichten, so müßten wir größere Flächen anderweitig nutzbaren Landes überfluten.

Entsprechend den unterschiedlichen Bedingungen braucht man verschiedene Arten von Wasserturbinen. Auch sie haben Laufräder und Leitschaufeln wie die Dampfturbinen, aber von anderer Form. Besonders häufig wird in Flusskraftwerken die Kaplan-Turbine – so benannt nach ihrem Erfinder – verwendet. Sie ähnelt einer Schiffsschraube. Nur ist hier die Funktionsweise genau

umgekehrt. Die Schraube eines Schiffs wird durch eine Maschine angetrieben, und die Schraube bewegt das Wasser. Bei der Wasserturbine setzt umgekehrt das Wasser die Turbinen „schraube“ in Bewegung, und dadurch wird die Maschine, in diesem Falle der Generator, angetrieben.

Die Laufräder der Kaplan-Turbinen des Wasserkraftwerks „Lenin“ haben einen Durchmesser von über neun Meter. Zwanzig solcher Turbinen gehören zu der Anlage. Jede Turbine kann bis zu 126 000 Kilowatt Leistung erzeugen. Bei dieser Vollast strömen gegen jede Turbine 600 Kubikmeter Wasser je Sekunde. Das entspräche etwa 1200 gefüllten Badewannen.

Ein Fahrstuhl für Fische

Nun gibt es kaum einen Strom auf der Erde, der zu jeder Jahreszeit gleich viel Wasser führt. In Trockenzeiten verringert sich die Wassermenge. Im Frühjahr während der Schneeschmelze kommt es dagegen vor, daß er mehr Wasser führt, als den Ingenieuren lieb ist. Ein Wasserkraftwerk muß so eingerichtet sein, daß es unter den verschiedensten Bedingungen störungsfrei arbeiten kann. Zu diesem Zwecke sind die Schaufeln der Kaplan-Turbine verstellbar. Dadurch kann man die Wasserkraft in höherem oder geringerem Maße ausnutzen. Bei geringer Wasserführung stellt man die Schaufeln so ein, daß die Wasserkraft maximal ausgenutzt wird. Bei reibendem Strom nutzt man sie nur zum Teil.

Ferner muß die Staumauer Vorrichtungen haben, durch

die bei übermäßigem Wasserangebot ein Teil des Wassers ungenutzt durchfließen kann. Sonst würde bei ungewöhnlichem Hochwasser das ganze Kraftwerk überflutet, der Stausee weit über die Ufer treten und große Schäden anrichten.

Man darf auch nicht so viel Wasser aufstauen, daß stromabwärts hinter dem Kraftwerk die Binnenschiffe auf Grund geraten oder die Industriebetriebe, die dem Fluß Kühlwasser entnehmen, „auf dem Trockenen sitzen“. Schließlich ist dafür zu sorgen, daß die Fische entsprechend ihren natürlichen Lebensgewohnheiten den Fluß auf- und abwärts durchqueren können. Zu diesem Zwecke baut man ihnen häufig besondere Fischtreppen oder „Fahrstühle“. Für den Schiffsverkehr werden Schleusen und Schiffshebewerke erforderlich. Diese wenigen Andeutungen genügen, um zu zeigen, daß zum Bau von Wasserkraftwerken nicht nur die Errichtung einer Staumauer und die Aufstellung von Turbinen und Generatoren gehören, sondern viele weitere Einrichtungen.

Talsperren – dreifach nützlich

Einen anderen Typ von Wasserkraftwerken finden wir an Talsperren. Sie werden in der Regel nicht nur zur Elektroenergie-Erzeugung gebaut, sondern erfüllen zugleich zwei andere Aufgaben. Einmal beseitigen sie die Hochwassergefahr, die in vielen Gebirgstälern immer wieder droht, wenn im Frühjahr die Schneeschmelze ihren Höhepunkt erreicht. Zum anderen sind sie große

Speicher, in denen das Schmelzwasser und das Regenwasser niederschlagsreicher Wochen für die spätere Verwendung in Trockenperioden gesammelt wird. Drittens schließlich dienen sie zur Elektroenergieerzeugung.

Solche Talsperren gibt es auch in der Deutschen Demokratischen Republik. Eine der zuerst erbauten ist die Rappbodetal-Sperre. Sie hat große Bedeutung für das Vorland des Harzes. Durch eine hohe Sperrmauer wird das Wasser zu einem künstlichen tiefen See aufgestaut. Aus dem Stausee läßt man das Wasser nur in kontrollierten Mengen talwärts weiterfließen. Dabei kann es Turbinen antreiben und elektrische Energie erzeugen. Dafür verwendet man sogenannte Freistrahlturbinen. In ihnen umspült das Wasser nicht das ganze Laufrad, sondern trifft als Strahl aus einer Düse nur auf die löffelartigen Schaufeln. In der Düse befindet sich eine verstellbare „Nadel“, mit der man den Wasserstrahl ähnlich regulieren kann wie mit dem Hahn unserer Wasserleitung.

Leipzig steht auf Kohle

Alle Zweige der Volkswirtschaft müssen stets danach streben, mit möglichst geringem Einsatz von Material und gesellschaftlicher Arbeitskraft höchste Produktionsleistungen zu erbringen. Dann wird eine hohe Effektivität erreicht, die den Wohlstand des Landes erhöht. Ökonomisches Denken ist auch in der Energiewirtschaft erforderlich. Denn für die Herstellung fast aller Erzeugnisse

und für fast alle Dienstleistungen wird Elektro- oder andere Energie verbraucht. Die dafür aufgewandten Kosten gehen in den Preis der Erzeugnisse und Dienstleistungen mit ein.

Ökonomische Überlegungen sind schon vor dem Bau eines Kraftwerkes erforderlich. So ist es z. B. bei Kohlekraftwerken nicht gleichgültig, wo man sie errichtet. Für jede in einem Braunkohle-Kraftwerk produzierte Kilowattstunde elektrische Energie muß ungefähr ein Kilogramm Braunkohle verbrannt werden. Erzeugt ein Großkraftwerk 15 Stunden lang 1 000 000 Kilowatt, also 15 000 000 Kilowattstunden, so muß es in dieser Zeit etwa 15 000 000 kg = 15 000 Tonnen Braunkohle verfeuern.

Beladen wir die Waggons eines Güterzuges mit je 15 Tonnen und stellen jeweils 50 Waggons zu einem Zug zusammen, so „frißt“ ein einziges Großkraftwerk also täglich 20 lange Güterzüge Kohle – etwa einen Zug je Stunde!

Das läßt uns ahnen, welch große Transportleistungen schon allein die Eisenbahn zur Elektroenergieversorgung beizusteuern hat. Bei derart riesigen Brennstoffmengen muß man bestrebt sein, lange Transportwege zu vermeiden, denn sie verteuern die Kosten. Deshalb befinden sich die größten Braunkohlenkraftwerke der DDR in der Nähe der Tagebaue, in denen die Kohle gefördert wird, in der Lausitz und um Leipzig.

Die Messestadt steht übrigens auf Braunkohle. Doch können wir sie deshalb nicht abreißen und an anderer Stelle neu aufbauen. Die Kosten dafür wären weit größer als der Wert der freigelegten Kohle.

Bei einem Kernkraftwerk fallen dagegen die Kosten für den Antransport des Primärenergieträgers überhaupt nicht ins Gewicht, weil schon kleine Mengen Kernbrennstoff sehr viel Energie liefern. Für die Standortwahl eines Kernkraftwerks ist ein anderer Gesichtspunkt wichtig, nämlich daß ausreichende Kühlwassermengen zur Verfügung stehen. Denn in Kernkraftwerken entsteht ein besonders großer „Abfall“ von Wärme, die für den Prozeß der Elektroenergie-Erzeugung nicht mehr zu nutzen ist. Das große Atomkraftwerk Nord der DDR wird deshalb in der Nähe des Greifswalder Boddens errichtet, der die nötigen Kühlwassermengen liefert.

Zwei Trassen der Freundschaft

Erdöl und Erdgas sind besonders vorteilhaft durch Rohrleitungen zu transportieren. Beim Erdöl gibt es allerdings noch eine zweite wichtige Transportmöglichkeit, nämlich durch Tankschiffe. Dabei wird der Transport je Tonne Erdöl umgerechnet um so billiger, je größer die Schiffe sind. Deshalb wurden in jüngster Zeit immer größere Riesentanker gebaut. Sie sind bis zu etwa 350 Meter lang, vom Kiel bis zum Oberdeck so hoch wie ein zehnstöckiges Haus, und können bis zu 380 000 Kubikmeter Erdöl transportieren. Von den Erdölquellen Nordafrikas und Vorderasiens könnte uns Öl mit Großtankern aber nicht angeliefert werden, weil der Große Belt, das „Tor“ zwischen der Nord- und Ostsee, zu flach für den Tiefgang dieser Schiffe ist.

Darum ist es von unschätzbarem Wert, daß wir Erdöl

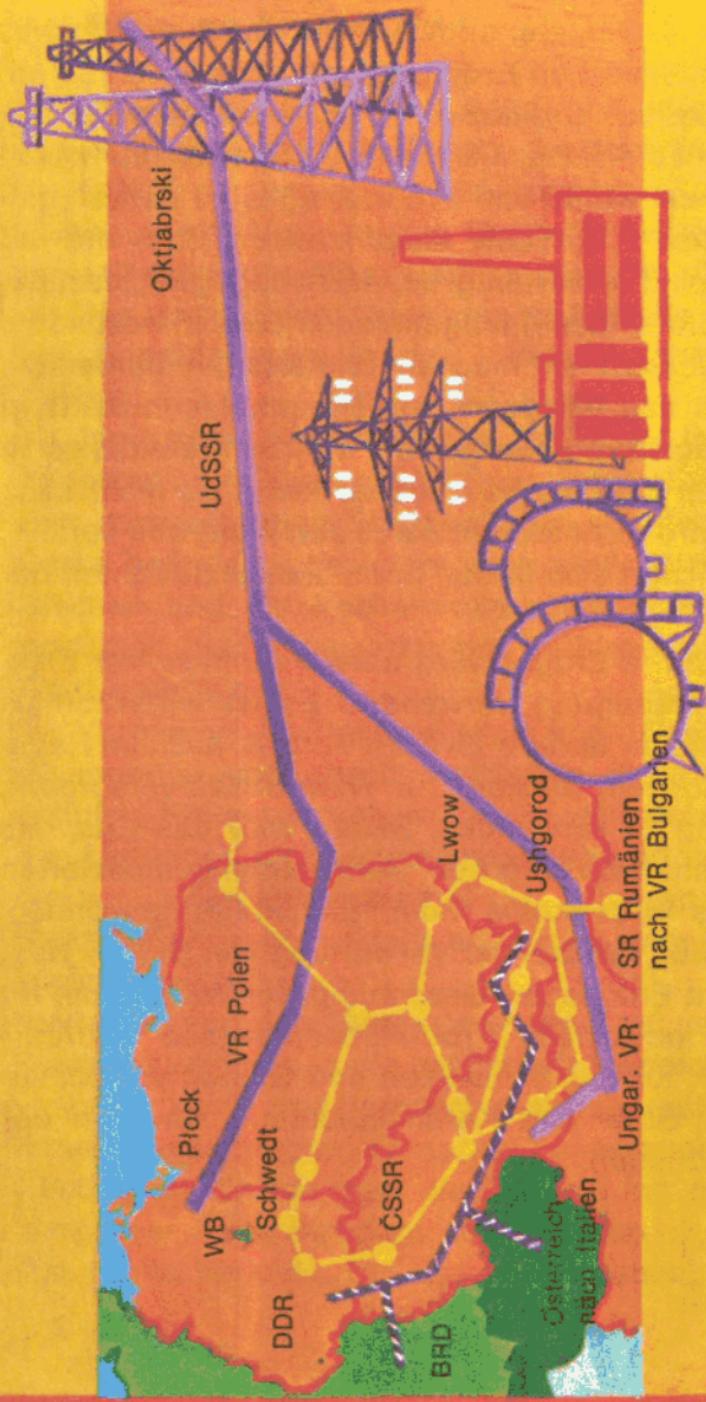
durch Rohrleitungen aus der Sowjetunion beziehen können. Dafür wurde die 3000 km lange Erdölleitung „Freundschaft“ gebaut, an welche die VR Polen, die Ungarische VR, die ČSSR und die DDR angeschlossen sind. Sie reicht von den Erdölfeldern Tatariens in der Sowjetunion bis nach Schwedt an der Oder, wo sich ein großes Erdölverarbeitungs-Kombinat befindet, und bis nach Leuna, ebenfalls einem Zentrum unserer chemischen Industrie.

