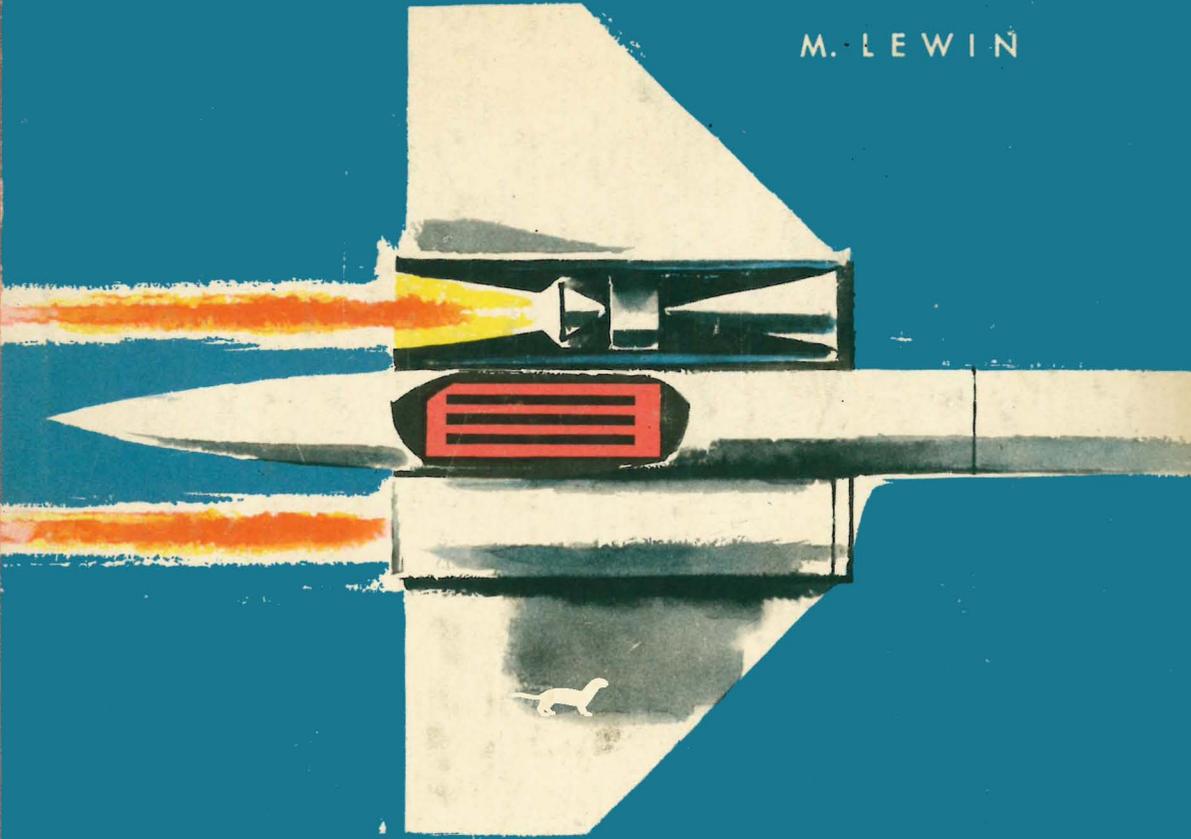
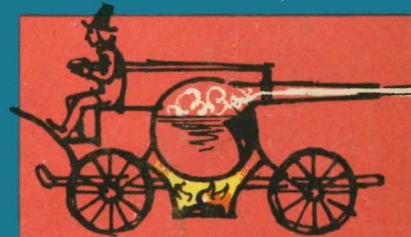


M. LEWIN



# Vom Wasserrad zum Atommotor



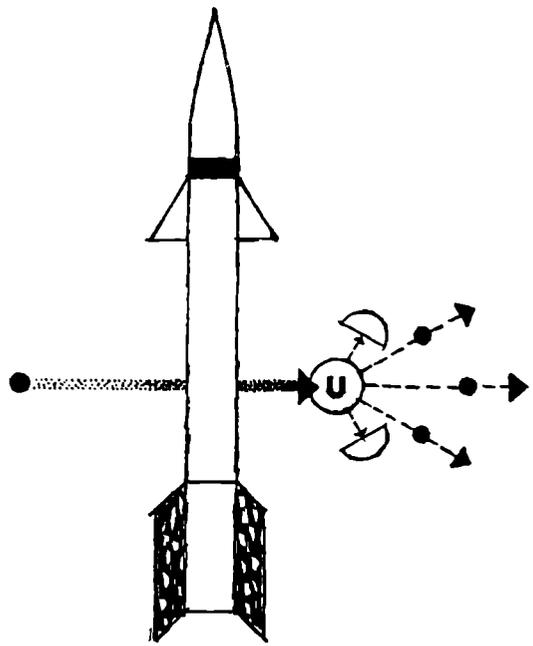
Newtons Dampfauto



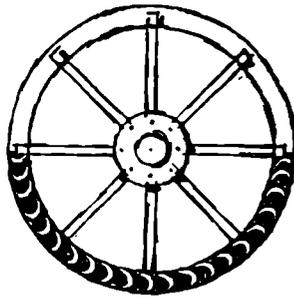
## Vom Wasserrad zum Atommotor



MARK LEWIN



## Vom Wasserrad zum Atommotor



DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN

Übersetzung aus dem Russischen von Otto Dietze · Titel des Originals: »Машины  
двигатель« · Mit freundlicher Genehmigung des Autors bearbeitet von Lothar  
Hitziger, Hans Kleffe, Karl Rezac und Hans-Peter Wetzstein

ILLUSTRATIONEN HEINZ-KARL BOGDANSKI

## VORWORT

*Jungen und Mädchen, Hand aufs Herz! War euch nicht ein wenig unheimlich zumute, als ihr zum erstenmal in eine große Werkhalle kamt? Warmer Öldunst schlug euch entgegen, lautes Getöse, Sausen und Stampfen verschluckte jedes Wort.*

*Da standen sie, die Maschinenungetüme. Und ihr bewundertet die Arbeiter, die an ihnen hantierten, als ob das gar nichts Besonderes wäre.*

*Inzwischen habt ihr euch mit den Maschinen angefreundet. Ihr könnt sie unterscheiden, wißt, was Bohr- oder Drehmaschinen, Schleif- oder Fräsmaschinen sind und habt vielleicht selbst an einer Maschine arbeiten dürfen.*

*Ein Loch ist zu bohren! Das Werkstück wird fest eingespannt, der Elektromotor eingeschaltet. Ihr drückt auf den Vorschubhebel, und schon senkt sich die Spindel mit dem Bohrer in das Metall hinein und schält die Späne heraus.*

*Seht euch das fertige Loch an! Eine so gleichmäßige Rundung mit sauber geschnittenen Mantelflächen könntet ihr mit einer Feile niemals zustande bringen. Die Bohrmaschine hat euch diese Mühe abgenommen; sie hat für euch gearbeitet. Sie ist eine Arbeitsmaschine.*

*Schon in der Steinzeit durchbohrte man harte Kieselsteine, um Axt- und Hammerstiele einsetzen zu können. Man benutzte Feuersteinbohrer, die in einen Holzstab eingesetzt wurden. Dieser Holzstab wurde zwischen den Handflächen gedreht. Wie viele Wochen mögen vergangen sein, ehe man ein Loch in den Stein gebohrt hatte?*

Dann ersann man Bohrgeräte, die die Arbeit erleichterten. Doch all diese Geräte brauchten eine Antriebskraft. An den Elektromotor war noch längst nicht zu denken. Die Menschen selbst, ihre Muskeln, mußten die Antriebskraft hergeben.

Im Laufe der Jahrhunderte verbesserte man die Bohrgeräte und auch andere Bearbeitungswerkzeuge soweit, daß man schon von Arbeitsmaschinen sprechen konnte. Je komplizierter diese Maschinen wurden, desto unzulänglicher erwies sich die menschliche Kraft. Sie war nicht stark und ausdauernd genug. Man mußte Maschinen ersinnen, die starke Kräfte entwickelten und den Arbeitsmechanismus in Bewegung setzten.

Der Elektromotor ist eine solche Kraft- oder Antriebsmaschine, aber er ist erst 60 Jahre alt. Andere Kraftmaschinen gab es schon viel früher. Der Arbeitsmaschine ist es gleichgültig, ob sie von einem Wasserrad, einer Dampfmaschine oder einem Elektromotor angetrieben wird. Wichtig ist nur, daß die Antriebsmaschine die notwendige Kraft entwickelt.

Heute werden Kraftmaschinen nicht nur zum Antrieb von Arbeitsmaschinen benutzt. Sie heben Lasten auf den Baustellen und treiben Schiffe, Eisenbahnen, Kraftfahrzeuge und Flugzeuge an. Von all diesen Kraftmaschinen will euch dieses Buch erzählen.

Doch sehen wir uns erst noch einmal in der Werkhalle um. An allen Maschinen könnt ihr beobachten, daß sie eigentlich aus zwei verschiedenen Maschinen bestehen: der Arbeitsmaschine, die fräst, schleift oder hobelt, und aus der Kraftmaschine, die die Arbeitsmaschine antreibt. Die Antriebskraft muß auf die Arbeitsmaschine übertragen werden. Zu diesem Zweck gibt es verschiedene Übertragungsmechanismen: den Riemenantrieb, Zahnräder oder eine gemeinsame Welle. Arbeits- und Kraftmaschinen findet ihr jedoch auch in eurer Wohnung. Vaters elektrischer Rasierapparat zum Beispiel besitzt einen kleinen Elektromotor, der die Messer, also die Arbeitsmaschine, antreibt. Was geschieht, wenn eine Sicherung durchbrennt und die

Kraftmaschine, der Elektromotor, keinen elektrischen Strom mehr erhält? Der Rasierapparat hört auf zu arbeiten.

Jede Kraftmaschine benötigt also Energie. Die Dampflokomotive schleppt stets einen tonnenschweren Kohlentender mit, weil die Kohle die Energie enthält, mit der die Lokomotive angetrieben wird. Die Straßenbahn entnimmt den Strom einer Oberleitung. Jedes Kraftfahrzeug oder Flugzeug muß Kraftstoff tanken.

Energien sind Naturkräfte. Der Mensch kann sie nicht erzeugen, sondern nur entdecken, erforschen und ausnutzen. Es gibt mehrere Energiearten, und der Mensch hat sie nicht alle zur gleichen Zeit entdecken und nutzen können. Doch in der Reihenfolge ihrer Entdeckung verwendete der Mensch sie für seine Kraftmaschinen: zuerst mechanische Energie, wie die Bewegungsenergie des strömenden Wassers und des Windes, dann die Wärmeenergie für Dampfmaschinen, später die elektrische Energie und schließlich die Atomenergie im Atomreaktor. Der Mensch vermag noch mehr; er kann die Energiearten sogar ineinander umwandeln. Nehmen wir ein einfaches Beispiel: Ein Wasserfall treibt eine Turbine und diese einen Stromerzeuger. Der Strom wiederum gelangt in unsere Wohnung und heizt einen Elektroofen. Die mechanische Energie des fallenden Wassers wurde hier in elektrische Energie und diese in Wärmeenergie umgewandelt. So spendete das fallende Wasser letzten Endes Wärme.

Es ist also notwendig, die Energiearten umzuwandeln. Doch mitunter wird dieser Umwandlungsprozeß sehr teuer; es treten nämlich dabei Energieverluste auf, die sehr groß sein können.

Um beispielsweise einen Elektromotor anzutreiben, müssen wir ihm eine bestimmte elektrische Leistung zuführen. Der Motor wandelt die elektrische Energie dann in mechanische Bewegungsenergie um. Leider gibt er aber nicht die volle ihm zugeführte Leistung wieder ab. Ein Teil muß für den Umwandlungsprozeß und für die Reibung an den Maschinenteilen aufgewendet werden. Die Leistung, die der

Motor wieder hergibt, nennt man Nutzleistung. Die Nutzleistung ist deshalb immer kleiner als die zugeführte Leistung. Zugeführte Leistung und Nutzleistung müssen wir an allen Maschinen unterscheiden. Die Energieverluste sind allerdings ganz verschieden. Um die Wirtschaftlichkeit einer Maschine einschätzen zu können, muß man deshalb ihren „Wirkungsgrad“ kennen. Man kann ihn ausrechnen, indem man die Nutzleistung durch die zugeführte Leistung dividiert. Doch das soll zunächst genügen. Sicher ist das alles gar nicht so einfach. Bedenkt aber, daß Jahrhunderte vergangen sind, ehe die vielen Maschinen, die ihr in den Werkhallen antrefft, geschaffen wurden. Viel Wissen mußten sich die Erfinder aneignen; viel Fleiß und Arbeit waren notwendig. Und noch viel Forschungsarbeit muß geleistet werden, um die heutigen Kraftmaschinen immer weiter zu verbessern, damit sie uns noch mehr Arbeit abnehmen.

Wenn ihr dieses Buch nicht so schnell auslesen könnt wie einen üblichen Roman, so denkt daran, daß auch den Konstrukteuren, den Erfindern der Welt der Maschinen, nicht gleich alles klar war. Sie hatten sich dem Abenteuer Technik verschrieben, und ihr sollt nun an diesem Abenteuer teilnehmen.

## WASSER- UND WINDKRAFTMASCHINEN

„Vom Wasser haben wir's gelernt...!“ Diese Worte stammen aus einem bekannten Lied Franz Schuberts. Hat man die Melodie dieses Liedes auch nur einmal gehört, dann wird man sie nicht wieder vergessen. In ihr ist die plätschernde Bewegung des unaufhaltsam fließenden Wassers in Töne umgesetzt, man spürt im Rhythmus dieser Musik, wie das unruhige, unentwegt strömende Wasser das Rad antreibt und wie sich die schweren Mühlsteine im Arbeitstakt drehen.

Die Menschen beobachteten die Bewegung des Wassers. Sie erkannten seine Kraft: Dem Schwimmer fiel es schwer, gegen die Strömung anzukämpfen, und der Ruderer vermochte sein Boot nur mit Mühe stromaufwärts zu führen.

Die Menschen, stets im Kampf mit dieser Naturgewalt, machten sich Gedanken über das Wasser.

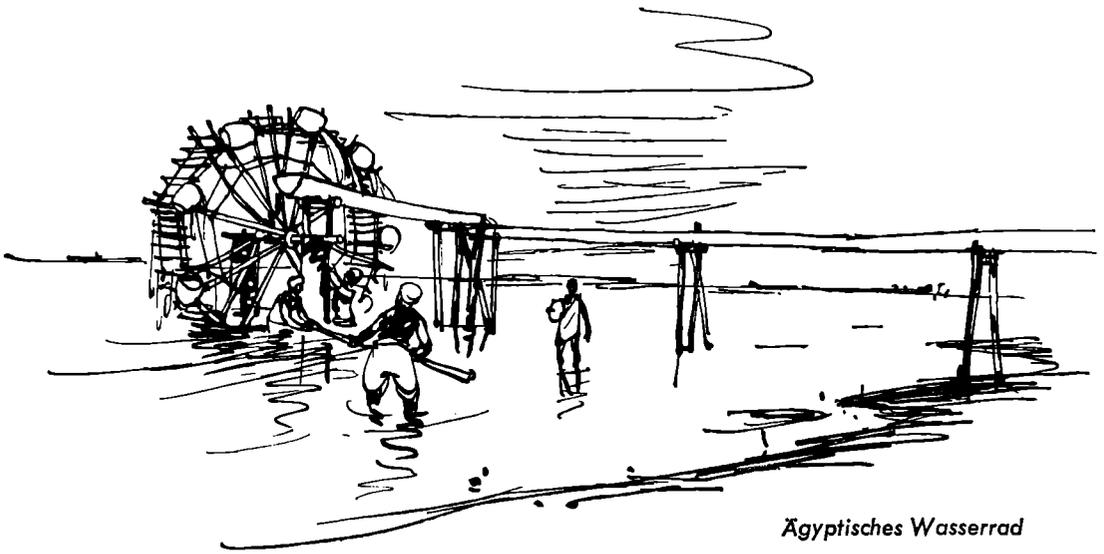
Man müßte es zähmen, seine Kraft nutzbar machen!

### Die ersten Wasserräder

So erfanden die Menschen die ersten Kraftmaschinen – die Wasserräder –, die nun schon einige Jahrtausende alt sind. Im alten China hatte man sie aus Bambus, im alten Babylonien und im alten Ägypten aus Holz hergestellt.

Benutzt wurden die Wasserräder zur Bewässerung der Felder. Man rammt zwei starke Pfähle in den Grund eines wasserreichen Flusses oder befestigte zwei Boote mit Steinankern nebeneinander. Die Pfähle oder Boote dienten als Stützen (Lager) für die Welle des Wasserrades.

Die unteren Schaufeln wurden von der Strömung des Flusses in Bewegung gesetzt. So tauchten die Schaufeln nacheinander ein, und das Rad drehte sich.



Ägyptisches Wasserrad

An diesem Rad befestigte man verschiedene Schöpfgefäße, die sich beim Eintauchen ins Wasser füllten, dann mit dem Rad nach oben stiegen und das Wasser in Rinnen entleerten, die zu den Feldern führten. Auf diese Art konnten die umliegenden Felder bewässert werden.

Vom Osten her wurden die Wasserräder auch in Rom bekannt. Aber dort wurden sie nicht nur zur Bewässerung der Felder, sondern auch für die Trinkwasserversorgung der Städte benutzt. Die römischen Wasserleitungen waren weltberühmt.

In der Alten Welt bestand jedoch für die Verwendung solcher Anlagen kaum eine wirtschaftliche Notwendigkeit. Um Wasserradanlagen mit Ablaufrinnen zu schaffen, benötigte man viel Material; sie mußten ständig überwacht und zuweilen auch repariert werden – das kostete Geld. Viel billiger war es, das Wasser von Sklaven tragen zu lassen.

Im Mittelalter fanden die Wasserräder dann weite Verbreitung. Sie blieben lange Zeit die wichtigsten Antriebsmaschinen. Man trieb mit ihnen nicht nur Mühlen an, sondern auch Pumpanlagen, Säge- und Hammerwerke. Einige dieser Werke sind, besonders im Erzgebirge, bis heute erhalten geblieben. Sie stehen unter Denkmalschutz.

Im Tal der Sehna bei Annaberg-Buchholz finden wir den „Frohauer Hammer“, ein Werk, das im Jahre 1436 als Mühle errichtet und 200 Jahre später zu einem Hammerwerk umgebaut wurde. Zwei gewaltige Wasserräder bewegten nicht nur die Antriebswelle für die schweren Eisenhämmer, sondern betätigten auch zwei Blasebälge. Das Werk war noch bis 1908 in Betrieb und diente als Kupfer-, Silber- und Sensenhammer.

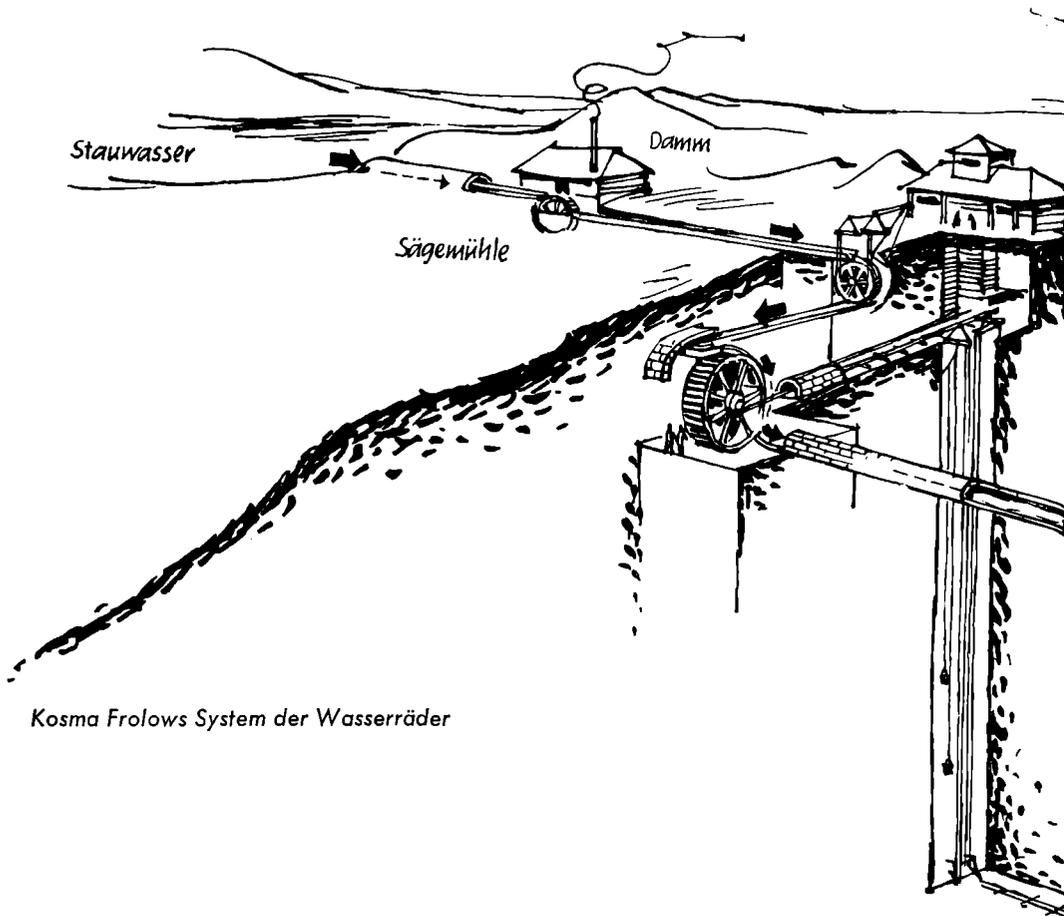
Im Jahre 1556 wurde für den sächsischen Bergbau ein Kehrrad konstruiert. Es besaß zwei entgegengesetzt gerichtete Schaufelreihen. Je nachdem, auf welche Schaufelreihe das Wasser fiel, drehte sich das Rad rechts- oder linksherum. In Frankreich wurde eine besonders leistungsfähige Anlage auf Befehl des französischen Königs Ludwig XIV. im Jahre 1682 an der Seine errichtet. Dreizehn Wasserräder, deren Durchmesser 8 m betrug, trieben 235 Saug- und Druckpumpen an. Mit dieser Maschinerie konnten ständig 200 m<sup>3</sup> Wasser auf eine Höhe von 160 m gepumpt werden.

Für die damalige Zeit war das eine beachtliche technische Leistung, doch welche Aufgabe erfüllte sie? Wollte Ludwig XIV. seinen Bauern helfen, ihre Felder und Weingärten zu bewässern? Diese Sorgen machte sich der König nicht. Seine Anlage diente einzig dem Zweck, die unzähligen Springbrunnen und Zierteiche seines Schloßgartens in Versailles ausreichend mit Wasser zu speisen. Für diese Spielerei erpreßte der französische Herrscher von seinem steuerzahlenden Volk umgerechnet 80 Millionen Mark.

Ähnlich verfuhr auch der preußische König Friedrich II. Sein sehnlicher Wunsch war, es den französischen Königen gleichzutun und in seinem Park von Sanssouci ebenfalls Wasserkunstanlagen zu besitzen. Zu seinem Leidwesen war aber an eine Wasserkraftanlage nicht zu denken, denn die Havel hat nicht die scharfe Strömung der Seine.

Von 1748 bis 1754 versuchten mehrere Baumeister vergeblich, mit Hilfe von Windrädern genügende Wassermengen in ein bereitstehendes großes Bassin auf dem heutigen Ruinenberg zu pumpen. Für diese Versuche verschwendete Friedrich II. insgesamt 168 490 Taler, ohne zum Ziel zu gelangen.

Frühzeitig bekannt waren die Wasserräder im alten Rußland. Als zum Beispiel der begabte Soldat Jakow Batischtschew auf Anordnung des Zaren Peter I. in Tula die ersten russischen Waffenfabriken baute, bewegte ein Wasserrad 30 Maschinen, mit denen immerhin Kanonenrohre ausgebohrt wurden. Eine ebenfalls interessante Anlage errichtete der russische Ingenieur Kosma Frolow in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts in Sibirien. An dem kleinen Fluß Smejewka wurde ein Damm aufgeworfen und hinter dem Damm ein 2 km langer unterirdischer Kanal zu einem anderen Flößchen, der Korbalicha, gegraben. Am Kanal entlang ließ Frolow unterirdische, teilweise bis zu 21 m hohe Höhlen anlegen, in denen Wasserradanlagen aufgestellt wurden. Das Wasser floß vom Damm aus im Kanal von Rad zu Rad wie auf einer Treppe abwärts, bis es die Korbalicha erreichte. Auf diese Weise nutzte Frolow das Wasser auf seinem Wege mehrmals aus. Mit Hilfe der Wasserräder wurden alle Einrichtungen eines Bergwerks angetrieben: Pumpen, Erzförderanlage und die Seilzulanlage mit den Hunten.

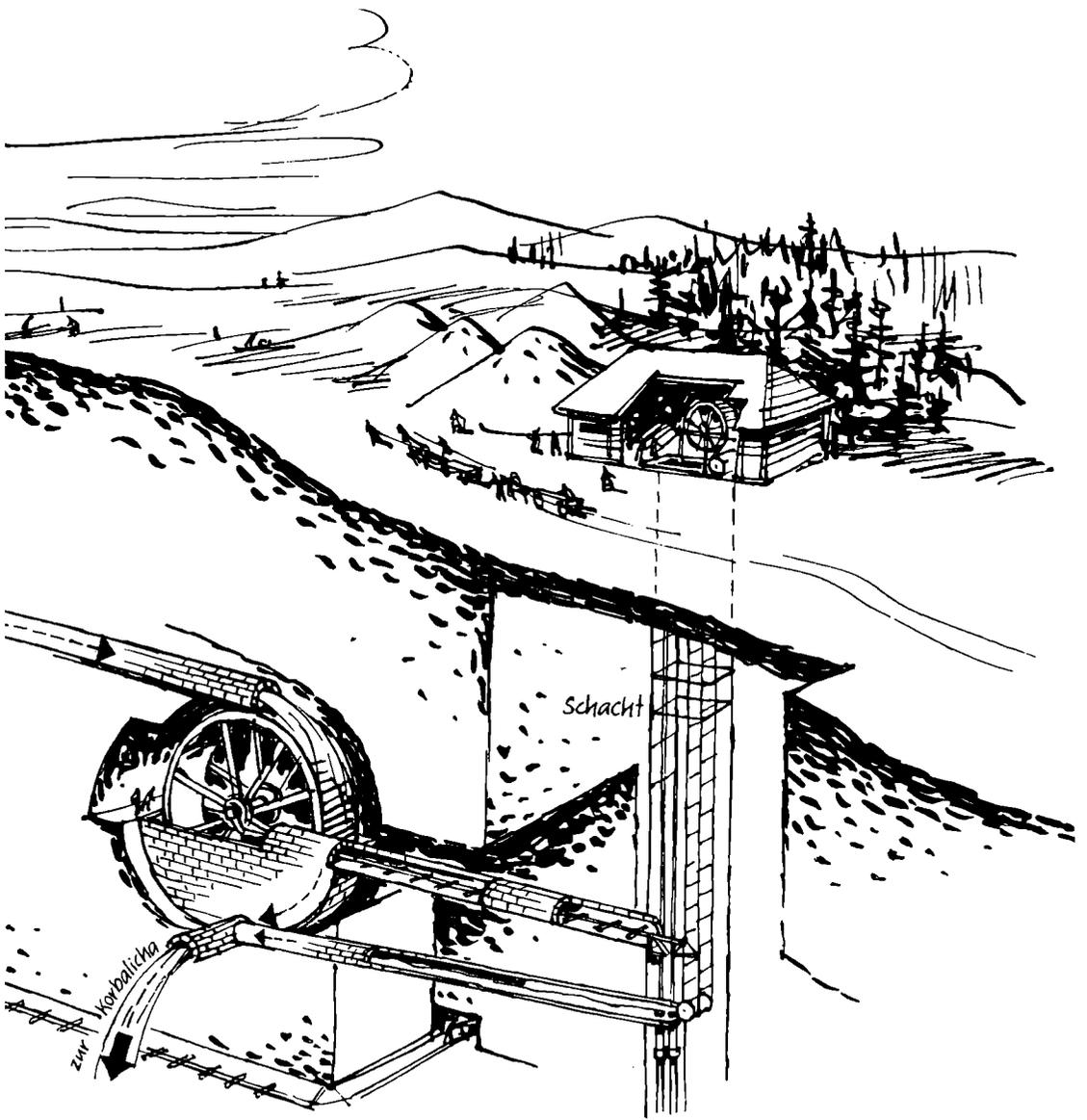


Kosma Frolows System der Wasserräder

### Drei Wasserradtypen

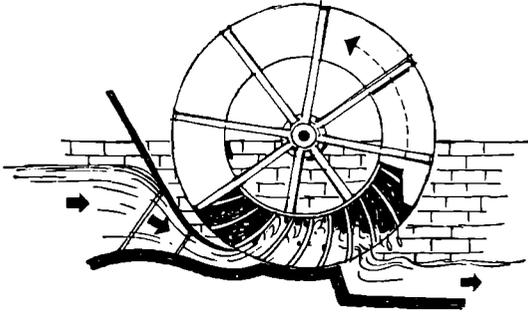
Die Wasserräder sind also die ältesten und einfachsten Kraftmaschinen. Der Mensch nutzte mit ihrer Hilfe die Wasserkraft aus. Wurde die Wasserkraft aber richtig ausgenutzt? Lieferte das Wasserrad als Kraftmaschine dem Menschen ebensoviel Energie, wie das strömende Wasser an die Kraftmaschine abgab?

Das Verhältnis der der Kraftmaschine zugeführten Leistung zur Leistung, die die Kraftmaschine abgibt, bezeichnet man als „Wirkungsgrad“ (Kurz-



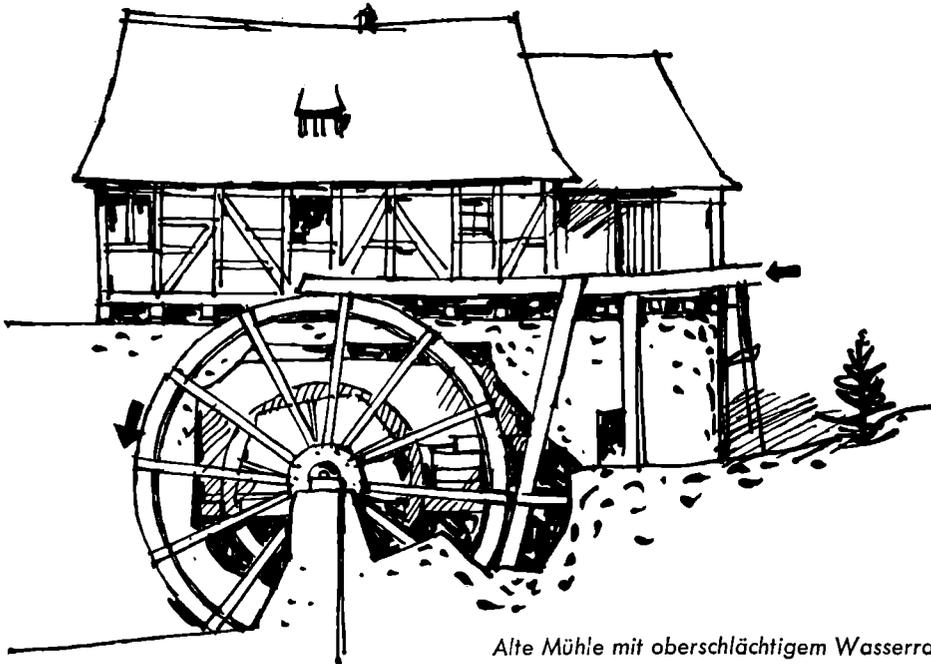
bezeichnung:  $\eta$ ) und drückt es in Prozenten aus. Der Wirkungsgrad ist nun bei den drei Wasserradtypen verschieden.

Das unterschlächtige Wasserrad ist das älteste. Man benutzte es dort, wo man das Wasser nicht erhöht über das Rad leiten konnte. Der Wirkungsgrad solcher Räder ist gering, denn ein Teil der zugeführten Energie wird verbraucht, um die Reibung an der Achse des Rades zu überwinden, und ein anderer Teil der Energie bleibt als Bewegungsenergie im Wasser ent-

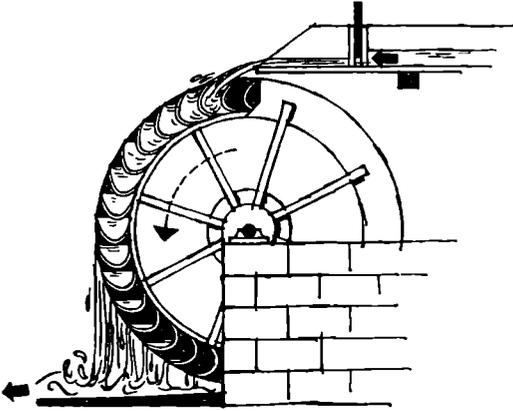


*Unterschlächtiges Wasserrad*

halten, wenn es das Rad verläßt. Denn das Wasser fließt ja, wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit, weiter. Folglich hat es nicht seine ganze Bewegungsenergie an das Wasserrad abgegeben. Im allgemeinen bleibt der Wirkungsgrad unterschlächtiger Wasserräder unter 50 Prozent, nur ein technisch besonders gut konstruiertes Rad erreicht bis zu 70 Prozent. Oberschlächttige Wasserräder werden urkundlich erst im 16. und 17. Jahrhundert häufig erwähnt. Bei diesem Typ wird das Wasser über das Rad geleitet. Es fällt von oben auf die Schaufeln, die sich mit Wasser füllen und durch die Schwere des Wassers bewegt werden. Der Wirkungsgrad ist beim oberschlächtigen Rad am höchsten, weil es die Wasserkraft am besten aus-



*Alte Mühle mit oberschlächtigem Wasserrad*



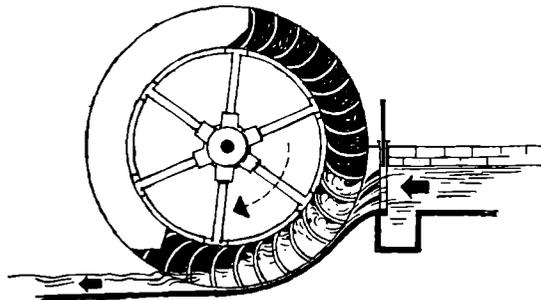
*Oberschlächtiges Wasserrad*

nutzt. Er kann bis zu 85 Prozent betragen. Trifft das Wasser nahezu in der Mitte des Rades auf die Schaufeln, spricht man von einem mittelschlächtigen Wasserrad. Sein Wirkungsgrad beträgt etwa 65 Prozent.

Einen Nachteil haben alle Wasserräder: Sie drehen sich sehr langsam. Ihre Drehzahl läßt sich kaum über 10 Umdrehungen in der Minute steigern. Man ist deshalb gezwungen, ein Übersetzungsgetriebe zwischen Wasserrad und Arbeitsmaschine zu setzen. Das aber hat eine größere Reibung zur Folge und vermindert den Wirkungsgrad der gesamten Anlage. Die Leistung der Wasserräder ist also gering. Sie überschreitet gewöhnlich nicht 5 bis 6 PS.

Doch seit undenklichen Zeiten dient die Wasserkraft dem Menschen, und auch heute noch stellt sie eine der hauptsächlichsten und reichsten Energiequellen dar. Denn die Natur besitzt gewaltige Wasservorräte, über die der Mensch verfügen kann, ohne befürchten zu müssen, daß sie sich einmal aufbrauchen. Dafür sorgt der Kreislauf des Wassers.

Wir wissen, daß das Wasser durch die Einwirkung der Sonnenwärme verdunstet, daß sich der Wasserdampf dann zu Wolken verbindet, die sich



*Mittelschlächtiges Wasserrad*

durch Berührung mit kalten Luftströmungen verdichten und in Wasser zurückverwandeln. Als Regen oder Schnee fällt das Wasser wieder zur Erde und füllt Bäche, Flüsse und Ströme. Durch das natürliche Gefälle der Erdoberfläche fließt das Wasser schließlich erneut dem Meere zu. An diesen Wegen des Wassers stellt der Mensch seine Wasserkraftmaschinen auf.

10 Prozent der gesamten Wasserkräfte, die es auf der Erde gibt, entfallen auf Europa, während 40 Prozent allein in Afrika erschlossen werden könnten. Soll man diese riesigen Naturkräfte ungenutzt lassen?

Bereits im April 1918 umriß Wladimir Iljitsch Lenin die Wege der weiteren technischen Entwicklung des Sowjetstaates. Nicht ohne Grund gab er den Ingenieuren und Wissenschaftlern den Hinweis, die Wasserkräfte des Sowjetlandes in großzügiger Weise zu erschließen.

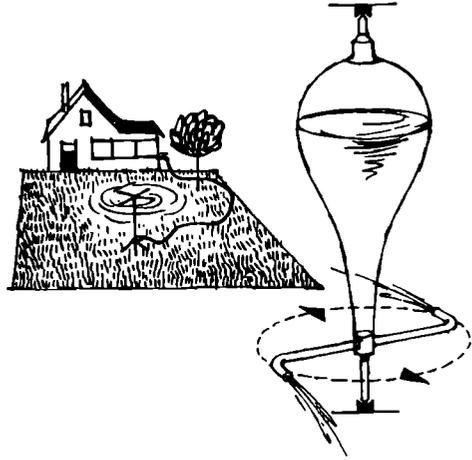
### Der Weg zur Wasserturbine

Wie aber nutzt die moderne Technik die Wasserkraft aus? Bedient sie sich der leistungsschwachen Wasserräder, die viel Raum beanspruchen und einen niedrigen Wirkungsgrad besitzen? Nein, die moderne Technik hat sich weit von den Wasserrädern entfernt. Es wurden leistungsfähigere Maschinen entwickelt. Man nennt sie Wasserturbinen („turbo“ bedeutet im Lateinischen „Wirbelwind“ oder „Drehung“).

Ehe wir diese Turbinen näher betrachten, wollen wir einen einfachen Versuch ausprobieren. Wir ziehen einen Gummischlauch auf den Leitungshahn oder einen größeren Trichter. Der Schlauch muß unten bis auf eine seitliche Öffnung fest verschlossen werden. Drehen wir nun den Leitungshahn auf oder lassen von oben Wasser durch den Trichter fließen, so strömt das Wasser, wie zu erwarten, aus der seitlichen Öffnung heraus. Gleichzeitig aber wird der Schlauch nach der entgegengesetzten Seite gedrückt, das herausfließende Wasser stößt ihn zurück. Man nennt diese Kraft Gegenkraft oder Rückstoßkraft. Wir werden dieser Kraft in späteren Kapiteln wieder begegnen.

Im Jahre 1750 erfand der in Göttingen lebende ungarische Gelehrte Segner ein interessantes Gerät, das aus einem Stativ und einem daranhängenden Gefäß besteht, an dessen trichterförmigem Ausgang sich zwei rechtwinklig gebogene Röhren befinden. Wenn das Wasser aus den gebogenen Röhren strömt, beginnt sich das Gefäß zu drehen. Die Drehung kommt durch die Rückstoßkraft des sich abstoßenden Wassers zustande.

Segnersches Rad



Ein Segnersches Rad trieb erstmalig 1760 eine Getreidemühle in der Nähe von Göttingen an.

Für dieses Gerät interessierte sich der berühmte Schweizer Mathematiker Leonhard Euler. Er erkannte, daß eine Wasserkraftmaschine nach dem Prinzip des Segnerschen Rades arbeiten könnte und beschrieb sie bereits ziemlich genau. Der französische Ingenieur Bourdin gab dieser Maschine dann den Namen „Turbine“. Das war 1825.

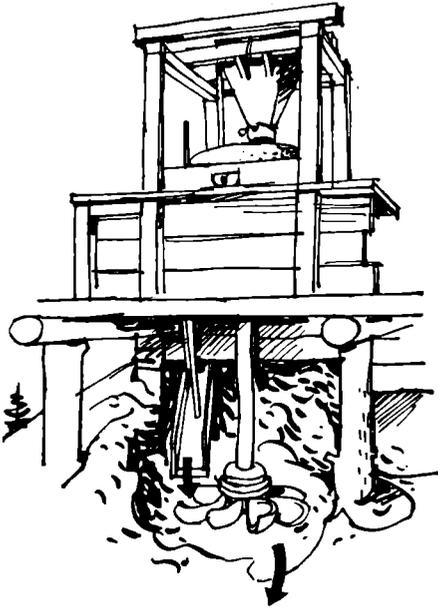
Die Berechnungen Eulers verwertend, baute der französische Ingenieur Fourneyron im Jahre 1827 die erste Wasserturbine. 1835 errichtete er in St. Blasien eine Turbine für ein Gefälle von 108 m. Diese Turbine hatte eine Leistung von 40 PS und war noch sehr unvollkommen.