Seit Dezember 1963 fließt durch die Leitung sowjetisches Erdöl in die DDR. Im Juni 1972 gab es ein Jubiläum: die Lieferung der 50millionsten Tonne sowjetischen Erdöls. Jetzt wird parallel zur ersten noch eine zweite Erdölleitung gleicher Streckenführung gebaut.

Ebenso wie von Erdöl gibt es auch von Erdgas nur wenig eigene Vorkommen in der DDR. Wir erhalten es aber ebenfalls aus der Sowjetunion durch die neuerbaute Erdgasleitung „Nordlicht“. Sie führt von dem westsibirischen Gebiet um Tjumen bis in die DDR und weitere Länder des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW). Der auf dem Gebiet der DDR gelegene Teil verläuft von der ČSSR-Grenze über das Zentrum der Chemieindustrie im Raum Halle bis in die Nähe Berlins. Von dieser Haupttrasse zweigen Leitungen zu den wichtigsten Verbrauchern ab. Außerdem werden unterirdische Gasspeicher, insbesondere in Hohlräumen abgebauter Kalisalzlagerstätten, errichtet.

Das sowjetische Erdgas hat einen Heizwert von 8000 bis

Energieverbundsystem „Frieden“, Erdölleitung „Freundschaft“ und Erdgasleitung „Nordlicht“



8400 kcal je Kubikmeter und übertrifft damit den unseres besten einheimischen Erdgases von etwa 3000 kcal/m³ noch fast um das Dreifache. Da es kaum Schwefel enthält, entsteht bei seiner Verbrennung fast kein Schwefeldioxid wie bei Kohle und Erdöl. Erdgas ist daher „umweltfreundlich“. Die Luft bleibt sauber. Luft, die mit Schwefeldioxid verunreinigt ist, riecht dagegen „schmöckrig“. Wir können den unangenehmen Geruch besonders in Wohngebieten an machen Wintertagen bemerken. Denn durch das Verfeuern von Braunkohlenbriketts in unseren Hausbrandöfen gelangt viel Schwefeldioxid in die Luft. Bei ungünstigem Wetter steigt es nicht nach oben und wird nicht schnell durch den Wind weit verteilt, sondern reichert sich in den bodennahen Schichten der Luft an.

Das sowjetische Erdgas wird allerdings nicht zur Elektroenergie-Erzeugung verwendet. Es ist wirtschaftlich sinnvoller, es für andere Zwecke, so z. B. auch im Haushalt zum Kochen, Backen, zur Warmwasserversorgung und Heizung zu verwenden. Bisher wird das Gas, das wir im Haushalt verbrauchen, durch einen komplizierten Prozeß aus Braunkohle oder Steinkohle gewonnen. Dieser Umweg fällt bei der Verwertung von Erdgas weg. Ferner dient Erdgas zur Gewinnung der Wärme, die für zahlreiche industrielle Produktionsprozesse erforderlich ist, z. B. für das Schmelzen und Glühen von Metallen, in der Glas- und Keramikindustrie sowie in der Chemieproduktion.

Die Pulsadern der Energie

Nicht nur der Antransport der Primärenergieträger in das Kraftwerk bereitet Kosten, sondern auch der „Abtransport“ der erzeugten Elektroenergie und ihre Verteilung an die Verbraucher. Deshalb muß man bestrebt sein, Kraftwerke nicht zu weit von den Hauptverbrauchszentren zu errichten. Oder man muß große Verbraucher von Elektroenergie in der Nähe der Kraftwerke ansiedeln.

Zu den größten Verbrauchern gehört die Industrie. Daraus ist es kein Zufall, daß im Raum Halle–Leipzig, in dem sich unsere großen Braunkohlelagerstätten und Kraftwerke befinden, besonders viele große Werke der chemischen und elektrochemischen Industrie anzutreffen sind, z. B. die Leunawerke, das Elektrochemische Kombinat Bitterfeld u. a.

Zur Verteilung der Elektroenergie in die Fabriken, Büros, Wohnungen und gesellschaftlichen Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten usw. ist ein weitverzweigtes Netz von Leitungen und Umspannstationen erforderlich. Treten wir in Gedanken einmal die Reise an, welche die Elektroenergie vom Kraftwerk bis in unsere Wohnung zurücklegt!

Bevor die von den Generatoren im Kraftwerk erzeugte Wechselspannung in die großen Überlandleitungen eingespeist wird, transformiert man sie auf wesentlich höhere Spannungen. Generatoren erzeugen bis etwa 10 000 Volt. Würde man die Energie mit dieser Spannung über weite Strecken „transportieren“, so entständen große Verluste. Um das zu verstehen, müssen wir

zu den uns schon bekannten elektrischen Grundgrößen Spannung und Stromstärke noch eine dritte kennenlernen, den Widerstand.

Jeder elektrische Leiter setzt dem Stromfluß einen gewissen Widerstand entgegen. Er ist von der Art des Leitermaterials, also z. B. Kupfer, Aluminium oder Silber, und vom Querschnitt, von der „Dicke“ des Drahtes abhängig. Silber hat einen sehr geringen Widerstand, Kupfer einen größeren und Aluminium einen noch höheren. Um dieselbe Menge elektrischer Energie mit gleich geringen Verlusten durch ein Aluminiumkabel zu leiten, braucht man daher einen dickeren Draht als bei Verwendung von Kupfer oder gar Silber. Die Verluste steigen mit zunehmender Stromstärke.

Nun wissen wir schon, daß die elektrische Leistung das Produkt aus Spannung und Stromstärke ist. 1000 Volt und eine Stromstärke von 1000 Ampere ergeben 1 000 000 Watt = 1000 Kilowatt Leistung. Dieselbe Leistung können wir aber auch bei 100 000 Volt Spannung mit einer Stromstärke von nur 10 Ampere übertragen. Die Rechnung ergibt dann auch wieder 1000 Kilowatt. Doch die Stromstärke ist 100mal geringer.

Für den Elektroenergietransport gibt es also prinzipiell zwei Möglichkeiten: entweder niedrige Spannung und hohe Stromstärke oder hohe Spannung und niedrige Stromstärke. Je höher die Spannung, desto niedriger ist die Stromstärke, desto geringere Leiterquerschnitte genügen und desto weniger Verluste an elektrischer Energie entstehen.

Mit 400 000 Volt auf Reisen

Der Elektroenergetransport durch die großen Überlandleitungen erfolgt mit Spannungen von 220 000 bis 400 000 Volt. In der Sowjetunion wurden sogar Übertragungssysteme mit 750 000 Volt erfolgreich erprobt. Wollte man die elektrische Energie bei geringer Spannung mit niedrigen Verlusten übertragen, so müßten die Leitungen so dick sein, daß alle Kupfer- und Aluminiumvorräte der Erde dafür nicht ausreichen. Außerdem wäre das Gewicht der Kabel derart groß, daß es von den gebräuchlichen Masten nicht getragen werden könnte.

Die durch den Widerstand verlorengegangene Energie ist im streng physikalischen Sinne nicht verloren. Es kann überhaupt keine Energie verlorengehen. Die durch den Widerstand scheinbar verlorengegangene Elektroenergie hat sich aber in eine andere Energieform umgewandelt, die wir an dieser Stelle nicht nutzen können. Aufgrund des elektrischen Widerstands erwärmen sich die Leiter beim Durchfluß von Strom. Daran sind wir nur in Ausnahmefällen interessiert, zum Beispiel bei dem feinen Draht, der sich in der Sicherung befindet. Er soll sich bei zu großer Stromstärke so erhitzen, daß er durchschmilzt und den Stromfluß unterbricht. Auch für elektrische Heizgeräte wählt man den Widerstand der Heizdrähte absichtlich so, daß die Elektroenergie möglichst restlos in Wärme umgewandelt wird. Von einer Erwärmung der Überlandleitungen haben wir aber nicht den geringsten Nutzen. Sie ist für uns verlorene Energie.

Das Umspannen von niedrigeren auf höhere Spannungen oder auch umgekehrt erfolgt mittels Transformatoren, kurz Trafos genannt. Für die Klingelanlage im Haushalt verwenden wir kleine Trafos. Sie transformieren die Netzspannung von 220 Volt auf etwa 6 Volt. Die Trafos, mit denen die Generatorspannung auf die hohen Übertragungsspannungen gebracht wird, sind dagegen zum Teil so groß, daß sie gerade noch auf einem riesigen Spezialfahrzeug befördert werden können.

Ein Trafo besteht aus einem rahmenförmigen Eisenkern, der sich aus vielen einzelnen übereinandergeschichteten Blechen zusammensetzt. Um die beiden Schenkel des Kerns sind isolierte Drähte zu Spulen gewickelt. Die beiden Spulen des Trafos sind durch keinen Draht direkt verbunden. Schließt man eine der beiden Spulen an eine Wechselspannung an, so kann man trotzdem auch von der anderen Spule eine Spannung abgreifen. Das Verhältnis der Spannungen in beiden Spulen entspricht dabei dem Verhältnis der Anzahl der Drahtwicklungen.

Hat die eine Spule, die an die Netzspannung von 220 Volt angeschlossen ist, 100 Windungen und die andere nur 10, so kann man an dieser eine Spannung von 22 Volt abgreifen. Die Stromstärke ändert sich im umgekehrten Verhältnis. Verringert ein Trafo die Spannung um das 10fache, so ist die Stromstärke bei der niedrigeren Spannung um das 10fache größer.

Für die Verbraucher elektrischer Energie wären Spannungen von 220 000 Volt oder mehr aber viel zu gefährlich. Alle Leitungen müßten weit stärker isoliert sein. Außerdem wären solche Hochspannungen unpraktisch.

Deshalb wird die Elektrizität, bevor sie in die Fabriken und Haushalte gelangt, wieder auf niedrigere Spannungen transformiert. Das erfolgt nicht auf einmal, sondern in mehreren Stufen.

Im Hauptumspannwerk werden z. B. die 220 000 Volt auf 30 000 Volt transformiert. Mit dieser Mittelspannung geht die Elektroenergie zu einer größeren Zahl von Gruppenumspannwerken weiter. Sie verringern die Spannung nochmals auf 6000 Volt. An ein Gruppenumspannwerk sind viele Ortsumspanner angeschlossen. Manche davon sind in Transformatorenhäuschen untergebracht, wie wir sie an vielen Stellen sehen. In den Ortsumspannern wird die Elektroenergie schließlich auf die „gebrauchsfertigen“ Spannungen von 380 Volt für die Industrie und 220 Volt für die Haushalte gebracht.

Supraleitung – ein Ziel für morgen

Unvorstellbare Mengen Metall stecken in den Tausende von Kilometer langen Fernleitungen, die als „Pulsadern“ der Energie die Länder durchziehen. Man könnte diesen riesigen Materialaufwand auf einen winzigen Bruchteil reduzieren und durch ein einziges Kabel die gesamte Elektroenergie für ein ganzes Land transportieren, wenn es gelänge, den elektrischen Widerstand der Leiter so gut wie völlig auszuschalten. Im Prinzip ist das tatsächlich möglich. Man nennt diese Erscheinung Supraleitfähigkeit.

Leider kann sie bisher aber nur bei einigen hochreinen Spezialmetallen und nur bei extrem tiefen Tempera-

turen nahe dem absoluten Nullpunkt von minus 273,15 Grad C erzeugt werden. Eine praktische Anwendung der Supraleitung in der Energietechnik ist daher noch nicht möglich. Denn sowohl die Herstellung solcher Metalle als auch die Erzeugung der Tiefsttemperaturen ist zu teuer. Für experimentelle Zwecke wird Supraleitfähigkeit aber schon seit langem erzeugt.

Die Forscher vieler Länder und insbesondere der Sowjetunion suchen angestrengt nach Möglichkeiten, Supraleitung auch in billigeren Leitermaterialien und bei weniger tiefen Temperaturen zu erreichen. Für die Sowjetunion hätte das besonders großen ökonomischen Wert. Denn da das Sowjetland riesig groß ist, muß Elektroenergie dort über sehr weite Strecken transportiert werden. Gegenwärtig erschließen sowjetische Wissenschaftler, Ingenieure und Arbeiter mehr und mehr die gewaltigen Naturreichtümer des fernen Sibiriens. Dazu gehören auch gigantische Wasserkräfte und riesige Kohlelagerstätten. Wenn man die daraus gewonnene Elektroenergie in Zukunft durch eine Supraleitung zu den Verbrauchszentren im europäischen Teil der Sowjetunion und in die anderen RGW-Länder transportieren könnte, so wäre das eine Revolution der Energietechnik.

Was bedeutet Spitzenbelastungszeit?

Die elektrische Energie hat neben ihren vielen Vorteilen leider auch einen Nachteil: es sind nur kleine Mengen davon in Batterien und Akkumulatoren zu speichern. Große Energiemengen aber können nur für den sofor-

tigen Verbrauch erzeugt werden. Jedes Auto hat einen Akkumulator, auf deutsch „Sammler“. Er wird während der Fahrt durch eine kleine Dynamomaschine aufgeladen. Man nennt sie beim Auto Lichtmaschine. Aber sie erzeugt nicht nur dann, wenn Licht eingeschaltet wird, elektrische Energie, sondern immer, wenn der Motor läuft, arbeitet der Dynamo mit.

Sind keine Lampen oder sonstigen elektrischen Verbraucher wie z. B. Scheibenwischer, Autoradio, Ventilator usw. eingeschaltet, dann wird nur für die Erzeugung der Zündfunken Elektroenergie verbraucht. Das ist weniger, als die Lichtmaschine erzeugt. Der Überschuß wird dem Akkumulator, in der Autofachsprache fälschlich meist als Batterie bezeichnet, zugeführt. Er lädt sich dadurch auf und speichert Elektroenergie für Zeiten, in denen mehr gebraucht wird, als die Lichtmaschine erzeugen kann, vor allem für das Starten des Motors. Es erfolgt mittels eines kleinen Elektromotors, den man Anlasser nennt.

Das Speichern von Elektroenergie ist also im Prinzip möglich. Aber die dafür erforderlichen Akkumulatoren sind im Verhältnis zu der gespeicherten Energiemenge sehr teuer. So kostet z. B. der Akku des Pkw „Wartburg 353“, der eine Spannung von 12 Volt abgibt und 42 Amperestunden speichert, rund 100 Mark. 42 Stunden lang eine Spannung von 12 Volt bei einer Stromstärke von 1 Ampere abzugeben, entspricht einer elektrischen Energie von 504 Wattstunden = rund 0,5 Kilowattstunden. Zum 8-Pfennig-Tarif je kWh berechnet, ergibt das 4 Pfennig.

Um diese lächerlich geringe Energiemenge zu speichern,

ist ein großer, schwerer und teurer Akku nötig. Außerdem enthält er Stoffe, die auf der Erde knapp sind, wie z. B. Blei. Wollte man große Energiemengen nach diesem Prinzip speichern, so wäre das nicht nur unbezahlbar, sondern es gäbe auch gar nicht genug Blei und andere Rohstoffe dafür. Die mangelhafte Speicherbarkeit elektrischer Energie ist nun insbesondere noch dadurch problematisch, daß der Verbrauch starken zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Nachts sind in den Wohnungen die Lampen und anderen elektrischen Geräte ausgeschaltet. Nur der Kühlschrank arbeitet weiter. Morgens setzt eine erste Verbrauchs„spitze“ ein. Denn jeder schaltet Licht und Radio ein. Die elektrischen Stadt-Schnellbahnen, Straßenbahnen und Obusse beginnen mit dem dichten Berufsverkehr. Die Betriebe mit ihren zahlreichen elektrischen Maschinen sowie die Büros fangen zu arbeiten an.

Während des Tages läßt der Verbrauch dann etwas nach, im Sommer früher, im Winter später, je nachdem, wie früh es draußen hell wird. Zum Abend gibt es wieder eine Verbrauchsspitze. Denn wenn die Menschen von der Arbeit nach Hause kommen, schalten sie wieder das Licht und andere Geräte ein.

Wir verstehen jetzt, was der Begriff „Spitzenbelastungszeit“ bedeutet, und begreifen, warum wir die Elektroenergieversorgung unnötig erschweren, wenn ausgerechnet während dieser Zeit starke elektrische Verbraucher, wie z. B. Bügeleisen, eingeschaltet werden. Wir sollten während dieser Zeit jede nicht wirklich benötigte Lampe ausschalten, auch wenn sie nur 40 oder 60 Watt verbraucht. Denn es gibt viele Millionen solcher Lampen

in der DDR. Starke Verbraucher dürfen erst am späteren Abend betrieben werden, wenn die Spitzenbelastungszeit vorüber ist.

Spitzenstrom aus Wasserschlössern

Die Energietechniker haben viel darüber nachgegrübelt, wie man dieses Problem lösen könnte. Eine kleine Hilfe bringen dabei Pumpspeicherkraftwerke, von denen es einige in der DDR gibt. Das größte, Hohenwarte II, ist für eine Leistung von 320 000 Kilowatt vorgesehen. Da die Elektroenergie selbst nicht in großen Mengen zu speichern ist, geht man hier einen Umweg. Während der Nacht, wenn die Kraftwerke mühelos mehr Leistung abgeben können als verbraucht wird, laufen elektrische Pumpen. Sie befördern Wasser durch dicke Rohre in ein hochgelegenes Speicherbecken. Während der Spitzenbelastungszeiten lässt man das Wasser wieder herabfließen. Seine Fallhöhe beträgt 305 Meter. Das herabfallende Wasser treibt Turbinen. Da sie im Unterschied zu Dampfturbinen sehr schnell anlaufen können, steht schon nach kurzer Zeit zusätzliche Elektroenergie zur Verfügung.

Das Verbundsystem „Frieden“

Eine viel entscheidendere Hilfe zur Lösung des Problems bringt jedoch das große internationale Energieverbundsystem „Frieden“. In Warschau wird es früher dunkel

als in Berlin. Das führt natürlich auch zu einer Verschiebung der Spitzenbelastungszeiten in den beiden Ländern. In den polnischen Großstädten beginnt sie früher als in der DDR, endet dort aber auch früher. Dadurch wird ein Ausgleich möglich. Wo noch keine Spitzenbelastung herrscht, kann Energie dorthin abgegeben werden, wo sie bereits eingetreten ist.

Früher waren nur die verschiedenen Kraftwerke eines Landes zu einem Verbundsystem zusammengeschlossen. Das heutige Verbundsystem „Frieden“ umfaßt alle RGW-Staaten: die Sowjetunion, die VR Bulgarien, die ČSSR, die DDR, die VR Polen, die Ungarische VR und die SR Rumänien. Dieser Zusammenschluß ist nicht nur für die Spitzenbelastungen günstig. Auch der Ausfall großer Turbinen oder eines ganzen Kraftwerks bei Katastrophen oder ernsten technischen Störungen kann dadurch ausgeglichen werden.

Das ist außerordentlich wichtig. Denn fällt ein Kraftwerk aus, so sitzen wir nicht nur im Dunkeln, sondern in vielen Betrieben steht die Produktion still. Ungenutzt bleiben plötzlich all die teuren Maschinen. Die Arbeiter können keine Werte mehr schaffen. Das bedeutet einen volkswirtschaftlichen Schaden, der schon innerhalb weniger Stunden für viele Betriebe zusammengenommen hoch in die Millionen geht.

Um das zu verhindern, müßten eigentlich alle Kraftwerke doppelt so viele Turbogeneratoren haben, als normalerweise nötig ist. Die zweite Garnitur wäre dann lediglich eine Reserve für den Fall, daß die erste aus-



fällt. Jedes Kraftwerk mit den doppelten Maschinen-sätzen auszustatten, wäre aber viel zu teuer. Wir erspa-ren uns die großen Ausgaben durch das Verbundsystem. Bei Ausfall oder Betriebsstörung eines Kraftwerks geben viele andere Werke etwas Energie für das nor-malerweise von dem gestörten Kraftwerk versorgte Gebiet ab.

Das nationale und internationale Verbundsystem ist heute schon so weit entwickelt, daß wir beim Einschalten unserer Lampe gar nicht mehr wissen können, ob der Strom dafür aus Lübbenau, Trattendorf, aus der ČSSR, der VR Polen oder aus der Sowjetunion kommt. Die Kraftwerke lassen ihre Energie gewissermaßen in einen großen „Topf“ fließen. Von den Dispatcherzentralen aus werden die gewaltigen Energieströme so verteilt, daß überall genug vorhanden ist. Diese Arbeit gehört zu den interessantesten und verantwortungsvollsten, die es im Bereich der Energietechnik gibt.

Der Knotenpunkt des Verbundsystems „Frieden“ befin-det sich in dem großen Umspannwerk von Mukatschewo in der westlichen Sowjetunion. Man nennt das Gebiet auch das Fünfländereck, weil dort die Staatsgrenze der UdSSR die Grenzen der vier weiteren Länder Polen, Ungarn, ČSSR und Rumänien berührt.

Freilich bedeutet der Anschluß an das große Verbund-netz nicht, daß wir mit elektrischer Energie nicht mehr zu sparen brauchten. Selbstverständlich bekommen wir die Energie aus den befreundeten Ländern nicht um-sonst, sondern müssen sie bezahlen. Außerdem haben auch die befreundeten sozialistischen Länder selbst einen angespannten Energiehaushalt. Deshalb dürfen

wir nicht erwarten, daß sie uns Energie, die sie selbst dringend benötigen, zur Verfügung stellen, damit wir sie verschwenden können. Sparsamkeit mit Elektroenergie bleibt ein dringendes Gebot!