Im Jahre 1837 baute Ignati Safonow, der im Ural beheimatet war und früher Dämme für Wasserräder errichtet hatte, in Alapajewsk die erste Wasserturbine Rußlands. Sie arbeitete noch nicht so, wie es sich Safonow wünschte. Ihr Wirkungsgrad betrug nur 53 Prozent, war also geringer als der eines guten Wasserrades. Doch zwei Jahre später entwarf und baute Ignati Safonow eine neue Turbine in Irbitsk, die bereits einen Wirkungsgrad von 70 Prozent aufwies.

Im Jahre 1841 gelang es auch einem Deutschen, dem Kasseler Oberbergrat Henschel, eine brauchbare Turbine zu entwickeln.

Seit damals sind mehr als 100 Jahre vergangen. Während dieser Zeit arbeiteten die Ingenieure aller Länder an der Weiterentwicklung der Wasserturbine.

Drei Ingenieure müssen hier besonders hervorgehoben werden, die Amerikaner Francis und Pelton und der tschechische Professor Kaplan. Francis entwickelte im Jahre 1849 eine Rückstoßturbine und Pelton 35 Jahre später eine Freistrahlturbine. Professor Kaplan gelang es nach jahrelangen Versuchen im Jahre 1917, eine Propellerturbine erfolgreich vorzuführen. Diese



*Alte Mühle mit Holzlöffelrad.  
Ein Vorläufer der Pelton turbine*

drei Turbinenarten sind auch heute noch die bekanntesten. Man nennt sie zu Ehren ihrer Erfinder Francis-, Pelton- und Kaplan turbinen.

Diese Turbinen sind die leistungsfähigsten Kraftmaschinen, die es heute gibt. Sie sind schwer, beanspruchen viel Raum und dienen nur dem einen Zweck: Maschinen anzutreiben, die elektrischen Strom erzeugen.

Die Wasserturbine dreht die Welle einer Maschine, die Generator genannt wird. (Das Wort „Generator“ stammt aus dem Lateinischen und heißt „Erzeuger“; ein „Elektrogenerator“ ist also eine Maschine, die elektrischen Strom erzeugt.) Die Wasserturbine und der Generator ergeben zusammen ein Wasseraggregat.

Das erste Wasseraggregat dieser Art wurde Ende des 19. Jahrhunderts in Deutschland aufgestellt. Bis dahin baute man Turbinen, um Antriebsmaschinen für Mühlen, Säge- oder Hammerwerke zu haben. Ein Sägewerk zum Beispiel wurde dort errichtet, wo man genügend Wasserkraft, aber auch ausreichend Holz vorfand. Doch nicht immer war das möglich, oft mußte das Holz an das Werk herantransportiert werden. Dadurch ging Zeit verloren, die Produktion verteuerte sich, und der kapitalistische Unternehmer erzielte nicht den Höchstprofit. So sann man auf Auswege.

Im Jahre 1891 fand in Frankfurt am Main eine internationale elektrotechnische Ausstellung statt. Den Besuchern wurde ein Großexperiment vorgeführt, das für die weitere Entwicklung der Wasserturbinen entscheidend werden sollte. An den Neckarfällen bei Lauffen hatte man eine Turbine aufgestellt, die einen Generator antrieb. Der Strom, den der Generator

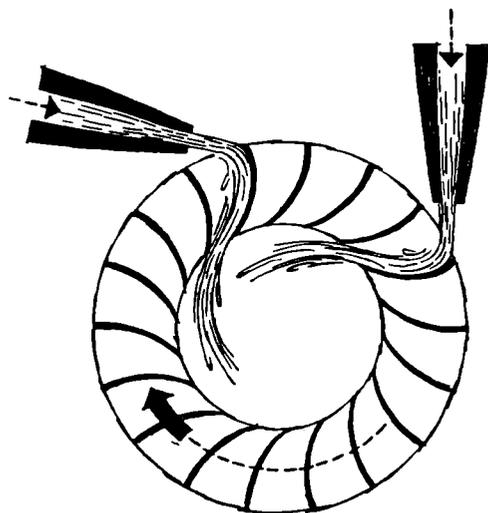
erzeugte, floß über eine 175 km lange Fernleitung nach Frankfurt am Main und versorgte dort einige tausend Glühlampen und einen Elektromotor. Dieser wiederum trieb eine Kreiselpumpe an, mit der man einen kleinen Wasserfall auf dem Ausstellungsgelände speiste. Auf diese Weise wurde allen Besuchern der Ausstellung gezeigt, daß die Wasserkraft des Neckars über eine 175 km lange Entfernung übertragen worden war. Eine derartige Energiefernleitung hatte es bis dahin nicht gegeben. Nun war der Weg frei für eine großzügige Ausnutzung der Wasserkraft. Man brauchte jetzt nur viele leistungsfähige Turbinen.

Die Idee zu dem geschilderten Großexperiment war von dem deutschen Ingenieur Oskar von Miller ausgegangen. Von Miller begründete später das Deutsche Museum in München und ist der Erbauer des weltbekannten Walchensee-Kraftwerks in den Bayrischen Alpen.

### Freistrahls- und Rückstoßturbinen

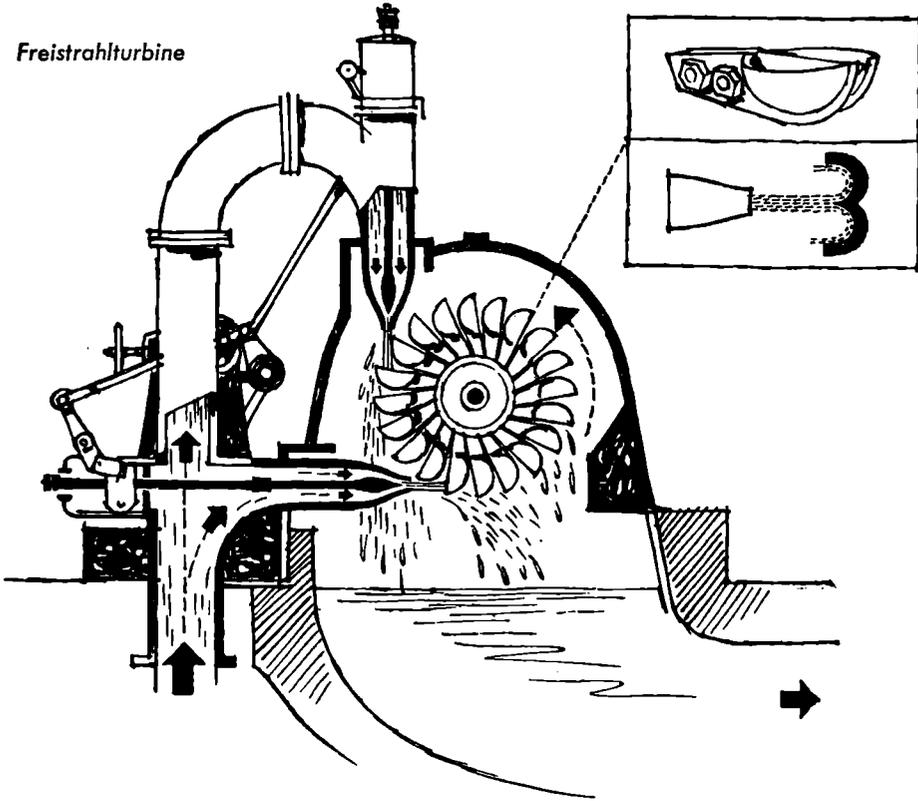
Die Peltonturbine ist diejenige Wasserturbinenart, die in ihrem äußeren Aufbau dem Wasserrad noch am ehesten ähnelt. Überhaupt kann man die modernen Wasserturbinen in ihrer Betriebsweise kaum noch mit ihrem Vorläufer, dem Wasserrad, vergleichen.

Denken wir uns ein Rad mit Schaufeln, gegen die wir den kräftigen Wasserstrahl einer Motorspritze richten. Der Strahl, der gegen die Schaufeln spritzt, gibt einen Teil seiner Energie auf sie ab, und das Rad dreht sich. Doch es geht auch viel Energie verloren, weil der Strahl an der geraden



Arbeitsweise  
des Laufrades der Freistrahlturbine

Freistrahlturbine



Fläche der Schaufeln in viele Tropfen zersprüht. Bei der Peltonturbine verhindert man das, indem man den Schaufeln die Form von Doppellöffeln gibt. Die Wassergeschwindigkeit wird noch erhöht, da das Wasser vor dem Laufrad durch ein Druckrohr und dann durch Düsen geleitet wird. Der Wasserstrahl tritt nun mit großer Geschwindigkeit aus den Düsen aus und trifft auf die löffelförmigen Schaufeln des Laufrades, an die er seine Bewegungsenergie abgibt.

Das Laufrad der Peltonturbine ist nie völlig mit Wasser gefüllt, es dreht sich gewissermaßen in der Luft, da es vom Wasserstrahl nur tangential getroffen wird. Nach ihrer Wirkungsweise ist die Peltonturbine also eine sogenannte „Freistrahlturbine“.

Die Druckkraft des Wasserstrahls und somit die Leistung der Turbine läßt sich regulieren, indem man mit einer Nadel die Öffnung erweitert oder verengt, durch die der Strahl schießt. Je weiter die Öffnung ist, um so größer ist auch der Strahl und damit die Bewegung des Laufrades.

Das Wasser hat eine hohe Geschwindigkeit, wenn es aus der Düse tritt. Fällt es zum Beispiel aus einer Höhe von 1700 m, wie beim Wasserkraft-

werk Fully (Schweiz), dann erreicht es eine Geschwindigkeit von über 600 km/h.

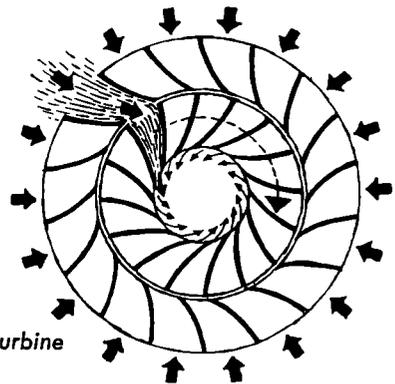
Freistrahlturbinen besitzen einen Wirkungsgrad von etwa 85 Prozent und werden besonders dort aufgestellt, wo das Wasser große Fallhöhen und geringe Strömungsgeschwindigkeiten hat. Die Turbinenwelle liegt meist horizontal, es gibt aber auch Freistrahlturbinen mit vertikaler Welle. Die Leistung ist ganz verschieden, sie kann bis zu 80 000 PS betragen.

Sehr verbreitet ist noch eine andere Art der Wasserturbine, die Rückstoßturbine, deren bekannteste Ausführungsarten die Francis- und die Kaplan-turbine sind.

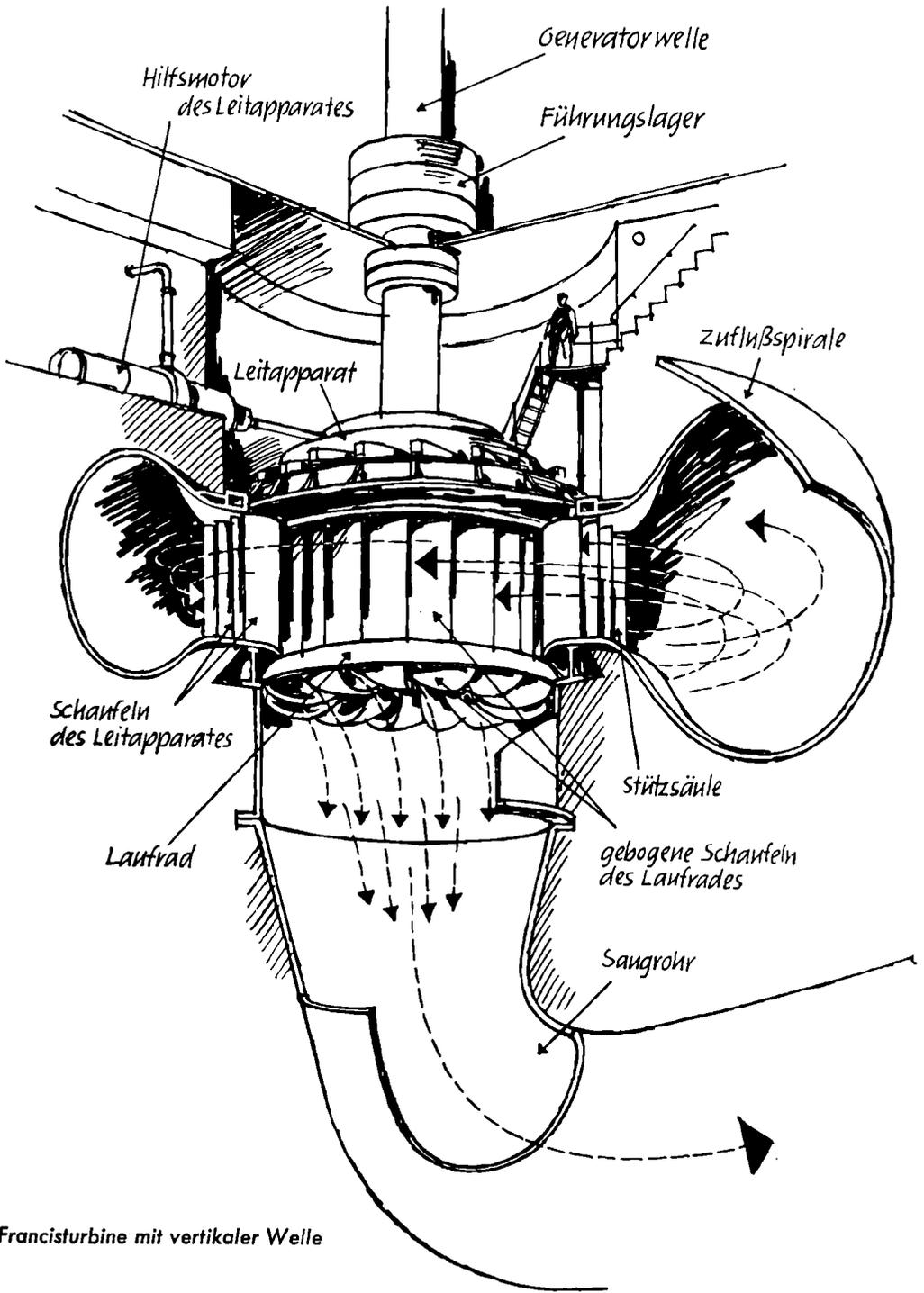
So sieht das Schema des Laufrades einer Francisturbine aus. Das Laufrad besitzt, wie auch das der Freistrahlturbine, eine Anzahl von Schaufeln besonderer Form. Doch an Stelle der Düse hat diese Turbine ein Leitrad, das die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers erhöht und den Wasserstrom in das Laufrad einlenkt. Das Leitrad umgibt das Laufrad und ist am Turbinengehäuse befestigt. Das Wasser tritt sofort in alle Kanäle des Leitrades (wie die Pfeile zeigen) und verteilt sich anschließend auf alle Schaufeln des Laufrades.

Die Schaufeln des Laufrades sind gekrümmt, und zwar so, daß sie sich nach der Mitte des Rades zu verengen. Wenn also das Wasser auf das Laufrad fällt, strömt es durch die sich verengenden Kanäle zwischen den Schaufeln, es beschleunigt sich dabei und tritt parallel zur Achse des Laufrades wieder aus – in das Saugrohr.

Die Schaufeln des Leitrades lassen sich durch eine besondere Vorrichtung, die von einem Hilfsmotor angetrieben wird, verstellen. Mit Hilfe dieser Vorrichtung werden die Kanäle des Leitrades verengt oder erweitert, je nachdem, welche Wassermenge auf das Laufrad fallen und wie groß die Leistung der Turbine sein soll. Je mehr das Wasser nämlich seine Geschwindigkeit



*Arbeitsweise des Leitrades und Laufrades der Francisturbine*



Francisturbine mit vertikaler Welle

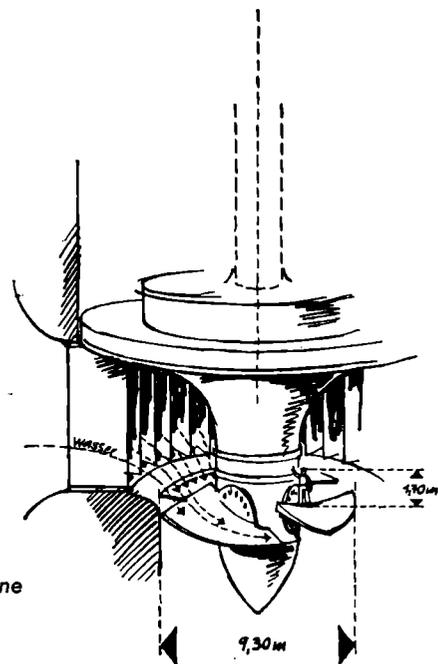
in den Strömungskanälen des Laufrades erhöht, um so größer ist die Rückstoßkraft, die das Laufrad dreht. Es handelt sich hier um dieselbe Wirkung wie beim Segnerschen Rad – das Wasser stößt sich von den Schaufeln ab und bewegt dadurch das Laufrad.

Bei der Francisturbine ist das Laufrad immer mit Wasser gefüllt, bei der Freistrahlturbine war das nicht der Fall. Es gibt Francisturbinen mit horizontaler und vertikaler Welle.

Die Francisturbine ist für fast alle vorkommenden Fallhöhen und Wasserströmungen geeignet, sie ist deshalb die zur Zeit am weitesten verbreitete Wasserturbine. Sie leistet bis zu 30 000 PS, es wurden jedoch auch schon Francisturbinen mit 200 000 PS gebaut. Der Wirkungsgrad beträgt 75 bis 85 Prozent, in großen Wasserkraftanlagen hat man aber bereits 94 Prozent erreicht.

Eine andere Ausführungsart der Rückstoßturbine ist die Kaplanturbine. Das Kuibyschewer Wasserkraftwerk ist mit derartigen Turbinen ausgestattet.

Die Kaplanturbine besitzt eine vertikale Welle, die in einer an den Kopf eines Geschosses erinnernden Nabe endet. An dieser Nabe sind etliche Laufschaufeln befestigt. So ähnelt das Laufrad der Kaplanturbine einer großen Schiffsschraube. Die Wirkungsweise ist jedoch umgekehrt. Die angetriebene Schiffsschraube ruft eine Bewegung des Wassers zum Schiff hervor, bei der Kaplanturbine dagegen wird das Laufrad durch die Wasserströmung in Drehbewegung versetzt.



Kaplanturbine

Die Laufschaufeln lassen sich verstellen (sind sie nicht verstellbar, dann heißt die Turbine nicht Kaplan-turbine, sondern Propellerturbine).

Das Wasser fließt durch den Einströmkanal in die Leitschaufeln und fällt dann von oben auf die Schaufeln des Laufrades, stößt sich von den Laufschaufeln ab und dreht dadurch die Welle der Wasserturbine.

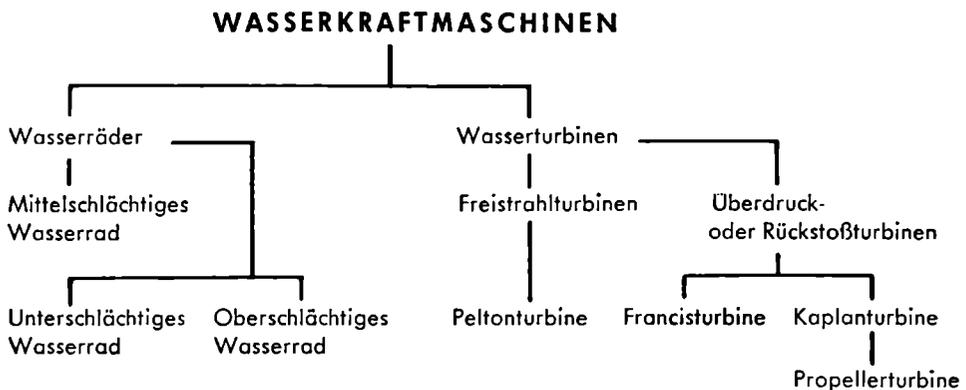
Die Verstellvorrichtung für die Laufschaufeln ist deshalb angebracht worden, weil für die Gewinnung verschiedener Leistungen eine unterschiedliche Wassermenge und -strömung erforderlich ist. Es bedarf aber auch eines entsprechenden Neigungswinkels der Laufschaufeln, um die jeweilige Wassermenge möglichst gut ausnutzen zu können. Dann arbeitet die Turbine mit einem hohen Wirkungsgrad (im Durchschnitt mit 90 Prozent).

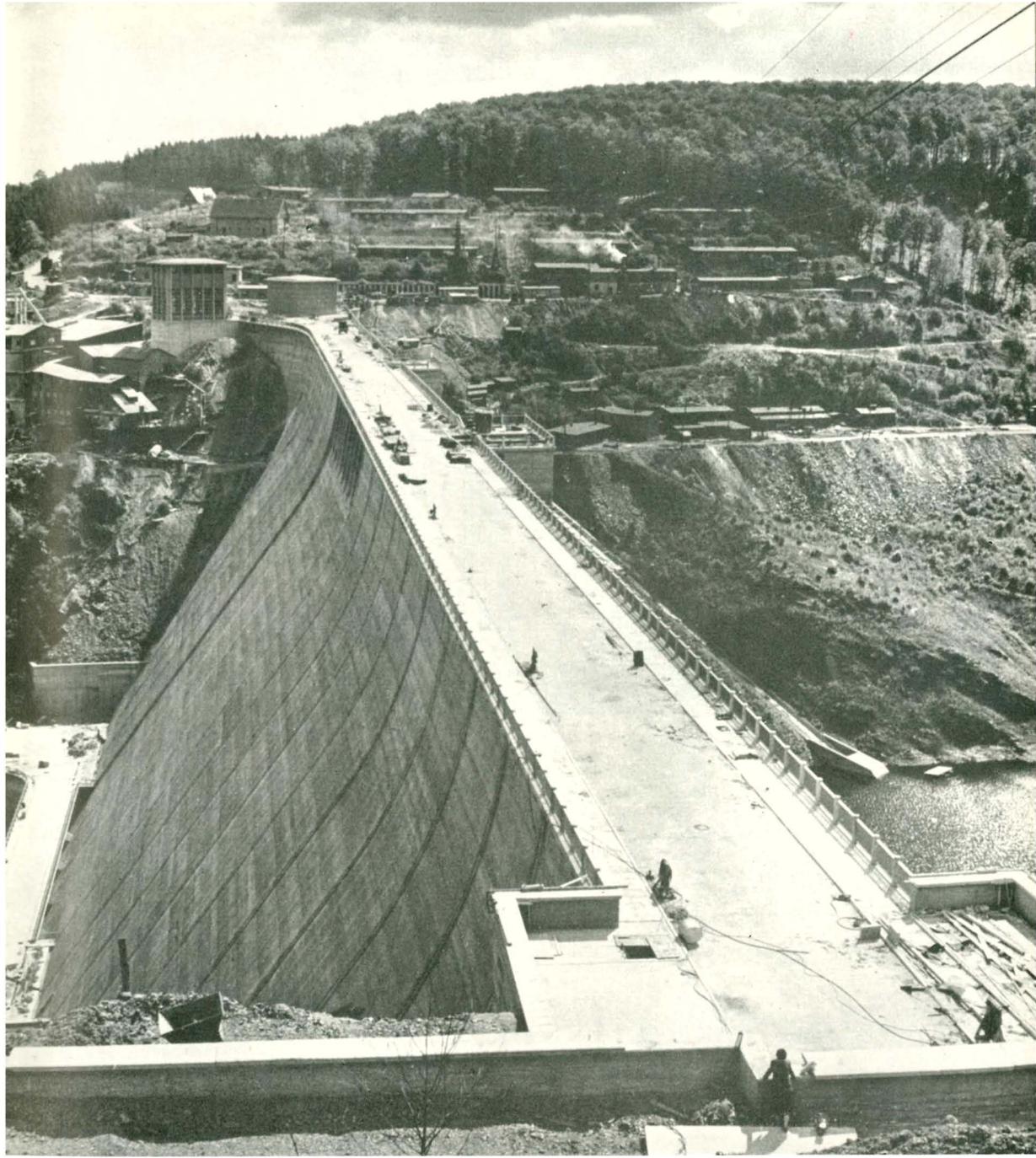
Die Verstellvorrichtung macht aber die Turbine kompliziert und teuer, deshalb wird sie nur für leistungsfähige Turbinen hergestellt. Für kleine Anlagen verwendet man Propellerturbinen ohne Regelungsvorrichtung für die Laufschaufeln.

### Die größten Wasserturbinen der Welt

Der Wirkungsgrad der besten modernen Wasserturbinen erreicht bis zu 94 Prozent, das heißt, fast die gesamte Energie des fallenden Wassers wird für die Erzeugung mechanischer Bewegungsenergie ausgenutzt.

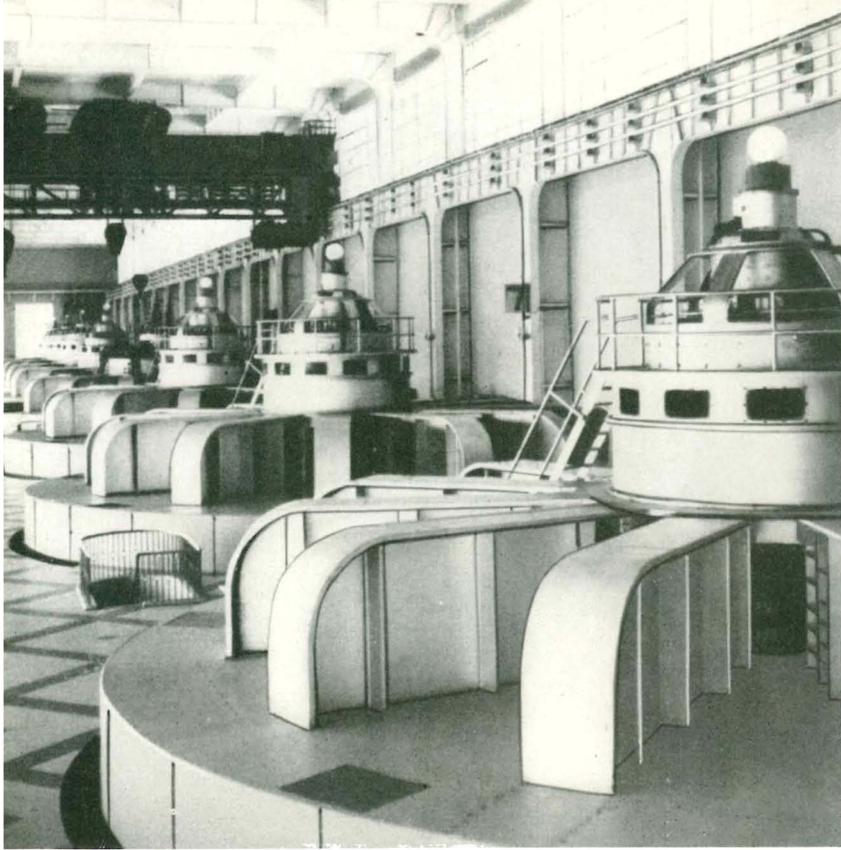
Die gewaltigen modernen Wasserturbinen weisen sehr große Ausmaße



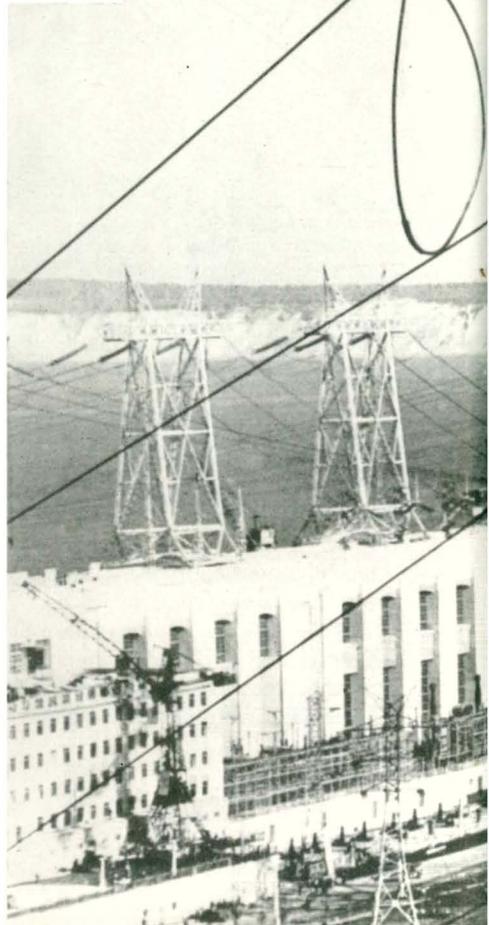
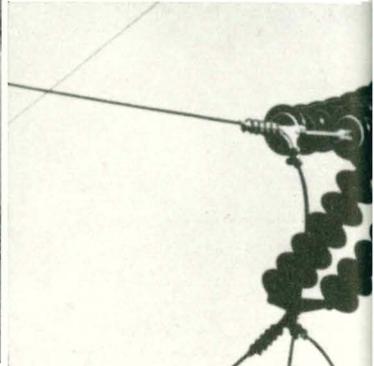


Die Rappbodelsperre – ein gigantisches Bauwerk – dient dem Hochwasserschutz, der Trinkwasserversorgung, der Wasserversorgung von Industrie und Landwirtschaft und der Energieerzeugung. Ihre Staumauer mit einer Höhe von 106 m ist die größte in Deutschland. Sie ist 430 m lang, und auf ihr befinden sich eine 7,5 m breite Fahrbahn sowie zwei Fußwege von je 2,5 m Breite.

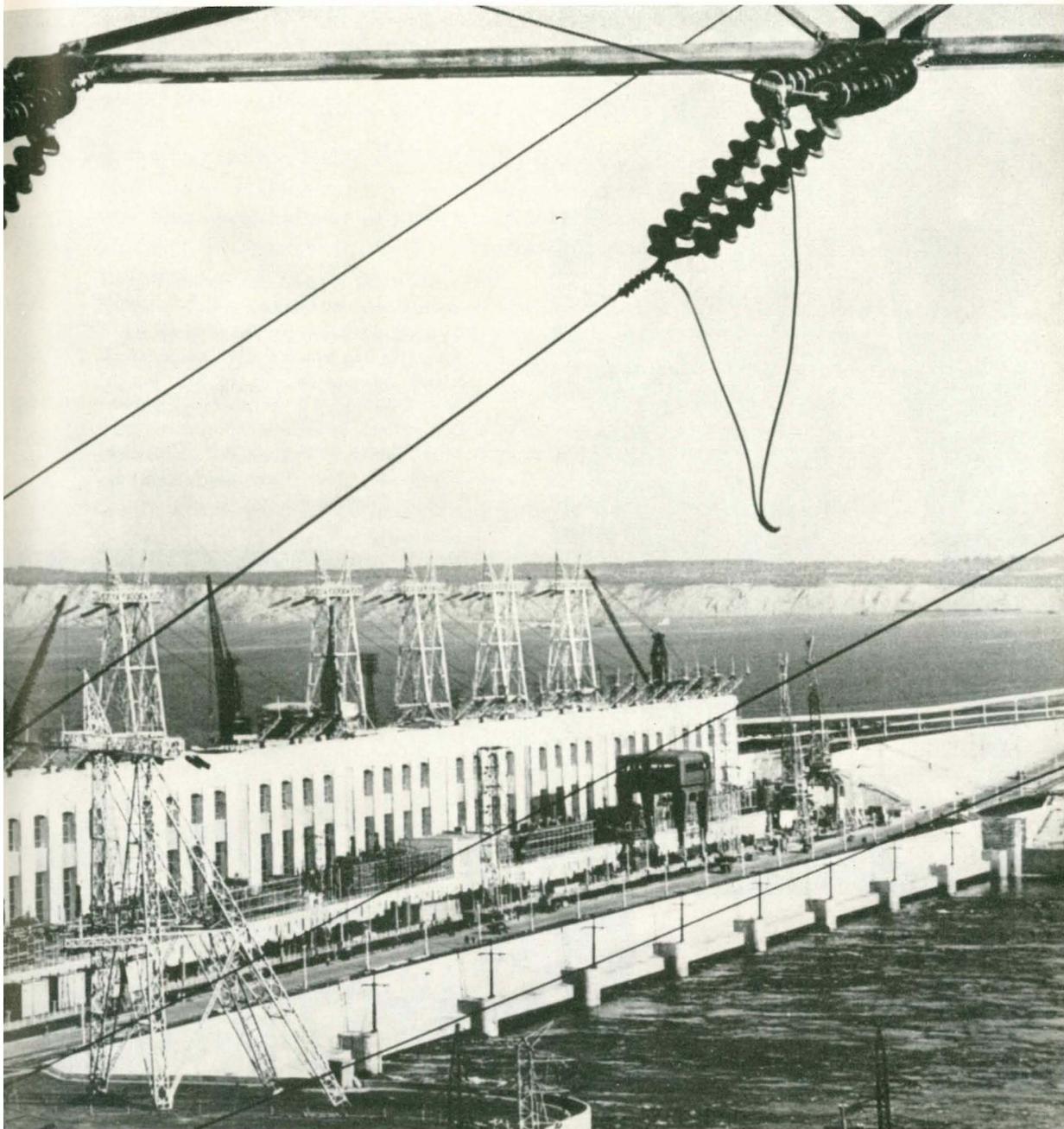
Unser Bild zeigt die Sperrmauer

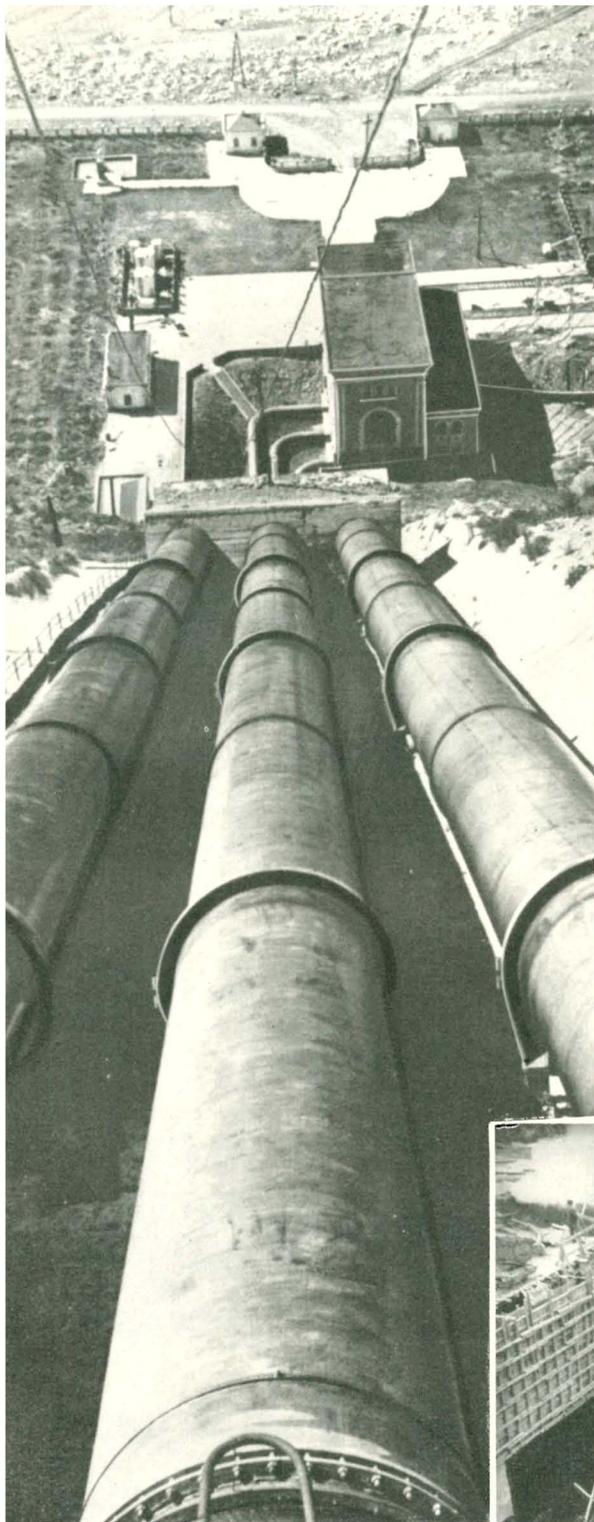


Die größten Wasserkraftwerke der Welt gibt es in der Sowjetunion. Blick in den Maschinensaal des Dnjeprowsker Werkes



Das Wolga-Wasserkraftwerk bei Stalin-grad





Ein kleineres Wasserkraftwerk in der Nord-Ossetinischen Autonomen Sozialistischen Sowjetrepublik. Es ist voll automatisiert und wird von nur einem Menschen überwacht. Aus 160 m Höhe stürzt das Wasser durch Fallrohre in die Turbinen

In der DDR entsteht das größte Pumpspeicherwerk Deutschlands. Dieses Werk in Hohenwarte/Bezirk Gera wird eine Leistung von 320 MW haben. Aus einem riesigen Becken werden täglich etwa 3 Millionen m<sup>3</sup> Wasser in das etwa 300 m tiefer gelegene Unterbecken geleitet werden. Unser Bild zeigt das Krafthaus des Pumpspeicherwerkes während des Baues



auf. Der Durchmesser des Laufrades einer Kaplan-turbine, die eine Leistung von 171 400 PS besitzt, beträgt zum Beispiel 9,3 m.

In der Sowjetunion wurde im Jahre 1924 mit der Produktion von Wasserturbinen begonnen. Die ersten Turbinen wiesen eine Leistung von 68 bis 136 PS auf. Ihre Leistung war also 10- bis 20mal größer als die eines gewöhnlichen Wasserrades.

Bereits im Jahre 1927 wurden in der Sowjetunion Wasserturbinen mit einer Leistung von 5027 PS und in den Jahren 1930 bis 1933 von bis zu 20 380 PS hergestellt.

Schien das nicht der Gipfel der Technik zu sein, wenn eine Wasserkraftmaschine eine Leistung von 20 380 PS vollbringt, etwa die 4000fache Leistung eines Wasserrades? Nein, das war noch lange nicht der Gipfel.

In der Zeit bis zum Jahre 1941 gelang es der sowjetischen Industrie, die damals leistungsfähigsten Kaplan-turbinen der Welt mit 95 100 PS herzustellen.

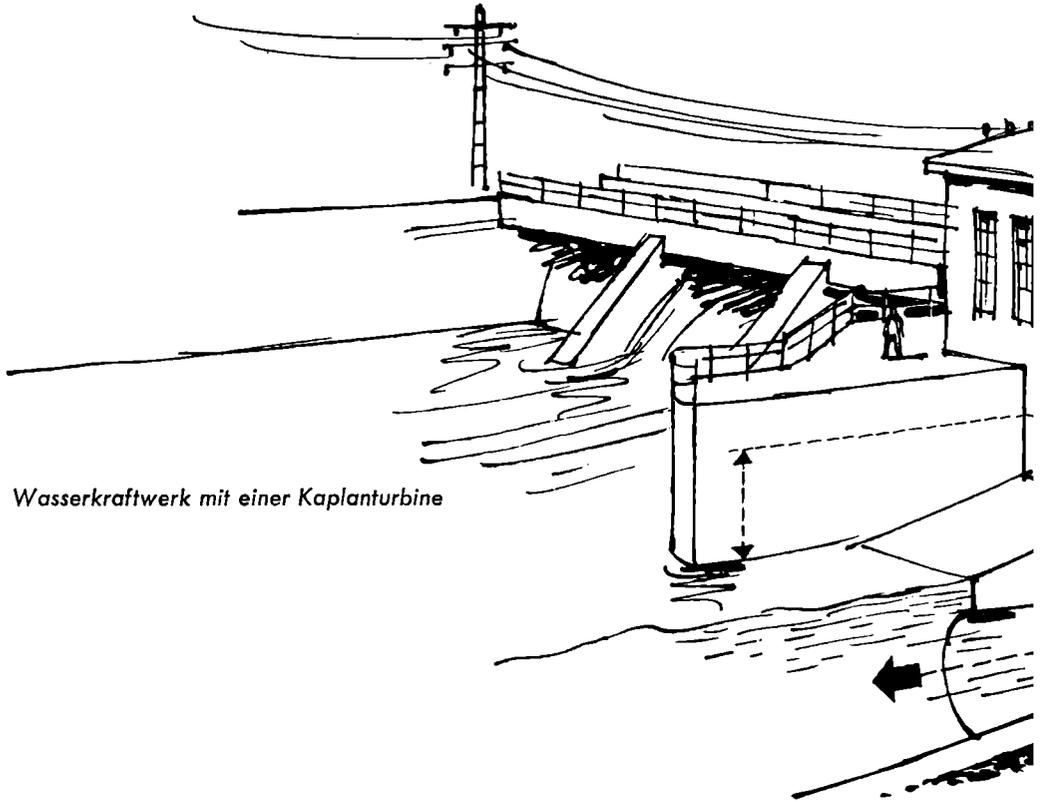
In den Jahren des ersten Fünfjahrplans, als man das Dnepr-Wasserkraftwerk baute, mußten noch amerikanische Turbinen gekauft werden. Jede von ihnen erreichte eine Leistung von 91 000 PS und hatte einen Wirkungsgrad von 91 Prozent. In der Sowjetunion wurden solche leistungsfähigen Turbinen damals noch nicht produziert.