Die „Währungen“ der Energie

Wenn wir eine Reise ins Ausland unternehmen, brauchen wir Geld, das dort gültig ist. Wir wechseln deshalb auf der Bank Mark der DDR in polnische Zloty, tschechoslowakische Kronen oder sowjetische Rubel um. Dabei bestehen zwischen den verschiedenen Währungen feste Umrechnungskurse. So erhalten wir für eine Mark der DDR z. B. 3,02 Kronen oder 6,00 Zloty.

So wie die einzelnen Länder den Geldwert in verschiedenen Geldeinheiten, Währungen genannt, ausdrücken, so werden auch die verschiedenen Energieformen in unterschiedlichen Energieeinheiten ausgedrückt. Von solchen Einheiten kennen wir bereits die Kilokalorie (kcal) für Wärme und die Kilowattstunde (kWh) für elektrische Energie. Auch zwischen den unterschiedlichen Energiemaßen gibt es feste Umrechnungsverhältnisse. So entsprechen z. B. 1000 kcal Wärme 1,16 kWh elektrischer Energie. Daraus könnte man schließen, daß aus 1000 kcal Wärme 1,16 Kilowatt elektrische Energie zu gewinnen sind.

Leider ist das aber nicht der Fall. Denn es ist praktisch nicht möglich, Wärme restlos in elektrische Energie umzuwandeln. In den älteren Wärmekraftwerken wurden kaum 10 Prozent der aufgewandten Wärme in Elektro-

energie umgewandelt. Heute erreicht man in modernsten Kraftwerken bis zu etwa 40 Prozent. 60 Prozent der Kohle, des Erdöls oder des Kernbrennstoffs verbrauchen wir also nutzlos.

Ein Teil der Wärmeenergie geht z. B. buchstäblich durch den Schornstein. Zwar wird die Luft dadurch erwärmt. Aber das nützt niemandem. Der Dampf, der in den Turbinen seine Arbeit verrichtet hat, muß anschließend im Kondensator wieder zu Wasser verflüssigt werden. Dafür wird der Kondensator mit kaltem Wasser aus Flüssen oder Seen durchspült. Es erwärmt sich dabei und führt so ebenfalls einen Teil der Wärme nutzlos in Flüsse oder Seen. Das sind nur einige von sehr vielen Verlustquellen. Für die Energiewirtschaft zählt allein die nutzbare Energie.

Man nennt das Verhältnis zwischen der erhaltenen Nutzenergie und der ursprünglich aufgewandten, also z. B. der bei der Verbrennung oder Kernspaltung entstandenen Wärme, den Wirkungsgrad. Bei einem Wirkungsgrad von 40 Prozent erhalten wir daher aus je 1000 kcal Wärme nur 0,464 kWh elektrische Energie. Bei 100prozentigem Wirkungsgrad wären es 1,16 kWh. Da 1 kg gute Steinkohle bei der Verbrennung 8000 kcal Wärme ergibt, erhalten wir bei einem Wirkungsgrad von 40 Prozent $8 \cdot 0,464 \text{ kWh} = \text{rund } 3,7 \text{ kWh}$.

Die Energietechniker der Welt führen seit Jahrzehnten einen zähen Kampf um die Erhöhung des Wirkungsgrades. Denn dadurch könnte man, ohne mehr Brennstoff zu verbrauchen, mehr Energie erzeugen. Gelänge z. B. eine Steigerung von 40 auf 60 Prozent, dann könnte man aus derselben Brennstoffmenge anderthalbmal

mehr Elektroenergie erzeugen, aus 1 kg Steinkohle 5,6 kWh statt 3,7 kWh.

Eine Steigerung des Wirkungsgrades der Turbinen ist technisch aber kaum noch möglich, da alle denkbaren Verbesserungen bereits verwirklicht sind. Deshalb sucht man nach neuen Formen der Energieumwandlung, bei denen der Umweg über die Dampferzeugung wegfällt und die Ausgangsenergie direkt in elektrische Energie umgewandelt wird. Ein Weg dazu ist die Kombination von Turbine und sogenanntem MHD-Generator. Das ist die Abkürzung für magnetohydrodynamischer Generator. Die Sowjetunion hat schon vor einigen Jahren den ersten MHD-Generator für große Leistungen in Versuchsbetrieb genommen.

Strom aus der Flamme

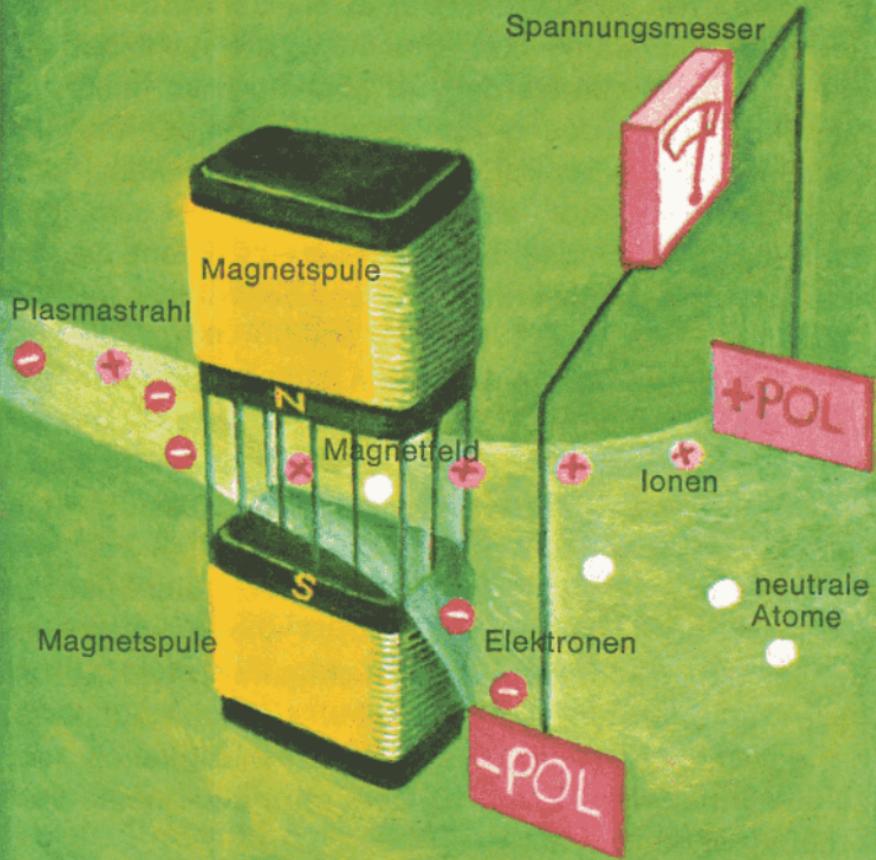
Die Elektroenergie-Erzeugung im MHD-Generator erfolgt nach demselben Naturgesetz der elektromagnetischen Induktion wie bei der Dynamomaschine. In beiden Fällen wird ein elektrischer Leiter in einem Magnetfeld bewegt. Bei der Dynamomaschine besteht er aus Drahtwicklungen, die sich auf einem rotierenden Läufer befinden, beim MHD-Generator ist der Leiter ein Gasstrahl. Normalerweise sind Gase nicht elektrisch leitfähig. Aber man kann Gas durch Zufuhr von Wärme in einen elektrisch leitfähigen Zustand versetzen. Man nennt es jetzt Plasma, wobei der Begriff eine andere Bedeutung hat als der auch in der Biologie verwendete Ausdruck.

Die Leitfähigkeit des Plasmas beruht darauf, daß durch die Energiezufuhr ein Teil der elektrisch neutralen Atome und Moleküle ionisiert wurde. Den Atomhüllen sind ein oder mehrere Elektronen entrissen. So entstanden positiv geladene Atomreste, Ionen genannt, und freie Elektronen, also negative Ladungsträger.

So wie eine Rakete durch die Düse ihres Triebwerks einen Strahl heißer Brenngase ausstößt, so wird im MHD-Generator ein heißer Plasmastrahl erzeugt. Er bewegt sich mit großer Geschwindigkeit durch ein Magnetfeld. Nun werden nach einem weiteren Naturgesetz bewegte elektrische Ladungen durch ein Magnetfeld in bestimmter Weise abgelenkt. Im MHD-Generator lenkt man die positiven Ionen nach der einen und die negativen Elektronen nach der anderen Seite. Sie treffen auf Elektroden, die dadurch eine hohe positive bzw. negative Ladung erhalten. Zwischen der positiven und negativen Elektrode entsteht somit eine Spannung. Schließt man einen Verbraucher an, so fließt elektrischer Strom. In unserem Bild ist anstelle des Verbrauchers ein Spannungsmesser an den Plus- und Minuspol angeschlossen. Der heiße Gasstrahl enthält aber auch noch Teilchen, die nicht in Ionen und freie Elektronen umgewandelt wurden, sondern neutrale Gasatome oder -moleküle geblieben sind. Sie werden durch das Magnetfeld nicht abgelenkt, sondern bewegen sich geradeaus weiter.

Für den Betrieb eines MHD-Generators muß durch Verbrennung von Kohle, Erdöl oder Erdgas ein etwa 2500 Grad C heißes Gas erzeugt werden. Diese Tempe-

Schema des MHD-Generators



ratur würde aber noch nicht ausreichen, um genügend viele Ionen und Elektronen zu erhalten. Deshalb „impft“ man das Gas mit kleinen Mengen besonders leicht ionisierbarer Stoffe, z. B. mit Cäsium und Kalium oder deren Salzen.

Der MHD-Generator selbst erzielt nur einen Wirkungsgrad von etwa 20 Prozent. Der Strahl der verbliebenen neutralen Gasatome und -moleküle, die nicht auf die Elektroden gelenkt werden, ist aber noch so heiß, daß man ihn zur Erzeugung von Dampf verwenden und damit einen Turbogenerator antreiben kann. Dieser und der MHD-Generator zusammengenommen erreichen dann einen Wirkungsgrad von 50 bis 60 Prozent. Das ist eine für Wärmekraftwerke bisher unerreichbar gewesene Leistung.

Die hohe Betriebstemperatur von 2000 bis 3000 Grad C stellt die Techniker vor große neue Probleme. Es müssen Werkstoffe entwickelt werden, die nicht nur für Minuten oder wenige Stunden die ungeheure Hitze aushalten wie ein Raketenmotor, sondern für sehr lange Zeit. Vor so schwierige Werkstoffprobleme waren die Energietechniker noch nie gestellt. Durch die Zusätze von Cäsium oder Kalium greift der Plasmastrahl das Material noch stärker an, als es durch die hohe Temperatur ohnehin geschieht. Noch viele andere Schwierigkeiten sind zu überwinden, bis der MHD-Generator allgemeine Verbreitung finden kann.

Das „Feuer“ des Atomzeitalters

Es gibt ein „Feuer“, das keine Flammen schlägt und trotzdem millionenmal mehr Wärme ergibt als die beste Steinkohle bei ihrer Verbrennung. Mit diesem sonderbaren Feuer hat die zweite große Epoche der Energietechnik begonnen, in der wir nicht mehr ausschließlich die in Brennstoffen gespeicherte Sonnenenergie nutzen, sondern eine andere Energieform. Sie stammt nicht von der Sonne, sondern ist eine Urkraft, die in jeder Materie steckt, genauer gesagt: in den Kernen der Atome. Man nennt sie Kernbindungsenergie. Sie ist die Quelle, aus der auch die Sonne und die meisten anderen selbstleuchtenden Sterne des Weltalls ihre gigantischen Energien gewinnen, die sie rundum in das Universum strahlen.

Gegenwärtig nutzen wir die Kernbindungsenergie allerdings erst in einer Weise, die in der Sonne und anderen Sternen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt, nämlich durch Atomkernspaltung. Sie erfolgt in einer Vorrichtung, die man Kernreaktor oder kurz Reaktor nennt. Er sieht äußerlich wie ein riesiger Betonklotz aus, denn seine äußerste Wandung ist eine dicke Betonschutzmauer. Sie ist erforderlich, weil bei den Spaltungen der Atomkerne tödlich starke Strahlen entstehen. Kein Mensch dürfte sich auch nur wenige Sekunden dieser Strahlung aussetzen. Er würde binnen weniger Tage daran sterben. Doch in der dicken Betonschutzwand bleiben die gefährlichen Strahlen stecken.

Atome haben Durchmesser, die in der Größenordnung von zehnmillionstel Millimetern liegen. Noch 100 000 mal

kleiner sind die Kerne der Atome. Wir wissen schon, daß Atome aus einem Kern und einer Hülle aus Elektronen bestehen. Aber auch die Kerne der Atome, ausgenommen nur die des einfachen Wasserstoffs, sind nochmals aus zwei verschiedenen Arten von Teilchen zusammengesetzt, die man Protonen und Neutronen nennt. Sie sind etwa gleich schwer. Aber das Proton ist positiv elektrisch geladen, das Neutron ungeladen, elektrisch neutral, daher sein Name.

Es gibt Atomkerne, die aus sehr vielen Protonen und Neutronen zusammengesetzt sind. So enthalten z. B. Uran-Atomkerne zwischen 234 und 238 solcher Kernteilchen. 92 davon sind Protonen, der Rest Neutronen. Manche der großen Atomkerne, die aus so vielen Teilchen bestehen, spalten sich sehr leicht in zwei Kerne, wenn ein weiteres Neutron in sie eindringt. Das ist zum Beispiel bei den Urankernen der Fall, die aus 235 Teilchen bestehen, und auch bei Plutoniumkernen, die 239 Teilchen haben. Man nennt solche Substanzen mit leicht spaltbaren Atomkernen starke Kernbrennstoffe. Sie sind der „Brennstoff“ der Kernreaktoren. Doch ist das Wort Brennstoff hier nur sinnbildlich zu verstehen. Die Kernspaltung ist keine wirkliche Verbrennung.

Wenn Atomkerne explodieren

Bei der Spaltung teilt sich der Atomkern in zwei Kerne, die mit großer Wucht auseinanderfliegen. Sie sind nun keine Uran- oder Plutoniumkerne mehr, sondern Atomkerne anderer chemischer Stoffe. Außerdem bleiben

bei einer solchen Spaltung zwei oder drei, im Durchschnitt etwa zweieinhalb Neutronen übrig, die in keiner der beiden neu entstandenen Atomkerne übergehen, sondern frei umherfliegen. Man nennt sie deshalb freie Neutronen.

Als der französische Forscher und Weltfriedenskämpfer Frederic Joliot-Curie das Freiwerden von Neutronen bei der Urankernspaltung Anfang 1939 zum ersten Mal experimentell nachwies, tauchte sofort der Gedanke auf, daß man je eines der pro Kernspaltung frei gewordenen Neutronen dazu verwenden könnte, einen weiteren Kern zu spalten. Bei dieser zweiten Kernspaltung werden wiederum zwei oder drei Neutronen frei, von denen eines einen dritten Kern spalten kann und so fort in unendlicher Kette. Man nennt den Vorgang daher Kettenreaktion.

Nun kann man Neutronen zwar nicht wie Geschosse oder Raketen auf Uranatomkerne zielen. Die Bewegungen der freien Neutronen verlaufen wahllos in zufälligen Richtungen. Dennoch fanden einfallsreiche Wissenschaftler Mittel und Wege, dieses Spiel des Zufalls unter Bedingungen ablaufen zu lassen, unter denen je ein Neutron wieder einen weiteren Atomkern trifft und ihn spaltet. Der Reaktor ist eine solche Vorrichtung.

Man kann die Kernspaltungs-Kettenreaktion im Kernreaktor sogar nach Belieben an- und abschwellen lassen. Da Neutronen die Kettenreaktion in Gang halten, braucht man nur Stäbe aus einem Material, das gierig Neutronen aufsaugt wie ein Schwamm das Wasser, in den Reaktor einzufahren, um die Kettenreaktion zu bremsen oder ganz aufhören zu lassen. Denn da die

Stäbe viel Neutronen wegfangen, bleiben dann nicht genug für die Aufrechterhaltung der Kettenreaktion übrig. zieht man die Stäbe dagegen wieder aus dem Reaktor heraus, so schwächt die Kettenreaktion an.

Bei der Kernspaltung und ihren zahlreichen Folgeprozessen entsteht sehr viel Wärme. Kernbindungsenergie wird in Wärmeenergie umgewandelt. Diese Wärme wird durch ein Kühlmittel, das durch den Reaktor strömt, laufend nach außen abgeführt. Das Kühlmittel – es kann sich dabei z. B. um Wasser oder um das flüssige Metall Natrium handeln – ist allerdings stark mit Stoffen durchmischt, die gefährliche Strahlen aussenden. Selbst wenn man als Kühlmittel Wasser benutzt, verwandelt man es daher nicht in heißen Dampf, der in Turbinen geleitet wird. Vielmehr strömt das Kühlmittel aus dem Reaktor erst in einen sogenannten Wärmeaustauscher.

Seine Funktion können wir uns durch einen Vergleich veranschaulichen. Wenn wir in einen größeren Topf mit heißem Wasser, der über der Gasflamme auf dem Herd steht, einen zweiten kleineren Topf mit kaltem Wasser hängen, so wird das Wasser im kleinen Topf ebenfalls erhitzt. Das Wasser des großen Topfes gibt seine Wärme teilweise an das Wasser im kleinen Topf ab. Das Wasser der beiden Töpfe fließt dabei aber nicht zusammen. Entsprechendes geschieht im Wärmeaustauscher. Die Rohrschlangen, durch die das Kühlmittel des Reaktors strömt, werden von Wasser umspült, das sich dadurch stark erhitzt, aber nicht mit dem Reaktor-Kühlmittel vermischt.

Das Wasser dieses zweiten Systems kann man nun zum Verdampfen bringen und zum Antrieb von Turbinen be-

nutzen. Sie treiben Dynamomaschinen an, die elektrische Energie erzeugen. Das geschieht nicht anders als in einem Kohle- oder Erdöl-Kraftwerk. Im Endergebnis erhalten wir aus der Kernbindungsenergie über mehrere Umwandlungsstufen also elektrische Energie.

Kraftwerke ohne Rauch

Da der Kernbrennstoff im Reaktor nicht wirklich verbrannt wird wie Kohle oder Erdöl, entsteht kein Rauch. Atomkraftwerke sind „umweltfreundlich“. Sie verunreinigen die Luft nicht. Wenn ein Kernkraftwerk trotzdem einen hohen Schornstein hat, so dient er nicht zum Entweichen von Rauch, sondern zum Ablassen eines bei der Kernspaltung in geringen Mengen entstehenden Gases. Allerdings bilden sich im Reaktor zahlreiche Stoffe, die radioaktiv sind, d. h. eine unsichtbare Strahlung aussenden. Die Strahlung klingt bei manchen Stoffen schon nach Tagen und Wochen, bei anderen erst nach Jahren und Jahrzehnten ab. Für die Aufbewahrung und Sicherstellung dieser radioaktiven Stoffe ist große Sorgfalt erforderlich. Ein Teil von ihnen ist für zahlreiche nützliche Zwecke anzuwenden.

Das erste Atomkraftwerk der Welt baute die Sowjetunion. Es wurde 1954 in der Nähe von Moskau in Betrieb genommen. Inzwischen gibt es viele Atomkraftwerke auf der Erde. Das erste Kernkraftwerk der DDR wurde bei Rheinsberg errichtet, ein noch größeres wurde am Greifswalder Bodden erbaut.

Brennstoff wird erbrütet

Aus dem vorhin erwähnten Ausdruck „starke Kernbrennstoffe“ kann man schon schließen, daß es auch schwache gibt. Dazu gehört vor allem das Uran mit 238 Kernteilchen. Der Atomkern Uran 238 fängt in den allermeisten Fällen ein Neutron nur ein, spaltet sich danach jedoch nicht. Leider bestehen aber 99,3 Prozent des natürlichen Urans ausgerechnet aus 238er Kernen. Doch ist das Einfangen des Neutrons durch den Urankern 238 nicht völlig nutzlos. Er wandelt sich dadurch über mehrere Zwischenstufen in Plutonium 239 um. Dies ist ebenfalls ein starker Kernbrennstoff. Allerdings dauert die Umwandlung einige Zeit.

Künftig wird man deshalb versuchen, solche Kernreaktoren zu bauen, in denen nicht nur Uran 235 verbraucht wird, sondern zugleich in möglichst großen Mengen neuer starker Kernbrennstoff Plutonium 239 entsteht. Das ist erstmalig in der gesamten Geschichte der Energietechnik, daß man als Nebenprodukt einer „Verbrennung“ zugleich neuen „Brennstoff“ erzeugt. Man nennt solche Reaktoren, da sie den neuen Brennstoff gewissermaßen „ausbrüten“, Brutreaktoren. In ähnlicher Weise läßt sich auch das chemische Element Thorium in starken Kernbrennstoff umwandeln. Plutonium ist ein Stoff, der überhaupt nur auf die geschilderte Weise zu erzeugen ist und von Natur aus auf der Erde nicht oder jedenfalls nur in unauffindbar winzigen Mengen vor kommt.

Blick auf ein Atomkraftwerk



- 1 Kernreaktor
- 2 Wärmeaustauscher
- 3 Dampfkondensator
- 4 Hauptdampfleitung
- 5 Kondensatorpumpen
- 6 Turbinen
- 7 Kühlurm

- 8 Wasserkühltank
- 9 Transformatorstation
- 10 Pumpstation
- 11 Werkstätten
- 12 Lagerräume
- 13 Verwaltungsgebäude

Probleme um eine künstliche Sonne

Mit den Uran- und Thoriumvorräten steht der Menschheit zwar ein äußerst ergiebiger neuer Primärenergieträger zur Verfügung. Aber für unbegrenzte Zeit reichen die Vorräte auch nicht. Deshalb unternehmen die Forscher vieler Länder gegenwärtig einen Großangriff auf die Lösung des Problems, wie man die Vorgänge künstlich nachahmen kann, durch welche die Sonne ihre gigantischen Strahlungsenergien gewinnt. Schon heute steht zwar fest, daß wir den Prozeß auf der Erde nicht in derselben Form nachahmen können, wie er auf der Sonne stattfindet. Dort verläuft er viel zu langwierig. Aber wir wollen das gleiche Prinzip anwenden, nämlich nicht schwere Atomkerne spalten, sondern umgekehrt zwei leichte Atomkerne zu einem verschmelzen. Dieser Prozeß heißt Kernverschmelzung oder Kernfusion. In explosiver Form ist die Kettenreaktion von Kernverschmelzungen schon heute möglich. Darauf beruht die Wasserstoffbombe. Unser Ziel ist aber, den Prozeß nicht explosiv, sondern gesteuert zu vollziehen, so daß nicht schlagartig eine zerstörerische Energiemenge frei wird, sondern fortlaufend nacheinander große Energiemengen verfügbar werden.