Während des zweiten Weltkrieges wurde das Dnepr-Wasserkraftwerk dann von faschistischen Truppen zerstört. Doch sogleich nach Beendigung der Kämpfe ging das Sowjetvolk daran, das Kraftwerk wieder aufzubauen. Vom Leningrader Schwermaschinenwerk wurden für dieses Wasserkraftwerk Turbinen hergestellt, die leistungsfähiger waren als die amerikanischen. Jede von ihnen leistet 100 000 PS und arbeitet mit einem Wirkungsgrad von 93 Prozent.

Gegenwärtig wird im gleichen Werk eine Turbine für 271 700 PS gebaut. Im sechsten Fünfjahrplan ist geplant, Turbinen mit noch nie dagewesenen Leistungen zu entwickeln. Eine Maschine wird mehr als eine halbe Million PS erzeugen!

## Wasserkraftwerke

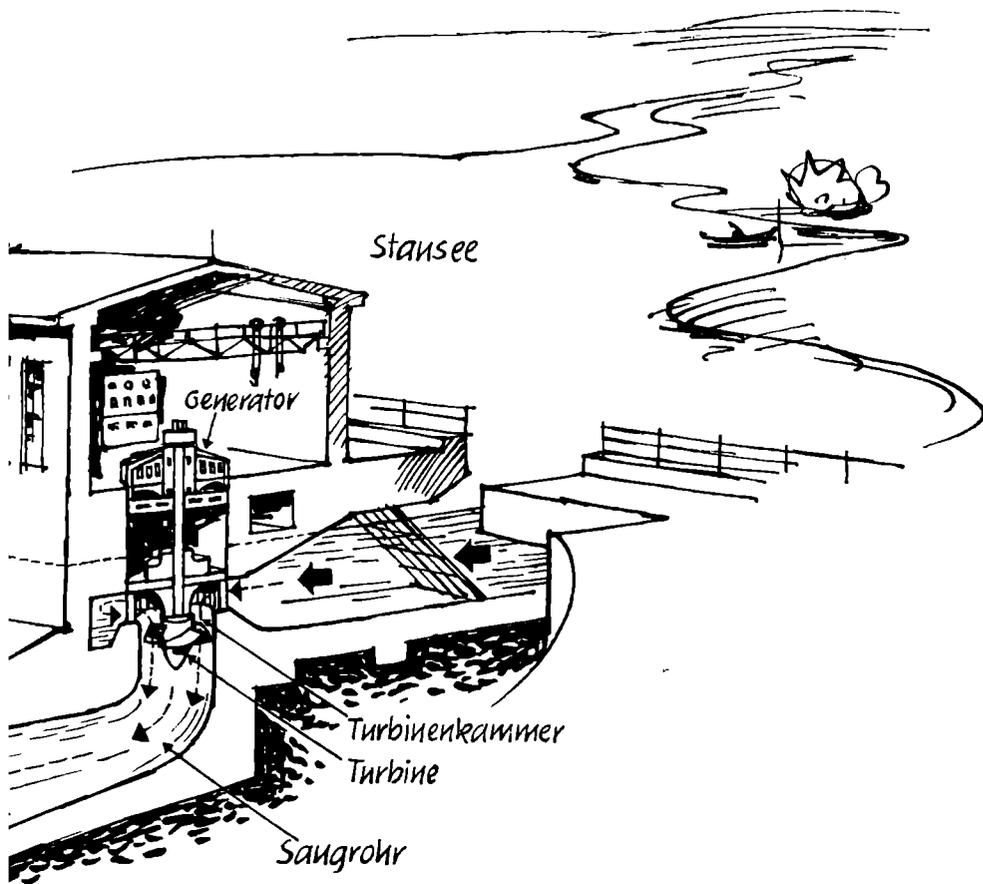
Diese Turbinen sind die leistungsfähigsten Kraftanlagen, die es gibt. Sie stehen in den modernen Wasserkraftwerken und treiben Generatoren an, die gewaltige Mengen von Elektroenergie erzeugen. Ohne ausreichende Elektroenergie wäre die moderne Industrie undenkbar.



Wasserkraftwerk mit einer Kaplanturbine

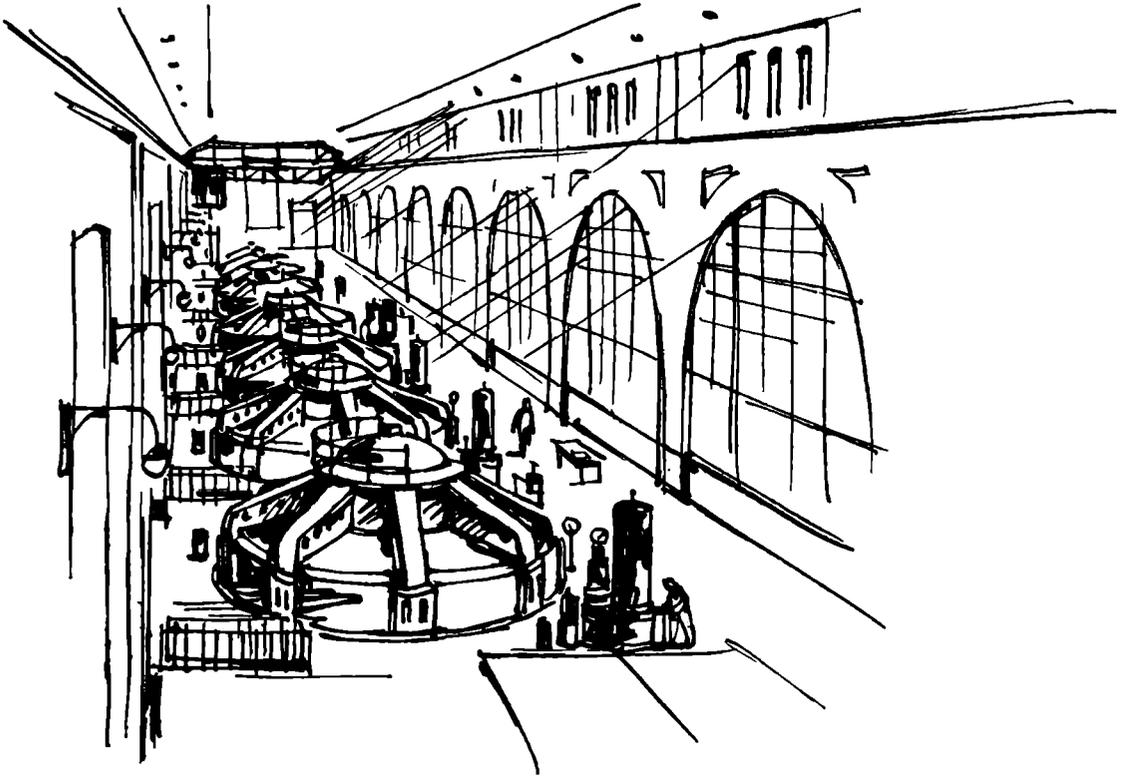
An der Wolga und am Dnepr entstanden gewaltige Wasserkraftwerke – so bei Kuibyschew, Stalingrad und Kachowka. Jedes dieser Werke wird jährlich fünfmal soviel Elektroenergie erzeugen wie alle Kraftwerke des zaristischen Rußlands zusammen. Der von diesen Werken erzeugte elektrische Strom wird durch die längsten Leitungen der Welt fließen – 800 bis 1000 km weit.

Die durchschnittliche Leistung von nur einer Wasserturbine des Kuibyschewer Wasserkraftwerkes beträgt etwa 171 400 PS. Eine derartige Turbine ist zusammen mit dem Generator 30 m hoch, erreicht also die Höhe eines neun- bis zehnstöckigen Hauses. Ihr Gewicht beträgt 1500 Tonnen, für ihren Transport wäre demnach ein ganzer Güterzug mit 25 bis 30 Waggons erforderlich.



Im sechsten Fünfjahrplan ist der Bau von noch leistungsfähigeren Wasserkraftwerken vorgesehen: des Bratsker Wasserkraftwerkes an der Angara und des Krasnojarsker Wasserkraftwerkes am Jenissei. Die Leistung (4 500 000 kW)\* jedes dieser Wasserkraftwerke wird etwa die Leistung der beiden Wolga-Wasserkraftwerke, des Kuibyschewer und des Stalingrader zusammen, erreichen. Diese beiden neuen Kraftwerke werden 53mal größer sein als das erste sowjetische, das Wolchow-Wasserkraftwerk.

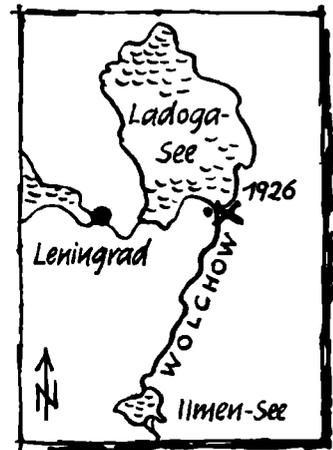
\* Die Leistung wird entweder in PS oder in W (Watt) ausgedrückt.  
 1000 W ergeben 1 kW (Kilowatt), 736 Watt sind 1 PS.  
 Ein Beispiel: Wieviel PS sind 150 kW?  
 $150 \text{ kW} = 150\,000 \text{ W}; 150\,000 : 736 = 202.$  150 kW sind also = 202 PS.



*Maschinensaal des Wolchow-Kraftwerkes,  
das erste, das auf Anweisung Lenins gebaut wurde*

Nicht in jedem Land spielen Wasserkraftwerke eine so bedeutende Rolle. Das hängt ganz von den jeweils vorhandenen Wasserkraften ab. Allgemein haben die Wasserkraftwerke in Gebirgsländern, zum Beispiel der Schweiz und Norwegen, eine große wirtschaftliche Bedeutung. So werden in der Schweiz bereits 84 Prozent der Wasserkraften genutzt, und Norwegen kann 96 Prozent seiner Elektroenergie in Wasserkraftwerken erzeugen.

Auch in Deutschland wurden in den letzten 40 Jahren zahlreiche kleinere Wasserkraftwerke errichtet, die vornehmlich in Bayern zu finden sind. Eines der bekann-



testen ist das Walchensee-Kraftwerk, das in den Jahren 1919 bis 1921 nach den Plänen Oskar von Millers erbaut wurde. In diesem Werk erzeugen 4 Francisturbinen von je 24 000 PS und 4 Freistrahlturbinen von je 18 000 PS elektrische Energie von insgesamt 125 000 kW.

Auf dem Gebiete unserer Deutschen Demokratischen Republik sind verhältnismäßig wenig Wasserkräfte verfügbar. Es sind schätzungsweise nur 0,13 Prozent der auf der Erde verfügbaren Wasserkräfte. Dies entspräche einer Leistung von 650 000 kW. Daraus erklärt sich, daß nur 2 Prozent des Energiebedarfs der DDR durch Wasserkraft erzeugt werden.

### Vom Windrad zum Windmotor

„Wind, Wind, gar mächtig bist du / jagst Schwärme von Wolken immerzu / wühlst auf das Meer zu Wogen und Schaum / wehst überall im weiten Raum ...“ Diese Verse stammen von dem russischen Dichter Puschkin.

Konnte eine Naturkraft, wie sie der Wind darstellt, der Aufmerksamkeit des Menschen entgehen? Warum sollte der Wind seine unerschöpflichen Kräfte ungenutzt vergeuden? Sollte es nicht möglich sein, sie zu nutzen?

Zuerst erfanden die Menschen das Segel. Dadurch wurden sie von der schweren Arbeit des Ruderns befreit, und die Schifffahrt begann sich nun rasch zu entwickeln.

Das Segel nutzte die Energie des Windes aus und trieb das Schiff an. Es brachte den Menschen schließlich auf den Gedanken, die Kraft des Windes auch für andere Zwecke auszunutzen.

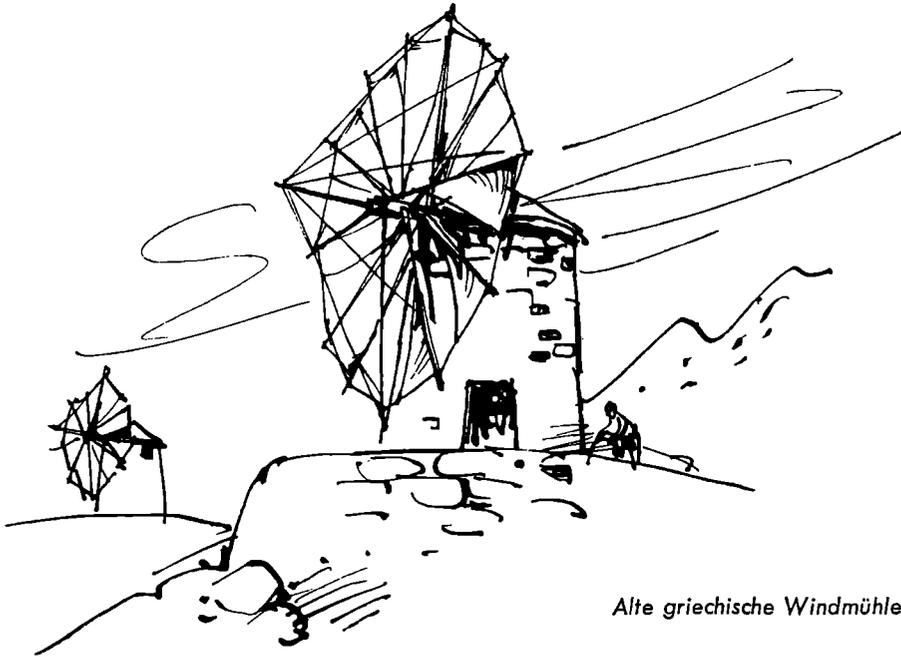
In alten russischen Chroniken ist folgende Geschichte zu finden: Im Jahre 907 drang Fürst Oleg bis dicht vor Byzanz, das heutige Istanbul. Um die zurückweichenden Griechen einzuschüchtern und die Stadt ohne größere Verluste zu erobern, griff Oleg zu einer Kriegslist. Er ordnete an, seine Schiffe auf Räder zu stellen und Segel zu setzen. Außerdem ließ er schmale Rahmen mit dünnen Stoffen bespannen, also eine Art Drachen herstellen, die die Form von Reitern erhielten.

Als alles vorbereitet war, wartete er auf günstigen Wind und gab das Angriffssignal. Auf dem Festland bewegten sich nun Schiffe auf die belagerte Stadt zu, in den Lüften von einem Heer der Drachenreiter begleitet.

Die List gelang, denn die Griechen waren über diese seltsame Erscheinung entsetzt. Fürst Oleg nutzte die erste Verwirrung des Feindes aus und konnte die Stadt im Handstreich erobern.

Diese Geschichte berichtet also, daß der Wind sogar Landfahrzeuge bewegte.

Schon vor sehr langer Zeit benutzte der Mensch die Energie des Windes zum Antrieb von Mühlen. In Ägypten kann man heute noch die steinernen, zylinderförmigen Türme der Windmühlen sehen, die vor 3000 Jahren errichtet wurden. Diese Mühlen wurden von Windrädern angetrieben, die segelähnliche Flügel hatten.



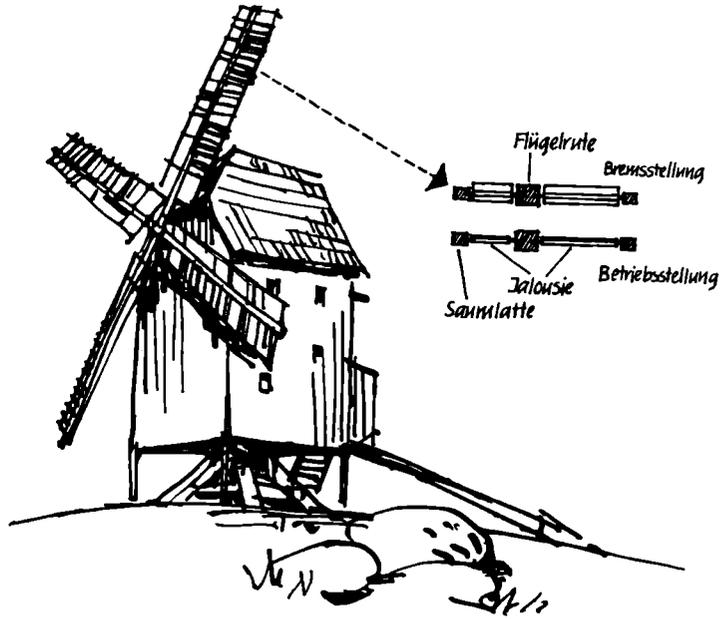
*Alte griechische Windmühle*

Im 7. Jahrhundert bauten die Perser Windräder, die Bewässerungsanlagen antrieben. Durch die Teilnehmer der Kreuzzüge gelangte die Idee des Windrades dann vom Osten nach dem Westen. In den Ländern Westeuropas tauchten die ersten Windmühlen im 10. bis 12. Jahrhundert auf, während sie in Nordeuropa schon im 9. Jahrhundert urkundlich erwähnt werden. Auf dem Gebiet der heutigen Sowjetunion waren sie bereits früher, nämlich im 3. bis 4. Jahrhundert, zu finden.

Windmühlen ließen sich auf jedem Hügel errichten. Wir kennen zwei Arten: die Bockwindmühle und die Holländermühle.

Die Bockwindmühle besitzt Flügel von 7 bis 12 m Länge. Sie sind mit dem Getriebe und den Mühlsteinen auf dem Hauptgestell, Bock genannt, verbunden. Ändert sich die Windrichtung, dreht man die ganze Mühle mit Hilfe eines Balkens, und die Flügel kreisen wieder.

Bockwindmühle



Bei der Holländermühle braucht nicht die ganze Mühle gedreht zu werden. Hier bewegt man nur die Flügel mit dem Oberteil der Mühle. Wenn bei der Bockwindmühle der Flügeldurchmesser nur 7 bis 12 m beträgt und die Leistung 5 PS nicht übersteigt, so können die Flügel der Holländermühle einen Durchmesser bis zu 28 m haben, bei einer Leistung von bis zu

Holländermühle



50 PS. Allerdings nutzen die Flügel der Windmühlen die Energie des Windes nicht voll aus. Selbst bei den modernen Windmühlen überschreitet der Wirkungsgrad der Flügel nicht 20 Prozent.

Moderne Mühlen? Baut man denn heute noch Windmühlen?

In dünn besiedelten Küsten- und Steppengebieten, in denen eine weitgehend gleichmäßige Luftströmung vorhanden ist, leisten Windmühlen gute Dienste. So werden in diesen Gebieten auch heute noch Windmühlen gebaut, die allerdings besser ausgebildete Flügel haben und Wellen und Getriebe aus Metall besitzen.

### Windkraftwerke

Das gleiche gilt auch für die Errichtung von Windkraftwerken, in denen man Elektroenergie erzeugt. Solche Kraftwerke treten in der Weltenergieerzeugung kaum in Erscheinung, trotzdem sind sie, wie bereits gesagt, in manchen Gebieten von Bedeutung.

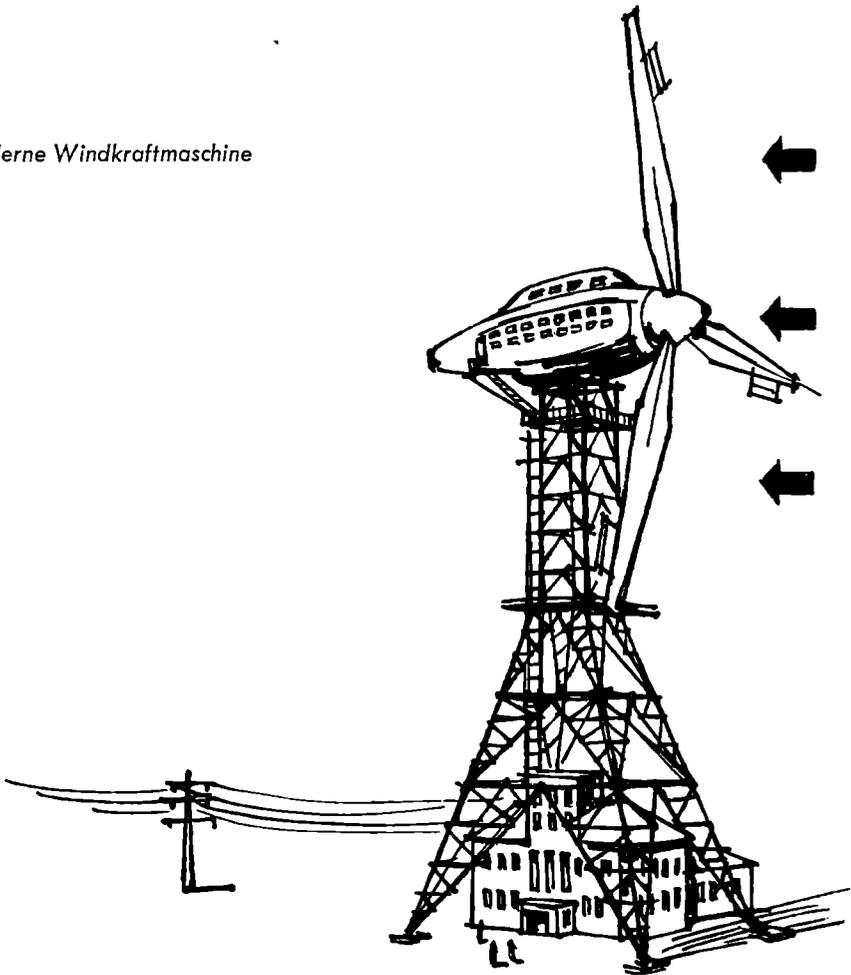
Für diese Windkraftwerke wurden spezielle Kraftmaschinen entwickelt, die an eine Windmühle nur insoweit erinnern, als sie ebenfalls große Flügel besitzen. Der deutsche Forscher Bielau hatte nach dem ersten Weltkrieg in jahrelanger, systematischer Arbeit neue Flügelformen errechnet. Er gab den Flügeln ein Profil, das an die Tragflächen eines Flugzeuges erinnert. Die Ingenieure konnten nun Windkraftmaschinen bauen, die die Energie des Windes besser ausnutzen und hohe Leistungen erzielen.

Die Windkraftmaschinen werden heutzutage auf hohe Stahlgerüste gestellt. Dadurch wird die Luftströmung besser ausgenutzt. Der Raum, in dem sich der mit der Windkraftmaschine gekoppelte Elektrogenerator befindet, ähnelt einem Luftschiff. Durch diese Gondelform wird der Luftströmung wenig Widerstand geboten.

Starke Windkraftmaschinen wurden in der Sowjetunion bereits vor dem zweiten Weltkrieg auf der Krim errichtet, am Ufer des Schwarzen Meeres, wo der Wind unablässig weht. Je nach der Windgeschwindigkeit entwickelt diese Anlage eine Leistung zwischen 22 bis 177 PS. Das war die leistungsstärkste Windkraftmaschine der Welt. Sie steht auf einem 25 m hohen Gerüst und besitzt eine Flügelspannweite von 30 m.

Im Ai-Petri-Gebirge errichteten sowjetische Ingenieure im Jahre 1936 ein Windgroßkraftwerk, dessen Turm 158 m hoch ist. Dieses Kraftwerk hat eine Leistung von 10 000 kW.

*Eine moderne Windkraftmaschine*



Nun taucht eine Frage auf: Kann man vom Wind so große Leistungen erwarten, wie man sie beispielsweise vom Wasser mit Hilfe einer Turbine erhält?

Zuweilen entwickelt der Wind eine ungeheure Energie. Im Jahre 1703 wütete beispielsweise ein Orkan, der 800 Häuser, 400 Windmühlen, 100 Kirchen und einige Leuchttürme zerstörte. Er riß 250 000 Bäume mit den Wurzeln aus und trug sie kilometerweit über das Land. Wie man berechnet hat, entwickelte der Wind in wenigen Sekunden eine Leistung von mehr als 10 Millionen PS. Doch derartige Orkane toben selten, und man kann sie nicht für den Antrieb von Windkraftmaschinen ausnutzen, weil sie eine nicht zu bändigende Kraft darstellen. Aber gewöhnlich überschreitet die Strömungsgeschwindigkeit des Windes nicht 10 m/s. Für diese normalen

Strömungsgeschwindigkeiten entwarfen sowjetische Konstruktionsbüros Windkraftmaschinen für 1000 und 5000, ja sogar für 10 000 kW. Doch vorläufig erweist sich der Bau von derartig großen Windkraftmaschinen noch als zu schwierig; sie sind außerdem nicht nur vorteilhaft.

Warum? Von Windkraftmaschinen kann man nicht erwarten, daß sie jeden Tag, ja sogar jede Stunde eine gleichmäßige Leistung aufweisen. Der Wind unterwirft sich nun einmal nicht dem Willen der Menschen, er weht bald stärker, bald schwächer. Es kommt sogar vor, daß einige Tage hintereinander Windstille herrscht, und dann bleiben die Windkraftmaschinen stehen.

Es gibt Verfahren, die windstille Zeit zu überbrücken. Wenn der Wind zum Beispiel stark weht und die Kraftmaschinen auf vollen Touren laufen, läßt man elektrische Akkumulatoren – das sind Stromsammelr – auf, mit denen die Generatoren angetrieben werden, wenn der Wind schwach oder überhaupt nicht weht. Allerdings verteuern solche Verfahren die Anlage, und das Windkraftwerk erweist sich als äußerst kostspielig, obwohl uns der Wind von der Natur geschenkt wird. Deshalb gibt es bisher nur kleinere Windkraftwerke.

## DAMPFKRAFTMASCHINEN

In alten Physikbüchern wird folgende Begebenheit erzählt: Der Engländer James Watt, von Beruf Mechaniker, saß, völlig in die Reparatur eines Mechanismus vertieft, neben dem Küchenherd, auf dem das Teewasser kochte. Plötzlich klapperte der Deckel auf dem Teekessel.

Anfänglich ließ sich James Watt durch das Geräusch nicht stören, aber als dann der Deckel so heftig zu springen begann, daß er jeden Augenblick vom Topf fallen konnte, schaute der Mechaniker auf. Ihn durchzuckte folgender Gedanke: „Woher nimmt der Dampf diese Kräfte, daß er mit dem schweren Deckel wie mit einer Nußschale spielt? Ließe sich diese Kraft nicht für eine nützlichere Arbeit verwenden?“ Watt begann nachzudenken, zu arbeiten, bis er schließlich die Dampfmaschine erfunden hatte.

Wie einfach sich das anhört! Welch ein glücklicher Zufall war doch dieser Gedanke.

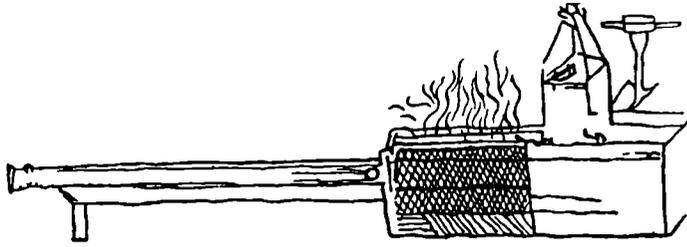
Das alles ist aber gar nicht wahr. Watts Dampfmaschine war das Ergebnis einer langwierigen Arbeit, an der auch andere Forscher vor ihm beteiligt waren.

### Die Kanone „architronito“ und Brancas ungewöhnlicher Motor

Schon lange kannte man die gewaltige Kraft, die der Dampf besitzt. Unzählige Versuche wurden in den vergangenen Jahrhunderten unternommen, um die Energie des Dampfes in mechanische Energie umzuwandeln.

Der berühmte italienische Gelehrte Leonardo da Vinci beschreibt eine sehr interessante Dampfkanone, die er für eine Erfindung des Archimedes hielt. Sicherlich war damit aber nicht der bekannte griechische Mathematiker und Physiker gemeint, sondern ein arabischer Kunstmeister, der sich diesen berühmten Namen beigelegt hatte.

Wie sah diese Kanone aus, und wie funktionierte sie? Ein langes Rohr steckte bis zu einem Drittel seiner Länge in einem kleinen eisernen Ofen,

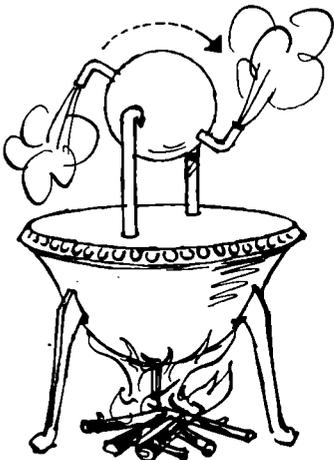


Die Dampfkanone „architrionito“, wie sie Leonardo da Vinci skizzierte

in dem dieser Teil auf eine hohe Temperatur erhitzt wurde. Über dem erhitzten Teil des Rohres stand ein Gefäß mit Wasser. Öffnete man den Verschluss, drang das Wasser durch eine Röhre in das erhitzte Rohr. Hier verdampfte das Wasser rasch, und der entstandene Dampfdruck schleuderte die eiserne Kanonenkugel hinaus. Sie soll einen Kilometer weit geflogen sein. Man nannte diese Kanone „architrionito“, was übersetzt „lauester Donner“ heißt.

Wenn man bedenkt, daß damals das Schießpulver noch nicht erfunden war, muß die Kanone für die damaligen Begriffe eine ungeheure Wirkung gehabt haben.

Schon vor unserer Zeitrechnung benutzte man den Dampf für verschiedene technische Kunststücke, die der Belustigung dienten. Eine Beschreibung derartiger Einrichtungen hinterließ der bedeutende griechische Mathematiker und Physiker Heron von Alexandria um 120 v. u. Z. Ein von ihm entwickeltes Spielzeug, der Heronsball, war der Vorläufer der modernen Dampfturbine.



Heronball

Der Heronsball erinnert in der Wirkungsweise an das Segnersche Rad. Der Unterschied ist nur, daß hier ins Innere eines Balles nicht Wasser, sondern Dampf geleitet wird. Dieser strömt durch zwei gebogene Rohre nach außen. Es entsteht dabei, wie beim Segnerschen Rad, die uns bekannte Rückstoßkraft, durch die der Ball in Drehung versetzt wird.

Weder die Dampfkanone noch der Heronsball waren also Kraftmaschinen, obwohl der Heronsball, wie es schien, eine Maschine in Gang setzen konnte. Er entwickelte jedoch eine sehr geringe Leistung.

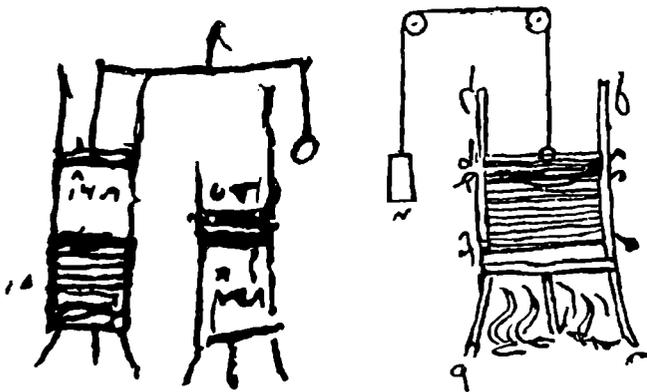
In der Sklavenhaltergesellschaft wurde nicht einmal versucht, eine brauchbare Antriebsmaschine zu bauen. Die Sklaven verrichteten ja alle Arbeit. Doch die Ausbeuterklasse, die nicht arbeitete, sondern sich langweilte, verlangte nach unterhaltsamem Spielzeug. Solchem Zweck diente der Heronsball.

Es gab damals auch technische Apparate, die sich die Priester anfertigen ließen: zum Beispiel automatische Tempeltüröffner und Wasserorgeln. Das gläubige Volk, das diese ausgeklügelten Apparate nicht verstand, glaubte an „göttliche Wunder“ und ließ sich von den Priestern einschüchtern. So kann man begreifen, warum die damaligen Erfinder nicht daran interessiert waren, die Dampfkraft technisch auszunutzen. Sie entwarfen die von der herrschenden Klasse gewünschten Mechanismen, die oft sehr kompliziert waren, aber keine technische Bedeutung hatten.

Erst viele Jahrhunderte später erinnerte der große italienische Naturforscher, Baumeister und Maler Leonardo da Vinci die Menschheit wieder an den Dampf als mechanische Energiequelle. Das war im 15. Jahrhundert, also nach dem Mittelalter, als die Kultur und die Wissenschaften wieder aufblühten.

Von Leonardo da Vinci stammen zwei Federskizzen, Entwürfe eines Zylinders mit Kolben und eines Zylinders mit Ledersack, „wohinein etwas Wasser gegossen wird“. Unter diese Zylinder mußte Feuer gelegt werden, um das Wasser zum Verdampfen zu bringen. Da der Dampf nicht entweichen konnte, mußte er den Kolben bewegen oder den Ledersack ausdehnen.

Den Entwürfen ist nicht zu entnehmen, wie sich Leonardo da Vinci die Wiederholung des Prozesses dachte. Doch schon mit der Idee, in einem Zylinder einen Kolben durch Dampfkraft bewegen zu lassen, war er seiner Zeit vorausgeeilt.



*Von Leonardo da Vinci  
angefertigte Skizzen,  
welche die Wirkungsweise  
eines Dampfzylinders  
veranschaulichen*

Etwas später, im Jahre 1629, trat ein anderer italienischer Gelehrter, der Baumeister Giovanni Branca, mit einer seltsamen Erfindung auf. Es war eine „Vorrichtung zur Pulverherstellung durch einen ungewöhnlichen Motor“. Die eigentliche Antriebsmaschine sah drollig aus.

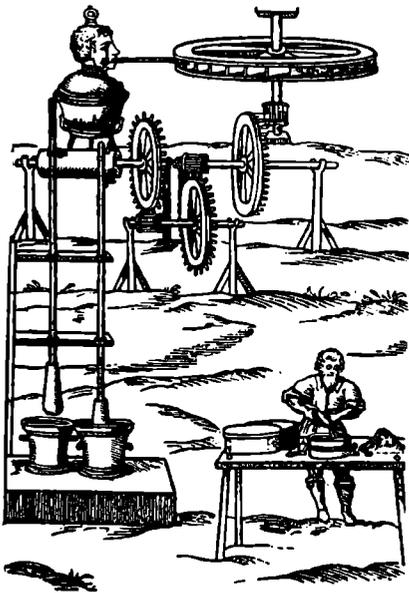
Rein äußerlich ähnelte diese Vorrichtung in keiner Weise einer modernen Maschine. Aber der Kopf links oben war nichts anderes als ein Dampfkessel, und das an der vertikalen Achse befestigte Schaufelrad stellte eine Dampfturbine dar.

Aus dem Mund des Kopfes (also des Dampfkessels) strömte ein starker Dampfstrahl, der auf die Schaufeln des Rades drückte und es dadurch drehte. Diese Bewegung sollte ein Zahnradgetriebe auf eine Trommel übertragen, die abwechselnd bald den linken, bald den rechten Stampfer in die Mörser führte, wobei ununterbrochen ein bestimmter Stoff zerkleinert werden sollte.

Das war bereits die Ausnutzung des Dampfes als Antriebskraft.

Doch diese schöne Erfindung konnte nicht Wirklichkeit werden. Der Dampfstrahl des Püsterichs, so wurde jener Kopf genannt, hätte die vielen Übertragungsräder und die schweren Stampfer nicht bewegen können. Dennoch war das Prinzip entdeckt, und bei den modernen Gleichdruckturbinen wird es angewandt. Auch hier trifft der Dampfstrahl in ähnlicher Weise auf die Schaufeln eines Laufrades.

Viel Zeit verging, bis die Dampfmaschine bekannt werden konnte. Vor allem mußten zuvor die Eigenschaften des Dampfes studiert werden.



*Der Motor Brancas*

## Fragen, die geklärt werden mußten

Solange die Menschen sich nur mit der Energie des Windes und des strömenden Wassers befaßten, war alles einfach und verständlich: Das Wasser floß und bewegte die Schaufeln des Rades, der Wind blähte die Segel oder drehte die Flügel der Mühle.

Nun begann der Mensch, die Energie des Dampfes zu erforschen. Weshalb siedete das Wasser, wenn es erhitzt wurde, und verwandelte sich in Dampf? Weshalb verflüchtigte sich der Dampf so rasch und leistete keine Arbeit, wenn man ihn nicht auffing? Diese und viele andere Fragen mußten geklärt werden.

Diese Forschung nahm lange Zeit in Anspruch, und erst gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts gewann man von den Eigenschaften des Dampfes wissenschaftliche Vorstellungen.

Die Entwicklung der Dampfmaschine ging jedoch ihre eigenen Wege, man wartete nicht erst ab, bis alle Eigenschaften des Dampfes bekannt waren. Sobald man etwas Neues über den Dampf entdeckt hatte, wurde die Erkenntnis in neuen Erfindungen angewandt.

Erst in neuester Zeit ging man dazu über, dampfgetriebene Maschinen nach wissenschaftlichen Berechnungen zu entwerfen.

Doch bevor wir weiter über die interessante Entwicklung der Dampfmaschine berichten, müssen wir uns das Grundwissen über den Dampf noch einmal ins Gedächtnis rufen.

Jeder von uns weiß, daß Flüssigkeiten verdampfen. Ihr könnt selbst beobachten, daß zum Beispiel Wasser aus einem Glas, das im Sommer im Fenster steht, allmählich verschwindet. Das Wasser verdunstet. Doch wie geschieht das?

Die Menschen hatten beobachtet, daß jeder Stoff in großen und kleinen Mengen auftreten kann. Das Wasser zum Beispiel kann riesige Meere füllen, aber auch in Form eines Tautröpfchens auf dem Blütenblatt einer Blume glitzern. Wo liegt die Grenze, bis zu der sich ein Stoff zerkleinern läßt?

Wir wollen uns vorstellen, daß wir ein Zuckerkristall in zwei Teile zerlegen. Eines der so erhaltenen Stücke teilen wir aufs neue, dieses wiederum und so fort, bis wir so winzige Teilchen erhalten, die wir mit dem Auge nicht mehr wahrnehmen können (zum Beispiel Puderzucker). Alle diese Zuckerteilchen, auch die kleinsten, haben immer noch die Eigenschaften des Zuckers.

Die kleinsten Teile, die man auf diese Weise durch mechanische Zerlegung erhält, heißen bei chemischen Verbindungen Moleküle (lateinisch: *molecula* = kleine Masse). Auch Flüssigkeiten und Gase bestehen aus Molekülen.

Moleküle eines Stoffes ziehen sich an, haben aber stets einen bestimmten Abstand voneinander. Verringert sich der Abstand, entwickeln sie auch abstoßende Kräfte.

In einem festen Körper führen die Moleküle nämlich feine, für unser Auge nicht sichtbare schwingende Bewegungen aus.

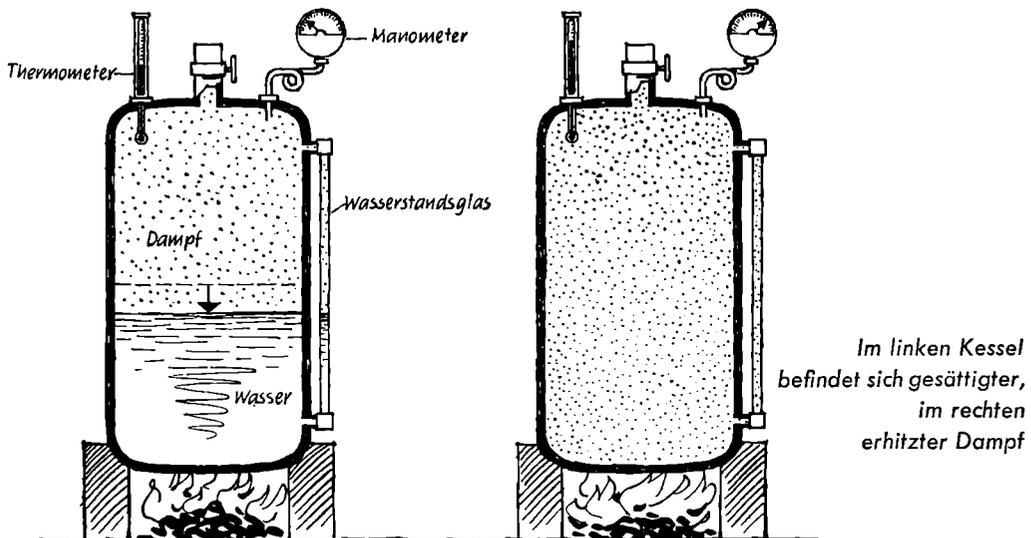
Erhitzen wir nun einen festen Körper, zum Beispiel ein Stück Blei, so wird der feste Körper in einem bestimmten Moment in eine Flüssigkeit verwandelt – er schmilzt. Wie geht das vor sich?

Als wir nämlich das Blei erhitzen, veranlassen wir die Moleküle, immer heftiger zu schwingen und ihre Schwingungsweite zu vergrößern (deshalb dehnen sich erwärmte Körper aus). Bei einer gewissen Temperatur, die bei jedem Stoff verschieden ist, lösen sich die Moleküle voneinander. Sie führen ungeordnete Bewegungen aus, und der Stoff wird flüssig.