Für diese gesteuerte („kontrollierte“) Kernfusion sind noch große Schwierigkeiten zu überwinden. Da alle Atomkerne positiv, also gleichnamig geladen sind, stoßen sie sich gegenseitig ab. Um die Abstoßungskraft zu durchbrechen, müssen sich die Kerne mit großer Wucht, mit riesiger Geschwindigkeit aufeinander zu bewegen. Das erreicht man, indem die Atomkerne auf Temperatu-

ren von vielen Millionen Grad gebracht werden. Durch irgendein Feuer ist das nicht zu bewerkstelligen, aber durch Zufuhr großer Mengen elektrischer Energie.

Bei derart hohen Temperaturen sind freilich alle Stoffe gasförmig, sie sind Plasmen wie im MHD-Generator. So heiße Plasmen kann man aber in keinem Gefäß mehr einschließen, da dessen Wände schmelzen würden. Außerdem muß man die Berührung des heißen Plasmas mit den Wänden auch deshalb verhindern, weil es sich sonst sofort abkühlen würde. Da das Plasma aus geladenen Teilchen besteht, kann man es durch hinreichend starke magnetische Kräfte so in bestimmte Bahnen lenken, daß die Teilchen beieinander bleiben, als wären sie von den Wänden einer Flasche umschlossen. Man bezeichnet dieses Prinzip des Einschlusses von Teilchen daher bildlich als magnetische Flasche. Doch bevor das erste Kernfusions-Kraftwerk gebaut werden kann, gibt es hierbei noch zahlreiche schwierige Einzelprobleme zu lösen.

Strom aus Licht

1700mal mehr Energie, als gegenwärtig auf der ganzen Erde technisch erzeugt wird, strahlt uns die Sonne täglich kostenlos zu. Warum bemühen sich dann die Forscher, die komplizierten Kernprozesse, aus denen die Sonne ihre Energie bezieht, unter so großen technischen Schwierigkeiten auf der Erde nachzuahmen? Warum wandeln sie statt dessen nicht einfach die Sonnenstrahlen direkt in Elektroenergie um? Und warum wurde Jahr-

tausendelang der Umweg über die in Brennstoffen gespeicherte Sonnenenergie gegangen?

So einfach ist die Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie leider nicht! Deshalb sind wir bis heute auf die verschlungenen Umwege über Wärme, Dampf, Turbine und Generator angewiesen. Aber die Wissenschaftler suchen jetzt angestrengt nach anderen Wegen.

Wir können die Primärenergieträger in zwei Gruppen einteilen.

Merkmal der einen Gruppe ist, daß sich die Vorräte erschöpfen und zumindest nicht annähernd so schnell neu entstehen, wie wir sie verbrauchen. Zu dieser Gruppe zählen Kohle, Erdöl, Erdgas, Holz und Torf. Kernbrennstoffe erneuern sich von Natur aus überhaupt nicht.

Merkmal der zweiten Gruppe von Primärenergieträgern ist, daß sie sich von Natur aus dauernd erneuern und daher praktisch unerschöpflich sind. Dazu gehören die Licht- und Wärmestrahlen der Sonne, die Wind- und Wasserkraft. Nahezu unerschöpflich ist auch die Wärme in großen Tiefen der Erde.

Es ist klar, daß es viel besser wäre, die unerschöpflichen Energiequellen stärker zu nutzen, um die erschöpfbaren schonen zu können. Irgendwann werden die Menschen sogar ganz ohne sie auskommen müssen.

Aber es geht nicht nur um die Art der genutzten Energiequellen. Wunschtraum der Energietechniker ist es, auch auf all die vielen komplizierten Maschinen und sonstigen technischen Einrichtungen, die zu einem Kohle-, Erdöl- oder Kernkraftwerk gehören, verzichten zu können und die Primärenergie auf ganz einfache und direkte Weise

in Elektroenergie umzuwandeln. Seit etwa zwei Jahrzehnten gibt es dafür tatsächlich eine Möglichkeit, die auf den ersten Blick bestechend erscheint: Plättchen aus bestimmten Halbleitermaterialien wandeln auftreffendes Licht direkt in elektrische Energie um. Man nennt sie Solarzellen oder Sonnenbatterien. Viele künstliche Erdsatelliten und Planetensonden sind damit ausgestattet. Sie speisen die elektronischen Geräte an Bord. Da Sonnenstrahlen im Weltraum immer vorhanden sind, können sie die Bordgeräte auf sehr lange Zeit versorgen.

1,5 Millionen Mark für 1 Kilowatt

Warum baut man nicht auf der Erde Kraftwerke, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten, und stellt die gesamte Elektroenergie-Produktion auf Sonnenbatterien um?

Eine Solarzelle erzeugt nur eine winzige Menge elektrischer Energie. Man muß deshalb sehr viele nebeneinander montieren und zusammenschalten. Um ein einziges Kilowatt elektrischer Leistung zu gewinnen, sind 10 Quadratmeter Fläche als Solarzellen auszulegen. Da es auf der Erde große Wüstengebiete gibt, die landwirtschaftlich sowieso nicht genutzt werden, wäre das kein Problem. Man könnte riesige Flächen mit Solarzellen belegen.

Aber da ist der Kostenpunkt! Gegenwärtig kosten Solarzellen für 10 Quadratmeter Fläche, also für die Erzeugung eines Kilowatts elektrischer Leistung, etwa anderthalb Millionen Mark! Denn für Sonnenbatterien braucht man Stoffe mit mehr als 99,99 Prozent Reinheit, reiner

als Gold, und auch der sonstige Herstellungsprozeß ist kompliziert und teuer. Anderthalb Millionen Mark für ein Kilowatt! Da rechne man sich aus, wieviel ein Solarzellen-Kraftwerk mit der Leistung eines Wärmekraftwerks von 100 000 Kilowatt kosten würde. Selbst wenn sich die Herstellung der Solarzellen noch wesentlich verbilligen sollte, wären Großkraftwerke mit Sonnenbatterien unbezahlbar.

Solarzellen sind deshalb nur dort sinnvoll einzusetzen, wo keine großen elektrischen Leistungen erforderlich sind und eine andere Möglichkeit der Energieversorgung entweder gar nicht oder nur unter größten Schwierigkeiten möglich wäre. Das Paradebeispiel dafür sind die Weltraum-Flugkörper. So hat z. B. der sowjetische Nachrichtensatellit „Molnija“ sechs lange Ausleger mit Solarzellen. Auch für Fernseh-Hilfssender auf schwer zugänglichen Berggipfeln benutzt man Sonnenbatterien, ferner für Blinklichtbojen auf dem Meer und für andere schwer zugängliche technische Einrichtungen, die für ihre Funktion elektrische Energie benötigen.

Falle für Wärmestrahlen gesucht

Dennoch haben die Wissenschaftler das Ziel, große Mengen Elektroenergie aus der Sonnenstrahlung zu gewinnen, nicht aufgegeben. So direkt wie bei den Solarzellen geht das allerdings nicht, aber doch wenigstens ohne den Umweg über die erschöpfbaren Brenn-

Sowjetischer Nachrichtensatellit mit Solarzellen-Auslegern



stoffe. So kochen Haushalte mancher südlicher Gebiete der Sowjetunion mit Sonnenspiegeln, welche die Lichtstrahlen bündeln und konzentriert auf eine Stelle werfen. Nach demselben Grundprinzip arbeitet ein sowjetisches Sonnenkraftwerk. Viele bewegliche Spiegel werfen die Sonnenstrahlen gebündelt auf einen Dampferzeuger. Mit dem Dampf werden wie in anderen Wärmekraftwerken Turbinen angetrieben. Aber der technische Aufwand ist auch hier recht groß.

Gegenwärtig arbeiten die Forscher an einem anderen Prinzip. Dabei soll auf großen Flächen in Wüstengebieten, in denen fast immer die Sonne scheint, ein Stoff ausgelegt werden, der die Sonnenstrahlen besonders gut absorbiert und sich dadurch stark erwärmt. Uns ist sicher schon aufgefallen, daß Asphalt und Steine oder metallene Gegenstände in der prallen Sommersonne sehr warm werden. Für eine vorteilhafte Dampferzeugung werden sie aber bei weitem noch nicht heiß genug. Das liegt nicht nur daran, daß sie die Sonnenstrahlung nicht stark genug absorbieren, sondern es hat noch einen anderen Grund. Jeder Körper absorbiert nämlich nicht nur Strahlen, sondern sendet auch selbst Wärmestrahlen aus. Dadurch stehen den Wärmeeinnahmen durch Strahlenabsorption dauernde Wärmeverluste durch Ausstrahlung gegenüber. Über eine gewisse Temperatur hinaus können sich die Körper daher selbst in praller Sommersonne nicht erhitzen.

Die Wissenschaftler bemühen sich nun darum, Filterschichten herzustellen, welche die Strahlen mit kürze-

Entwurf eines sowjetischen Sonnenkraftwerks



ren Wellenlängen zwar hindurchlassen und somit die Absorption und Erwärmung eines Stoffes durch die Sonnenstrahlen ermöglichen. Die von dem Stoff wieder ausgesandten langwelligen Wärmestrahlen sollen jedoch durch die Filterschicht zurückgehalten werden, so daß sie den Stoff nicht verlassen können. Dadurch staut sich die Wärme darin mehr und mehr, sie bleibt in dem Stoff gewissermaßen gefangen wie in einer Falle. Mit solchen Filterschichten hofft man geeignete Stoffe von hoher Sonnenstrahlen-Absorption auf so heiße Temperaturen erhitzen zu können, daß eine vorteilhafte Dampferzeugung möglich wird.

Autos tanken Wärmepakete statt Benzin

Sollen Sonnenkraftwerke künftig eine wichtige Rolle in der Energiewirtschaft übernehmen, so ist aber noch ein weiteres Problem zu lösen. Nachts scheint die Sonne nicht, und auch in Wüsten gibt es Tage mit bedecktem Himmel. Um diese Zeiten zu überbrücken, brauchen wir wieder einen Energiespeicher. Da sich elektrische Energie in großen Mengen nicht speichern läßt, bleiben zwei Auswege. Die Energie muß entweder in Form von Wärme gespeichert werden, oder man muß mit Hilfe von Elektroenergie einen Brennstoff erzeugen, aus dem sich später wieder Elektroenergie gewinnen läßt. Pumpspeicherkraftwerke scheiden aus. Sie wären zu teuer, außerdem ist in Gebieten, wo viel Sonne vorhanden ist, Wasser oft sehr knapp.

Die Wärmespeicherung wäre mit Hilfe geeigneter Salz-

lösungen möglich. Sie werden durch Röhren geleitet, die aus dem Stoff bestehen, der sich durch die Sonnenstrahlen erhitzt. Die Salzlösungen geben die dabei aufgenommene Wärme sehr viel langsamer wieder ab als Wasser. Lösungen, die am Tage erhitzt wurden, bleiben noch während der folgenden Nacht heiß und können so den Betrieb des Kraftwerks aufrechterhalten.

Es wurden noch andere Stoffe entwickelt, die ein hohes Wärmespeichervermögen haben. Man denkt sogar daran, solche Wärmespeicher künftig anstelle von Benzin und anderen flüssigen Kraftstoffen für den Betrieb von Autos zu verwenden. Das Auto würde dann statt Benzin ein Wärmespeicherpaket tanken. Mit einem sogenannten Stirling-Motor, dessen Prinzip längst erfunden ist, würde die Wärme in mechanische Energie umgewandelt und so das Fahrzeug in Bewegung setzen. Derartige Autos wären abgasfrei und daher umweltfreundlich.