Wasser ist nun ein Stoff, der gewöhnlich flüssig vorkommt. Was geschieht aber mit einer Flüssigkeit, wenn sie erhitzt wird? Beschleunigt sich die Bewegung der Moleküle ebenfalls?

Ja, so ist es. Die Moleküle besitzen dann so viel Energie, daß einige mit Wucht aus dem Molekülverband heraus und in die Atmosphäre fliegen. Diesen Vorgang nennt man Verdampfung.

Wenn man das Wasser nicht erhitzt, bildet sich ebenfalls Dampf, allerdings nur an der Oberfläche der Flüssigkeit. In diesem Falle spricht man von Verdunstung. Auf diese Weise ist auch das Wasser aus jenem Glas am Fenster, von dem vorhin die Rede war, verschwunden.



Erhitzt man aber Wasser in einem offenen Gefäß und mißt ständig seine Temperatur, so siedet das Wasser bei  $100^{\circ}\text{C}$ . Die Temperatur steigt nicht weiter an. Es steigen Dampfschwaden auf.

Die Verdampfung vollzieht sich aber nicht nur an der Oberfläche, denn in der gesamten Flüssigkeit lösen sich die Moleküle voneinander; es bilden sich Blasen, die an die Oberfläche sprudeln. Die Moleküle fliegen weg. Die gesamte Wärme, die wir dem siedenden Wasser zuführen, wird für das Losreißen der Moleküle benötigt. Deshalb bleibt die Temperatur solange bei  $100^{\circ}\text{C}$ , bis das Wasser völlig verdampft ist.

Das Wasser hat sich also aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand verwandelt – in Dampf.

Nehmen wir an, das Wasser befände sich nicht in einem offenen, sondern in einem verschlossenen Gefäß, in das wir zwei Meßgeräte stellen, und zwar ein Thermometer und ein Manometer, mit dem wir den Dampfdruck messen.

Das Gefäß soll aus Metall und völlig verschlossen sein; seitlich soll sich eine Glasröhre befinden, die oben und unten in Stutzen eingefast ist. Das Gefäß wollen wir „Kessel“ und die Glasröhre „Wasserstandsglas“ nennen. Da das Wasserstandsglas oben und unten mit dem Kessel verbunden ist, zeigt es an, wie hoch jeweils der Wasserspiegel steht.

Der Kessel ist zunächst halb mit Wasser gefüllt. Es muß sich demnach in dem übrigen Raum Luft befinden. Was zeigen die Meßgeräte an? Das Manometer steht auf Null; also ist der Druck im Kessel gleich dem äußeren Luftdruck. Das Thermometer zeigt ungefähr dieselbe Temperatur, die auch die Außenluft aufweist.

Nachdem der obere Hahn geöffnet wurde, heizen wir den Kessel. Solange der Hahn offen steht, erwärmt sich das Wasser wie in einem anderen offenen Gefäß, und der Dampf verdrängt allmählich die gesamte Luft aus dem Kessel. Danach wird der Hahn geschlossen und das Wasser weiter erwärmt. Dabei werden wir bemerken, daß der Wasserspiegel mit zunehmender Erwärmung fällt und der mit Dampf gefüllte Raum sich vergrößert. Die Temperatur steigt stetig, und mit ihr zusammen wächst auch der Dampfdruck, wie es am Manometer zu erkennen ist.

Längst schon sind  $100^{\circ}\text{C}$  überschritten, doch die Wassertemperatur steigt immer noch, ohne daß das Wasser siedet. Wie kommt das? In einem offenen Gefäß war es doch nicht möglich, das Wasser über  $100^{\circ}\text{C}$  zu erhitzen! Das Wasser hat nur dann eine Siedetemperatur von  $100^{\circ}\text{C}$ , wenn der Druck über dem Wasserspiegel dem äußeren Luftdruck gleicht. In einem offenen Gefäß kann sich der Dampf verflüchtigen, so daß sein Druck ständig mit dem Luftdruck übereinstimmt.

Anders verhält es sich bei einem verschlossenen Gefäß. Hier kann der Dampf nirgends entweichen. Er ballt sich über der Wasseroberfläche zusammen und übt auf sie einen immer stärkeren Druck aus. Unter solchen Bedingungen beginnt das Sieden erst bei einer Temperatur von über 100° C. Schon wenn die Temperatur nur um 1° ansteigt, wird der Dampfdruck in einem geschlossenen Gefäß größer als der äußere Luftdruck.

So werden wir für jede neue Temperatur auch einen entsprechenden Druck am Manometer messen – solange nicht das gesamte Wasser verdampft ist. Den Dampf, der sich im noch nicht wasserleeren Kessel befindet, nennt man gesättigten Dampf.

Wenn das gesamte Wasser verdampft ist, kann man den Dampf weiter erhitzen, aber das ist dann kein gesättigter Dampf mehr, sondern überhitzter Dampf, auch Heißdampf genannt.

Erwärmen wir jedoch den Kessel nicht weiter, sondern kühlen ihn wieder ab, so werden wir feststellen, daß sich der überhitzte Dampf in gesättigten Dampf zurückverwandelt. Dabei senkt sich sein Druck, je mehr der Dampf abgekühlt wird. Dieser umgekehrte Prozeß, also die Verwandlung des Dampfes in Wasser, heißt Kondensation.

Jeder kennt die Eisblumen, die der Frost auf die Fenster malt! Habt ihr schon darüber nachgedacht, woher diese Eisblumen kommen? Auch hierbei handelt es sich um eine Kondensation, und zwar der Dämpfe, die sich in der Luft befinden. Wenn diese Dämpfe mit dem kalten Glas in Berührung kommen, werden sie kondensiert, verwandeln sich in winzige Wassertröpfchen, die dann gefrieren.

### Eine notwendige Erfindung

Warum waren Leonardo da Vinci, Giovanni Branca und Dutzende anderer Ingenieure, Gelehrter und Erfinder bestrebt, eine Wärmekraftmaschine zu schaffen? Weshalb beschränkte man sich nicht auf Wasser- und Windräder?

Die Wasserräder konnten nur in unmittelbarer Nähe eines Flusses errichtet werden. Die Leistung der Windräder war sehr gering – und der Wind sehr unbeständig. Auch die Leistung der Wasserräder war den Naturbedingungen unterworfen: Sank der Wasserspiegel im Fluß, sank auch die Leistung der von den Wasserrädern angetriebenen Maschinen.

Anders verhält es sich mit den Dampfmaschinen. Überall, wo Brennstoff vorhanden ist – Holz, Kohle, Erdöl –, überall, wo sich ein Feuer entfachen läßt, kann eine Dampfmaschine in Gang gesetzt werden. Sie läßt sich nach Belieben an- und abstellen. Wenn man diesen Motor ausreichend mit Brennstoff versorgt, dann vollbringt er eine gleichmäßige Leistung.

Leonardo da Vinci und Giovanni Branca hatten für ihre Versuche, die Dampfkraft nutzbar zu machen, lediglich ein technisches Interesse. Bald brach aber die Zeit an, in der die Erfindung von Dampfmaschinen eine wirtschaftliche Notwendigkeit wurde.

Diese wirtschaftliche Notwendigkeit zeigte sich besonders deutlich im England des 18. Jahrhunderts. Noch um 1500 war England ein kleines bedeutungsloses Land. Es besaß jedoch schon damals ein blühendes Tuchgewerbe. Stoffe aus englischer Schafwolle wiesen eine gute Qualität auf, und die englischen Kaufleute verkauften sie in alle Welt.

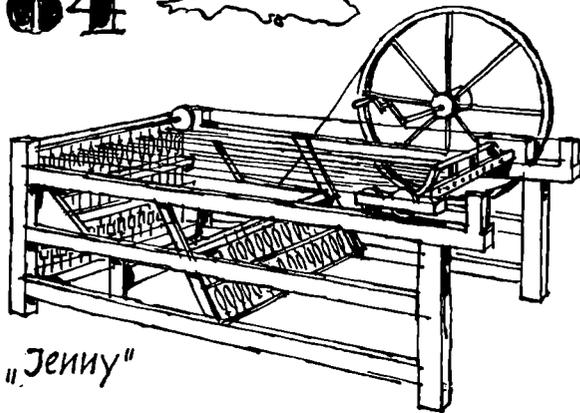
Die begehrten Tuche entstanden in mühseliger Handarbeit in den ärmlichen Hütten der Weber, die bis in die Nacht hinein an ihren Webstühlen hocken mußten, wenn sie nicht verhungern wollten. Den Gewinn steckten die Kaufleute ein und die Adligen, die große Schafherden besaßen und die Wolle verkauften.

Der Tuchhandel hatte sich im 16. Jahrhundert so sehr ausgebreitet, daß der Rohstoff, die Wolle, knapp wurde. Die Adligen raubten den Bauern Land und gewannen auf diese Weise neue Weideflächen für immer größere Schafherden. Nun konnten die Spinner und Weber den Unternehmern nicht schnell genug arbeiten. Man richtete Manufakturen ein. Diese brachten den Unternehmern große Vorteile. Zwar mußte immer noch in Handarbeit gesponnen und gewebt werden, aber jeder Arbeiter hatte nur eine bestimmte Arbeit zu verrichten. Der Arbeitsprozeß war in viele einzelne Arbeitsgänge eingeteilt. Dadurch konnte schneller und billiger produziert werden. Die Textilindustrie bekam einen weiteren Aufschwung, als man im 18. Jahrhundert im großen Maße Baumwolle einfuhrte und verarbeitete. Doch das Spinnen nahm viel Zeit in Anspruch. Man suchte einen Ausweg, und schließlich wurde 1764 eine Spinnmaschine erfunden. Sie hatte ein Schwungrad, das von einem Arbeiter ständig gedreht werden mußte. Die Maschine vollbrachte die Arbeit mehrerer Menschen. Bald entwickelte man noch bessere Arbeitsmaschinen zum Spinnen und erfand den mechanischen Webstuhl, der mit Maschinenkraft angetrieben werden mußte.

Die Kraftmaschine jedoch, die man damals benutzte, war das Wasserrad. Die Unternehmer mußten ihre Fabriken an Flußläufe verlegen.

Aber ein großer Betrieb konnte es sich nicht erlauben, von der jahreszeitlich bedingten Leistung der Wasserräder abhängig zu sein. Denn im Winter

1764



"Jenny"

arbeitete die Fabrik nicht mit der vollen Leistung oder mußte gar stillgelegt werden. Vielfach mußten die Rohstoffe auch von weither herangebracht werden, oder der Abtransport der fertigen Erzeugnisse bereitete Schwierigkeiten. Diese Nachteile beeinträchtigten die Gewinne der Unternehmer sehr.

Kurzum, die englischen Unternehmer interessierten sich immer mehr für die Entwicklung einer Wärmekraftmaschine, die mit Dampf angetrieben wurde. Ihre Vorteile waren verlockend.

Infolgedessen war es kein Zufall, daß die Dampfmaschine ihren Siegeszug in die Welt gerade in England beginnen sollte. Man war hier schon von der Handarbeit zur Maschinenarbeit übergegangen, zunächst beim Spinnen und Weben in der Textilindustrie. Andere Industriezweige folgten. Nun benötigten die Unternehmer dringend eine neue Antriebskraft. Sie hatten deshalb an allen Erfindungen auf diesem Gebiet großes Interesse und gaben dafür große Geldsummen aus.

Doch verfolgen wir die Entwicklung von Anfang an. Bereits im 17. Jahrhundert und teilweise früher suchten Gelehrte und Ingenieure unablässig nach Wegen, die Dampfkraft auszunutzen. Sie sahen voraus, welche großen Möglichkeiten eine Wärmekraftmaschine erschließen würde.

Es war auch dringend notwendig, eine Maschine zu schaffen, die Wasserpumpen für Bergwerksschächte antrieb. Ohne diese Pumpen konnte man in den Schächten nicht arbeiten, denn das Grundwasser sickerte ein und störte die Förderung von Kohle und Erz. Die Pumpen wurden zunächst von Pferden bewegt, aber mit diesen „Hafermotoren“ war die Leistung der Pumpen gering, und man konnte das Wasser nicht aus größeren Tiefen heben. Pumpen mit größerer Leistung wurden gebraucht, die aber wiederum stärkere Antriebsmaschinen erforderten.

In Schächten und Gruben, die sich nicht in der Nähe von Flüssen befanden, unternahm man früher als anderswo Versuche, Wärmekraftmaschinen zu entwickeln.

Diese Versuche sind sehr interessant. Wir werden von ihnen erfahren, wenn wir jetzt die Entwicklungsgeschichte der Dampfmaschine fortsetzen.

### Der „Papinsche Topf“

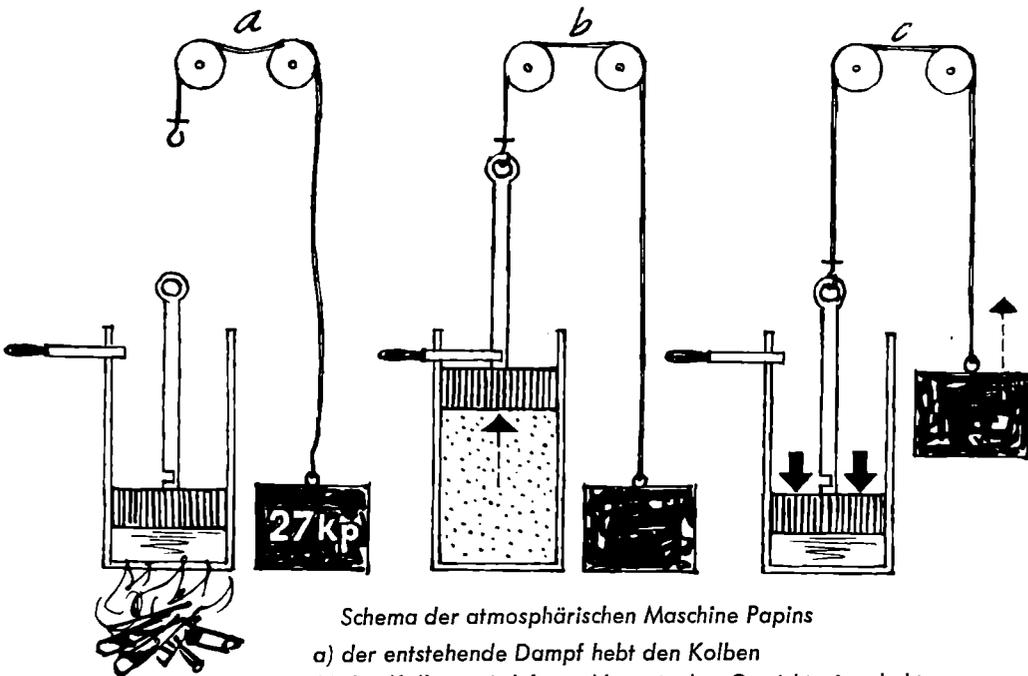
Der französische Arzt Denis Papin, der mit dem holländischen Gelehrten Christian Huygens oft über die künftigen Aufgaben der Ingenieure gesprochen hatte, wurde schließlich der Medizin untreu und wandte sich der Technik zu, und zwar dem damals interessantesten und wichtigsten Gebiet, nämlich der Entwicklung einer Wärmekraftmaschine.

Papin kam nach Deutschland und lehrte als Mathematikprofessor in Marburg. Im Jahre 1680 entdeckte er ein Verfahren, Dampf von verhältnismäßig hohem Druck zu erzeugen. Er konstruierte einen Dampfkessel, der lange Zeit den Namen „Papinscher Topf“ behielt.

Nach einigen Versuchen, eine Kolbenmaschine mit Pulvergasen anzutreiben, baute Papin im Jahre 1690 eine einfache dampfbetriebene Hebe-  
maschine. Er stellte einen Zylinder mit einem Kolben her. Vom Kolben aus lief ein Seil über zwei Rollen.

Wurde der Kolben von einer Kraft nach unten bewegt, so konnte man mit diesem Seil Lasten heben, Wasser pumpen oder andere Arbeiten verrichten. Doch welche Kraft sollte das vollbringen? Sie mußte ja von außen auf den Kolben drücken und ihn in den Zylinder schieben.

Vierzig Jahre zuvor hatte Otto von Guericke eine solche Kraft entdeckt und erforscht. Otto von Guericke war Bürgermeister seiner Vaterstadt Magdeburg, aber neben seinen beruflichen Pflichten widmete er sich mit Eifer naturwissenschaftlichen Problemen. Er erfand eine gut arbeitende Luftpumpe, mit deren Hilfe er ein Faß luftleer pumpen wollte. Aber die Luft zischte immer wieder durch die Ritzen in das Faß hinein. Da das Faß die Luft nicht dicht genug abschloß, ließ Otto von Guericke eine kupferne Hohlkugel anfertigen und wiederholte daran seinen Versuch. Man hatte das Auspumpen noch nicht beendet, als ein lauter Knall alle in Schrecken versetzte: Die Metallkugel wurde plötzlich zusammengeknüllt wie ein Stück Papier. Was war geschehen? Beim Auspumpen war der Luftdruck in der Kugel allmählich immer mehr abgesunken. Der äußere Luftdruck wurde dadurch stärker als der Innendruck und konnte nun die Kugel mit Leichtigkeit zerdrücken. So entdeckte Otto von Guericke, welche große Kraft der Luftdruck entwickeln kann. Er bewies das noch an einer Reihe weiterer Versuche. Der bekannteste davon ist sein Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“.



Schema der atmosphärischen Maschine Papins

- a) der entstehende Dampf hebt den Kolben
- b) der Kolben wird festgeklemmt, das Gewicht eingehakt und der Zylinder mit kaltem Wasser abgekühlt
- c) der äußere Luftdruck drückt auf den Kolben, das Gewicht wird gehoben

Nach diesem Prinzip baute Papin seine erste Dampfmaschine. Er füllte etwas Wasser in den Zylinder und senkte dann den Kolben, bis er den Wasserspiegel berührte; hierbei wurde die zwischen dem Kolben und dem Wasser befindliche Luft herausgedrückt. Alle Abzweigrohre wurden nun verschlossen und der Zylinder von außen erwärmt. Das Wasser verwandelte sich allmählich in Dampf, der durch seinen Druck den Kolben nach oben schob. Hier wurde der Kolben durch eine Haltevorrichtung festgestellt, während Papin das Feuer vom Kessel wegnahm und den Zylinder abkühlte. Er wartete ab, bis sich der Dampf kondensiert hatte. Dabei wurde fast der gesamte Raum frei, der vorher voll Dampf war, weil das Wasser, in das sich der Dampf durch die Kondensation verwandelt hatte, nur wenig Raum im Zylinder beanspruchte.

Nun löste Papin die Haltevorrichtung, so daß der Kolben durch den atmosphärischen Luftdruck nach unten geschoben wurde. Er hob ein Gewicht von 27 kp.

Nicht der Dampf, sondern der atmosphärische Luftdruck verrichtete hier die nützliche Arbeit. Deshalb nannte man derartige Maschinen „atmosphärische“ Maschinen.

Es schien, als hätte Papin sein Ziel, sowohl den Dampf als auch den äußeren Luftdruck zur Arbeit zu zwingen, erreicht. Doch wieviel Handgriffe waren notwendig, um die Maschine in Gang zu halten: Das Feuer darunterschieben und wieder wegnehmen, den Kolben heranführen, anhalten, die Haltevorrichtung betätigen und die Kondensation abwarten. Und das Ergebnis? Die Maschine führte einen Arbeitsgang in der Minute aus und leistete weniger als 1 PS. Außerdem wurde eine große Menge Brennstoff verbraucht, und die Maschine machte einen Riesenlärm.

Es wäre wohl möglich gewesen, diese Maschine zu verbessern. Papin war ein kluger Kopf, und sicher wäre es ihm auch gelungen, eine brauchbare atmosphärische Maschine zu entwickeln. Aber wer sollte eine solche Maschine bauen?

Es gab im damaligen Deutschland keine Werkstoffe, keine Werkstätten und keine Maschinenbauer für ein derartiges Unternehmen. Wer sollte den Bau bezahlen? Papins Landesfürst, der Landgraf von Hessen, hatte die ersten Versuche durch einige Geldmittel ermöglicht. Aber dann verlor er, da er die Bedeutung dieser Entdeckung nicht einschätzen konnte, die Lust, noch mehr Geld auszugeben und wandte sich anderen Liebhabereien zu. Wohl unternahm Papin noch mehrere Versuche, seine Ideen zu verwirklichen, doch es war erfolglos. Er starb 1714 arm und vergessen.

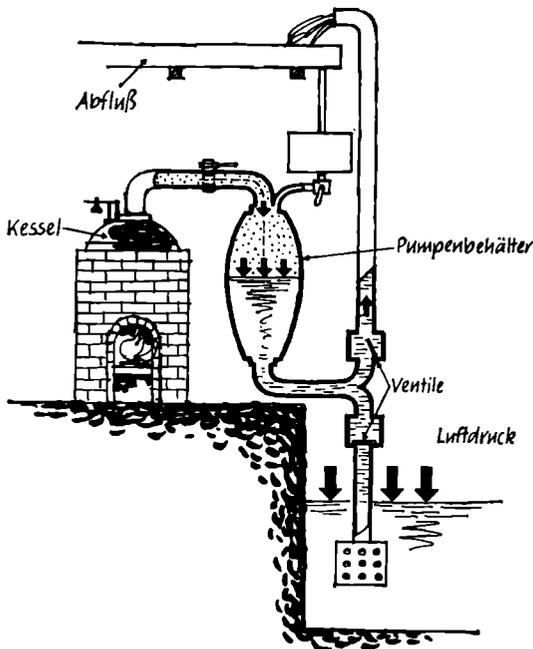
## Savarys Dampfpumpe

Während sich Papin für die Ausnutzung des atmosphärischen Druckes begeisterte und im Zylinder selbst Dampfbildung und Kondensation ausführen ließ, entschlossen sich andere Ingenieure, den von Papin erfundenen „Papinschen Topf“ anders anzuwenden.

Der englische Bergbauingenieur Savary schlug vor, die Schachtwässer mit einer Dampfpumpe interessanter Konstruktion auszupumpen. Zu diesem Zweck wurde der Papinsche Dampfkessel mit einer ortsfesten Heizanlage versehen. Der im Kessel erzeugte Dampf strömte in den Pumpenbehälter, aus dem er das Wasser durch ein Rohr in die Abflußvorrichtung drückte.

Sobald das Wasser aus dem Behälter verdrängt war, wurde der Hahn der Dampfzuleitung geschlossen. Kurz danach öffnete man den Hahn des Wasserzuleitrohres. Durch dieses Rohr drang Kühlwasser in den Behälter, wodurch der Dampf schnell kondensierte. Im Behälter entstand so eine Luftverdünnung, fast ein Vakuum, und der äußere Luftdruck hob das Wasser aus dem Schacht in den Behälter. Danach wiederholte sich der Vorgang.

Damit der Dampf das Wasser nicht wieder in den Schacht treiben konnte, war ein Rückschlagventil angebracht. Wenn das Wasser aus dem Schacht stieg, öffnete sich das Ventil nach dem Behälter zu. Nach der anderen Seite ließ es sich nicht öffnen.



Dampfpumpe nach Savary-Desagjule

Die hier beschriebene Pumpe von Savary war bereits eine verbesserte Konstruktion des französischen Physikers Desagulière. Sie ließ sich im Bergbau verwenden.

In Rußland war sie die erste mit Dampf angetriebene Maschine. Auf Anordnung des Zaren Peter I. wurde eine derartige Pumpe im Jahre 1717 in Petersburg aufgestellt.

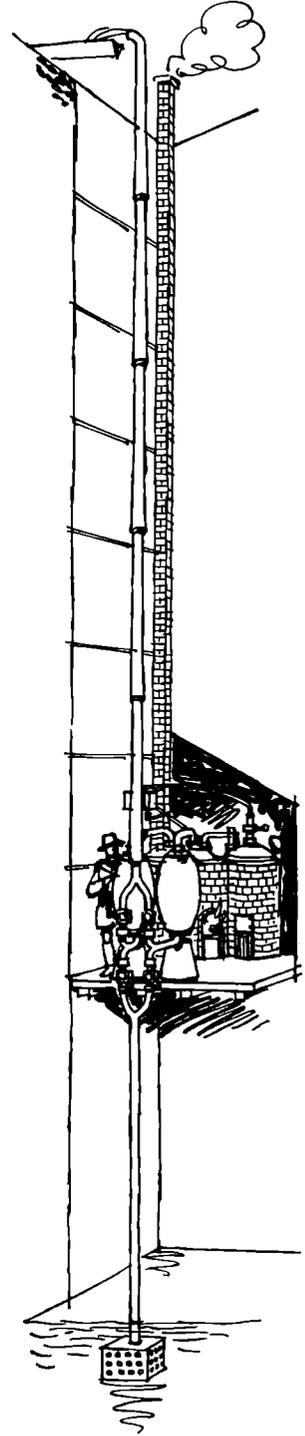
Peter I. beabsichtigte ursprünglich, diese Pumpe für umfangreiche Entwässerungsarbeiten beim Bau von Kanälen in Petersburg verwenden zu lassen. Die Pumpe war aber nicht sehr leistungsfähig, und so ordnete Peter I. an, sie in seinem Sommergarten zur Wasserregelung einer Fontäne aufzustellen.

Der Hauptmangel dieser Maschinen, von der geringen Leistung und dem niedrigen Wirkungsgrad abgesehen, bestand darin, daß sie nicht stetig, sondern mit Unterbrechungen arbeiteten. Papin schlug deshalb vor, die Maschine mit einem Wasserrad zu verbinden. Die Dampfmaschine sollte Wasser aus einem niedrigen in einen höheren Behälter drücken, und von dort sollte es wieder über ein Wasserrad in den niedriger gelegenen Behälter zurückfließen.

Obwohl diese Anlage ungefügt und kostspielig war, wurde sie dennoch verwendet – so stark war das Verlangen nach stetig arbeitenden Antriebsmaschinen, die überall aufgestellt werden konnten.

### Die atmosphärische Maschine Newcomens

Etwa zur gleichen Zeit begann der englische Eisenhändler und Schmiedemeister Thomas Newcomen eine Maschine zu bauen, nachdem er sich mit der ersten Maschine Papins und der Pumpe von Savary



beschäftigt hatte. Newcomen nahm sich die Maschine Papins zum Vorbild, er wandte dasselbe atmosphärische Prinzip an, doch trennte er den Dampfkessel so vom Zylinder, wie es Savary tat.

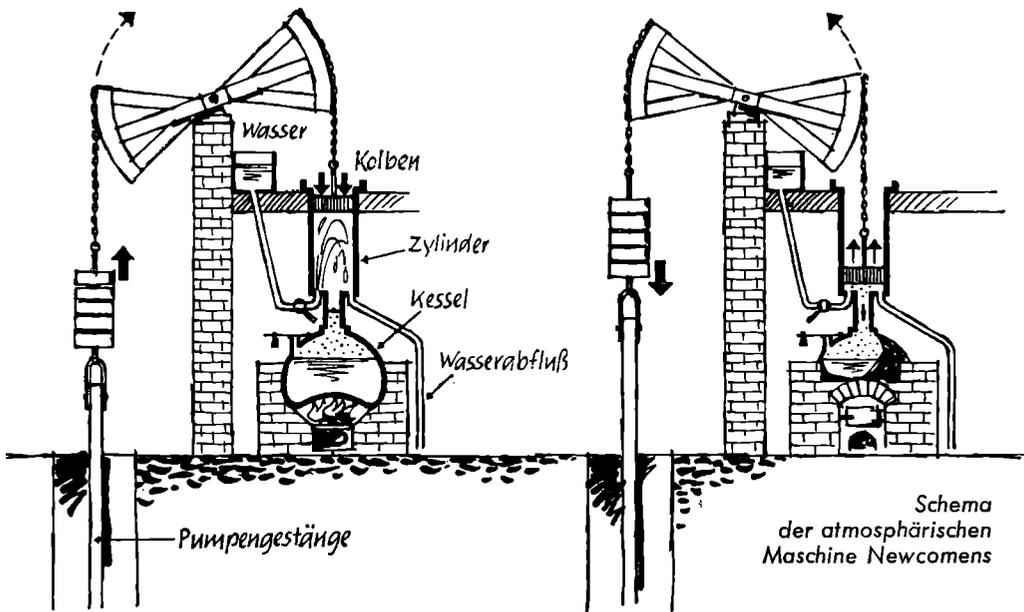
Newcomens Maschine stellte man erstmalig 1711 in einem Steinkohlenschacht auf. Sie arbeitete wie folgt:

Im Dampfkessel wurde fortwährend Dampf erzeugt. Wenn der Dampfahn im gegebenen Augenblick geöffnet wurde, strömte der Dampf unter Druck in den Zylinder und drückte den Kolben nach oben. Dadurch senkte sich der linke Arm des Schwinghebels, an dem eine Last und die Stange der Wasserpumpe hingen. Sie bewegten sich ebenfalls abwärts. Der Dampf füllte nun den gesamten Hohlraum des Zylinders aus.

Dann wurde der Hahn des Kühlwasserrohres geöffnet, und aus einem Behälter strömte kaltes Wasser in den Zylinder. Durch diese Abkühlung kondensierte der Dampf, und im Zylinder entstand ein luftverdünnter Raum. Der äußere Luftdruck wirkte nun mit großer Kraft auf den Kolben. Er senkte sich, der Schwinghebel schwenkte nach rechts herunter und hob so das Pumpengestänge.

Auf diese Weise konnte man schon Wasser aus den Schächten pumpen und einige andere Arbeiten ausführen, die einen ununterbrochenen Arbeitsablauf erforderten.

Viele atmosphärische Maschinen wurden damals gebaut. Sie waren unförmig und unbequem, verrichteten aber viel Arbeit. Nach und nach verbesserte man diese Maschinen.



Über eine Verbesserung der Newcomenschen Maschine ist eine interessante Begebenheit zu berichten. Damit die Maschine ununterbrochen arbeiten konnte, waren ständig die Wasser- und Dampfleinlaßhähne zu öffnen und zu schließen. Diese Arbeit wurde jungen Burschen übertragen. Es waren dieselben Jungen, die der russische Dichter Nekrassow sagen läßt: „Nur wir durften nicht wandern / durch die Felder, die goldene Flur / in der Fabrik einen Tag nach dem andern / drehn, drehn, drehn wir Räder nur.“ Die Kapitalisten trachteten danach, billige Arbeitskräfte zu haben. Deshalb stellten sie große Jungen als Arbeiter ein, denen sie einfache, aber sehr ermüdende und eintönige Arbeiten übertrugen. So eine Arbeit war das Öffnen und Schließen der Absperrhähne.

Humphrey Potter war einer dieser Jungen, ein aufgeweckter und kluger Bursche, dem es unsinnig erschien, den ganzen Tag an einer Stelle zu stehen, um die Hähne zu betätigen. Er beobachtete wißbegierig die Arbeitsweise der Maschine und studierte ihre Konstruktion. Dabei kam er auf den Gedanken, daß seine Arbeit eigentlich auch ein Mechanismus verrichten könnte. Dieser Mechanismus ließe sich sogar durch die Maschine selbst antreiben. Sie könnte dann ohne fremde Hilfe arbeiten.

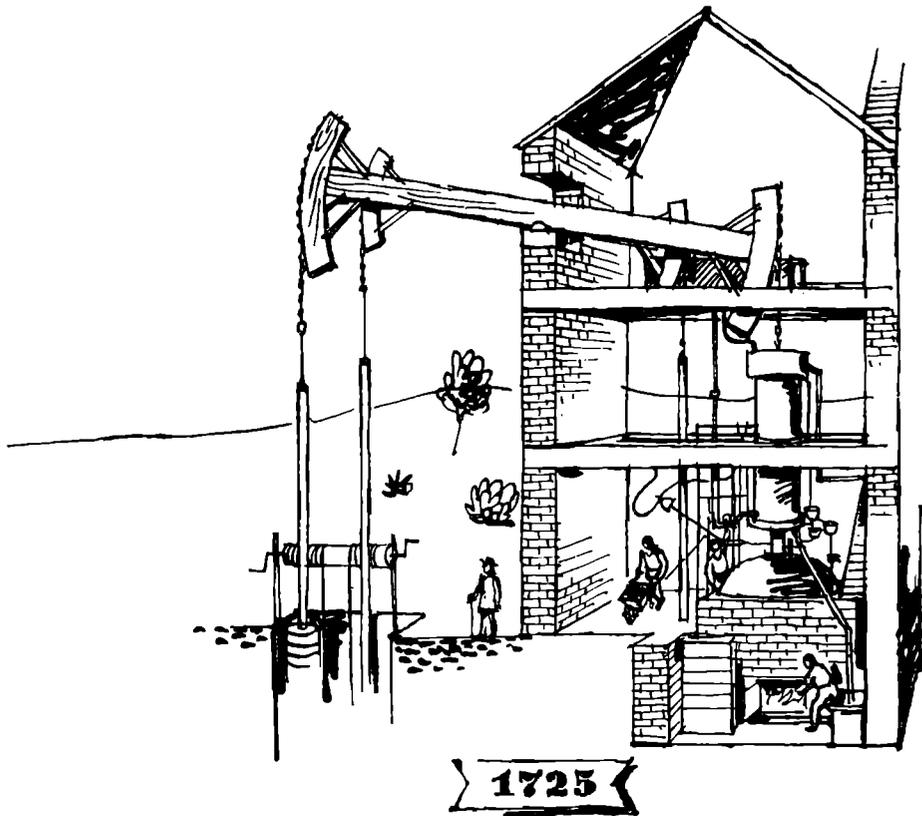
Humphrey dachte oft über eine derartige Vorrichtung nach. Da er nicht zeichnen konnte, fertigte er sie kurzentschlossen selbst an und befestigte sie an der Maschine. Die Maschine betrieb die Sperrvorrichtung.

Erfahrene Meister verbesserten später den Mechanismus, der nach dem Namen seines Erfinders „Potterscher Mechanismus“ genannt wird. Es war eine automatische Steuerung, bei der durch geeignete Schnurverbindungen die Hähne selbsttätig reguliert wurden.

Die Ausmaße der Maschine Newcomens waren sehr groß, für ihre Unterbringung war ein 18 m hohes Gebäude erforderlich, was etwa der Höhe eines dreistöckigen Hauses entspricht. Obwohl die atmosphärische Maschine über ein halbes Jahrhundert für verschiedene Zwecke benutzt wurde, konnte sie nicht die allgemein gebrauchte Kraftmaschine werden, die die Industrie so dringend benötigte.

Die Maschine konnte zwar ein Pumpengestänge auf und ab bewegen, aber sie vermochte nicht, die Welle eines Mühlsteins zu drehen. Zwei Bewegungen führte der Kolben aus: den eigentlichen Arbeitshub, bei dem sich der Kolben durch Luftdruck und Eigengewicht senkte, den Leerlauf, wenn der Dampf den Kolben nach oben drückte.

Die atmosphärische Maschine versetzte dem Pumpengestänge beim Arbeitshub einen Stoß oder übte einen Druck auf einen Blasebalg aus, um danach ihre Tätigkeit durch den Leerlauf des Kolbens für kurze Zeit zu unterbrechen.



Doch Mühlsteine und andere Maschinen konnten nicht stoweise arbeiten; die Kraftmaschine mute die Arbeitswelle gleichmig bewegen. Das war der Hauptgrund, weshalb die atmosphärische Maschine nicht die allgemein angewandte Kraftmaschine für die Industrie werden konnte.

### Die groe Erfindung Iwan Poldunows

Die Bemühungen um eine allgemein anwendbare Wärmekraftmaschine wurden fortgesetzt, und die Ehre, eine Dampfmaschine mit ununterbrochener Arbeitsweise erfunden zu haben, gebührt dem russischen Erfinder Iwan Iwanowitsch Poldunow.

Iwan Poldunow wurde im Jahre 1728 in der Familie eines Soldaten geboren. Dem Vater fiel es schwer, bei 10 Rubel Jahressold seine Familie zu er-

nähren. Als er aber bemerkt hatte, wie lernbegierig sein Sohn war, schickte er ihn auf die Bergbauschule in Jekaterinburg (Swerdlowsk). Diese Schule hatte Peter I. gegründet, da er der Bergbauindustrie im Ural große Bedeutung beimaß. Er wußte, daß sich eine Industrie nur entwickeln kann, wenn genügend technisch ausgebildete Arbeitskräfte vorhanden sind. Auf dieser Schule, die Wanja Polsunow nun besuchte, wurden Mathematik, Chemie, Bergbau, Forstwirtschaft, Buchhaltung, Staudambau und andere technischen Fächer gelehrt. Da Wanja sehr befähigt war, nahm man ihn schon mit 10 Jahren in diese Schule auf.

Weil es seinen Angehörigen nicht besonders gut ging, hätte er am liebsten bald Geld verdient, um Vater und Mutter zu unterstützen. In der Schule erhielt er monatlich  $33\frac{1}{4}$  Kopeke. Damit konnte er seine Angehörigen nicht unterstützen.

Nikita Bacharew, der leitende Ingenieur des Bergbauamtes, hörte von dem befähigten Jungen. Als Ingenieur des Bergbauamtes unterstanden ihm alle staatlichen Werke in Sibirien und im Ural. Er leitete in den Gruben den Bau der Wasserpumpen- und Erzförderanlagen, die Errichtung von Sägemühlen und anderen Werken.

Nikita Bacharew wählte, um seine mannigfaltigen Verpflichtungen besser erfüllen zu können, immer die befähigsten Schüler aus, die dann seine Gehilfen wurden. So fiel im Jahre 1742 die Wahl auch auf Iwan Polsunow, der im Alter von 14 Jahren praktisch zu arbeiten begann.

Sechs Jahre lang lernte Iwan Polsunow die Betriebseinrichtungen kennen und half mit bei ihrem Bau. Als er 20 Jahre alt war, betraute man ihn mit einer verantwortlichen Stellung. Er erhielt ein Jahresgehalt von 24 Rubel. Um seine Tätigkeit aufzunehmen, mußte Polsunow von Jekaterinburg nach Bernaul im Altai übersiedeln.

Im Bernauler Werk wurde Silber geschmolzen, und außer diesem befand sich im Altai noch ein derartiges Werk, das Kolywaner. Beide Werke bereiteten das Silbererz auf, das in über zwanzig Silberbergwerken des Altai gewonnen wurde. Das wichtigste davon war das Smeinogorsker Bergwerk. Alle diese Fabriken und Bergwerke gehörten dem Staat, also dem Zarenhof. Die Smeinogorsker Bergwerksverwaltung war bemüht, den befähigsten und energischsten Mitarbeiter dort einzusetzen, wo es galt, schnell bestimmte Aufgaben zu lösen, zum Beispiel eine neue Maschine zu entwerfen oder den Erztransport über einen Fluß zu organisieren.

So wurde Polsunow beauftragt, im Smeinogorsker Bergwerk eine Sägemühle zu errichten, eine für die damalige Zeit komplizierte Einrichtung.

Trotz seiner vielfältigen Tätigkeit studierte Polsunow weiterhin die Wissenschaften, und zwar vor allem Bergbau- und Maschinenkunde.

Sein Leben war nicht leicht, denn zu jener Zeit hatte er schon eine eigene Familie; außerdem lebte seine Mutter bei ihm. Dennoch fand er Kraft und Zeit, Bücher zu studieren. Er bat auch die Verwaltung, es ihm zu ermöglichen, den gesamten Betrieb kennenzulernen. In seinem Gesuch schrieb er: „Ich möchte meine jungen Jahre zur Vertiefung in die Wissenschaften nutzen.“

Es war eine wahrhaft große Leistung, die der Sohn eines einfachen Soldaten vollbrachte, um sich das Können und Wissen der damaligen Ingenieure anzueignen. Wir können uns das heute kaum noch vorstellen, denn die Arbeiter-und-Bauern-Macht ermöglicht es allen befähigten jungen Menschen, die Wissenschaften zu studieren.

Im Jahre 1758 beauftragte man Pölsunow, einen Silbertransport nach Petersburg (Leningrad) zu begleiten. Als der dreißigjährige Pölsunow in die damalige Hauptstadt Rußlands kam, war er bereits ein erfahrener, theoretisch und praktisch gut ausgebildeter Ingenieur. Hier in Petersburg befand sich die Akademie der Wissenschaften, an der der große Lomonossow wirkte; hier gab es viele neue technische Einrichtungen zu sehen.

Bald nach der Rückkehr aus Petersburg wurde Pölsunow „Schichtmeister“, was für ihn den Aufstieg aus dem sogenannten „unteren“ in den „gehobenen“ Stand bedeutete. Im Jahre 1761 ernannte man ihn sogar zum stellvertretenden Leiter des Kolywaner Werkes.

So bahnte sich Iwan Pölsunow durch Fleiß und Können den Weg zu einem besseren Leben.

Kein glücklicher Gedanke, der zufällig beim Betrachten eines überkochenden Teekessels auftauchte, ist es also gewesen, der Pölsunow, den ersten russischen Wärmetechniker, zu der Erfindung einer ununterbrochen arbeitenden Dampfmaschine anregte. Es war die Frucht langer und beharrlicher Arbeit.