Verbrennungsprodukt: Wasser

Eine andere Möglichkeit der Energiespeicherung in künftigen Sonnenkraftwerken besteht darin, daß man einen Teil der mittels Dampfturbine und Generator erzeugten Elektroenergie zunächst nicht zu den Verbrauchern leitet, sondern damit Wasser in seine beiden chemischen Bestandteile, die Gase Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt. Für die Zerlegung dieser Verbindung muß man Energie aufwenden. Umgekehrt wird Energie frei, wenn sich Wasserstoff und Sauerstoff wieder zu Wasser verbinden.

Wasserstoff ist also auch ein Brennstoff! Sein Verbrennungsprodukt ist reines Wasser. Die „Verbrennung“ von Wasserstoff zu Wasser erzeugt daher keinerlei schädliche Abgase. Der Wasserstoff und Sauerstoff, der im Sonnenkraftwerk durch Zerlegung (Elektrolyse) des Wassers gewonnen wurde, soll durch getrennte Rohrleitungen zu den Zentren des Energieverbrauchs transportiert werden, so wie heute Erdöl und Erdgas. Da das Rohrleitungsnetz große Mengen dieser Gase faßt, fungiert es zugleich als Speicher der Energieträger. Auch wenn für das Sonnenkraftwerk Nacht ist oder zwischen durch ein paar Tage mit dichter Bewölkung eintreten, kann die Energieproduktion in den Verbrauchszentren mit dem im Rohrnetz gespeicherten Wasserstoff und Sauerstoff fortgesetzt werden.

Sonnenkraftwerke dieser Art gibt es derzeitig noch nicht. Aber es gibt schon Vorrichtungen, in denen Elektroenergie dadurch gewonnen wird, daß sich Wasserstoff und Sauerstoff wieder zu Wasser verbinden. Diese Vorrichtung nennt man Brennstoffzelle. Sie wandelt chemische Energie ohne den Umweg über Dampf, Turbine und Generator direkt in Elektroenergie um und erzielt dabei sogar einen hohen Wirkungsgrad bis zu 90 Prozent. Doch ist es im Moment noch nicht gut möglich, mit Brennstoffzellen so große elektrische Leistungen zu erzeugen wie in einem Wärmekraftwerk. Wollte man z. B. den Pkw „Trabant“ auf Elektroantrieb umstellen und die erforderliche Elektroenergie durch eine Brennstoffzelle erzeugen, so wäre sie allein so schwer wie der ganze heutige „Trabant“.

Doch werden Brennstoffzellen bereits vereinzelt für

Zwecke eingesetzt, für die man sonst einen Akkumulator benutzen würde. Gegenüber dem Akku hat die Brennstoffzelle Vorteile. Sie ist leichter als ein Akku für die gleiche Leistung, und sie braucht nicht wie ein Akku von Zeit zu Zeit nachgeladen zu werden. Vielmehr können die Betriebsstoffe wie bei einem Motor kontinuierlich nachgefüllt werden, so daß eine ununterbrochene Energieerzeugung möglich ist.

Energie vom Mond

So könnte man die Energieproduktion in einem Gezeitenkraftwerk bezeichnen. Gezeiten nennt man die periodisch in etwa zwölfeinhalbstündigem Wechsel erfolgenden Hebungen und Senkungen des Meeresspiegels. Das Steigen des Wassers heißt Flut, das Fallen Ebbe.

Eine der Ursachen der Gezeiten ist die Massenanziehungskraft, die der Mond auf die Erde ausübt. Insofern können wir den Mond zur Energiegewinnung mit heranziehen. Wenn das Wasser bei Flut gegen die Küste anströmt und wenn es bei Ebbe ins Meer zurückströmt, kann es ebenso wie in einem Flußwasserkraftwerk Turbinen treiben. Allerdings ist der Bau von Gezeitenkraftwerken sehr aufwendig. Denn um einen ununterbrochenen Betrieb zu ermöglichen, muß man mehrere große Becken anlegen, zwischen denen das Wasser pausenlos in Bewegung gehalten wird.

Am ehesten lohnt der Bau von Gezeitenkraftwerken an solchen Stellen der Küste, an denen der Unterschied des Wasserstandes bei Ebbe und Flut sehr groß ist. Das

erste große Gezeitenkraftwerk wurde in der Mündung des französischen Flusses Rance angelegt. Dort beträgt der Höhenunterschied des Meeresspiegels zwischen Ebbe und Flut etwa 12 Meter. In der kanadischen Fundy-bay erreicht er sogar 21 Meter. Ein weiteres Gezeiten-kraftwerk gibt es in der Sowjetunion bei Murmansk. Ein noch sehr viel größeres ist dort im Bau.

Es gibt noch andere Möglichkeiten, dem Meer Energie zu entlocken. Ein merkwürdiges Kraftwerk befindet sich an der westafrikanischen Küste bei Abidjan. Dort benutzt man das von der sengenden Tropen-sonne auf etwa 28 Grad erwärmte Wasser einer flachen Lagune zur Erzeugung von Dampf, der Turbinen treibt. Aber muß man denn Wasser nicht auf 100 Grad erhitzen, um es zu verdampfen?

Der Siedepunkt des Wassers beträgt nicht unter allen Umständen 100 Grad, sondern nur bei dem normaler-weise an der Erdoberfläche herrschenden Luftdruck von 1 Atmosphäre. Wird der Druck gesenkt, so sinkt auch der Siedepunkt des Wassers. Auf hohen Berggipfeln, auf denen der Luftdruck niedriger ist als in Höhe des Meeresspiegels, siedet Wasser daher schon bei Tempe-raturen unter 100 Grad C. Umgekehrt erhöht sich der Siedepunkt, wenn man Wasser unter starken Druck setzt.

Man kann den Luftdruck in einem Dampferzeuger und einer Turbine so weit senken, daß Wasser schon bei 28 Grad C verdampft. Das geschieht im Kraftwerk von Abidjan. Wie in jedem Dampfkraftwerk braucht man

Gezeitenkraftwerk



aber auch ein Kühlmittel, das den Dampf wieder verflüssigt, kondensiert, nachdem er seine Arbeit in der Turbine geleistet hat. Dafür wird Wasser aus großer Meerestiefe benutzt, das durch wärmeisolierte Rohre nach oben gelangt. Das Kraftwerk erzeugt 10 000 Kilowatt. Nicht nur bei Abidjan, sondern an vielen Stellen tropischer Meeresküsten könnte man auf diese Weise Energie aus der Temperaturdifferenz zwischen dem Wasser an der Oberfläche und dem Tiefenwasser gewinnen. Das Oberflächenwasser wird in den Tropen auf 25 bis 30 Grad C erwärmt, in großen Tiefen bleibt es dagegen ständig etwa 4 Grad C.

Strom aus Fesselballons

Seit es keine Windmühlen und Segelschiffe mehr gibt, wird die Energie des Windes kaum noch genutzt. Auch das wollen sowjetische Techniker ändern. Sie haben ein Projekt ausgearbeitet, vom Wind getriebene Dynamomaschinen an Fesselballons in großen Höhen aufzuhängen. Die Seile, die den Fesselballon halten, könnten gleichzeitig die elektrische Energie zur Erde leiten. Spezialwerkstoffe für die Seile, die bei geringer Masse eine hohe Festigkeit haben, wurden von sowjetischen Wissenschaftlern bereits entwickelt.

Kleine, vom Wind getriebene Dynamomaschinen gibt es in weitab von Städten und elektrischen Überlandleitungen gelegenen Gebieten der Sowjetunion schon heute. Aber sie haben den Nachteil, eine recht unzuverlässige Elektroenergiequelle zu sein. Denn wenn kein Wind

weht, entsteht auch keine elektrische Spannung. Dieser Nachteil soll durch die Aufhängung der Generatoren in großen Höhen beseitigt werden. Denn dort weht der Wind viel beständiger als in Bodennähe.

Weit im Osten der Sowjetunion arbeitet auf der Halbinsel Kamtschatka ein Kraftwerk von 12 000 Kilowatt, das Wärme aus der Tiefe der Erde nutzt.

Je tiefer wir in die Erde vordringen, desto höher steigt die Temperatur. Der Temperaturanstieg ist nicht überall gleich. Besonders groß ist er häufig in vulkanischen Gebieten. Dort kann es vorkommen, daß das Thermometer auf je 5 Meter um 1 Grad C klettert, so daß wir in nur 1000 m Tiefe schon 200 Grad C messen. Durch Tiefbohrungen sind solche natürlichen Wärmequellen anzuzapfen und für die Erzeugung von Dampf für den Betrieb von Turbinen zu nutzen. Man nennt solche Anlagen geothermische Kraftwerke. Außer dem auf Kamtschatka sollen weitere in Sibirien und im Kaukasus an dafür günstigen Stellen errichtet werden.

Es gibt noch viele weitere Möglichkeiten, unerschöpfbare natürliche Energiequellen zu nutzen. Wir konnten hier nur einige Beispiele erwähnen. In absehbarer Zukunft werden sie – vielleicht mit Ausnahme der Sonnenkraftwerke – vermutlich noch keinen großen Anteil der Elektroenergie-Erzeugung übernehmen, sondern nur eine ergänzende Rolle spielen. Aber man wird sich diesen Energiequellen später in dem Maße zuwenden müssen, in dem sich die herkömmlichen Brennstoffe und auch die Kernbrennstoffe erschöpfen.

Lenins historischer GOELRO-Plan

Von der Energiewirtschaft hängt die gesamte übrige Wirtschaft eines Landes entscheidend mit ab. Der bedeutendste Gebrauchsenergieträger ist heute die Elektrizität. In der Konsequenz dieser Erkenntnis stellte W. I. Lenin seinen historischen GOELRO-Plan auf. Das Wort ist eine Abkürzung für „Gosudarstwenny Plan Elektrifikazii Rossii“ (Staatlicher Plan für die Elektrifizierung Rußlands). Lenin bezeichnete ihn als das „zweite Parteiprogramm“ und gab die Lösung aus „Kommunismus ist Sowjetmacht plus Elektrifizierung des ganzen Landes!“. Der Plan wurde 1920 auf dem VIII. Allrussischen Sowjetkongreß diskutiert und beschlossen. Er sah innerhalb von nur 10 bis 15 Jahren den Bau von 30 Kraftwerken und eine fast 4,5fache Steigerung der Elektroenergieproduktion vor.

Bis zur Großen Sozialistischen Oktoberrevolution im Jahre 1917 war das russische Zarenreich in der Elektroenergie-Produktion unglaublich rückständig. In ganz Rußland gab es nur zwei Dampfturbinen, elektrische Lampen nur in Moskau und Petrograd. Die Gesamtleistung sämtlicher Kraftwerke betrug 12 000 Kilowatt. Nach dem GOELRO-Plan sollte sie bis 1935 auf 1,5 Millionen Kilowatt gesteigert werden. Trotz vieler Schwierigkeiten gingen die sowjetischen Arbeiter und Ingenieure mit großer Begeisterung ans Werk. Sie übererfüllten den Plan mit fast 300 Prozent. So erreichte 1935 die Leistung der sowjetischen Kraftwerke bereits 4,4 Millionen Kilowatt. Im 50. Jahr der Sowjetmacht, 1967, war sie auf 589 Milliarden Kilowatt gestiegen! Und es geht im stür-

mischen Tempo weiter aufwärts. Neben großen Kohle- und Kernkraftwerken ist an den sibirischen Strömen Angara und Jenissei eine ganze Kaskade gigantischer Wasserkraftwerke im Entstehen.

Auch in der DDR wird der weitere Ausbau der Energiewirtschaft planmäßig vorangetrieben. Dabei erwachsen uns große Vorteile durch die Zusammenarbeit der Staaten des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe und insbesondere durch die Hilfe der Sowjetunion. Wir sind nicht nur an das internationale Energie-Verbundnetz der RGW-Länder angeschlossen, sondern erhalten von der Sowjetunion auch die Primärenergieträger Erdöl und Erdgas, die eine vorteilhaftere Gewinnung von Nutzenergie ermöglichen als unsere Braunkohle. Außerdem stellen uns die sowjetischen Energietechniker ihre umfangreichen Erfahrungen über den Betrieb großer Turbinen zur Verfügung und ermöglichen uns so die Errichtung von wirtschaftlich vorteilhaften Großkraftwerken.

Zur Energiewirtschaft gehört aber nicht nur die Erzeugung von Elektrizität. Auch der Verbrauch von Wärme für Produktionszwecke und Heizung sowie die Gaserzeugung spielen eine große Rolle. In wie großem Maße die gesamte industrielle Produktion unseres Landes von der Energiewirtschaft abhängt, zeigt sich, wenn wir den Anteil der einzelnen Gruppen am Gesamtenergieverbrauch betrachten. Er verteilt sich wie folgt:

- 76,7 Prozent . . . Industrie
- 8,5 Prozent . . . Haushalte
- 7,0 Prozent . . . Handel, Handwerk und Gewerbe
- 3,4 Prozent . . . Landwirtschaft

- 3,4 Prozent . . . übrige Wirtschaft
- 1,0 Prozent . . . gesellschaftliche Einrichtungen

Die Industrie steht im Verbrauch also weit an der Spitze. Sparsamkeit mit Energie ist deshalb nicht nur im Haushalt, sondern auch an jedem Arbeitsplatz geboten.

Wettlauf der Energieträger

Der Energiebedarf ist im Verlaufe unseres Jahrhunderts im Weltmaßstab enorm gestiegen. Er betrug 1970 das rund 5fache des Standes von 1910 und wird bis zum Jahre 2000 schätzungsweise das 12fache dieses Standes erreichen. Die Energiewirtschaft zeigt aber nicht nur eine Entwicklung in Richtung auf ständige Steigerung von Produktion und Verbrauch. Es ändern sich auch die Anteile der verschiedenen Primärennergieträger, aus denen Energie technisch gewonnen wird. 1965 stand die Kohle mit 39,9 Prozent noch an der Spitze, gefolgt vom Erdöl mit 33,5 Prozent. Der Erdgasverbrauch betrug mit 16,3 Prozent erst etwa die Hälfte des Erdölanteils. 5,9 Prozent entfielen auf Wasserkräfte und 4,4 Prozent auf Holz, Torf und andere Brennstoffe. Der Anteil der Kernenergie war noch so gering, daß er gar nicht ins Gewicht fiel.

Nach Berechnungen werden sich die Anteile bis zum Jahre 2000 wesentlich verändern. Je etwa ein Viertel wird auf Kernenergie, Erdöl und Erdgas entfallen und demgegenüber der Anteil der Kohle stark zurückgehen. Daß der Wasserkraftanteil auf 2,4 Prozent zurückgeht, besagt nicht, daß man bis zum Jahre 2000 keine großen

Wasserkraftwerke mehr bauen wird, sondern bedeutet nur, daß die Energiegewinnung aus Wasserkräften nicht mit dem gleichen Tempo wächst wie bei den anderen Primärennergieträgern. Nach dem Jahre 2000 wird der Anteil der Kernenergie vermutlich in besonders starkem Maße steigen und die anderen Energieträger an Bedeutung übertreffen.

Zusammenfassung

1.

Die Energie ist für das Leben der Menschen unentbehrlich.

Ihre Bedeutung stieg in dem Maße, wie sich der Mensch von schwerer körperlicher Arbeit frei machte und sie Maschinen übertrug. Denn alle Maschinen verbrauchen Energie.

2.

Energie kommt in verschiedenen Formen vor. Wir lernen kennen: chemische Energie, Atomenergie, Strahlungsenergie, Wärmeenergie, elektrische Energie, mechanische Energie.

Unter der Bezeichnung mechanische Energie werden nochmals verschiedene Arten von Bewegungsenergie, z. B. Strömungs- und Rotationsenergie, sowie die Spannungsenergie zusammengefaßt.

3.

Energie läßt sich von einer Form in andere Formen umwandeln. Was in der Technik als Energie-Erzeugung und -Verbrauch bezeichnet wird, ist physikalisch betrachtet stets nur die Umwandlung von einer Energieform in andere.

4.

Die Summe der insgesamt in der Welt vorhandenen Energie bleibt stets gleich.

5.

Mit der Energietechnik werden Energieformen, die wir nicht unmittelbar nutzen können, in nutzbare Energieformen, in Gebrauchsenergie umgewandelt.

6.

Wollen wir kurz und allgemein definieren, was Energie ist, so müssen wir sagen: Energie ist die Fähigkeit der Materie, Arbeit zu verrichten. Dies kann z. B. mechanische Arbeit sein, bei der eine Kraft ausgeübt wird, oder elektrische Arbeit, bei der eine Glühlampe eine bestimmte Zeit Licht aussendet.

7.

Elektrische Energie ist für besonders viele Zwecke anwendbar. Man kann sie in Licht, Wärme, mechanische und chemische Energie umwandeln und zahlreiche komplizierte Prozesse damit bewerkstelligen, wie z. B. die Funktion von Radios, Fernsehern, Meßgeräten, elektronischen Rechenautomaten usw.

8.

Unter elektrischem Strom verstehen wir eine gerichtete Bewegung von Ladungsträgern, meist von Elektronen. Jedes Elektron ist Träger der kleinsten negativen elektrischen Ladungsmenge, die in der Natur vorkommt. Man nennt sie elektrische Elementarladung.

9.

Elektroenergie wird hauptsächlich in Kraftwerken dadurch gewonnen, daß man die in einem Primärenergieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas, Kernbrennstoff, strömendes Wasser) enthaltene Energie über mehrere Umwandlungsprozesse in elektrische Energie überführt.

Am Ende des Umwandlungsprozesses stehen die Turbine und der Generator. Die Turbine wandelt im Wasserkraftwerk die Strömungsenergie fließenden Wassers, im Wärmekraftwerk die Strömungsenergie von heißem und unter hohem Druck stehenden Dampf in mechanische Energie um.

sche Energie um. Der mit der Turbine verbundene Generator wandelt die mechanische in elektrische Energie um.

10.

Die aus dem Primärenergieträger freigesetzte Energie kann nicht restlos in elektrische Energie umgewandelt werden, sondern nur zum Teil. Den dabei erzielten Prozentsatz bezeichnet man als Wirkungsgrad.

Ein Ziel der Weiterentwicklung der Energietechnik ist, den Umwandlungsprozeß zu vereinfachen und den Wirkungsgrad zu erhöhen.

11.

Die im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) verbundenen sozialistischen Staaten arbeiten auch in der Energiewirtschaft eng zusammen.

12.

Die bisher hauptsächlich genutzten Primärenergieträger sind auf der Erde nur in begrenzten Mengen vorhanden und bilden sich nicht so schnell neu, wie wir sie verbrauchen. Für die Energieversorgung zukünftiger Generationen müssen deshalb Verfahren ausgearbeitet werden, um unerschöpfliche Primärenergieträger zu nutzen. Dazu gehört die Strahlungsenergie der Sonne.

Damit die bis jetzt nutzbaren Primärenergieträger nicht schon erschöpft werden, bevor solche Verfahren ausgearbeitet sind, müssen wir Energie sparsam verbrauchen.

Inhaltsverzeichnis

- 5 Auf dem Flug zur Hölle
- 9 Wir verfolgen eine Spur
- 9 Minus 273,15 Grad
- 11 Warum geht eine Uhr?
- 13 Pflanzen sind Energiespeicher
- 17 Wie wir unseren Körper heizen
- 20 Vom Steppenfeuer zur Dampfmaschine
- 23 Sklaven anstelle von Maschinen
- 28 Feuermaschinen
- 30 Wie die Dampfmaschine funktioniert
- 33 Die erste Eisenbahn
- 34 Wieviel ist ein PS?
- 37 Wie der Automotor funktioniert
- 44 Funken aus der Schwertspitze
- 46 Die erste Elektrisiermaschine
- 47 Plus und Minus
- 48 Franklin zog den Blitz auf Flaschen
- 52 Elektrizität aus Froschschenkeln
- 54 Was für Batterien gibt es?
- 58 Batteriestrom 1000mal teurer
- 59 Die Kompaßnadel zuckte
- 61 So funktioniert ein Elektromotor
- 62 Wie man durch Magnete Strom erzeugt
- 65 Die Dynamomaschine
- 67 Die Funkenkutsche
- 68 Die „Pfennige“ der Elektrizität
- 72 Was ist elektrischer Strom?

- 73 Wir schlüpfen in einen Draht
- 74 Blitzschnell und doch Schnecken tempo
- 76 Wann brennt die Sicherung durch?
- 78 Wie finden wir den Kurzschluß?
- 80 Die Geheimsprache des Stromzählers
- 82 Was ist Wechselstrom?
- 84 Eine Salve von Spannungsstößen
- 85 Was kostet eine Stunde Licht?
- 87 Dampfstrahl bricht Eisen
- 88 Nützliche Wasserspiele
- 92 Was sind Primärenergieträger?
- 93 Die weiße Kohle
- 95 Giganten an der Wolga und Angara
- 99 Ein Fahrstuhl für Fische
- 100 Talsperren – dreifach nützlich
- 101 Leipzig steht auf Kohle
- 103 Zwei Trassen der Freundschaft
- 107 Die Pulsadern der Energie
- 109 Mit 400 000 Volt auf Reisen
- 111 Supraleitung – ein Ziel für morgen
- 112 Was bedeutet Spitzenbelastungszeit?
- 115 Spitzenstrom aus Wasserschlössern
- 115 Das Verbundsystem „Frieden“
- 119 Die „Währungen“ der Energie
- 121 Strom aus der Flamme
- 125 Das „Feuer“ des Atomzeitalters
- 126 Wenn Atomkerne explodieren
- 129 Kraftwerk ohne Rauch
- 130 Brennstoff wird erbrütet
- 132 Probleme um eine künstliche Sonne
- 133 Strom aus Licht

- 135 1,5 Millionen Mark für 1 Kilowatt
- 136 Falle für Wärmestrahlen gesucht
- 140 Autos tanken Wärmepakete statt Benzin
- 141 Verbrennungsprodukt: Wasser
- 143 Energie vom Mond
- 146 Strom aus Fesselballons
- 148 Lenins historischer GOELRO-Plan
- 150 Wettlauf der Energieträger
- 152 Zusammenfassung

Alle Rechte vorbehalten
Printed in the German Democratic Republic
Издано в Германской Демократической Республике
Lizenz-Nr. 304-270/120/75-(40)
Gesamtherstellung: Interdruck, Leipzig
1. Auflage
LSV 7846
Für Leser von 10 Jahren an
Best.-Nr. 629 606 2
EVP 3,- M

Motor der Lebensvorgänge und der Technik ist die Energie. Bisher kam fast alle in der Technik genutzte Energie von der Sonne. Jetzt beginnt die Entfesselung von Energien, die nicht von der Sonne stammen.