Bevor wir uns nun mit der Dampfmaschine Pölsunows bekannt machen, wollen wir die Ergebnisse zusammenfassen, zu denen bereits andere Erfinder vor ihm gelangt waren.

Es war durch die Arbeiten von Papin, Savary, Desagjule, Newcomen und noch anderer Erfinder gelungen, eine atmosphärische Maschine zu entwickeln, wobei sich folgendes herausstellte: 1. Nicht die Pumpen von Savary und Desagjule, sondern die Kolbenmaschinen von Papin und Newcomen erwiesen sich als die geeignetsten und leistungsfähigsten. 2. Der Dampfkessel mußte vom Arbeitszylinder der Maschine getrennt werden (Papin ließ noch das Wasser im Zylinder verdampfen).

Man konnte sich an Hand der in Betrieb befindlichen atmosphärischen Maschinen von deren Unzulänglichkeit überzeugen. Keine von ihnen

konnte ohne Unterbrechung, also gleichmäßig, arbeiten. Infolgedessen waren sie ungeeignet, Arbeitsmaschinen anzutreiben.

Im April 1763 reichte Iwan Polesnow dem Leiter der Kolywaner-Woskresensker Werke eine Denkschrift mit dem Entwurf einer „Feuerkraftmaschine“ ein – so nannte er seine Erfindung.

Bei der Entwicklung der neuen Maschine ging es Polesnow nicht um eine persönliche Bereicherung. Es hieß in seiner Denkschrift: „...um Ruhm (wenn meine Kräfte dazu ausreichen) für das Vaterland zu erringen und dem gesamten Volke Nutzen zu bringen. Und somit denen, die nach uns kommen, die Arbeit zu erleichtern und ihre Dankbarkeit zu erlangen.“

Der Entwurf Polesnows war sorgfältig ausgearbeitet und enthielt alle notwendigen Berechnungen. Damals baute man noch nicht alle Maschinen nach vorheriger Berechnung. Viele Erfinder, so auch der bereits erwähnte Engländer Newcomen, bauten ihre ersten Maschinen nur auf Grund ihrer praktischen Erfahrungen, mitunter sogar ohne jede Zeichnung.

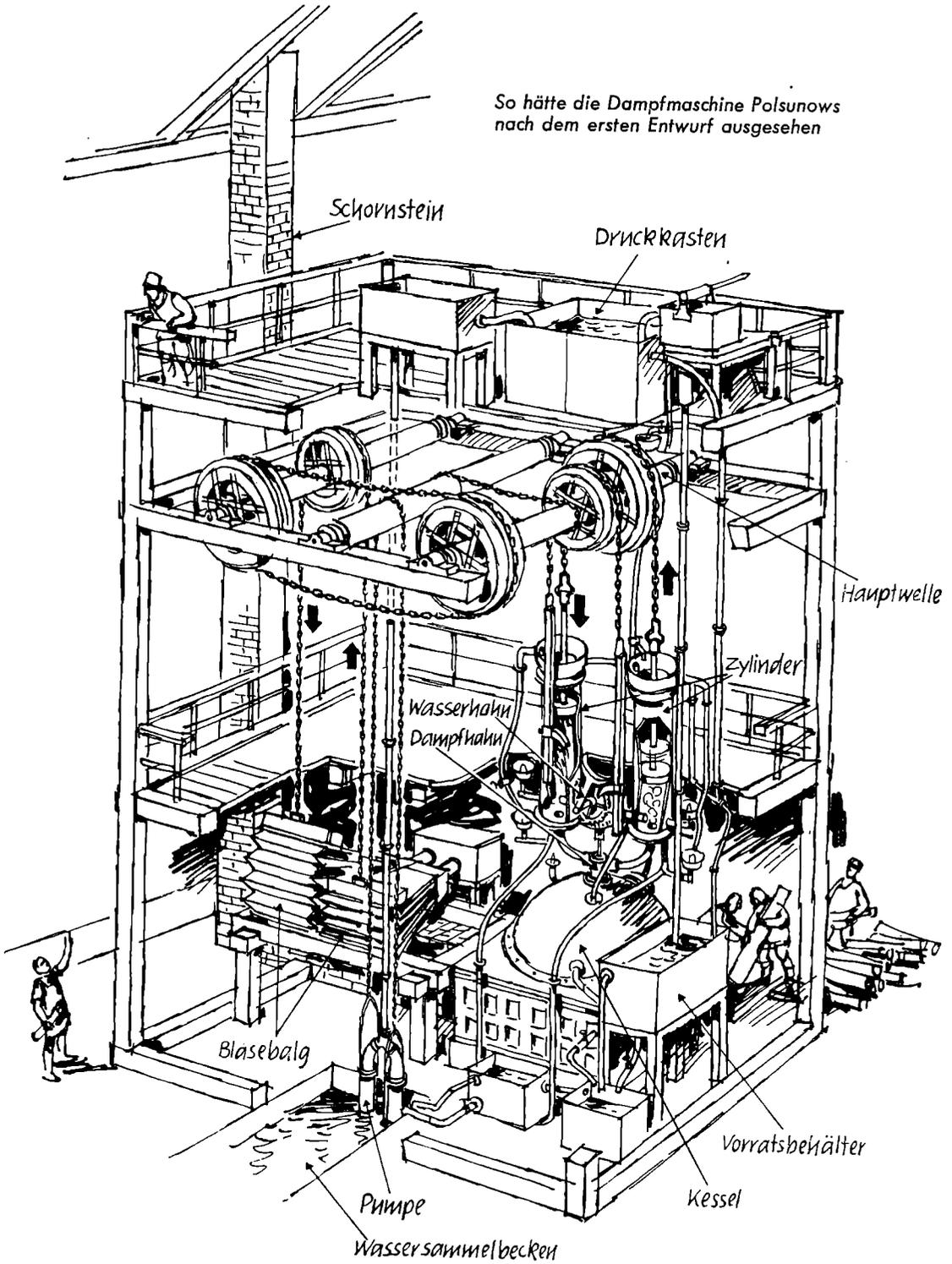
Wir werden sehen, wie Polesnow die Aufgabe löste, eine allgemein anwendbare Wärmekraftmaschine zu entwickeln. Er schrieb in seiner Denkschrift, daß er sich leiten ließ „... bei der Schaffung der Feuerkraftmaschine von dem Gedanken, die Wasserführung völlig abzuschaffen und die Arbeit, die für die Anlegung der Staudämme erforderlich ist, dafür zu nutzen, daß die Fabriken in einen Zustand gelangen, der unseren Vorstellungen entspricht“; das heißt: Die Wärmekraftmaschine sollte die Industrie von den Flüssen unabhängig machen und die gesamte Energie liefern, die von den Fabriken benötigt wird.

Polesnow hatte also begriffen, welche Aufgabe die Technik seiner Zeit lösen mußte. Betrachten wir einmal, wie die Maschine Polesnows nach dem ersten Entwurf ausgesehen hätte:

Polesnow hat den Kessel vom Zylinder getrennt. Der Dampf strömt aber nicht, wie es bei der Maschine Newcomens der Fall war, in einen, sondern der Reihe nach in zwei Zylinder, bald in den rechten, bald in den linken. Während in dem einen Zylinder der Dampf den Kolben hebt, wird im anderen der Dampf kondensiert und der Kolben gesenkt.

Oberhalb der Zylinder sehen wir eine Welle mit einer breiten Seilscheibe. Über diese Seilscheibe läuft eine Kette, deren beide Enden mit den Kolben verbunden sind. Wenn sich der linke Kolben senkt, zieht er die Kette hinter sich her, und die Seilscheibe bewegt sich nach links. Das rechte Ende der Kette dagegen bewegt sich mit dem rechten Kolben aufwärts, denn während dieser Zeit strömt der Dampf in den rechten Zylinder. Danach wiederholt sich das Ganze in umgekehrter Richtung – jetzt dreht sich die Seilscheibe nach rechts.

So hätte die Dampfmaschine Polzunows nach dem ersten Entwurf ausgesehen



So dreht sich die Seilscheibe abwechselnd einmal nach rechts, einmal nach links. Diese Bewegung wird mit Hilfe einer weiteren Kette auf eine zweite Welle übertragen, die abwechselnd bald den rechten, bald den linken Blasebalg auf und nieder bewegt.

So bewirkt die Maschine eine ständige Arbeit der Welle.

Gewiß war das noch keine fortlaufende Drehung, wie sie beispielsweise eine Mühle benötigt, aber immerhin eine ständig hin- und hergehende Bewegung, die für Blasebälge, Pumpen und ähnliche Einrichtungen gebraucht wird. Außerdem erforderten damals noch die meisten Arbeitsmaschinen eine hin- und hergehende Antriebsbewegung; Polesnow richtete deshalb seine Maschine auf diese Bewegungsart ein.

Die Arbeitsweise des Kolbens ähnelt auf den ersten Blick der Arbeitsweise einer atmosphärischen Maschine. Bei der atmosphärischen Maschine bewirkte der Luftdruck den Arbeitshub. Bei Polesnows Maschine dagegen sind beide Kolben durch eine Kette verbunden.

Wir können die Kolben mit den Waagschalen einer Balkenwaage vergleichen. Heben wir die eine Waagschale an, so muß sich die andere zwangsläufig senken. Ähnlich verhalten sich die Kolben. Strömt Dampf in den einen Zylinder und hebt den Kolben an, so muß sich gleichzeitig der zweite Kolben nach unten bewegen. An jedem Arbeitshub ist also außer dem Luftdruck gleichzeitig der Dampfdruck beteiligt.

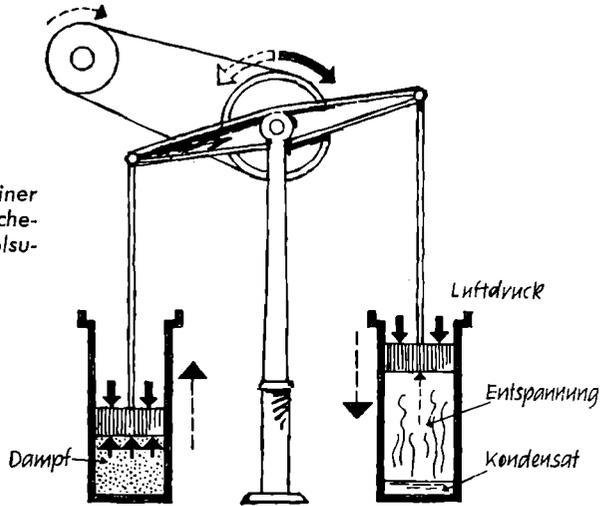
Eine Maschine, die aus sich abwechselnd bewegenden Kolben und miteinander verbundenen Zylindern besteht, arbeitet ununterbrochen.

Nachdem Polesnow seine Denkschrift mit dem ersten Entwurf der Maschine eingereicht hatte, wartete er lange auf die Entscheidung der Werkleitung. Erst nach neun Monaten gab man Polesnow die Erlaubnis, mit dem Bau der Maschine zu beginnen. Und Polesnow machte sich an die Arbeit. Die Maschine, die er nun baute, unterschied sich jedoch von der, die er in seinem ersten Entwurf vorgeschlagen hatte. Es ist nicht genau bekannt geworden, warum Polesnow den Entwurf änderte und die Konstruktion vereinfachte. Die Maschine stellte jetzt im wesentlichen eine zweizylindrige atmosphärische Maschine dar. Doch selbst der Bau dieser vereinfachten Maschine stieß auf manche Schwierigkeiten.

Es war zur damaligen Zeit in Rußland sehr schwierig, große Maschinen zu bauen, denn Maschinenfabriken gab es nicht, man mußte alles sehr mühsam, vorwiegend mit der Hand, herstellen.

Polesnow opferte seiner Arbeit Tage und Nächte, ohne an Schlaf und Gesundheit zu denken. Diese Anstrengung überstieg jedoch seine Kräfte; im Frühjahr 1766 erkrankte er schwer und starb bald darauf, eine Woche vor dem Probelauf seiner Maschine.

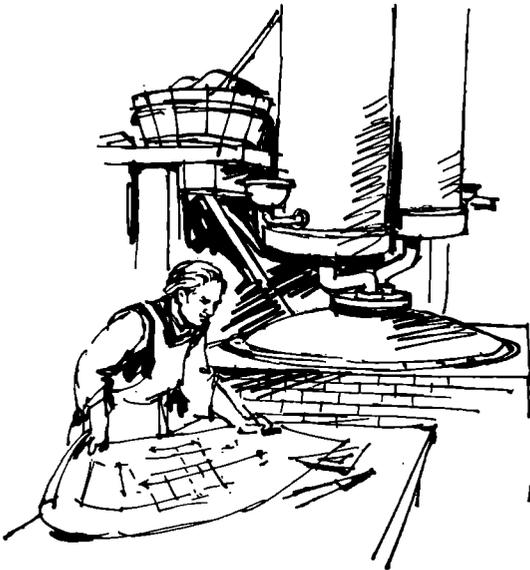
Wirkungsweise der Kolben einer Dampfmaschine ununterbrochener Tätigkeit, wie sie von Polsunow vorgeschlagen wurde



Die Maschine bewährte sich, sie lief 43 Tage ununterbrochen und brachte dem Werk während dieser Zeit großen Nutzen. Dann erlitt sie Schaden durch ein Leck im Kessel. Dieser war nämlich aus Kupfer und nicht, wie es notwendig gewesen wäre, aus Gußeisen.

Anstatt die Maschine nun zu verbessern, wieder zum ersten Entwurf Polsunows zurückzukehren und die Maschinenteile aus besserem Material herzustellen, setzte man die Maschine nicht wieder in Betrieb und ließ sie verkommen.

Die herrschende Klasse kümmerte sich nicht weiter um das Schicksal dieser bedeutenden russischen Erfindung. Sie hatte kein Interesse an einer Wärme-



Polunow vor seiner Feuerkraftmaschine

kraftmaschine, die in langwieriger Handarbeit hergestellt werden mußte und deshalb viel Geld kostete. Dagegen gab es genug Leibeigene, die für die feudalen Ausbeuter arbeiten mußten und ihnen hohe Einnahmen brachten.

Später vergaß man Polesnow dann ganz, und seine Maschine wurde abgerissen.

Welch ein Ruhmesblatt in der Geschichte der Technik stellt die Leistung des bedeutenden russischen Erfinders Iwan Polesnow dar! Er war seinerzeit vorausgeeilt wie 50 Jahre zuvor Papin in Deutschland. Beiden war es versagt geblieben, ihre Erfindungen weiterzuentwickeln.

In Deutschland und auch in Rußland war damals die gesellschaftliche und industrielle Entwicklung nicht reif für diese Erfindungen. Die herrschende Klasse, die die nötigen Geldmittel besaß, um diese Erfindungen Wirklichkeit werden zu lassen, hatte kein Verlangen nach einer dampfbetriebenen Kraftmaschine. Doch das Land, in dem die Unternehmer brennend auf eine neue Antriebsmaschine warteten, war, wie wir bereits wissen, England.

### Die Kolbendampfmaschine des Mechanikers James Watt

Der Ruhm, 20 Jahre nach Polesnows Entwurf eine arbeitsfähige Dampfmaschine gebaut zu haben, gebührt dem englischen Mechaniker James Watt. Er hat großen Anteil an der Entwicklung der Dampfmaschine, und sein Name ist in der ganzen Welt bekannt.

Das Schicksal des englischen Mechanikers, der in einem Land mit sich schnell entwickelnder kapitalistischer Industrie lebte, erwies sich als glücklicher als das von Polesnow, der ohne fremde Hilfe in einem Lande der Leibeigenschaft und des zaristischen Jochs arbeiten mußte.

James Watt (1736–1819) wurde als Sohn eines Schiffsbaumeisters geboren. Die Schule besuchte er unregelmäßig, denn er war oft krank und versäumte deshalb den Unterricht. Mit 18 Jahren begann er als Mechaniker in einer Werkstatt der Glasgower Universität zu arbeiten, in der sein Vater als Professor wirkte.

Obwohl er kein Universitätsfach belegte, verkehrte er mit Studenten und Professoren und las viele Bücher, so entwickelte sich der von Natur aus wißbegierige und befähigte junge Mechaniker rasch. Er eignete sich eine umfassende Bildung an: Watt beherrschte mehrere Fremdsprachen, besaß viel Wissen auf dem Gebiet der Naturwissenschaften und der Philosophie.

Im Jahre 1763 erhielt Watt eine sehr interessante Aufgabe. In der Universität gab es ein Modell der Maschine Newcomens. Dieses Modell war natürlich kleiner als die Maschine selbst.

Man wollte den Studenten an diesem Modell die Arbeitsweise und Konstruktion der Wärmekraftmaschine erklären. Als man jedoch den Dampf aus dem Kessel in den Zylinder leitete, arbeitete der Kolben nicht in der gewohnten Weise. Daraufhin wurde Watt beauftragt, das Modell zu reparieren. Der Schaden war schnell beseitigt, aber Watt machte sich noch lange über das Modell Gedanken. Er erkannte sehr wohl die Mängel der atmosphärischen Maschine.

Nach zweijährigen Versuchen gelangte Watt dann zu der Erkenntnis, daß der Dampf außerhalb des Zylinders kondensiert werden muß.

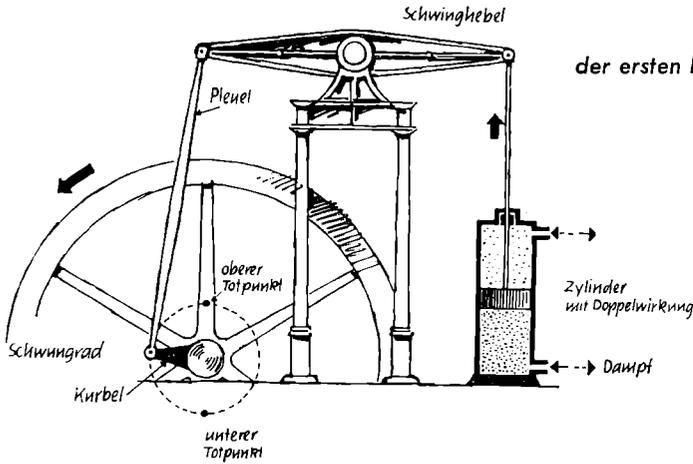
Wie wir wissen, wurde der Zylinder der atmosphärischen Maschine durch den einströmenden Dampf erwärmt, aber dann durch das zugeleitete Wasser abgekühlt. Folglich mußte jede Dampfmenge von neuem einen Teil ihrer Wärme an den Zylinder abgeben, was überflüssigen Brennstoffverbrauch bedeutete. Damit der Zylinder immer heiß bliebe, wollte Watt nun den verbrauchten Dampf (Abdampf) in einen besonderen Kondensator leiten, der ständig gekühlt wurde.

So baute Watt seine erste Dampfmaschine, die er selbst eine „verbesserte Maschine Newcomens“ nannte. Wegen der Brennstoffeinsparung interessierten sich die Unternehmer sehr für diese Maschine, und bald wurde die Firma „Watt und Boulton“ gegründet, die die neue Maschine herstellte und mit Erfolg verkaufte. Watt ließ sich seine Erfindung patentieren und wurde somit Alleinhersteller dieser Maschine. Dadurch verdiente er das notwendige Geld, um seine Erfindung weiter vervollkommen zu können.

Unermüdlich an der Vervollkommnung seiner Maschine weiterarbeitend, erprobte Watt systematisch die Zuleitung des Dampfes, ließ den Kolben bald nach unten, bald nach oben gleiten, um so eine Möglichkeit zu finden, daß der Kolben ohne Hilfe des Luftdruckes arbeitete. Auf Drängen der Besteller bemühte er sich, eine Maschine zu schaffen, die eine drehende Antriebsbewegung liefert, denn in England waren damals Arbeitsmaschinen mit drehender Bewegung schon sehr verbreitet. Es kam also darauf an, die hin- und hergehende Bewegung des Schwinghebels in die drehende Bewegung einer Laufwelle umzuformen.

Im Jahre 1782 baute Watt eine Dampfmaschine, die eine ununterbrochene Arbeitsbewegung ausführte und die erste universale Wärmekraftmaschine darstellte.

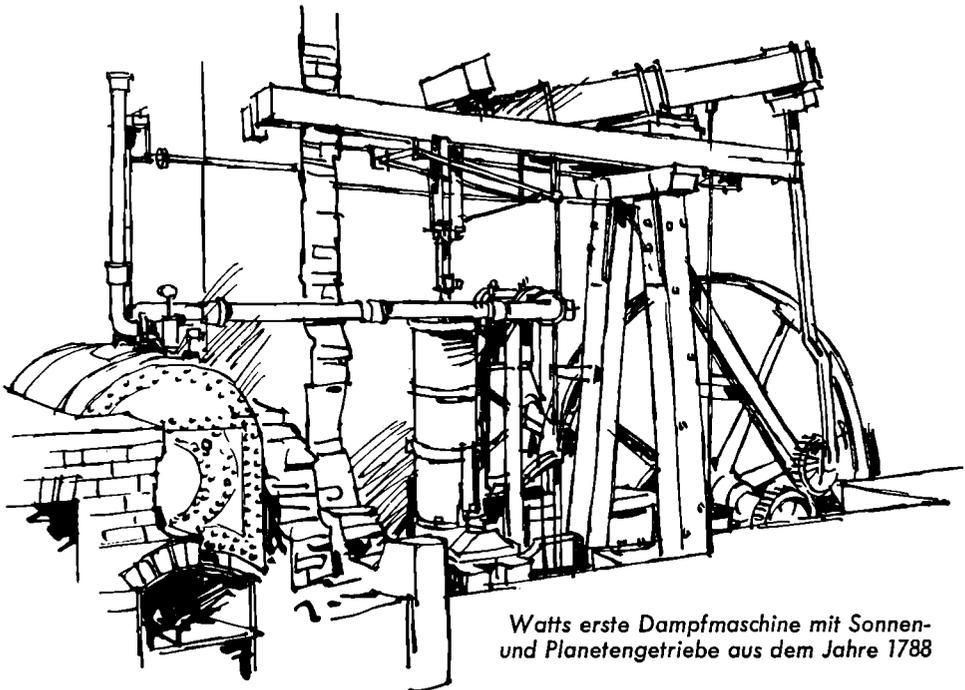
Wir wollen uns nun mit der Arbeitsweise dieser Maschine beschäftigen. Sie besitzt nur einen Zylinder, der aber doppelt wirkt. Der Dampf strömt nach-



Prinzip  
der ersten Dampfmaschine Watts

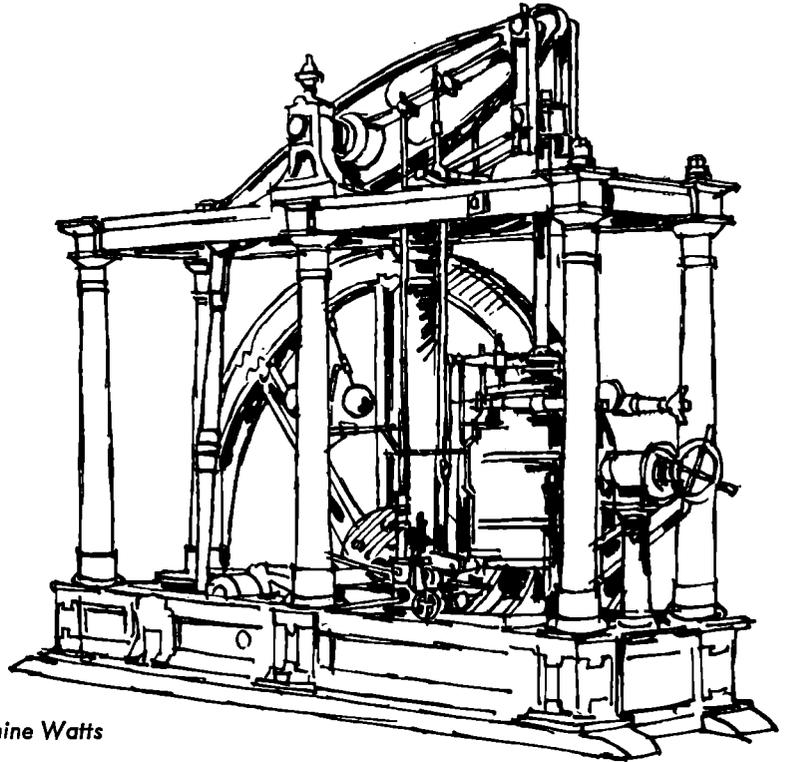
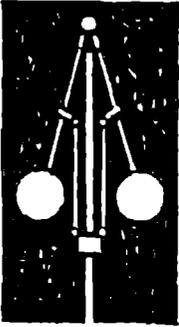
einander bald in den oberen, bald in den unteren Teil des Zylinders und treibt den Kolben abwechselnd nach unten und nach oben. Wenn sich der Kolben senkt, zieht er mit seiner Stange das rechte Ende des Schwinghebels hinter sich her. Bewegt sich die Kolbenstange aufwärts, so geht auch der Schwinghebel nach oben. Einen Leerhub gibt es nicht; Schwinghebel und Laufwelle führen nur Arbeitsbewegungen aus.

Wie bereits erwähnt, wollte Watt eine ununterbrochene drehende Bewegung erzeugen. Er erreichte dies, indem er das linke Ende des Schwing-



Watts erste Dampfmaschine mit Sonnen-  
und Planetengetriebe aus dem Jahre 1788



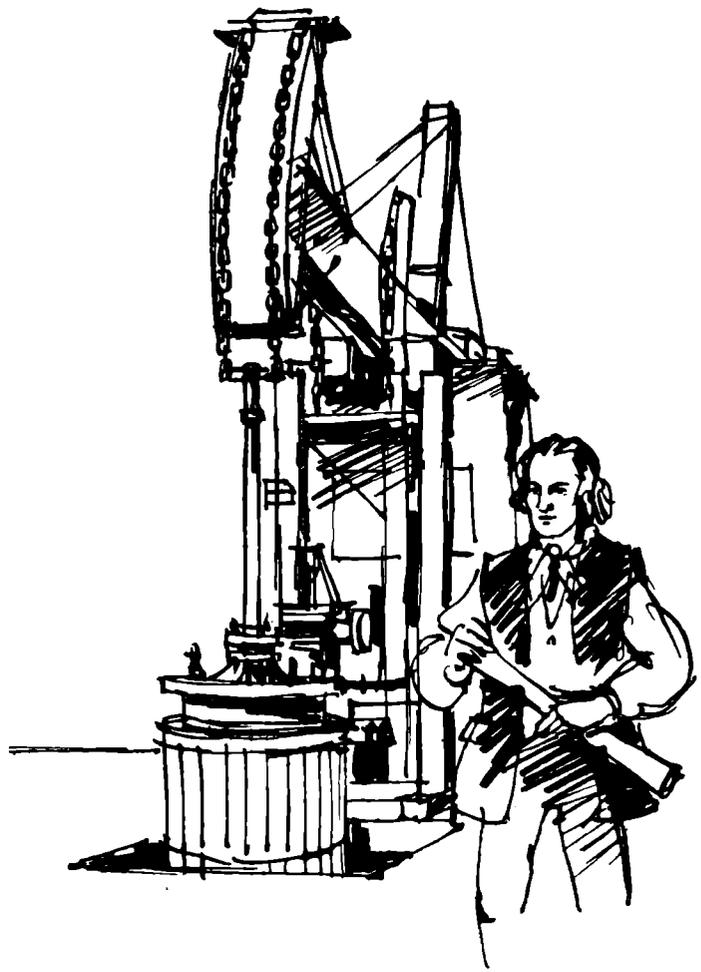


*Vertikale Dampfmaschine Watts*

Pendelkugeln durch die verstärkte Fliehkraft gehoben und zogen eine Schubstange hinter sich her. Die Zugstange verengte das Dampfeinlaßventil, so daß weniger Dampf in den Zylinder strömte. Dadurch verringerten sich wieder die Arbeitshübe des Kolbens und die Umdrehungen der Maschine.

Während seines ganzen Lebens war Watt unablässig bemüht, die Dampfmaschine weiter zu verbessern. Zusammen mit seinem Teilhaber sorgte er für ihre Verbreitung.

Watts Patenturkunden sind Marksteine in der Geschichte der Technik. Es gab im 18. Jahrhundert keine Erfindung, die zu so großer Bedeutung gelangen sollte wie Watts Dampfmaschine. Bereits 1784 wurde die erste Spinnerei mit Dampftrieb errichtet. Die Unternehmer sahen ihre Hoffnungen, die sie in die Dampfmaschine gesetzt hatten, erfüllt; ihre Gewinne stiegen. So ist es erklärlich, daß die Dampfmaschine sehr bald in vielen anderen Industriezweigen verwendet wurde. In der Metallindustrie konnte man neue und größere Arbeitsmaschinen entwickeln, zum Beispiel gewal-



*James Watt*

tige Dampfhämmer und Walzwerke. Nun konnte man Eisen in großen Mengen verarbeiten, aber die Kohle und die Erze, die man dazu benötigte, mußten auf Landstraßen mühsam herangeschafft werden, und die Fertigwaren, die in aller Welt verkauft werden sollten, gelangten nur langsam an die Handelsplätze und Häfen. Man brauchte also ein zuverlässiges und schnelles Transportmittel. Auch hier sollte die Dampfmaschine helfen. Im Jahre 1814 baute der Engländer George Stephenson die erste Dampflokomotive, und schon 7 Jahre später verkehrte die erste Eisenbahn auf einer 15 km langen Strecke. Inzwischen hatte man schon Dampfschiffe gebaut, die einen zuverlässigen Überseeverkehr ermöglichten.

Mit Hilfe der Dampfmaschine konnte England seine Bodenschätze früher als andere Länder verwerten. Aber auch in der übrigen Welt war man auf die Dampfmaschine aufmerksam geworden, und England verkaufte sie an viele europäische Staaten und sogar nach Amerika. Erst nach und nach



## Das vergessene Buch Sadi Carnots

Ob wohl der französische Verleger Bachelier geahnt hat, daß das von ihm im Jahre 1824 gedruckte schmale Bändchen den Beginn einer neuen Wissenschaft einleiten sollte?

Der Verfasser dieses Büchleins, ein junger Mann in der Uniform eines Militäringenieurs, trug den in ganz Frankreich bekannten Namen Carnot. Viele bedeutende Ingenieure und Gelehrte urteilten über ihn in sehr schmeichelhafter Weise, versicherten, daß Sadi Carnot ein würdiger Sohn seines berühmten Vaters Lazare Carnot sei.

Nun, wer erinnerte sich in Frankreich nicht an Lazare Carnot? Er war Mitglied des Konvents, leidenschaftlicher Republikaner, Kriegsminister der Republik und dann einer ihrer Direktoren gewesen – er konnte sich nicht mit der Treulosigkeit des Generals Bonaparte abfinden, konnte ihm nicht den Verrat an der Republik verzeihen und zog sich trotz Zuredens des neuen Kaisers vom politischen Leben zurück.

Doch Lazare Carnot war nicht nur als ein Mann der Politik bekannt, man schätzte ihn auch als einen großen Gelehrten Frankreichs. Von ihm stammten sehr wichtige wissenschaftliche Arbeiten auf den Gebieten der Mathematik und Mechanik.

Auch Carnots große Vorliebe für die Philosophie und die Dichtkunst war bekannt.

Man erzählte sich, daß er seinem jüngsten Sohn, der im Jahre 1796 geboren wurde, den Namen Sadi zu Ehren seines persischen Lieblingsdichters Saadi, der im 13. Jahrhundert lebte, gegeben hatte.

Schließlich war bekannt, daß Lazare Carnot seinen Sohn selbst für den Eintritt in die Pariser Polytechnische Schule vorbereitete, die Sadi mit 17 Jahren beendete. Dann trat er als Ingenieur in den Militärdienst. Mußte man da nicht viel von dem nunmehr 28jährigen Ingenieur erwarten? „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und über Maschinen, die in der Lage sind, diese Kraft zu entwickeln“ – nannte der Verfasser sein Büchlein.

Der Verleger rechnete nicht mit dessen Erfolg und gab es nur in einer kleinen Auflage heraus. Es ließ sich sehr leicht lesen; konnte man es für eine ernste wissenschaftliche Arbeit halten, wenn es keine komplizierten mathematischen Beweisführungen enthielt?

Nicht nur der Verleger, sondern auch die Gelehrten und Ingenieure sahen das Büchlein als durchschnittlich an. Tatsächlich wurden darin neue, originelle Gedanken ausgesprochen, aber der Autor legte sie nur in Form von „Betrachtungen“ dar. Man empfahl dem jungen Mann, gründlicher zu

arbeiten, Erfahrungen zu sammeln und seine Gedanken in die Form einer strengen mathematischen Untersuchung zu kleiden.

So geriet das Büchlein bald nach seinem Erscheinen in Vergessenheit. Doch der Autor sammelte weiter Material. Den Rat eines älteren Freundes befolgend, war er entschlossen, ein anderes, umfangreicheres Werk herauszugeben.

Doch im Jahre 1832, voller Energie und Schaffensdrang, starb er, hingerafft von einer tückischen Krankheit, der Cholera. Wegen der Ansteckungsgefahr verbrannte man alle seine Papiere, von bruchstückhaften Aufzeichnungen abgesehen, die sein Bruder verwahrte.

Zwei Jahre später veröffentlichte Clapeyron, ein anderer französischer Gelehrter, ein wissenschaftliches Werk, in dem er an jene bahnbrechenden Gedanken erinnerte, die zum erstenmal Sadi Carnot in seinem Büchlein dargelegt hatte. Clapeyron ergänzte diese Gedanken durch eine strenge mathematische Untersuchung. Er bewies, daß man Wärmekraftmaschinen nur dann richtig bauen kann, wenn man die Gesetze genau kennt, nach denen sich Wärme in mechanische Energie umwandelt. Doch auch durch das Werk Clapeyrons fand die neue Wissenschaft noch keine praktische Anwendung.

Erst zwei Jahrzehnte später, als neben den Dampfmaschinen auch noch andere Wärmekraftmaschinen auftauchten, erinnerte man sich wieder an die Bücher von Carnot und Clapeyron. Viele Gelehrte begannen, die neue Wissenschaft, die den Namen „Thermodynamik“ (Teilgebiet der Wärmelehre, das die Umwandlung von Wärme in mechanische Energie behandelt) erhielt, weiterzuentwickeln. Jedoch als Vater dieser Wissenschaft galt und gilt mit Recht noch heute der 28jährige Ingenieur und Gelehrte Sadi Carnot.

### Eine neue Wissenschaft – die Thermodynamik

Worüber hatte Carnot nachgedacht, und worin liegen Bedeutung und Größe seiner Gedanken?

Bereits im Jahre 1784, als Watt seine Dampfmaschine gebaut und damit entscheidend zur Weiterentwicklung der Industrie beigetragen hatte, schrieb Sadis Vater, Lazare Carnot: „Welch eine Menge Handarbeit könnte in der Industrie wegfallen, wenn wir die Theorie der Wärme besser kennen würden. Ich habe Grund, anzunehmen, daß diese Theorie einen erstaunlichen Umschwung in der Industrie herbeiführen wird ...“

Vier Jahrzehnte vergingen, und Sadi Carnot, der von seinem Vater her ein sehr großes Interesse für die Theorie der Wärmekraftmaschinen bekundete, bestimmte mit seiner Arbeit den Beginn dieses gewaltigen Umschwungs.

Bis zum Jahre 1824 hatte sich die Dampfmaschine durchgesetzt und allgemeine Anerkennung gefunden. Auf die große Bedeutung hinweisend, die die Dampfmaschine für die Industrie und den Verkehr besaß, zeigte nun Carnot ihre Unvollkommenheit als Wärmekraftmaschine auf. Nur 4 bis 5 Prozent der gesamten Wärme, die bei der Verbrennung der Kohle entstand, wurden in nützliche Arbeit umgewandelt. Die restlichen 95 bis 96 Prozent, also fast die gesamte Wärme, gingen verloren: Die Wärme verflüchtigte sich in die Atmosphäre.

War es nicht möglich, eine Wärmekraftmaschine mit einem höheren Wärmewirkungsgrad oder – wie die Ingenieure sagen – thermischen Wirkungsgrad zu bauen, bei der die Wärme bedeutend mehr mechanische Nutzarbeit leistet? Gab es ein Verfahren, das die Ausnutzung der gesamten Wärme ermöglicht, die der Brennstoff bei seiner Verbrennung hergibt? Auf diese Fragen konnte die Wissenschaft bisher, wie Carnot bemerkte, noch keine Antwort geben.

Carnot meinte, es genüge nicht, den Bau der Maschinen zu verbessern, man müsse sich auch mit der Theorie der Wärmekraftmaschinen beschäftigen. Und das tat Sadi Carnot. Am Beispiel der Dampfmaschine gelangte er zu dem Schluß, daß „bei allen Dampfmaschinen die Gewinnung der Bewegung mit einem Umstand verbunden ist, auf den man seine besondere Aufmerksamkeit zu richten hat. Es handelt sich hierbei um die Wiederherstellung des Wärmegleichgewichts (Wärmeäquivalents), also um den Übergang der Wärme von einem Körper höherer zu einem Körper niederer Temperatur“. Was meinte Carnot mit diesen Worten? Zwei Beispiele sollen uns helfen, Carnot zu verstehen:

Bei strenger Kälte seid ihr im Freien ordentlich durchgefroren und wärmt euch nun am Ofen auf. Wenn ihr mit den kalten Handflächen die Ofenkacheln berührt, spürt ihr mit Behagen, wie die Wärme euren gesamten Körper durchströmt. Wie kommt es aber, daß der Ofen zwar euch, aber nicht ihr den Ofen erwärmen könnt? Euer Körper kann doch auch eine bestimmte Wärmemenge abgeben?

Die Wärme kann jedoch nur von einem Körper höherer Temperatur auf einen Körper niederer Temperatur überströmen. Gleicht sich die Temperatur beider Körper aus, dann ist das sogenannte Wärmegleichgewicht hergestellt.

Eine ähnliche Erscheinung können wir beim Wasser beobachten, wenn sich zwei verschieden hohe Wasserspiegel ausgleichen. Das Wasser kann nicht

von selbst von einem tieferen zu einem höheren Wasserspiegel aufsteigen. Doch kann es von oben nach unten fallen und dabei Arbeit verrichten. Je höher sich der obere Wasserspiegel über dem unteren befindet, um so mehr Arbeit verrichtet das fallende Wasser.

Wie läßt sich mechanische Arbeit gewinnen, wenn Wasser von einem höheren zu einem niederen Spiegel übergeht? Man stellt, wie wir bereits wissen, am Wege des Wasserstroms ein Wasserrad oder eine Wasserturbine auf.

Mit der Wärme verhält es sich ähnlich. Wenn die Wärme Arbeit verrichtet, muß sie von einer höheren Temperatur auf eine niedere Temperatur (Ausgangs- und Endtemperatur) übergehen. Man erhält von dieser Wärmemenge um so mehr Nutzarbeit, je größer der Unterschied zwischen den beiden Temperaturen ist.

Und wie kann man die Wärme in mechanische Arbeit umsetzen? Denken wir an die Dampfmaschine. Hier muß die Wärme von einem Körper höherer Temperatur, dem Dampfkessel, auf einen Körper niederer Temperatur, den Kondensator, übergehen. Dabei dehnt sich der heiße Dampf stark aus und bewegt den Kolben.

Die Wärme des Ofens, die euch erwärmte, verrichtete allerdings keinerlei mechanische Arbeit. Es handelt sich hierbei um eine einfache Wärmeübertragung.

Noch ein anderes Beispiel sei angeführt.

Ihr habt euch an einem Wintertag einen bunten Luftballon gekauft. Zu Hause angekommen, befestigtet ihr den Ballon in der Nähe des Ofens und dachtet nicht wieder an ihn. Nach einer Weile erinnerte er euch selbst an seine Anwesenheit: Ein lauter Knall schreckte euch auf, als wäre ein Schuß losgegangen, und an der Stelle, wo der Ballon hing, baumelten an der Schnur nur noch die jämmerlichen Fetzen der Hülle.

Der Ballon ist geplatzt. Die Wärme, die vom Ofen auf den Ballon überging, erwärmte die im Ballon eingeschlossene Luft.

Bekanntlich dehnen sich ja Gase bei Erwärmung aus. Die Hülle jedoch erschwerte die Ausdehnung der Luft. So erhöhte sich der Luftdruck, der die Hülle dehnte – bis sie platzte.

Auf diese Weise verrichtete die Wärme, als sie von einem Körper höherer zu einem niederer Temperatur übergang, mechanische Arbeit – sie sprengte die Ballonhülle.

Folglich muß jede Maschine, bei der Wärme in mechanische Arbeit überführt wird, also jede Wärmekraftmaschine, zwei verschiedene Temperaturen besitzen: eine höhere (Wärmequelle) und eine tiefere (Kühler). Man spricht hier von einem Wärmegefälle.

Außerdem muß sich in dieser Maschine ein Stoff befinden, der seinen Rauminhalt (Volumen) durch Erwärmung und Abkühlung stark verändert und dadurch die Wärme in mechanische Arbeit verwandelt, zum Beispiel also einen Kolben in einem Zylinder bewegt. Dieser Stoff kann irgendein Gas oder Dampf sein; man nennt ihn „Energieträger“.

Um einen möglichst großen Teil der aufgewandten Wärme in mechanische Arbeit umzuwandeln, ist notwendig:

1. Die Wärmequelle, die den Energieträger erwärmt, soll eine möglichst hohe Temperatur haben;
2. durch die Erwärmung wird der Energieträger gezwungen, sich auszudehnen und dabei Arbeit zu verrichten (zum Beispiel, einen Kolben zu bewegen);
3. der Kühler, der dem Energieträger die Wärme entzieht, soll eine sehr tiefe Temperatur haben;
4. der Energieträger soll sich so lange ausdehnen, bis seine Temperatur auf die des Kühlers gesunken ist.

In eine Dampfmaschine kann man Dampf unterschiedlicher Temperatur einströmen lassen. Je höher die Anfangstemperatur ist, desto mehr Arbeit verrichtet der Dampf. Doch während er sich ausdehnt und den Kolben bewegt, verringert er allmählich seinen Druck und kühlt sich nach und nach ab.

Es sei bemerkt, daß alle Gase, wenn sie verdichtet werden, ihre Temperatur erhöhen und ihren Rauminhalt verringern. Sicherlich habt ihr schon einmal festgestellt, daß sich die Luftpumpe beim Aufpumpen eines Fahrradschlauches erwärmt. Das kommt daher, daß ihr die Luft im Innern der Pumpe zusammenpreßt. Berührt ihr dagegen das Ventil des Schlauches in dem Augenblick, wenn die Luft aus ihm herauszischt, spürt ihr, wie sich das Ventil abkühlt. Die Luft, die ja auch ein Gas ist, dehnt sich aus, und dabei fällt die Temperatur.

Wenden wir uns wieder dem Zylinder der Dampfmaschine zu.

Der sich ausdehnende Dampf senkte also seine Temperatur und seinen Druck. Es ist offensichtlich, daß der Dampf eine um so größere Arbeit verrichtet, je mehr er seinen Druck verringert und folglich auch seine Temperatur senkt. Jetzt verstehen wir, warum die Dampfmaschine mit einem Kondensator ausgestattet ist. Er senkt die Dampftemperatur beim Austritt des Dampfes aus dem Zylinder und führt zu einer besseren Ausnutzung der Wärme. Deshalb besitzen Dampfmaschinen mit einem Kondensator einen besseren Wirkungsgrad. Nähert sich die Temperatur des austretenden Dampfes der Temperatur des Kühlwassers, so erhält man im Kondensator einen sehr schwachen Druck, etwa 0,4 Atmosphären. In der modernen

Dampftechnik ist es bereits schwierig geworden, die Endtemperatur noch unter 0,04 Atmosphären zu senken.

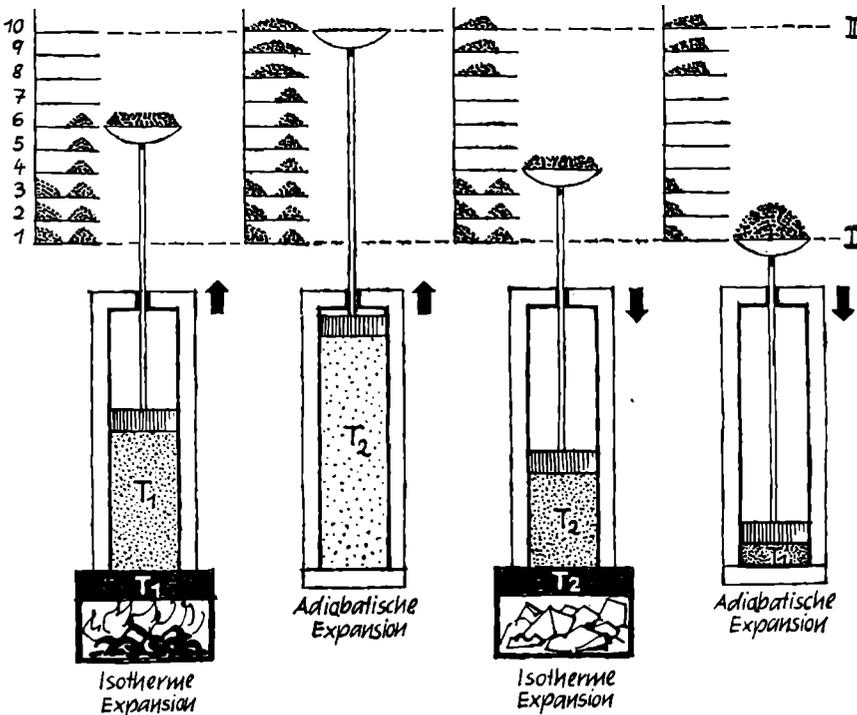
Diese beiden Wege, die Carnot wies, halfen, die Dampfmaschine zu vervollkommen. Außerdem befanden sich in den „Betrachtungen“ des „Vaters der Thermodynamik“ noch weitere wertvolle Gedanken. Carnot stellte zum Beispiel einen idealen Kreisprozeß der Dampfmaschine auf, nach dem sich die größtmögliche Menge mechanischer Arbeit erreichen ließe und keine Energie durch den Wärmeaustausch mit der umgebenden Luft verlorengehe.

Wir werden uns mit diesem zwar komplizierten, jedoch idealen Kreisprozeß Carnots bekannt machen.

Stellen wir uns einen Zylinder mit einem Kolben vor, der eine Last trägt. Wir nehmen dazu Sand, den wir in eine Schale füllen. Im Innern des Zylinders befindet sich der Energieträger – irgendein Gas.

Wir wollen annehmen, die Wände des Zylinders und der Kolben seien aus einem Material hergestellt, das keine Wärme durchläßt. Nur über den Boden des Zylinders kann man das Gas erwärmen oder abkühlen. Wir

*So könnte die Arbeitsweise einer Wärmekraftmaschine nach dem Kreisprozeß Carnots vor sich gehen*



nehmen weiter an, daß wir zwei eiserne Kästen mit Deckplatten besitzen. In dem einen Kasten befindet sich glühende Kohle, und die Deckplatte wurde bis auf die Temperatur  $T_1$  erwärmt. In den anderen Kasten haben wir Eisstücke gelegt, welche die Deckplatte abkühlen, und zwar auf die Temperatur  $T_2$ .

1. Stufe: Wir bringen die glühende Platte unter den Zylinder. Sie erwärmt das Gas, bis es ebenfalls die Temperatur  $T_1$  erreicht hat. Jetzt nimmt das Gas ein bestimmtes Anfangsvolumen im Zylinder ein: Die Schale mit der vollen Sandlast befindet sich bei Fach 1. Nun soll der Kolben die Schale senkrecht nach oben bewegen, so daß der Sand in die abgeteilten Fächer gebracht werden kann. Dann schütten wir in das Fach 1 etwas Sand. Der Kolben wird leichter, und die Gase heben ihn bis zum Fach 2 empor. Das Gas dehnt sich also ein wenig aus, und folglich kühlt es auch etwas ab; doch nachdem wir Kohle nachgelegt haben, stellt sich wieder die Temperatur  $T_1$  ein. Wir nehmen nun wieder etwas Sand aus der Schale, und der Kolben steigt bis zum Fach 3. Dies wiederholen wir so lange, bis wir bei Fach 7 angekommen sind.

2. Stufe: Jetzt entfernen wir die glühende Platte und verschließen den Boden, damit keine Wärme aus dem Zylinder entweichen oder von außen in den Zylinder gelangen kann. Wir entnehmen wieder etwas Sand, und die Schale gelangt zum Fach 8. Inzwischen hat sich das Gas etwas abgekühlt, weil keine neue Wärme zugeführt wurde. Um zum Fach 9 zu gelangen, müssen wir deshalb in das Fach 8 mehr Sand als sonst schütten, denn infolge der Ausdehnung und Abkühlung hat sich auch der Druck des Gases bedeutend gesenkt. Auch in das Fach 9 schütten wir etwas mehr Sand. So steigt die Schale mit geringer Belastung zum Fach 10, der höchsten Sandablagestelle. Das Gas hat sich jetzt auf die Temperatur  $T_2$  abgekühlt. In der ersten Stufe hatte sich das Gas ausgedehnt und dabei den Kolben gehoben. Das Gas hatte eine Arbeit verrichtet. Dies geschah aber bei unveränderter Temperatur; sie stimmte mit der Temperatur der Wärmequelle überein. So ein Vorgang wird in der Thermodynamik „isotherme“ Ausdehnung (Ausdehnung bei beständiger Temperatur) genannt.

Als wir dann die glühende Wärmequelle entfernten, setzte sich die Ausdehnung fort, aber ohne Zufuhr von Wärme, so daß die Temperatur auf  $T_2$  absank. Bei diesem Vorgang handelt es sich um eine „adiabatische“ Ausdehnung (Ausdehnung bei veränderter Temperatur).

Damit haben wir den Kolbenhub nach oben beendet. Doch bei jeder Wärmekraftmaschine muß sich der Energieträger nach Verrichtung der Arbeit wieder in seinen Ausgangszustand zurückverwandeln – oder anders ausgedrückt, eine Wärmekraftmaschine muß nach einem „geschlossenen

Kreislauf“ arbeiten, das heißt, die Ausdehnung und Verdichtung des Energieträgers muß sich ununterbrochen wiederholen.

3. Stufe: Wie gelingt es nun in unserem Fall, den Energieträger wieder in den Ausgangszustand zurückzubringen?

Wir sagten, daß sich das Gas im Zylinder nach beendeter Ausdehnung auf die Temperatur  $T_2$  abgekühlt hat. Wir stellen nun den Zylinder auf die kalte Platte und schütten auf die Schale etwas Sand aus dem Fach 10. Der Kolben wird belastet und das Gas leicht verdichtet. Die Temperatur des Gases beginnt dabei anzusteigen. Doch der Kühler verhindert eine Temperaturzunahme, indem er dem Gas eine gewisse Wärmemenge entzieht.

Danach schütten wir aus dem Fach 9 noch etwas Sand auf den Kolben – der Kolben senkt sich bis zum Fach 8, und das Gas bleibt nach wie vor bei der Temperatur  $T_2$ , indem es die entstehende Wärme an den Kühler abgibt. Den Kolben mit kleinen Sandmengen belastend, setzen wir die isotherme Verdichtung fort.

4. Stufe: Nachdem das Fach 4 erreicht wurde, entfernen wir die kalte Platte, verschließen den Boden und schütten größere Sandmengen zu. So wird das Gas mehr und mehr verdichtet. Seine Temperatur erhöht sich, weil ihm die Wärme nicht mehr entzogen wird.

Wir sind gezwungen, aus den unteren Fächern wieder mehr Sand zu entnehmen. Der Kolben wird nämlich nur dann in die Ausgangsstellung I zurückkehren, wenn die Temperatur des Gases wieder auf  $T_1$  gestiegen ist und der Gasdruck zu seinem ursprünglichen Wert zurückkehrt.

Der Kreisprozeß ist beendet. Bei der Stellung I beginnend, zwangen wir den Kolben, zur Stellung II aufzusteigen und wieder in die Stellung I zurückzukehren.

Worin besteht aber die mechanische Nutzarbeit, die wir in diesem Fall von der Wärme erhielten? Der Versuch wurde mit einer vollen Schale Sand begonnen, und wir kehrten wieder mit einer gefüllten Schale zurück.

Die Nutzarbeit, die das Gas bei diesem Kreislauf verrichtete, war die Beförderung des Sandes von unten nach oben: Bei der Ausdehnung mußte etwas Sand entnommen und bei der Verdichtung etwas mehr Sand angefüllt werden, so daß sich der Sand in den oberen Fächern häufte, in den unteren aber verminderte.

Carnot bewies, daß in diesem Kreisprozeß die Wärme in bester Weise ausgenutzt wird. Wie wir aber noch sehen werden, ist es schwierig, den Kreisprozeß bei den vorhandenen Wärmekraftmaschinen in der geschilderten Weise ablaufen zu lassen. Selbst Carnot hielt es kaum für möglich, daß eine Dampfmaschine so arbeiten kann, wie es sein idealer Kreisprozeß

vorschreibt. Doch je mehr sich die Arbeitsweise einer Maschine dem Kreisprozeß nähert, desto besser wird die Wärme genutzt.

Kann man denn überhaupt die gesamte Verbrennungswärme eines Brennstoffes in einer Wärmekraftmaschine ausnutzen? Nein. Selbst bei dem idealen Kreisprozeß Carnots wird ein Teil der Wärme an den Kühler abgegeben.

Bei den meisten Wärmekraftmaschinen verrichtet die Arbeit nicht ein und dieselbe Energieträgerfüllung. Der Dampf, der in den Zylinder der Dampfmaschine strömte, verläßt diesen Zylinder, nachdem er seine Arbeit verrichtet hat, und neuer Dampf strömt für den nächsten Arbeitshub ein.

Diesem Umstand folgend, machte die Dampftechnik bis zum Ende des 19. Jahrhunderts gewaltige Fortschritte.

Während die Dampfmaschinen zur Zeit Watts höchstens eine Leistung von bis zu 50 PS aufwiesen, baute man zu Beginn des 20. Jahrhunderts, also etwa 100 Jahre später, Dampfmaschinen mit einer Leistung von 6000 bis 8000 PS.

Die Dampfmaschinen des 20. Jahrhunderts nutzen den Dampf mit hohem Druck und hoher Temperatur aus, sie sind bedeutend wirtschaftlicher als die ersten Dampfmaschinen, und bei großer Leistung sind ihre Ausmaße verhältnismäßig gering.

Doch heute ist die große Zeit der Dampfmaschinen vorbei.

Ihr Wirkungsgrad ist so gering (etwa 12 Prozent), daß man sehr bald ganz andere Wege suchte, um mit der kostbaren Energiequelle Kohle sparsamer umgehen zu können.

### Laval konstruiert die erste Dampfturbine

Die Idee des Heron von Alexandria und auch das Projekt Giovanni Brancas wurden zu Beginn des 19. Jahrhunderts von den Ingenieuren und Erfindern wieder aufgegriffen.

Wir wissen, daß die meisten Arbeitsmaschinen eine drehende Bewegung benötigen. Wir haben auch erfahren, daß bei einer Dampfmaschine die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens erst mit Hilfe eines Kuppelungs-Pleuel-Getriebes in eine Drehbewegung umgeformt werden muß. So schien es verlockend, eine Turbinenmaschine zu entwickeln. Hier sollte der Dampf, wenn er aus dem Kessel strömt, die Laufwelle unmittelbar in eine Drehbewegung versetzen.



*Carl Gustav de Laval*

Man griff auf den „Heronball“ zurück und wollte die Rückstoßwirkung des Dampfstrahls ausnutzen. Man versuchte Turbinen zu entwickeln, deren Wirkungsweise an das Rad Brancas erinnerte, wo der Dampfstrahl nach dem Gleichdruckprinzip arbeitete. Es wurden viele Versuche unternommen. Auch James Watt beschrieb in seiner Patentschrift aus dem Jahre 1769 eine Rückstoßmaschine.

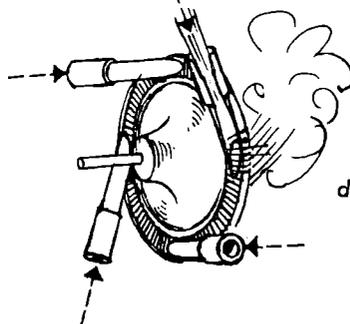
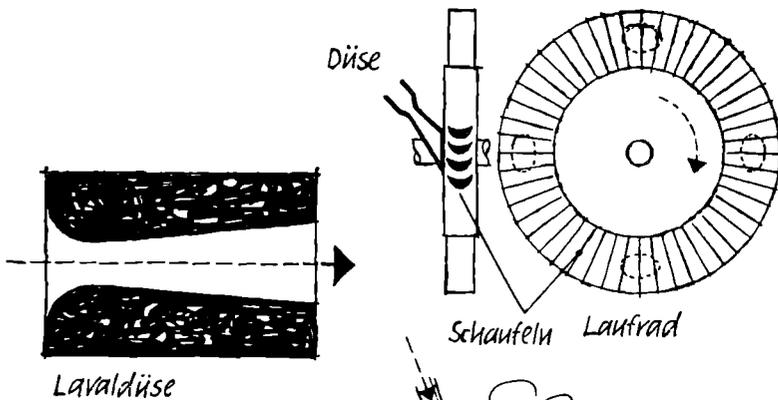
In den ersten beiden Dritteln des 19. Jahrhunderts zählte man über 2000 Entwürfe für Dampfturbinen. Doch nicht ein Entwurf fand praktische Verwendung, denn man wußte noch nicht, wie derartige Turbinen zu berechnen waren, wie die Schaufeln und die Dampfkanäle geformt sein müssen und wie der Dampf auf die Schaufeln treffen muß.

Die ersten Turbinenmodelle hatten dann trotz ihrer großen Laufraddurchmesser so hohe Drehzahlen, daß man sie in der Praxis nirgends verwenden konnte. Man darf jedoch auch nicht vergessen, daß eine gut funktionierende Turbine ein Meisterstück moderner Technik darstellt. Sie muß aus widerstandsfähigen Metallen und mit äußerster Genauigkeit hergestellt werden, was wiederum besonders feine Meßmethoden erfordert. Diesen hohen Entwicklungsstand hatte aber die Technik in jener Zeit noch nicht erreicht. Die erste Turbine, die man praktisch verwenden konnte, wurde im Jahre

1883 von dem schwedischen Ingenieur Carl Gustav de Laval erbaut. Der künftige Erfinder der ersten brauchbaren Dampfturbine wurde im Jahre 1845 geboren. Er erhielt eine gute, umfassende Bildung, denn er besuchte zwei höhere Lehranstalten: das Technologische Institut und die Universität. Mit dem technischen Wissen seiner Zeit ausgerüstet, besaß Laval als Erfinder gute Voraussetzungen. Von den ersten Tagen seiner praktischen Tätigkeit an widmete er sich der Entwicklung neuer Maschinen und Anlagen auf den verschiedensten Gebieten. Unter anderem konstruierte Laval einen Zentrifugal-Separator, ein Gerät, mit dem man Milch entrahmen konnte. Um dem Milchseparator eine hohe Drehgeschwindigkeit zu verleihen, wandte Laval das Verfahren Herons an. Er ließ den Dampf zwei gebogenen Rohren entströmen, die sich zusammen mit dem Zylinder des Separators schnell drehten. Dieses Gerät mag ihn angeregt haben, eine Turbine zu schaffen.

Laval löste sich jedoch von dem Rückstoßprinzip Herons und baute seine erste Dampfturbine nach dem Gleichdruckprinzip Brancas, das er durch die Anwendung der neuesten technischen Erkenntnisse verbesserte.

Das Turbinenlaufrad Lavals ist mit vielen Schaufeln besetzt. Er untersuchte nun, wie sich der Dampf am günstigsten auf die Schaufeln lenken läßt und wie man seine Geschwindigkeit am besten ausnutzen kann. Er führte vier feststehende Dampfkanäle dicht an die Schaufeln heran. Diesen Kanälen



Das Laufrad der Turbine Lavals mit vier Düsen

gab er eine bestimmte konische Form: Er verengte sie vor der Austrittsöffnung. So geformte Rohre nennt man „Düsen“.

Die Düsen gaben dem Dampf, der aus dem Kessel strömte, eine Geschwindigkeit von über 1000 m/s. Dabei drückte der Dampfstrahl kräftig gegen die Schaufeln, gab seine Bewegungsenergie ab und verlieh dadurch dem Laufrad eine für die damalige Zeit phantastische Umlaufgeschwindigkeit. Nehmen wir an, der Dampf ströme mit 1000 m/s aus den Düsen, so erteilt er dem Rad eine Geschwindigkeit von 500 m/s. Würde man das Laufrad auf eine geradlinige Schiene setzen, so legte es in jeder Minute 30 km zurück; das heißt, es würde in 6 Minuten von Berlin nach Leipzig gelangen. Bei einer Leistung von 5 PS führte die erste Turbine Lavals 30 000 Umdrehungen in der Minute aus.

Die Kolbendampfmaschinen erzeugten jedoch noch größere Leistungen. Sie hatten eine niedrige Umdrehungszahl (125 bis 1500 Umdrehungen in der Minute), die für den Antrieb der Arbeitsmaschinen geeigneter war.

Deshalb konnte sich diese erste Dampfturbine Lavals noch nicht mit den Kolbendampfmaschinen messen. Der Erfinder arbeitete jedoch unentwegt weiter, und 10 Jahre später baute er bereits Turbinen mit bis zu 500 PS bei 10 000 Umdrehungen in der Minute. Um diese Drehzahl auf die der Arbeitsmaschinen herabzusetzen, stattete Laval seine Turbinen mit Zahnraduntersetzungen aus.

Doch auch damit war die Dampfmaschine noch nicht zu entthronen, denn die Laval turbine mit Getriebe nahm viel Raum ein, war teuer und besaß einen niedrigen Wirkungsgrad.

Dennoch gebührt Laval das Verdienst, die erste brauchbare Gleichdruckturbine geschaffen zu haben. Ein bleibendes Verdienst war auch die Erfindung der nach ihm benannten Lavaldüse.

Wir haben das Rückstoßprinzip, wie es beim Heronsball auftritt, das Gleichdruckprinzip Brancas und Lavals Gleichdruckturbine kennengelernt. Nun wollen wir diese beiden Prinzipien voneinander zu unterscheiden lernen.

Zunächst ein Beispiel: Der Billardspieler trifft eine Kugel mit dem Billardqueue (Spielstock) so, daß sie im schnellen Lauf eine andere Kugel berührt. Nachdem die zweite Kugel den Stoß erhalten hat, rollt sie selbst. Die erste Kugel verlangsamt nun ihren Lauf, denn sie hat einen Teil ihrer Bewegungsenergie an die zweite Kugel abgegeben.

Etwas Ähnliches tritt ein, wenn der Dampf auf die Schaufeln des Laufrades der Gleichdruckturbine trifft. Unter geringem Druck strömt der Dampf aus dem Kessel zu den Düsen. Jagt er dann durch die Düsen, dehnt er sich aus und erreicht eine hohe Geschwindigkeit. Mit dieser hohen Geschwindigkeit trifft der Dampfstrahl, der aus einer Vielzahl feinsten Masseteilchen besteht,

auf die löffelartig gebogenen Schaufeln des Laufrades. Dabei gibt er einen Teil seiner Bewegungsenergie an das Laufrad ab und verläßt danach die Turbine. Gleich nach dem ersten Strahl trifft sofort der zweite auf die Schaufeln, deshalb dreht sich das Laufrad ununterbrochen. So arbeitet eine Gleichdruckturbine.

Anders ist es beim Heronsball. Er wird bekanntlich ebenso wie das Segnersche Wasserrad von einer Rückstoßkraft angetrieben. Ein Beispiel soll uns diese Rückstoßkraft noch einmal deutlich machen.

Stellen wir uns ein Floß vor, von dem ein Schwimmer ins Wasser springt: Der Schwimmer springt vorwärts, aber das Floß, von dem sich ja der Schwimmer abstößt, schnell zurück. Es handelt sich hierbei um eine Rückstoßwirkung, wie sie auch beim Heronsball auftritt. Beim Austritt des Dampfes aus den Rohren des Balles stößt sich der Dampf ab und dreht so den Ball.

Doch nicht nur der Heronsball, der ja nur ein Spielzeug blieb, sondern auch moderne Turbinen arbeiten nach diesem Prinzip.

Beide Arbeitsweisen, sowohl das Gleichdruckprinzip als auch das Rückstoßprinzip, wurden angewandt, als man die Dampfturbine vervollkommnete.

Nach den ersten Erfolgen Laval's wurde die Turbine in vielen Ländern verbreitet. Allmählich, Schritt für Schritt, entwickelten die Ingenieure eine leistungsfähige Maschine.

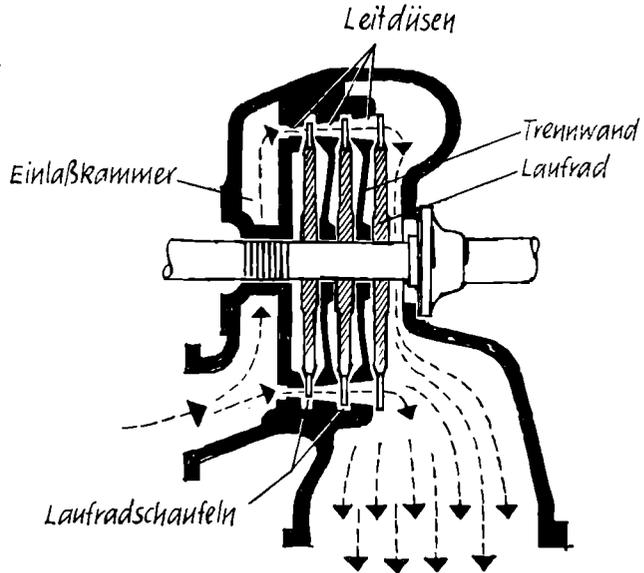
### Die Gleichdruckturbine Rateaus

Unter den Erfindern von Dampfturbinen nimmt der französische Ingenieur und Gelehrte Auguste Rateau einen bedeutenden Platz ein.

Auguste Rateau wurde im Jahre 1863 geboren und erhielt, wie auch Laval, eine gründlich technische Ausbildung. Er besuchte zwei Lehranstalten: die Polytechnische Schule und die Höhere Bergbauschule. Im Jahre 1888 wurde der 25jährige Ingenieur Professor an der erwähnten Höheren Bergbauschule, die er erst kurz zuvor verlassen hatte. Bereits im Jahre 1890 erschienen seine ersten Arbeiten über Dampfturbinen.

Auf dem Internationalen Kongreß für angewandte Mechanik in Paris im Jahre 1900 berichtete der junge Ingenieur über eine von ihm entwickelte Gleichdruckturbine. Sie wurde bereits nach seinen Zeichnungen gebaut.

Schema der dreistufigen  
Gleichdruckturbine Rateaus



Auf der Weltausstellung in Paris im gleichen Jahr 1900 waren diese Zeichnungen und sogar einzelne Teile der neuen Maschine zu sehen.

Es war eine mehrstufige Dampfturbine, die ebenso wie die einstufige Turbine Lavals nach dem Gleichdruckprinzip arbeitete. Laval war es wegen der hohen Umdrehungszahl des Laufrades nicht gelungen, einen Motor mit einer Leistung von mehr als 500 PS zu entwickeln. Rateau berechnete seine erste mehrstufige Turbine für 1000 PS. Das war deshalb möglich, weil Rateau die Laufwelle nicht auf eine so hohe Umdrehungszahl brachte, wie es bei der Turbine Lavals der Fall war.

Wie gelang es dem Ingenieur Rateau, eine Turbine zu entwickeln, die nun schon mit den Dampfmaschinen konkurrieren konnte? Im Unterschied zu Laval richtete Rateau den Dampfstrahl nicht auf ein einzelnes Laufrad, sondern auf mehrere. Dadurch zwang er den Dampf, sich stufenweise auszudehnen. Er mußte sich nacheinander auf verschiedene Räder verteilen und verminderte dadurch seine Strömungsgeschwindigkeit.

Rateaus Gleichdruckturbine besaß drei Laufräder, die eine gemeinsame Welle hatten. Die Laufräder waren durch unbewegliche Trennwände geschieden, jedes Laufrad drehte sich also in einer besonderen Kammer. In jeder Trennwand befindet sich ein Leitrad, das aus einer Reihe von Düsen besteht.

Die Düsen in der ersten Trennwand sind am schmalsten, die in der zweiten etwas breiter und die in der dritten am breitesten.

Der Dampf strömt aus dem Kessel in die Einlaßkammer der Turbine. Er besitzt einen hohen Druck. Wenn er durch die Düsen der ersten Trennwand strömt, dehnt er sich ein wenig aus, verringert dadurch seinen Druck, erhöht aber seine Geschwindigkeit. Mit der erhöhten Geschwindigkeit trifft der Dampf auf das erste Laufrad.

Die Düsen der ersten Trennwand sind jedoch so eingerichtet, daß sich der Dampf nur etwas ausdehnt. Deshalb ist auch die Geschwindigkeit, die der Dampf in der ersten Düsenreihe erlangt, nicht sehr groß. Folglich liegt die Umlaufgeschwindigkeit des ersten Laufrades erheblich niedriger als beim Laufrad Laval's, auf das der Dampf mit voller Wucht stieß.

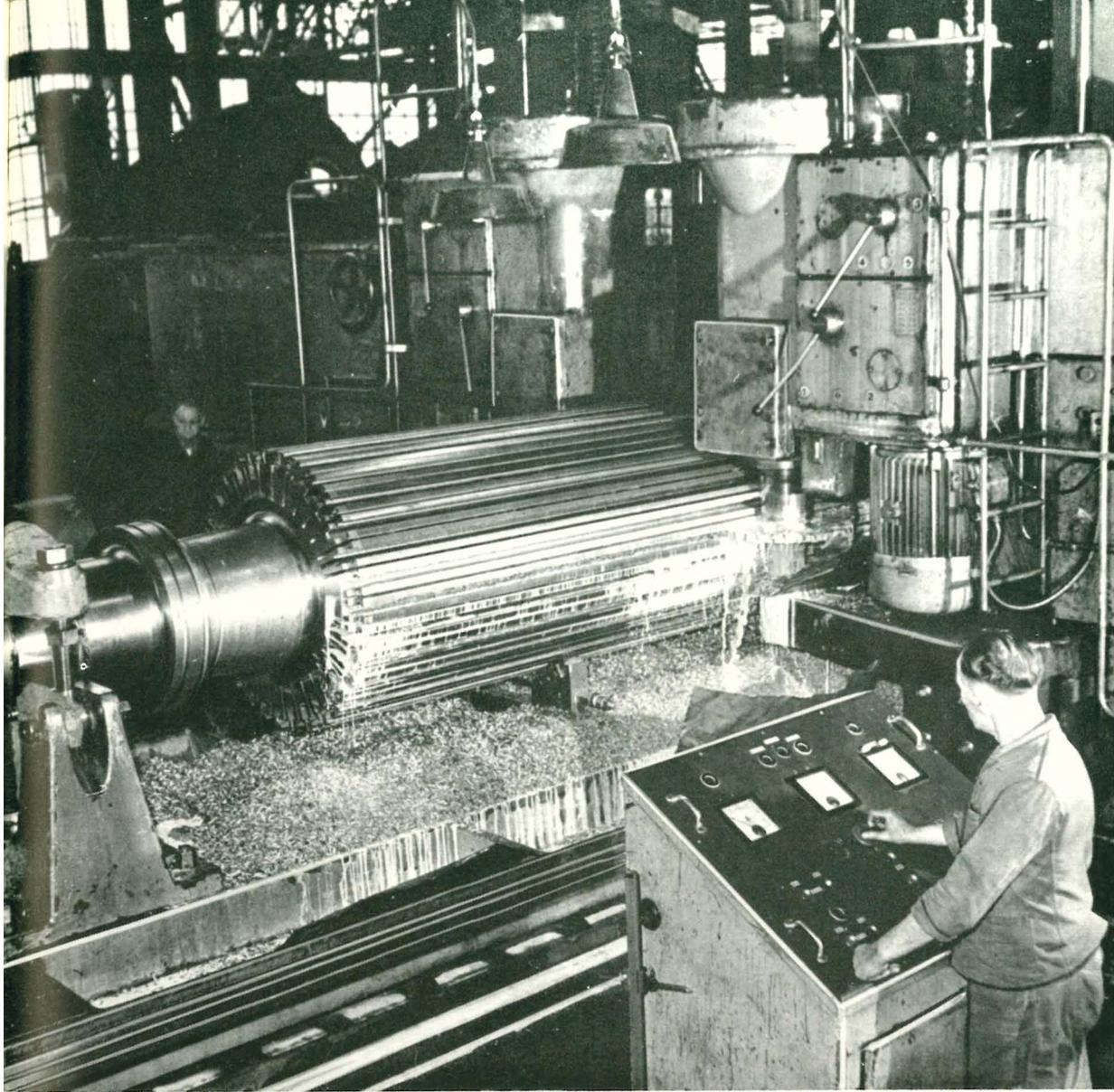
Wird hier vielleicht nur ein Teil der Bewegungsenergie genutzt, die der Dampf an das Laufrad abgeben könnte? Das wäre der Fall, wenn man nur ein Laufrad zur Verfügung hätte, doch die Turbine Rateaus besitzt ja mehrere. In den Düsen der zweiten Trennwand wird der Dampf gezwungen, sich ebenfalls auszudehnen, aber wieder nicht völlig. Er entspannt sich nur soweit, daß er auf das zweite Laufrad mit der gleichen Geschwindigkeit trifft, die er schon beim ersten hatte. Mit dem restlichen Druck strömt der Dampf auf das dritte Laufrad. Hier dehnt er sich vollständig aus und gelangt dann in den Kondensator. Die Düsen sind also so berechnet, daß der Dampf auf alle drei Räder mit der gleichen Geschwindigkeit trifft. Deshalb nennt man eine solche Turbine Gleichdruckturbine.

Die von Rateau erfundene Turbine wurde später von anderen Ingenieuren vervollkommnet. Viele Verbesserungen an dieser Turbine sind das Verdienst des Schweizer Ingenieurs Zoelly, nach dem die Zoellyturbine, eine jener Weiterentwicklungen, benannt ist.

### Die Curtisturbine

Der amerikanische Ingenieur Charles Curtis beschrift andere Wege zur Vervollkommnung der Gleichdruckturbine.

Ebenfalls im Jahre 1900 trat Curtis mit seiner Konstruktion an die Öffentlichkeit. Wie Rateau wollte Curtis die Mängel der Laval-turbine beseitigen und vor allem die übermäßig hohe Umlaufgeschwindigkeit der Welle herabsetzen. Curtis studierte die Eigenschaften der Gleichdruckturbine gründlich. Er gelangte zu dem gleichen Schluß wie Rateau, daß es nämlich unzweckmäßig sei, die gesamte Bewegungsenergie des Dampfes nur an ein Laufrad abzugeben.

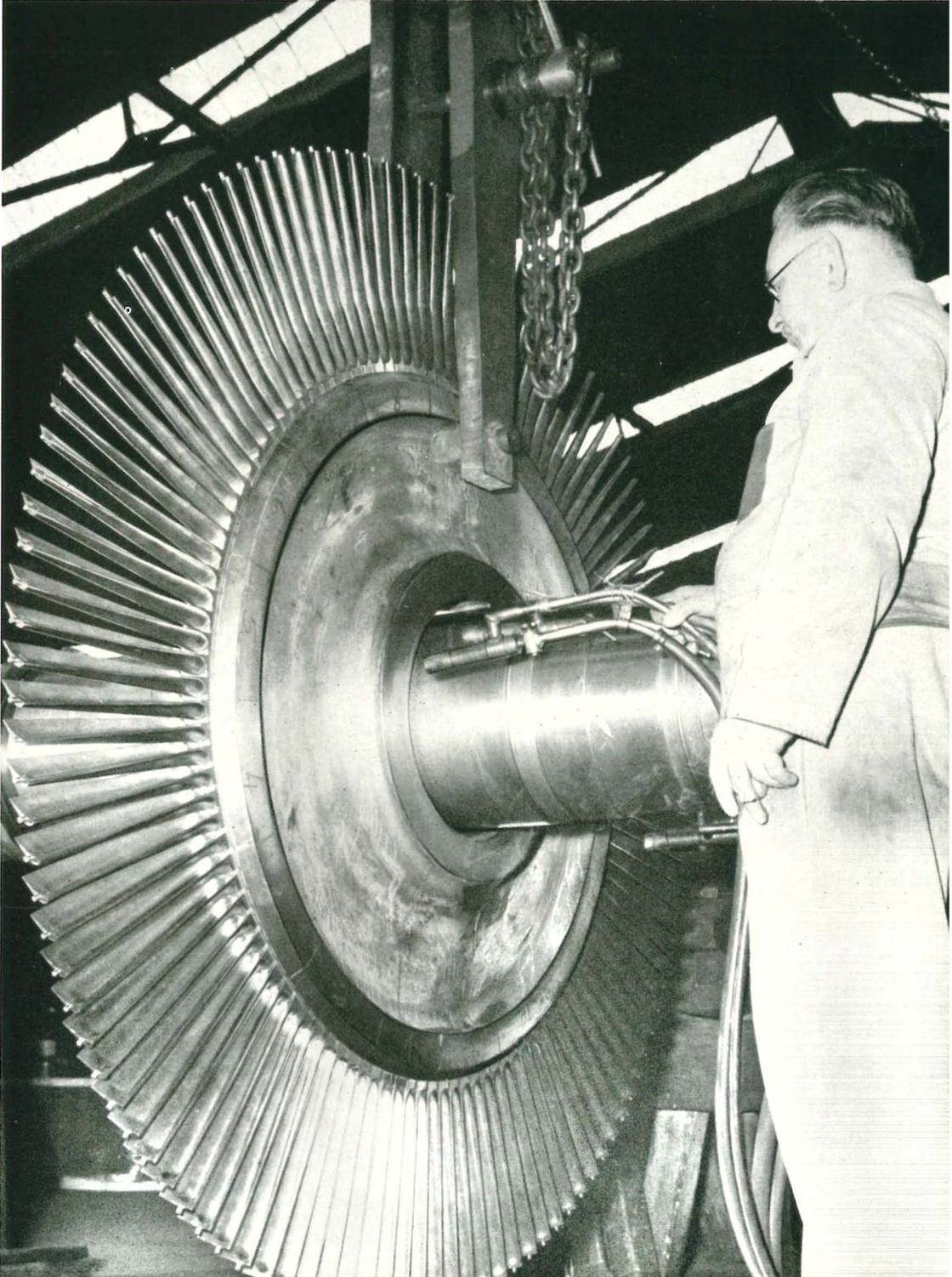


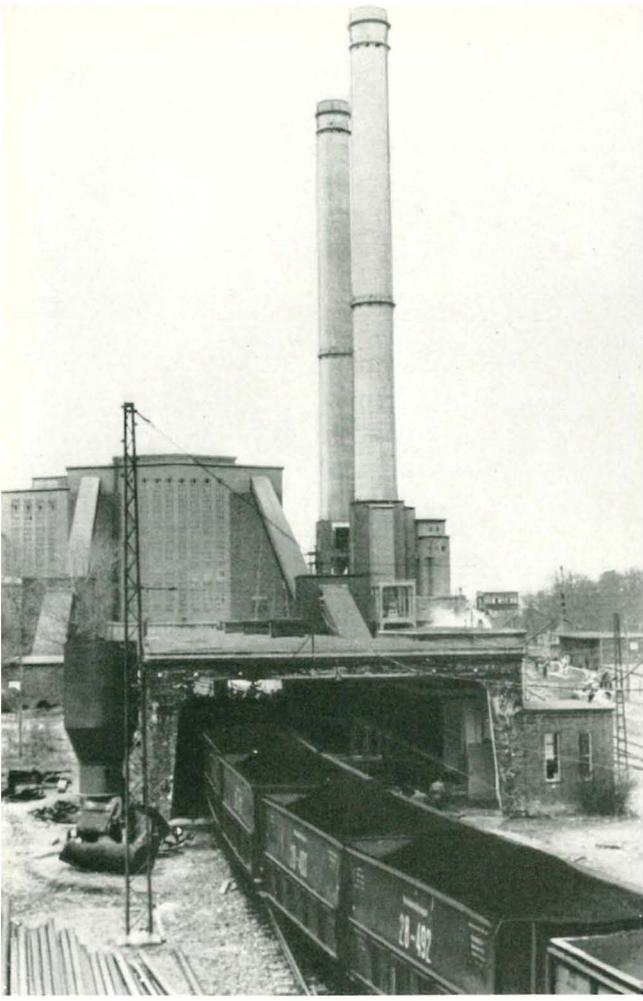
Im VEB Bergmann-Borsig in Berlin werden leistungsstarke Turbinen gebaut, die in alle Welt gehen.  
Das Einfräsen der Wicklungsnuten in die Induktorwelle einer 50-MW-Nachsalturbine



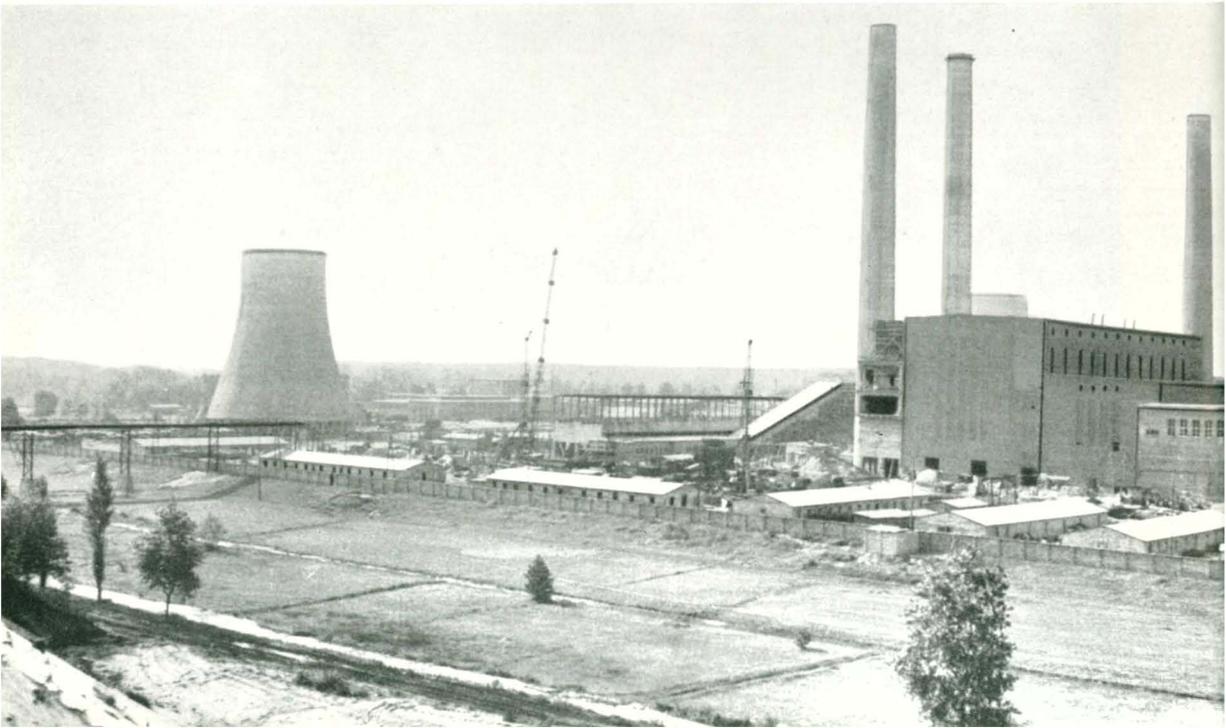
So sieht es im Kesselhaus des Wärmekraftwerkes Lübbenau aus. Riesige Kessel erzeugen den zum Antrieb der Turbinen notwendigen Dampf. Nach seiner Fertigstellung während des Siebenjahrplanes wird das Kraftwerk Lübbenau eins der größten Wärmekraftwerke Europas sein

Das Laufrad einer Dampfturbine vor dem Aufziehen auf die Turbinenwelle





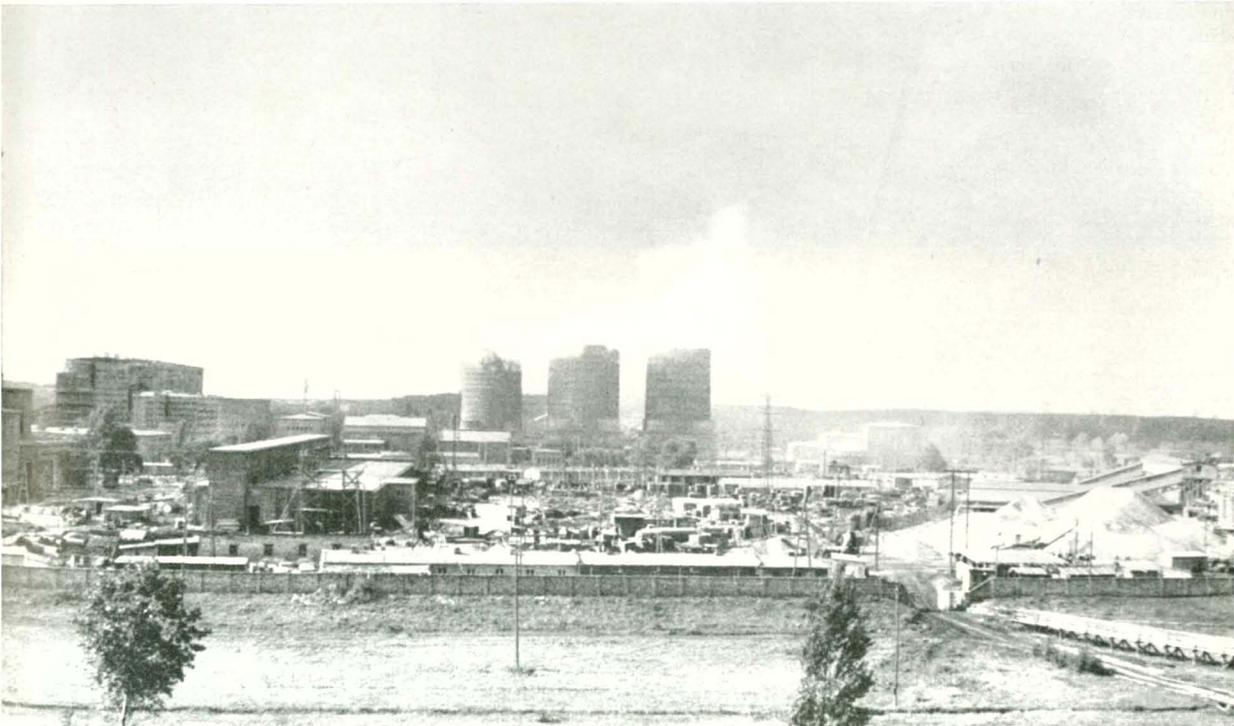
Das Wärmekraftwerk „Elbe“ in Vockerohe wurde in den Jahren 1952–1955 gebaut.  
Der Kohlebahnhof





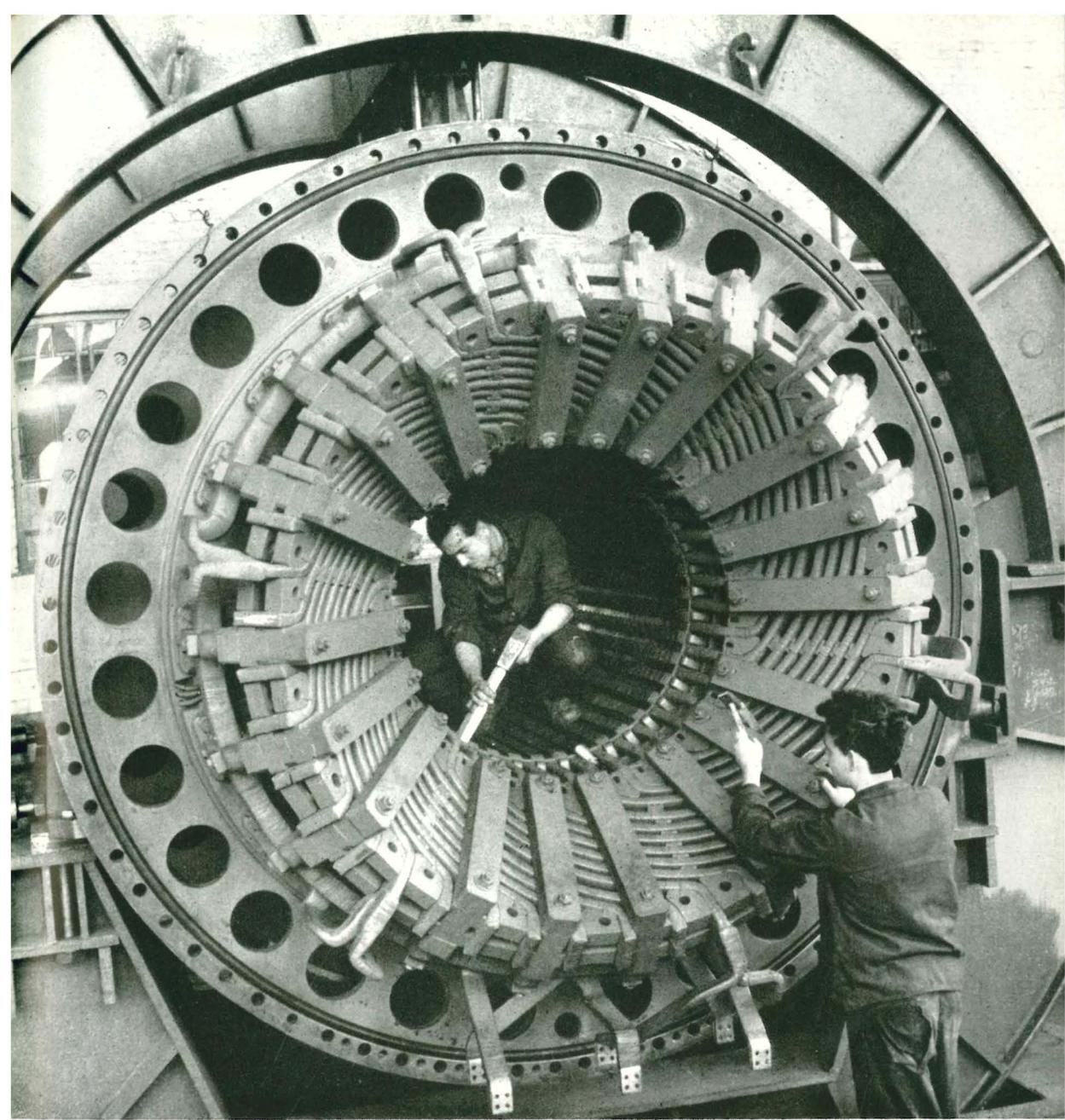
Das Herz eines Kraftwerkes ist die Schaltwarte

Gesamtansicht des Wärmekraftwerkes Trattendorf





Die Turbinenhalle im Kraftwerk „Elbe“.  
Links die 12 Turbinen, rechts die 12 Generatoren

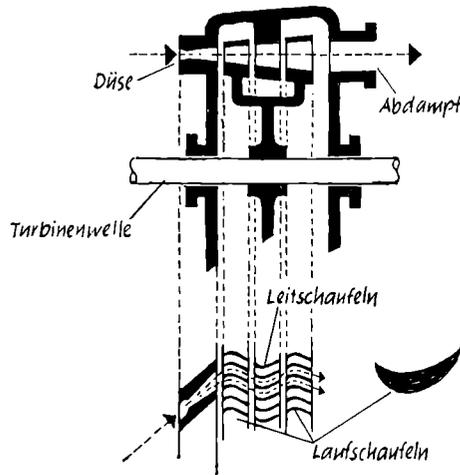


Blick in einen 50-MW-Generator des VEB Bergmann-Borsig. Solche Generatoren stehen auch im Großkraftwerk Lübbenau



Der Elektromotor ist der kleine Bruder des Elektrogenerators. In jeder Wohnung, in jeder Fabrik, auf dem Lande und in der Stadt, überall begegnen wir ihm

Schema der Curtisturbine



Wie wir wissen, senkte Rateau den Anfangsdruck des Dampfes stufenweise. Dadurch konnte er auch die Bewegungsenergie des Dampfes stufenweise, „portionsweise“ an die Laufräder abgeben. Man spricht deshalb von einer mehrstufigen Gleichdruckturbine.

Bei der Curtisturbine gelangt der aus dem Kessel kommende Dampf ebenfalls in ein Düsensegment. Hier wird der Dampfdruck abgesenkt, und zwar einmalig. Der Dampf trifft also mit hoher Geschwindigkeit auf das erste Laufrad. Nun hat die Curtisturbine – im Gegensatz zur Laval­turbine – jedoch zwei oder drei Laufräder, die durch feststehende Leit­räder getrennt sind. Der Dampf gibt seine Bewegungsenergie stufenweise an die Laufräder ab, dadurch wird die Energie des Dampfes besser ausgenutzt als bei der Laval­turbine, der Wirkungsgrad ist deshalb höher.

In der Rateauturbine wurde der Dampfdruck stufenweise gesenkt. In der Curtisturbine dagegen erreichte der Dampf durch die sofortige Druckabsenkung gleich die Höchstgeschwindigkeit. Die Energie des Dampfes wurde stufenweise an die restlichen Laufräder abgegeben.

### Parsons' Überdruckturbine

Der Engländer Charles Parsons ging als Schöpfer der Überdruckturbine in die Geschichte der Technik ein.

Parsons wurde im Jahre 1854 geboren und war, ebenso wie Laval und Rateau, ein umfassend gebildeter Ingenieur. Er hatte die Universität in

Cambridge absolviert, eine der ältesten und berühmtesten Englands. Es war kein Zufall, daß die Dampfturbine nicht von Handwerksmeistern, die sich ihre Kenntnisse durch Selbststudium aneigneten, geschaffen wurde, wie es bei der Dampfmaschine der Fall war, sondern von Ingenieuren mit umfassendem technischem Wissen.

Die Entwicklung und der Bau von Turbinen setzten umfangreiche mathematische Berechnungen voraus, erforderten besondere Werkstoffe und eine genaue mechanische Bearbeitung der Einzelteile. So ist die Dampfturbine nicht das Ergebnis einer zufälligen technischen Entdeckung, sondern die Frucht wissenschaftlicher Forschungen der Ingenieure. Das ist auch der Grund, weshalb die Turbine erst an der Schwelle des 20. Jahrhunderts, des Jahrhunderts der voranstürmenden Wissenschaft und Technik, geschaffen werden konnte.

Parsons baute seine erste kleine Turbine mit 6 PS in den Jahren 1884 bis 1885, also etwas später als Rateau.

Es war ebenfalls eine mehrstufige Turbine, doch ihre Wirkungsweise unterschied sich von dem Prinzip Laval's oder Rateau's – sie war keine Gleichdruckturbine.

Der aus dem Kessel kommende Dampf strömte an den ersten beiden feststehenden Schaufelreihen vorbei. Da diese eine konusförmige Düse bildeten, vergrößerte der Dampf seine Durchlaufgeschwindigkeit, ähnlich wie bei den Düsen Laval's.

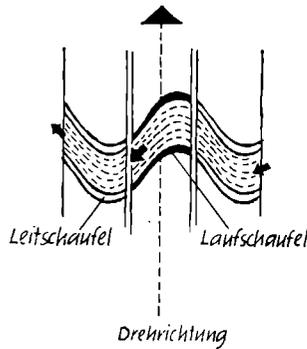
Allerdings entspannte sich der Dampf in den ersten Leitschaufeln nicht vollständig. Parsons nutzte, ebenso wie Rateau, zunächst nur einen Teil des Dampfdruckes aus. Infolgedessen strömte der Dampf nicht mit seiner Höchstgeschwindigkeit aus der Düse.

Also verwendete auch Parsons Druckstufen? Ja, er führte eine entscheidende Neuerung an den Laufschaufeln ein: Die Laufschaufeln verengten sich konusförmig nach der einen Seite zu.

Wie wirkt in diesem Fall der Dampf auf das Laufrad? Wie bei den Gleichdruckturbinen gibt der Dampf einen Teil seiner Bewegungsenergie ab, wenn er die Schaufeln trifft. Strömt er aber dann durch die verengten Kanäle der Laufschaufeln, so erhöht er seine Geschwindigkeit. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß die engere, trichterförmige Kanalöffnung der Drehrichtung entgegengesetzt ist.

Verläßt der Dampf die Laufschaufeln mit der erhöhten Geschwindigkeit, so stößt er sich von den gebogenen Oberflächen ab: Der Dampfstrahl bewirkt einen Rückstoß. Durch diese Rückstoßwirkung des Dampfes erhält das Laufrad noch zusätzlich Energie. Es handelt sich hier um die gleiche Erscheinung, die wir bereits von der Wasserüberdruckturbine her kennen. Nun

### Aufbau der Überdruckturbine Parsons'



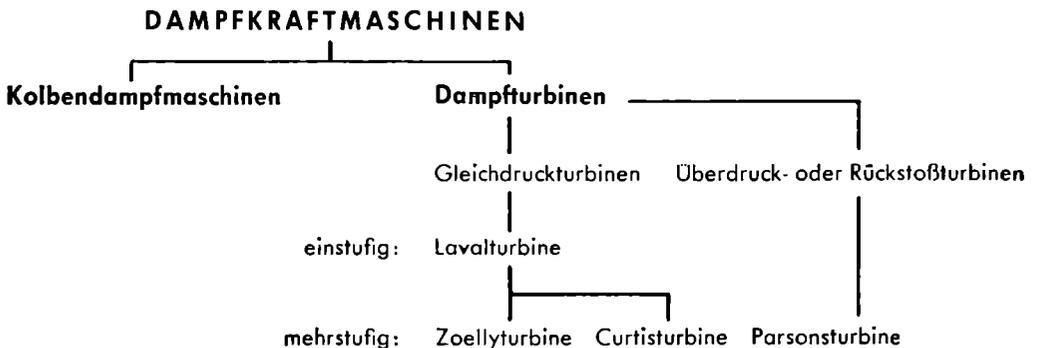
strömt der Dampf in das nächste Leitschaufelrad, wo er sich wiederum ausdehnt und dann auf das nächste Laufschaufelrad trifft.

In der Turbine Parsons' wird also auch das Rückstoßprinzip ausgenutzt. Man müßte sie eigentlich „kombinierte“ Turbine nennen, jedoch bezeichnet man sie allgemein als Überdruckturbine.

Doch war es nicht möglich, eine reine Rückstoßturbine zu entwickeln?

Parsons versuchte es: Eine seiner Versuchsturbinen nannte er sogar „Heron“. Sie war fast dem Heronsball nachgebildet. Allerdings handelte es sich um keinen Ball: Einige innen hohle Laufräder saßen auf einer gemeinsamen Welle, und auf den Laufrädern waren Düsen angebracht, die der Drehrichtung entgegenstanden. Der Dampf gelangte durch die hohle Welle in den Hohlraum der Laufräder. Von dort aus strömte er durch die Düsen und zwang so die Laufräder, sich in entgegengesetzter Richtung zu drehen.

Nachdem Parsons eine derartige Turbine gebaut hatte, erkannte er, daß sie einen sehr niedrigen Wirkungsgrad besaß – er betrug etwa 70 Prozent des Wirkungsgrades der zuvor beschriebenen Überdruckturbine.



Diese Erkenntnis veranlaßte Parsons, die Idee einer reinen Rückstoßturbine aufzugeben und seine Forschungen nur darauf zu richten, eine zuverlässige, wirtschaftlich arbeitende Überdruckturbine zu entwickeln.

Obwohl die ersten Turbinen Parsons' noch sehr unvollkommen waren, konnten sie schon mit der Dampfmaschine in ernsten Wettbewerb treten. Ebenso wie Laval arbeitete jedoch Parsons beharrlich an der Verbesserung seiner Turbine weiter.

Weshalb versuchte man jedoch, die Dampfmaschine durch die Dampfturbine zu ersetzen? Hatte die Dampfmaschine zu Beginn des 20. Jahrhunderts nicht eine Vollkommenheit erreicht, die die Forderungen der Industrie vollauf befriedigen konnte? Schließlich genügte ihre Leistung doch völlig, um die Arbeitsmaschinen sehr großer Werke anzutreiben?

Doch zur gleichen Zeit versuchte man, eine neue Energie nutzbar zu machen: die Elektroenergie, mit deren Hilfe man ebenfalls mechanische Energie gewinnen konnte. Doch zur Erzeugung der Elektroenergie brauchte man leistungsfähige Dampfturbinen.

## ELEKTROMOTOREN UND GENERATOREN

Den ersten brauchbaren Elektromotor baute im Jahre 1834 der russische Physiker Boris Semjonowitsch Jacobi.

Er setzte ihn in ein leichtes Boot, verband seine Welle mit einer kleinen Schiffsschraube und unternahm kurze Spazierfahrten auf der Newa. Den elektrischen Strom, mit dem Jacobi seinen Motor speisen mußte, entnahm er einer starken galvanischen Batterie.

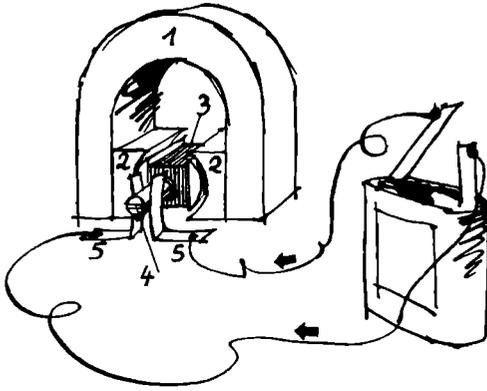
So zeigte er, daß man die elektrische Energie in mechanische Bewegung umwandeln kann.

Zwar hielt damals gerade die Dampfmaschine ihren siegreichen Einzug in die Industrie, doch der Physiker Jacobi sah bereits voraus, daß sie ihre Sonderstellung einmal einem anderen Motor werde überlassen müssen. Er wies auf die unbestreitbaren Vorteile des neuen Elektromotors hin: „Der Mechanismus des Motors ist im Vergleich zur Dampfmaschine sehr einfach. Es gibt keine Zylinder, Kolben, Kanäle... Diese Maschine liefert eine ununterbrochene, beständige Drehbewegung, die sich viel einfacher in andere Bewegungsarten verwandeln läßt als eine hin- und hergehende Bewegung.“ Das wurde im Jahre 1835 geschrieben. Seit jener Zeit begann der Elektromotor, sich langsam, aber unaufhaltsam durchzusetzen. Heute treibt der Elektromotor fast alle Arbeitsmaschinen an.

### Der Aufbau eines Gleichstrommotors

Die modernen Elektromotoren unterscheiden sich jedoch in ihrer Konstruktion wesentlich von dem Elektromotor, den seinerzeit Jacobi gebaut hatte.

Jeder Elektromotor besitzt einen unbeweglichen Teil, Ständer oder Stator genannt, und einen beweglichen, sich drehenden Teil, den Anker. Der Ständer besteht in unserem Fall aus einem Hufeisenmagneten (1), der mit zwei Polschuhen (2) versehen ist. Zwischen diesen magnetischen Polen kann



Modell eines Gleichstrommotors  
mit Feldmagnet  
und Doppel-T-Anker

sich der Anker (3) drehen. Er besteht aus einem Eisenkern, der mit isoliertem Draht umwickelt ist (Ankerwicklung).

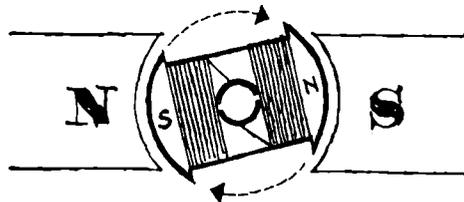
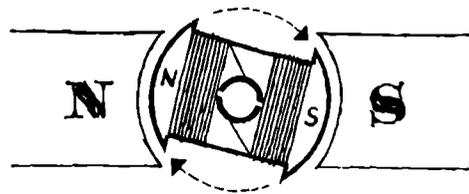
Der Anker ist nichts anderes als ein Elektromagnet. Wenn wir nämlich elektrischen Strom durch die Ankerwicklung leiten, so entsteht ein magnetisches Feld, das den eisernen Ankerkern ebenfalls magnetisiert. Auf diese Weise bilden sich am Anker Magnetpole.

Wir wollen annehmen, daß zunächst der Nordpol des Ankers dem Nordpol des Stators gegenüberliegt und auf der anderen Seite der Südpol des Ankers dem des Stators (a).

Da sich gleichnamige Magnetpole abstoßen, die ungleichnamigen aber anziehen, vollführt der Anker eine halbe Drehung (b). Nun liegen sich ungleichnamige Pole gegenüber, und die Bewegung hört auf.

Wie kann die Drehung des Ankers weitergeführt werden? Man braucht nur die Magnetpole des Ankers zu vertauschen. Das geschieht, wenn die Stromrichtung in der Ankerwicklung geändert wird.

- a) Gleichnamige Pole liegen sich gegenüber und stoßen sich ab,
- b) ungleichnamige Pole ziehen sich an (Anker hat fast eine halbe Drehung vollführt)



Diesen Richtungswechsel besorgt ein sogenannter „Kommutator“ (4) automatisch nach jeder halben Umdrehung. Der Strom, mit dem wir den Anker versorgen, wird nämlich über zwei Schleifkontakte (5) an den Kommutator und damit in die Wicklung geleitet.

Jetzt kann sich der Anker ununterbrochen drehen, denn nach jeder halben Umdrehung stehen sich wieder gleichnamige Pole gegenüber und stoßen sich ab.

Die Drehbewegung wird ausgenutzt, indem man die Welle des Ankers mit der einer Arbeitsmaschine verbindet.

### Der Elektrogenerator – ein Sekundärmotor

Damit aber der Elektromotor mechanische Arbeit erzeugt und Arbeitsmaschinen antreibt, muß man ihm elektrischen Strom zuführen. In der Natur kommt die elektrische Energie aber nicht in der freien Form wie die Energie des Wassers oder des Windes vor, auch läßt sie sich nicht so leicht wie die Wärmeenergie durch Verbrennen eines Stoffes gewinnen.

Um Elektroenergie zu erzeugen, das heißt, elektrischen Strom zu erhalten, braucht man gewöhnlich besondere Maschinen, nämlich Elektrogeneratoren. Sie sind äußerlich den Elektromotoren ähnlich. Während aber die Elektromotoren elektrische Energie in mechanische Bewegungsenergie umformen, verwandeln die Generatoren umgekehrt mechanische Bewegungsenergie in elektrische Energie.

Der Elektromotor ließe sich auf folgende Weise in einen Generator umwandeln:

Wir befestigen an der Welle des Ankers eine Kurbel und vertauschen die Batterie, die wir an die Schleifkontakte geschlossen haben, mit einer kleinen Glühlampe. Nun versetzen wir den Anker in schnelle Umdrehung: Die Lampe leuchtet auf. Je schneller wir drehen, desto heller leuchtet die Lampe. Wir haben den Gleichstrommotor in einen Gleichstromgenerator umgewandelt. Wir führen ihm mechanische Energie zu, und er wandelt sie in elektrische Energie um.

Ist diese Energie groß genug, so läßt sich mit ihr wiederum ein Elektromotor antreiben.

Man nennt die Elektrogeneratoren auch Sekundärmotoren (lateinisch secundus „der Zweite, Folgende“), weil sie von einem anderen, einem Primärmotor (lateinisch primus „der Erste“) angetrieben werden. Die Primär-

motoren für die Elektrogeneratoren sind Wasserturbinen, Dampfmaschinen, Dampfturbinen oder Verbrennungskraftmaschinen.

Auch die Elektromotoren sind Sekundärmotoren, denn bevor sie arbeiten können, müssen Elektrogeneratoren elektrischen Strom erzeugen.

Als Antriebsmaschinen für Arbeitsmaschinen bieten die Elektromotoren viele Vorteile: Die für ihren Antrieb notwendige Elektroenergie läßt sich bequem über große Entfernungen hinwegleiten; die verhältnismäßig kleinen Motoren lassen sich mit den Arbeitsmaschinen gut verbinden, so daß keine komplizierten Übersetzungen notwendig sind.

### Aus der Geschichte der Wärmekraftwerke

Die Errichtung von Kraftwerken mit leistungsfähigen Primärmotoren wurde bereits Ende des 19. Jahrhunderts eine der wichtigsten Aufgaben der Technik.

In den Jahren 1882 bis 1883 entstand das erste Kraftwerk Rußlands. Es war in einem Lastkahn untergebracht und hatte seinen Platz auf der Moika in Petersburg. (Diese Stadt trug von 1703 bis 1914 den Namen Petersburg, wurde 1914 in Petrograd umbenannt und trägt seit dem 26. 1. 1924 zu Ehren Lenins den Namen Leningrad.)

Die Elektrogeneratoren dieses Kraftwerks wurden von Dampfmaschinen angetrieben. Die Leistung des Werkes betrug insgesamt 150 kW (202 PS). Bessere und leistungsfähigere Kraftwerke wurden in Rußland dann in den Jahren 1887 bis 1888 gebaut.

Die ersten deutschen Anlagen dieser Art entstanden in Berlin. Sie wurden in Kellerräumen eingerichtet und versorgten jeweils einen Häuserblock im Zentrum der Stadt. Deshalb nannte man diese Anlagen „Blockzentralen“.

Im Jahre 1885 entstand in Berlin das erste Kraftwerk, das diesen Namen mit einigem Recht verdient. Es wurden 12 Dynamomaschinen aufgestellt, die von 6 Dampfmaschinen von je 150 PS Leistung angetrieben wurden.

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts werden Wärmekraftwerke gebaut. Diese Kraftwerke erzeugen noch heute den größten Teil der benötigten Elektroenergie.

In der Sowjetunion wurden bisher über 90 Wasserkraftwerke mit großen und mittleren Leistungen gebaut, dennoch erzeugen die sowjetischen Wärmekraftwerke 80 Prozent der Elektroenergie. In Deutschland sind es sogar über 98 Prozent.

In allen diesen Kraftwerken werden Wärmekraftmaschinen als Primärmotoren für den Antrieb der Elektrogenatoren verwendet. Zuerst benutzte man die Dampfmaschinen dazu, um das Jahr 1900 herum wurden die Dampfmaschinen von den Dampfturbinen abgelöst.

Im Jahre 1900 wurde Parsons' Werk damit beauftragt, zwei Turbinen mit einer Leistung von je 1000 kW für ein deutsches Kraftwerk in Wuppertal-Elberfeld zu liefern. Diese Bestellung setzte viele Fachleute, die der neuen Maschine kein Vertrauen entgegenbrachten, in Erstaunen; sie glaubten, daß die in der Praxis erprobte Dampfmaschine zuverlässiger wäre.

Parsons jedoch begriff, worum es hier ging. Er bemühte sich um eine sorgfältige Ausführung des Auftrages. Und in der Tat, der Probelauf verlief erfolgreich. Zwar stand die Turbine in der Wirtschaftlichkeit noch der Dampfmaschine nach, denn sie verbrauchte etwas mehr Dampf. Aber sie erwies sich für den Antrieb eines Elektrogenators als sehr geeignet: Sie drehte sich gleichmäßig und ließ sich leicht bedienen.

Von dieser Zeit an gingen viele Werke in Europa und Amerika zum Bau von Dampfturbinen über. Kaum ein Jahrzehnt verging, und die Dampfturbine war die wichtigste Antriebsmaschine der Wärmekraftwerke geworden. Darüber hinaus trieb sie auch Schiffe an.

Kaum war die Schwelle zum 20. Jahrhundert überschritten, da mußte die Dampfmaschine ihren Platz fast vollständig der Dampfturbine überlassen.

Daraus muß man schließen, daß die Dampfturbine gegenüber der Dampfmaschine große Vorteile aufweist. Welche Vorteile sind das?

In einem Berliner Kraftwerk arbeiteten vor 50 Jahren sieben Kolbendampfmaschinen. In den zwanziger Jahren wurde zunächst eine dieser Dampfmaschinen durch Turbinen ersetzt. Auf dem gleichen Platz, den vorher die eine Dampfmaschine beansprucht hatte, konnten drei Turbinenaggregate aufgestellt werden. Diese drei Turbinen vollbrachten eine Leistung von 21 000 PS, während die verbliebenen sechs Dampfmaschinen insgesamt nur 18 000 PS abgaben. An diesem Beispiel zeigen sich zwei wesentliche Vorteile der Turbine: Sie nimmt wenig Raum ein und entwickelt hohe Leistungen.

Eine moderne Dampfturbine kann in einem Aggregat eine Leistung bis zu 200 000, ja sogar bis zu 300 000 kW entwickeln! Mit keinem Kolbenmotor kann man derartige Leistungen erreichen. Lediglich die Wasserturbine könnte es mit der Dampfturbine aufnehmen.

Darüber hinaus ist eine Turbine einfacher gebaut, sie hat einen sparsamen Ölverbrauch und kann leichter bedient werden. Ihr Gang ist viel ruhiger als der einer Dampfmaschine; deshalb kommt sie mit kleineren Fundamenten aus.

Moderne Turbinen arbeiten mit Dampf hoher Temperaturen und folglich hoher Drücke. Sie nutzen, wie es schon Carnot empfahl, die heißere „obere Wärmequelle“ aus.

In der Sowjetunion ist man jetzt dazu übergegangen, die Anfangstemperatur des Dampfes auf  $600^{\circ}\text{C}$ , ja  $650^{\circ}\text{C}$  zu steigern. Der Dampf erhält dabei einen Druck von 200 bis 300 Atmosphären.

Um ein großes Wärmegefälle zu erhalten, leitet man den verbrauchten Dampf in einen wassergekühlten Kondensator.

Ein Kondensator ist ein großer, von einem Rohrbündel durchzogener Behälter. Der verbrauchte Dampf strömt in diesen Behälter, in dessen Rohren Kühlwasser umfließt. Der Dampf kondensiert dadurch, er sammelt sich also als Wasser im unteren Teil des Behälters und wird durch eine Spezialpumpe wieder in den Dampfkessel gedrückt.

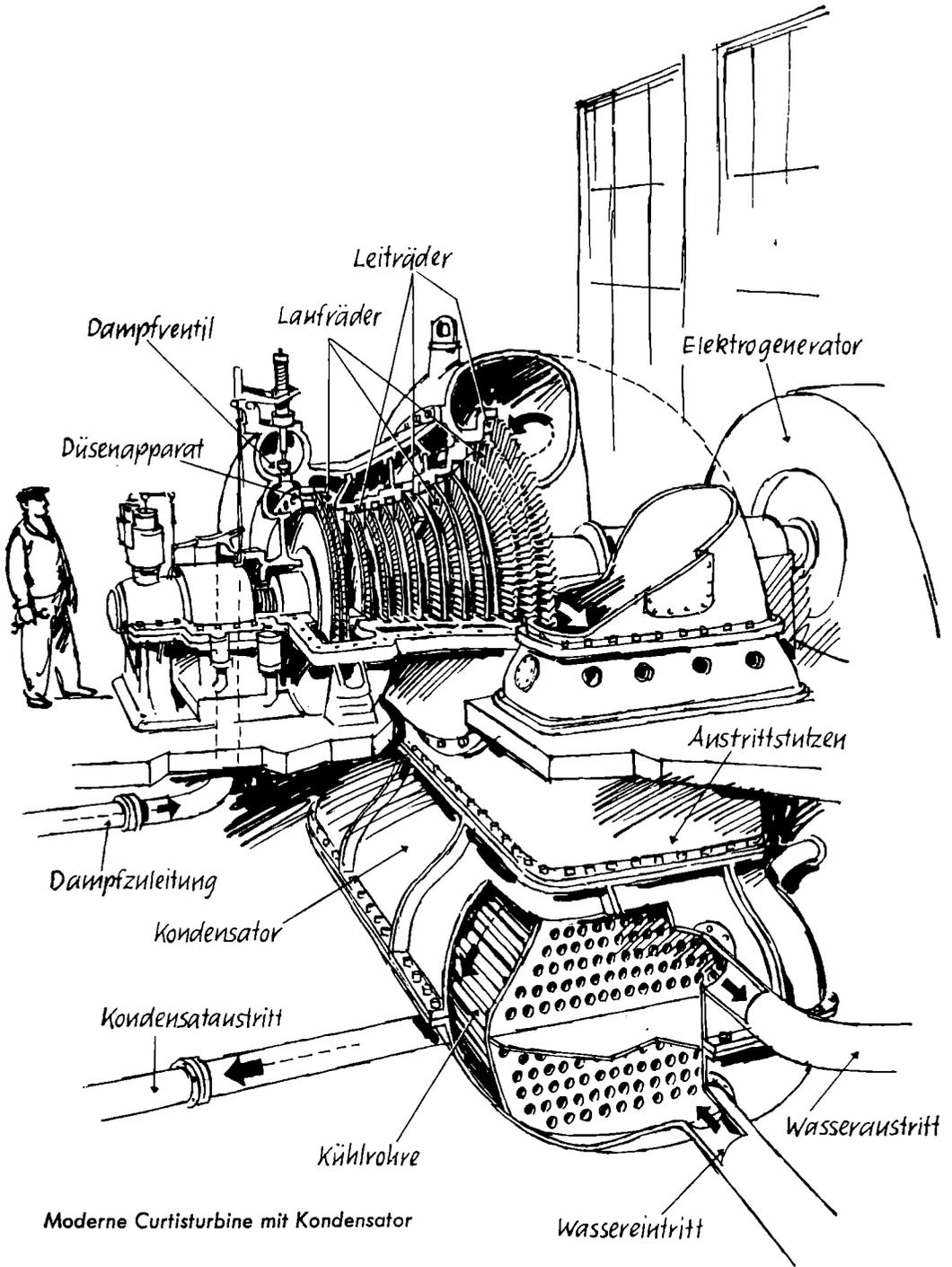
Im Laufe der Jahre wurden nicht nur die Dampfturbinen vervollkommenet, sondern auch die Kesselanlagen, die nun mit den ersten Dampfkesseln Papins keinerlei Ähnlichkeit mehr haben.

Der Walzendampfkessel ist der einfachste Dampfkessel und gehört zu den ersten Kesseltypen, die man in Dampfkraftanlagen des vergangenen Jahrhunderts verwendete und auch heute hier und da noch antrifft. Ein mächtiger zylindrischer Behälter, der einem Eisenbahntankwagen ähnelt, ruht auf einer Ziegelsteinunterlage. Unter dem Kessel befindet sich die Feuerung. Von hier führen Kanäle ins Innere der Ziegelsteinwände, die den Kessel umgeben, sogenannte Züge, durch die der Rauch abzieht. Oben auf dem Kessel befindet sich ein kleiner Behälter, der Dampfdom. Hier sammelt sich der vom Wasser abgeschiedene Dampf und strömt durch ein Rohr weiter zur Dampfmaschine.

Im Dampfdom ist ein Sicherheitsventil angebracht. Es öffnet sich, wenn der Dampfdruck die zulässige Belastungsgrenze überschreitet. Wäre dieses Ventil nicht vorhanden, könnte der Kessel platzen. Durch das Rohr, das oben in den Kessel mündet, wird der Kessel mit Frischwasser versorgt. Der Walzendampfkessel erwies sich jedoch als unwirtschaftlich, denn er brauchte viel Brennstoff und erzeugte wenig Dampf. Außerdem konnte man in ihm keinen Dampf hohen Drucks erzeugen, da die Kesselwände nicht standhielten.

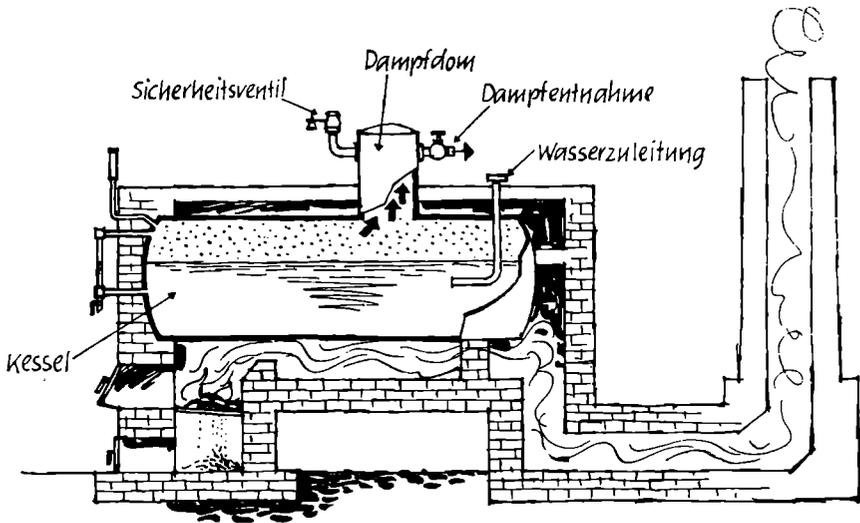
Einer der wirtschaftlichsten modernen Kessel ist der sogenannte Wasserrohrkessel.

Hier ist kein Kessel im eigentlichen Sinne des Wortes vorhanden. Es gibt nur ein System von Rohrschlangen, die fast den gesamten Raum einnehmen. Die Düsenbrenner, denen pulverisierte Braunkohle zugeführt wird, befinden sich im unteren Teil der linken Kammer. Die heißen Verbrennungsgase



Moderne Curtisturbine mit Kondensator

Wassereintritt



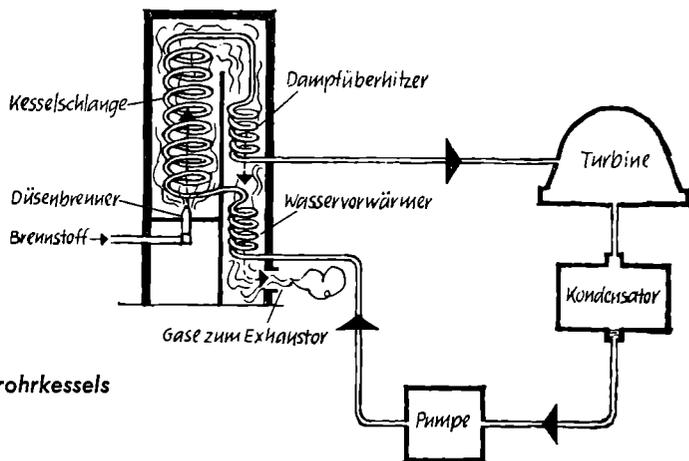
Schema des Walzendampfkessels

bestreichen dann zunächst die erste Rohrschlange, dann die zweite und schließlich die dritte. Schließlich werden die Verbrennungsgase durch einen besonderen Absauger (Exhaustor) abgezogen.

Das Wasser gelangt von der Pumpe zuerst in die Rohrschlange, welche die Gase zuletzt bestreichen. Hier wird das Wasser vorgewärmt. Dann steigt das Wasser in die zweite Schlange. Während es von unten nach oben durch die Rohrschlange steigt, erhitzt es sich und verdampft. Der Dampf gelangt in die nächste Schlange, wo er überhitzt wird, und zwar bis zu  $500^{\circ}\text{C}$ . Nun strömt der überhitzte Dampf zur Turbine.

Bei einem solchen Kessel wird ununterbrochen Wasser zugeführt, verdampft und unter hohem Druck auf eine hohe Temperatur überhitzt.

Fassen wir jetzt zusammen: Der Dampf muß vom Kessel aus durch einen Überhitzer strömen. Von dort gelangt er zur Turbine. Der verbrauchte



Schema des Wasserrohrkessels

Dampf verläßt die Turbine und gelangt in den Kondensator. Das sich niederschlagende Wasser wird durch eine Pumpe wieder zum Kessel gedrückt.

Folglich gehören zu jedem Wärmekraftwerk ein Kessel, ein Dampfüberhitzer, eine Turbine, ein Kondensator und eine Pumpe für den Wassercyclus. Aber das ist noch lange nicht alles. In Wirklichkeit besteht ein modernes Wärmekraftwerk aus viel mehr Anlagen.

In seinem äußerlichen Aufbau gliedert sich ein Wärmekraftwerk in folgende Teile:

1. Im Kesselhaus wird der Dampf erzeugt. Ein Kessel, der zum Beispiel eine 20 000-kW-Turbine mit Dampf versorgt, muß in einer Stunde 600 bis 700 t Wasser verdampfen. Er nimmt mit allen Nebeneinrichtungen, die zur automatischen Steuerung notwendig sind, viel Raum ein. Das Kesselhaus kann die Höhe eines zehnstöckigen Hauses erreichen;
2. in der Turbinenhalle stehen die Turbogeneratoren;
3. in der Schaltwarte wird die von den Generatoren erzeugte Elektrizität verteilt. Sie fließt also von hier aus in die Überlandleitungen.

In Ländern, die über wenig Wasserkraft verfügen, sind Wärmekraftwerke die wichtigsten Energieerzeuger. Von ihrer Leistungsfähigkeit hängt es ab, ob genügend Strom für die Haushalte, die Straßenbeleuchtung, den Verkehr und die gesamte Industrie vorhanden ist. Nach dem zweiten Weltkrieg, im Jahre 1945, waren auf dem Gebiet unserer DDR viele Kraftwerke zerstört. Die erhaltene gebliebenen waren veraltet und heruntergewirtschaftet. Ihre Gesamtleistung betrug 240 000 kW. Damit konnten sie den Energiebedarf nicht im entferntesten decken. Wie aber sollte eine starke sozialistische Wirtschaft entwickelt werden ohne ausreichende Elektrizität?

Unter großen Anstrengungen erbauten unsere Werktätigen und Jugendbrigaden im 1. Fünfjahrplan neue Kraftwerke: das Kraftwerk Elbe und das Kraftwerk Trattendorf. Gleichzeitig stellten die Maschinenbauer vom VEB Bergmann-Borsig und vom VEB Görlitzer Maschinenbau die notwendigen Turboaggregate her. Sie wiesen Leistungen von 12 500, 25 000, 32 000 und 50 000 kW auf.

Die ersten Turbinen wurden schon im Jahre 1954 in Betrieb genommen. Bereits ein Jahr später konnten unsere Kraftwerke eine Leistung von 5 000 000 kW abgeben. Doch unsere Industrie entwickelt einen unersättlichen Hunger nach Energie. Überall werden neue Industriewerke errichtet und neue, größere Maschinen aufgestellt.

Der Siebenjahrplan sieht deshalb vor, eine Reihe von Großkraftwerken zu erbauen, darunter die Werke Berzdorf mit 500 000 kW und Vetschau mit 1 200 000 kW Leistung. Das gewaltigste Werk aber entsteht in Lübbenau.

Es wird das größte Wärmekraftwerk Europas sein und im Jahre 1963 mit 1 300 000 kW voll in Betrieb genommen werden. Drei Turbinen, von denen jede 50 000 kW hergibt, laufen bereits. Auch diese Turbinen entstanden in unserem VEB Bergmann-Borsig in Berlin. In diesem Werk wurde auch die größte Turbine der DDR geschaffen, die ebenfalls für Lübbenau bestimmt war. In dieses Aggregat strömt der Frischdampf mit einer Temperatur von 525° C und treibt einen Turbinensatz von insgesamt 32 Stufen an. Die Leistung dieses Giganten beträgt 100 000 kW.

Nun wissen wir, warum die Dampfmaschine ihren Platz in großen Kraftwerken und auf mächtigen Schiffen an die Dampfturbine abtrat. Nur für kleinere Dampfkraftanlagen benutzt man auch heute noch die Dampfmaschine. Denken wir beispielsweise an die Lokomotiven, sie werden durch eine Dampfmaschine angetrieben. Doch auch hier wird die Dampfmaschine vom Elektromotor und Dieselmotor verdrängt.

## VERBRENNUNGSMOTOREN

Hohe Flammen züngelten um eine Kolbenflasche, die über einem Brenner hing. Der Ingenieur beobachtete gespannt das Gefäß. Nervös schüttete er Sägespäne aus einer Hand in die andere. Als sich das Gefäß genügend erhitzt hatte, warf er die Späne in die Flasche.

Die Späne begannen zu schwelen. Weißer, wolkiger Rauch entstieg der trichterförmigen Öffnung des Kolbens. Plötzlich berührte die Außenflamme den Rauch und entzündete ihn. Das sah seltsam aus. In der Luft über dem Kolben hing ein bläuliches Flämmchen, und zwar solange, wie die Späne schwelten.

### Der „Gasvertilger“ Lenoirs

So entdeckte der französische Ingenieur Lebon im Jahre 1796 ein Verfahren, brennbares Gas aus Holz herzustellen. Das Verfahren wurde vervollkommenet, und man baute Fabriken, die solches Gas herstellten. Man erhitzte Holz oder Steinkohle in verschlossenen Behältern unter Luftentzug, und das Gas, das diesen Gefäßen entströmte, erhielt den Namen „Leuchtgas“. Denn zunächst wurde es zu Beleuchtungszwecken benutzt, indem man es in besonderen Gaslampen entzündete. Die Entdeckung des Leuchtgases weckte auch die Idee, eine neue Kraftmaschine, einen Verbrennungsmotor, zu entwickeln.

Eine solche Maschine war dringend notwendig geworden. In allen größeren Fabriken standen Dampfmaschinen und trieben die Arbeitsmaschinen an. Aber in den kleinen Werkstätten und Handwerksbetrieben fehlte eine maschinelle Antriebskraft. Dampfmaschinen konnte man dort nicht aufstellen, sie waren zu teuer und hätten außerdem in kleineren Betrieben keinen Platz gehabt. Andererseits aber mußten diese kleinen Unternehmen konkurrenzfähig bleiben. So sann man nach einem Ausweg. Man wünschte sich eine kleine, platzsparende und billige Kraftmaschine.

In das Büro des französischen Fabrikbesitzers Marinoni trat Jean Lenoir, einer der befähigsten Mechaniker der Fabrik. Als der Fabrikbesitzer erfuhr, weshalb Lenoir gekommen war, staunte er. Jean Lenoir hatte einen neuen Motor erfunden und bat um Unterstützung bei der Herstellung des ersten Probestückes. Er zog eine umfangreiche Zeichnung aus der Tasche und entfaltete sie auf dem Tisch. Der Fabrikbesitzer kannte sich gut in der Technik aus und brachte auch sonst den Vorschlägen seines tüchtigen Meisters Interesse entgegen.

Marinoni war auch diesmal bereit, Lenoir anzuhören, obwohl ihm selbst die Idee eines Gasmotors nicht neu erschien. Marinoni erinnerte sich, daß bereits vor 30 Jahren in London auf der Themse ein Motorboot schwamm, das mit einem Gasmotor angetrieben wurde. Der Erfinder war ein gewisser Brown. Auch hatte er gehört, daß sogar Lebon bereits im Jahre 1801 vorgeschlagen hatte, brennbares Gas für Motore auszunutzen. Der Fabrikant erinnerte Lenoir an diese durchweg gescheiterten Versuche.

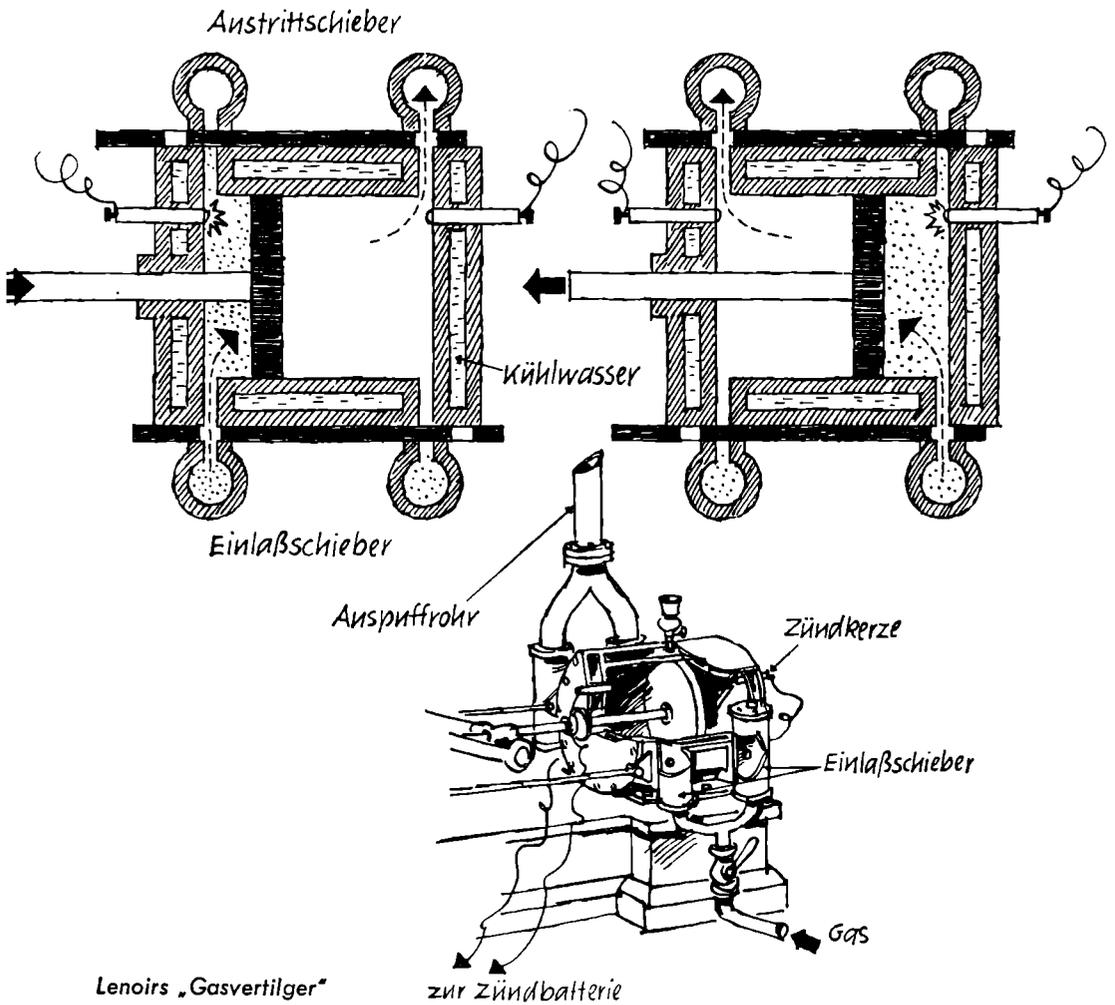
Doch Lenoir wußte davon. Er zog ein Notizbuch aus der Tasche und zeigte es Marinoni: Sorgfältig waren alle Erfinder aufgeschrieben, die sich mit Gasmotoren beschäftigt hatten. Lenoir versicherte, sein Motor unterscheide sich von allen übrigen dadurch, daß er praktisch verwendbar sei. Er, Lenoir, würde alles selbst herstellen.

Marinoni ging nicht sofort auf die Bitte seines Meisters ein. Er wollte nicht unnütz Geld ausgeben und befürchtete, daß Lenoir dadurch seine betrieblichen Aufgaben vernachlässigen würde; außerdem glaubte er nicht recht an den Gasmotor, um den sich andere Erfinder nun schon ein halbes Jahrhundert lang bemühten – ohne Erfolg.

Als Marinoni endlich einen Blick auf die Zeichnung warf, stellte er fest, daß der Zylinder des neuen Motors äußerlich dem Zylinder einer Dampfmaschine ähnelte.

„Ja, tatsächlich“, bestätigte Lenoir, „er ähnelt einer doppelt wirkenden Dampfmaschine, aber seine Arbeitsweise ist anders. Wenn sich der linke Einlaßschieber öffnet, strömt in die linke Kammer des Zylinders kein Dampf, sondern Leuchtgas; zu diesem Zweck muß das Schwungrad etwas gedreht und der Kolben nach rechts geschoben werden. Hat der Kolben die Hälfte des Weges zurückgelegt, wird der linke Kanal durch den Schieber wieder geschlossen. Jetzt schickt ein elektrischer Zünder einen Funken in das Gas. Das Gas zündet, verbrennt und dehnt sich unter hohem Druck aus. Der Kolben wird durch die Kraft dieses Druckes weiterbewegt.

Am Ende des Kolbenhubes öffnet sich rechts der Eintritts- und links der Austrittskanal. Durch die Trägheit des Schwungrades dreht sich die Welle weiter. Der Kolben bewegt sich dabei von rechts nach links. Nun wird im



Lenoirs „Gasvertilger“

linken Teil des Zylinders das verbrauchte Gas verdrängt und der rechte Teil mit einem neuen Gas-Luft-Gemisch gefüllt. Im rechten Zylinderraum zündet ein Funke; der Vorgang beginnt von neuem.“

Lenoir erläuterte, daß nicht reines Gas in den Zylinder des Motors angesaugt wird, sondern ein Gas-Luft-Gemisch, da die Luft für die Verbrennung benötigt wird. Wie Lenoir annahm, würde der Leuchtgasverbrauch für eine Leistung von 1 PS/h nicht mehr als  $0,5 \text{ m}^3$  betragen.

Die Konstruktion des Motors, wie sie Lenoir beschrieb, erwies sich als ausführbar. Der Gasverbrauch von  $0,5 \text{ m}^3$  für 1 PS/h rief keine Bedenken hervor. Marinoni beschloß, Lenoir zu unterstützen.

So begann im Jahre 1860 die Produktion von Verbrennungsmotoren. Bald, nachdem es Lenoir gelungen war, den Fabrikbesitzer Marinoni für seinen Motor zu interessieren, wurden drei Versuchsmotoren gebaut.

Lenoir war durchaus kein bedeutender Erfinder, aber er studierte sorgfältig und peinlich genau die Fehler seiner Vorgänger. Da er genügend Energie und technisches Geschick besaß, gelang es ihm, einen arbeitsfähigen Motor zu entwickeln.

Die Firma Marinoni machte für den neuen Motor viel Reklame. Eine rege Nachfrage entstand, denn dieser Motor schien für kleine Betriebe aufs beste geeignet, da er nicht so viel Geld kostete und weniger Platz beanspruchte als die Dampfmaschine.

Doch ein Jahr nach dem anderen verging. Praktische Erfahrungen wurden gewonnen. Und diese Erfahrungen sprachen gegen den neuen Motor.

In den technischen Zeitschriften der damaligen Zeit erschienen Artikel, die den neuen Motor anfänglich leicht, dann immer heftiger kritisierten.

„Das ist keine Maschine – das ist ein ‚Gasvertilger‘! An Stelle des angegebenen halben Kubikmeters für eine Pferdestärke in der Stunde verbraucht er ganze drei!“ entrüsteten sich die einen.

„Das soll ein Motor sein? Er braucht zwar keinen Heizer, aber dafür verlangt er soviel Schmieröl, daß ständig ein Schmierer neben ihm stehen und die Ölbuchsen füllen muß. Nein, das ist kein Motor, sondern ein sich drehendes Stück Fett!“ urteilten die anderen.

Tatsächlich hatte der Lenoirmotor einen niedrigen Wirkungsgrad, verbrauchte viel Treibstoff, und seine unvollkommene Konstruktion führte zu einem großen Schmierölverbrauch.

Doch man brauchte dringend einen Verbrennungsmotor. Die Erfinder stellten sich Fragen: Weshalb ist der Lenoirmotor so unvollkommen? Wie muß ein wirtschaftlicher und leistungsfähiger Motor beschaffen sein?

### Kommen Sie in Schopens Laden!

Für den Motor Lenoirs interessierten sich auch lebhaft russische Ingenieure, die ebenfalls an der Vervollkommnung der Wärmekraftmaschinen arbeiteten.

Welche Möglichkeiten eröffneten sich doch einem leichten Verbrennungsmotor in Rußland, einem Land, in dem es so viele kleine Betriebe gab und die verschiedensten Treibstoffe reichlich vorhanden waren!

Deshalb zögerten tatkräftige Kaufleute nicht, einen solchen Motor in den Handel zu bringen. In Petersburger Zeitungen des Jahres 1862 erschien folgende Werbeanzeige:

„Interessenten können die Maschine Lenoirs besichtigen in Schopens Laden in der Großen Seestraße zwischen dem Newski-Prospekt und der Ziegelsteingasse. Die Maschine wird den Besuchern täglich von 2 bis 4 Uhr nachmittags vorgeführt.“

Viele Neugierige gingen in den Laden. Die Maschine lief. Indem sie Gas verbrannte, erzeugte sie mechanische Energie und trieb Arbeitsmaschinen an.

Nachdem sie sich den Motor angesehen hatten, besichtigten die Besucher auch die anderen Maschinen, die in Schopens Laden verkauft wurden, denn Schopen verstand sein Geschäft.

Zu den Besuchern des Ladens gehörte auch der junge Ingenieur Pawel Kusminski. Er beobachtete aufmerksam und geduldig die Arbeitsweise des Motors, studierte seine Eigenschaften und interessierte sich besonders für den Hauptmangel des Motors – den geringen Wirkungsgrad.

Wenn der Motor ansprang, waren seine Außenwände so kalt wie ringsum alle Metallgegenstände. Aber schon kurze Zeit danach durfte man den Motor nicht mehr mit den Händen berühren – so heiß war er.

Kusminski wußte, daß der Motor doppelte Zylinderwände hatte, zwischen denen ununterbrochen Kühlwasser hindurchströmte. Und dennoch erhitze sich der Motor sehr.

Die Verbrennungswärme des Gases wird schlecht genutzt, dachte Kusminski, sie soll doch die Arbeit verrichten, aber nicht Luft erwärmen.

Im Jahre 1862 veröffentlichte Kusminski in der Zeitschrift „Marine-Enzyklopädie“ seine Bemerkungen über die Mängel des Motors von Lenoir. Er schlug vor, im Zylinder des Motors Luft zu verdichten und dann erst den Treibstoff zu verbrennen. Er dachte so: Wenn es gelänge, dem Zylinder auf irgendeinem Weg verdichtete Luft zuzuführen, könnte diese Luft den Kolben treiben. Dabei wird sie die Zylinderwände abkühlen, weil sie bei ihrer Ausdehnung der Umgebung Wärme entzieht. So müßten Gasmotoren arbeiten. Und was geschähe, wenn eine Gasmenge bei Beginn der Verdichtung in den Zylinder strömt und sich entzündet?

Die Verbrennungswärme würde die Luft wieder erhitzen und der Gasdruck sich bei der Ausdehnung nur allmählich senken. Somit könnte er den Kolben bei seinem gesamten Hub mit gleicher Stärke von einer äußersten Stellung zur anderen treiben. Das wäre dann ein Motor, der die Verbrennungswärme richtig ausnutzt und eine größere Leistung aufweist als der Lenoirmotor, der ohne Verdichtung arbeitet.

Der Verfasser Kusminski beschrieb also keine neue Konstruktion, jedoch zeigte er den Ingenieuren einen Weg, der zur Entwicklung eines wirtschaftlicheren Motors führen sollte.

Lenoir hatte nicht entdeckt, worin der Hauptfehler seines Motors lag. Er kannte sich in der Wissenschaft schlecht aus und beachtete nicht jenes Buch, das Sadi Carnot vor fast 40 Jahren veröffentlicht hatte. Wie wir wissen, hatte Carnot darin die wissenschaftlichen Grundlagen für eine Wärmekraftmaschine mit hohem Wirkungsgrad niedergelegt.

### Nikolaus Otto baut den ersten Viertaktmotor

So wie Watt und Boulton durch viel Reklame der Dampfmaschine den Weg gebahnt hatten, so unternahmen auch Lenoir und Marinoni alle Anstrengungen, ihre neue Gasmachine überall bekanntzumachen.

Bereits im Jahre 1860 wurden in der Fabrik Marinoni zehn Lenoirmotoren gebaut, und nach einigen Jahren arbeiteten mehr als dreihundert dieser Maschinen in verschiedenen Ländern Europas. In einer Kölner Zeitung erschien ein lobender Artikel über den neuen Motor. Man sprach über den noch nie dagewesenen Erfolg des Verbrennungsmotors und von den gewaltigen Möglichkeiten, die sich dem Verkehr und der Industrie durch die Verwendung dieses Motors eröffneten. „Das ist das Ende der Dampfmaschine!“ rief der Verfasser dieses Artikels begeistert aus.

Auch der 30jährige Nikolaus Otto las diesen Artikel. Er hatte bisher als Kaufmannsgehilfe, Buchhalter und Kontorist gearbeitet. Doch dieses Büroleben erschien ihm langweilig und ließ keine Entwicklung zu. Er sehnte sich danach, durch eigene Kraft zum Erfolg zu gelangen.

Nachdem er den Artikel über den Lenoirmotor genauer gelesen hatte, ergriff ihn die Idee, derartige Motoren selbst zu bauen, sie zu verbessern.

„Schluß machen muß man mit den Dampfmaschinen – das ist es, woran ich arbeiten werde!“ rief er im Kreise seiner Freunde aus. „Aber wie?“ wunderten sich die Freunde, „du verstehst doch nichts von der Technik?“

Doch Nikolaus Otto beharrte auf seinem Entschluß. Er studierte technische Bücher und machte sich mit der Konstruktion des Lenoirmotors vertraut. Er richtete sich eine kleine Werkstatt ein und baute sich eine kleine Versuchsmaschine. Es war jedoch nicht leicht, die Maschine in Betrieb zu setzen. Erst jetzt begriff Otto, daß zwischen dem Wunsch und seiner Ausführung ein großes Stück Forschungsarbeit liegt.

Bei seinen Versuchen, den Motor in Gang zu bringen, machte Otto schließlich eine interessante Entdeckung. Nachdem er, wie gewöhnlich, begonnen hatte, das Gas-Luft-Gemisch in den Zylinder zu saugen – wobei er das Schwungrad drehen und den Kolben anschieben mußte –, vergaß er, die elektrische Zündung einzuschalten. Er ließ das angesaugte Gemisch im Zylinder, drehte das Schwungrad zurück und verdichtete dadurch das Gas. Dann erst schaltete er die Zündung ein; der Funke zündete das verdichtete Gas, und der Kolben setzte sich stärker als sonst in Bewegung: An Stelle der üblichen zwei bis drei Umdrehungen führte das Schwungrad nach der Verbrennung fast zehn aus.

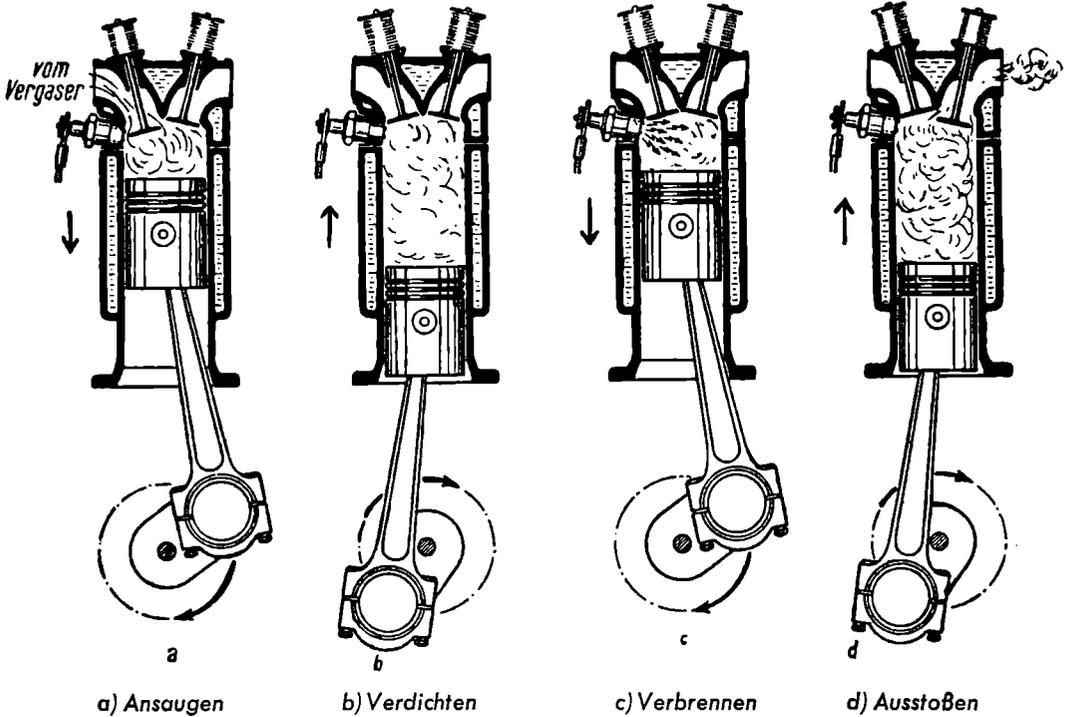
So stieß Otto durch seine unablässigen Versuche auf eine bedeutende technische Entdeckung. Ingenieure, die sich in der Thermodynamik auskannten, hatten sie vorausgesehen, unter anderen auch der russische Ingenieur Kusminski: Das Gas leistet eine größere Arbeit, wenn man es vorher verdichtet.

Im gleichen Jahr wie Kusminskis Artikel, also im Jahre 1862, erschien eine Broschüre des französischen Ingenieurs Beau de Roschas, in der der Vorteil einer vorherigen Verdichtung wissenschaftlich nachgewiesen wurde. Außerdem schlug Beau de Roschas ein praktisches Verfahren zur Ausführung dieser Verdichtung vor; er empfahl, die Arbeit des Motors in vier Phasen durchzuführen:

1. Zuerst wird das Gas-Luft-Gemisch angesaugt, indem der Kolben durch fremde Kraft bewegt wird;
2. durch besondere Ventile werden dann die Ansaugöffnungen geschlossen. Jetzt bewegt sich der Kolben entgegengesetzt und verdichtet das Arbeitsgemisch;
3. wenn der Kolben die äußerste Stellung erreicht hat, wird das Gas-Luft-Gemisch durch einen elektrischen Funken gezündet und verbrennt. Die dabei entstehende Wärme erhöht den Gasdruck. Durch den Druck der sich ausdehnenden Gase legt der Kolben den ganzen Weg zurück und gelangt in die andere entgegengesetzte Stellung. Nun hat der Kolben seinen Arbeitshub ausgeführt und die Welle mit dem Schwungrad gedreht;
4. jetzt sind die Auspufföffnungen im Zylinder geöffnet, damit die verbrauchten Gase nach außen dringen können. Die Rückstände schiebt der Kolben hinaus, da das kreisende Schwungrad den Kolben wieder nach oben bewegt.

Diese vier Phasen sollen sich in derselben Reihenfolge ununterbrochen wiederholen, aber ohne menschliche Hilfe. Dabei wird die Trägheit des Schwungrads ausgenutzt.

### Arbeitsweise des Viertakters



Allem Anschein nach wußte Otto von dem Vorschlag Kusminskis nichts. Hatte er das Büchlein von Beau de Roschas gelesen? Auf jeden Fall arbeitete sein Motor, den er gemeinsam mit dem Ingenieur Langen baute, in vier einzelnen Phasen oder, wie man heute sagt, in vier Takten.

Der neue Viertakt-Gasmotor von Otto und Langen war erstmalig auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1878 zu sehen.

Über fünfzehn Jahre waren seit der Zeit vergangen, als sich der Kontorist Otto für Motoren zu begeistern begann. Während dieser Zeit brachte er es, nachdem er den wohlhabenden Ingenieur Langen als Mitarbeiter gewonnen hatte, zum Fabrikbesitzer, und ihr Motor wurde 1878 unter Ausnutzung aller damals vorhandenen technischen Möglichkeiten hergestellt. Er entwickelte eine Leistung von 4 PS. Als Treibstoff diente Leuchtgas.

Wie war nun dieser erste Viertaktmotor beschaffen?

Auf einem massiven Fundament ruhte eine Platte, an der ein Zylinder befestigt war. Rechts in den Lagern drehte sich die Kurbelwelle mit dem

Schwungrad. Der Kolben war durch ein Pleuel mit der Kurbelwelle verbunden, auf der ein konisches Zahnrad saß, das ein zweites Zahnrad drehte. Das zweite Zahnrad war mit einer kleinen, bis zum Zylinderdeckel führenden Welle verbunden. Diese kleine Welle, die sich halb so schnell wie die Kurbelwelle drehte, öffnete mit Hilfe eines Schiebers bald die Ansaug-, bald die Auspufföffnungen im Zylinderdeckel.

Der Motor arbeitete auf der Pariser Weltausstellung und rief gewaltiges Interesse hervor. Das war verständlich, denn während der Motor Lenoirs einen Wirkungsgrad von 3 bis 4 Prozent aufwies, wurden hier bereits 12 bis 14 Prozent der Verbrennungswärme in mechanische Arbeit umgesetzt! Auch der Gasverbrauch war viel geringer. Erst jetzt verbrauchte der Motor nur 0,5 m<sup>3</sup> Gas für 1 PS/h. Er fand schnelle Verbreitung. Der Patentinhaber Otto und sein Teilhaber Langen wurden mit Aufträgen überhäuft.

Da verklagten die französischen Erben de Roschas Otto gerichtlich.

Die Tatsachen schienen offensichtlich; das Gericht erkannte als richtig an, daß der französische Ingenieur als erster den Viertaktprozeß vorgeschlagen hatte. Das deutsche Patent Ottos wurde für ungültig erklärt. Dadurch wurde dem Viertaktmotor der Weg gebahnt, denn überall konnte man nun ohne Umstände diesen Motortyp nachbauen.

Es ist übrigens nicht anzunehmen, daß Otto die Schrift de Roschas gekannt hat. Die Nachwelt ehrt diesen bedeutenden deutschen Erfinder, indem sie einen großen Teil aller Verbrennungskraftmaschinen „Ottomotoren“ nennt.

### Der russische Kapitän Kostowitsch und sein Motor

Der 27. Dezember 1879, an dem die sechste Sitzung der Naturforscher in Petersburg stattfand, war ein großer Tag.

Der hervorragende russische Gelehrte Dmitri Iwanowitsch Mendelejew hielt einen Vortrag „Vom Widerstand des Mediums“.

Nach dem Vortrag umringte eine Gruppe junger Anhänger der Luftschiffahrt den Professor, denn es gab noch viele wichtige Einzelheiten zu klären, die in dem kurzen Vortrag nicht ausführlich behandelt werden konnten. Dmitri Iwanowitsch, selbst von dem Gedanken der Luftschiffahrt begeistert, teilte gern seine Kenntnisse mit. Die Gespräche wurden auf der Straße fortgesetzt – alle gingen mit in die Wohnung des Leutnants Spizyn. Hier sollte die erste Versammlung der zukünftigen Gesellschaft der Luftschiffer stattfinden.

Alle kannten Leutnant Spizyn. Bereits neun Jahre arbeitete er am Bau eines Flugapparates. Seine Wohnung war Museum und Werkstatt zugleich. Hier konnte man ausgestopfte Bälge der verschiedensten Vögel, moderne gigantische Flügel und sinnreiche Maschinen sehen, mit deren Hilfe Flügel mit geringen Anstrengungen sehr komplizierte Bewegungen ausführten.

Der Hausherr nahm sich der Gäste freundlich an, und sofort entbrannten hitzige Wortgefechte um die Flugapparate.

„Nun, was ist das schon“, ereiferte sich der Kapitän Ognestaw Kostowitsch, der bereits ein bekannter Erfinder war, „mit diesen Flügelchen wirst du nicht weit fliegen!“

„Doch auch mit deinen Ballons fliegst du nicht weg, jedenfalls nicht dorthin, wohin du möchtest“, entgegnete lächelnd Leutnant Spizyn. Mendelejew unterstützte jedoch den Kapitän Kostowitsch.

„Nun los, Ognestaw Stefanowitsch, berichtet ihnen davon, was ihr euch ausgedacht habt. Meine Herren! Ich bitte Sie, aufmerksam den Mitteilungen Kapitän Kostowitschs zu lauschen – sein Luftschiff nimmt auf dem Gebiet der Luftschiffahrt den ersten Platz ein.“

Die Anwesenden hörten mit Interesse zu. Kapitän Kostowitsch öffnete die Aktentasche und, nachdem er die Zeichnungen ausgebreitet hatte, erläuterte ausführlich seinen Entwurf eines lenkbaren Luftschiffes.

Es war ein interessantes Projekt. Er schlug ein Luftschiff vor, das mit einem leichten Verbrennungsmotor ausgerüstet werden sollte.

Doch mit dem Gasmotor Ottos war Kostowitsch nicht gedient, da man für diesen Motor Gasvorräte mit an Bord des Luftschiffes nehmen mußte. Die dafür erforderlichen Ballons würden viel Raum beanspruchen. Kostowitsch hatte für sein Luftschiff einen Verbrennungsmotor vorgesehen, der mit flüssigem Treibstoff arbeiten sollte.

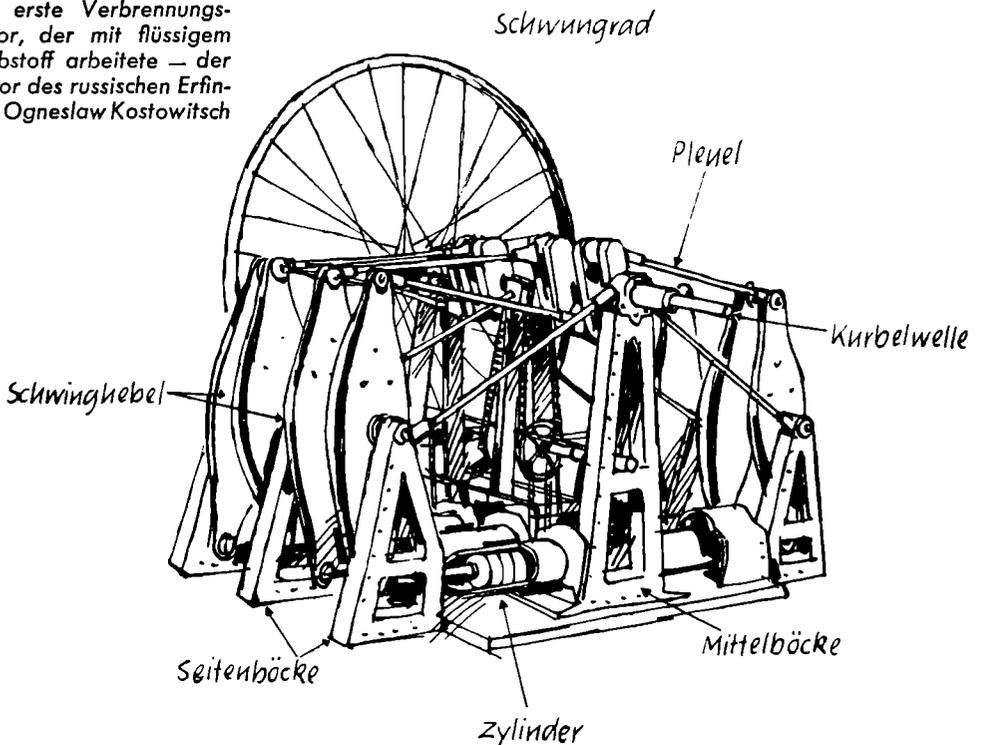
Das war keine ganz neue Idee. Schon Lenoir hatte im Jahre 1863 einen leichten Benzinmotor gebaut, der eine Leistung von 1,5 PS entwickelte. Lenoir trieb mit diesem Motor einen leichten Wagen an.

Die gleiche Idee hatte der Wiener Mechaniker Siegfried Marcus. Er vollendete 1875 einen Benzinmotor, den er ebenfalls in einen Wagen setzte.

Aber nun sollte ein ähnlicher Motor für die Luftfahrt verwendet werden.

Einem Aufruf Mendelejews und anderer Wissenschaftler zufolge, hießen viele fortschrittliche Menschen Rußlands den Plan Kostowitschs gut. Die notwendigen Mittel wurden durch eine Sammlung aufgebracht, und im Jahre 1882 begann Kostowitsch auf der Ochtensker Werft in Petersburg mit dem Bau seines Luftschiffes und vor allem mit dem Bau des vorgesehenen Motors. Kostowitsch wußte, daß er einen leichten, aber leistungsfähigen Motor herstellen mußte, wenn sein Plan gelingen sollte.

Der erste Verbrennungsmotor, der mit flüssigem Treibstoff arbeitete — der Motor des russischen Erfinders Ognjeslaw Kostowitsch



Bald erkannte man, daß die Erfindung Kostowitschs demjenigen riesigen Gewinn bringen könnte, der sie als erster besaß. Deshalb boten ihm ausländische Unternehmer an, das Luftschiff im Ausland zu bauen. Doch der Patriot Kostowitsch erklärte in der Presse, daß „das Luftschiff aus inländischem Material und von den Händen russischer Arbeiter gebaut wird“.

Im Jahre 1884 wurde der Motor Kostowitschs gebaut, und im Jahre 1885 verliefen die Prüfungen erfolgreich.

Wir wollen uns nun mit diesem Motor bekannt machen. Als Fundament dient eine Platte, an der neun genietete Lagerböcke befestigt sind. Drei davon, die höchsten, befinden sich in der Mitte, und links und rechts sind je drei kleinere Lagerböcke montiert. In diesen Lagerböcken laufen drei Wellen, die äußeren sind gerade, aber die mittlere, die Kurbelwelle, besitzt vier Nocken. An ihrem Ende sitzt ein großes Speichenrad, das als Schwungrad dient. Auf den geraden Wellen bewegen sich auf jeder Seite vier Schwinghebel. Die oberen Enden der Schwinghebel sind durch Pleuel mit

der Kurbelwelle verbunden. Von den unteren Enden der Schwinghebel führen zu den Zylinderkolben ebenfalls Pleuel. Doch wo sind die Zylinder? Die rohrähnlichen Zylinder liegen unten auf der Platte. Jeder Zylinder besitzt zwei Kolben, einen linken und einen rechten.

Doch wie arbeiten die Kolben? Wenn sich beide Kolben aufeinander zu bewegen, verdichten sie das zwischen ihnen eingeschlossene Gas. Dann wird das Gas durch einen elektrischen Funken entzündet, der Druck nimmt zu, und die Kraft dieses Druckes treibt beide Kolben auseinander. Nach diesem Arbeitshub beginnt das Auspuffen, indem sich die beiden Kolben wieder nähern und die verbrauchten Gase durch ein automatisch angetriebenes Auspuffventil hinauschieben. Danach trennen sich die Kolben wieder. Doch jetzt wird das Ansaugventil wieder geöffnet, und der Raum zwischen den beiden Kolben füllt sich mit frischem Brennstoffgemisch.

Wie wir wissen, setzte sich dieses Arbeitsgemisch nicht aus Luft und Leuchtgas zusammen, sondern aus Luft und Benzindämpfen.

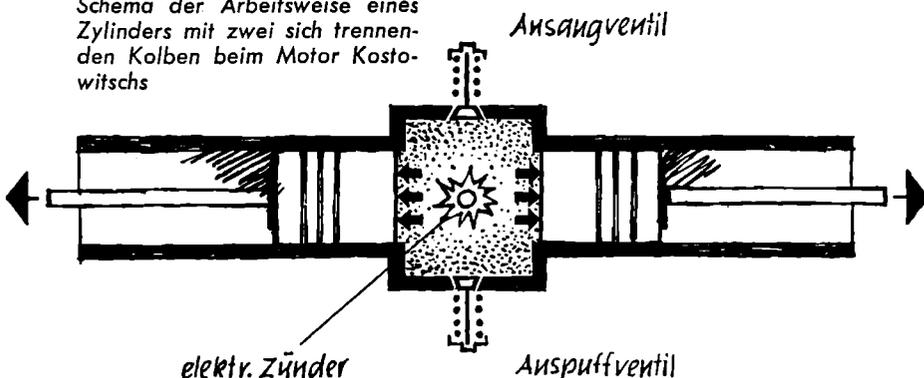
Doch woher kamen die Benzindämpfe? Im Vergaser, den sich Kostowitsch ausdachte, wurde flüssiges Benzin verdampft. Diese Dämpfe vermischten sich mit der Luft, die durch das Einlaßventil des Zylinders einströmte.

Für seinen kleinen Motor brauchte Kostowitsch nur einen kleinen Benzintank im Luftschiff unterzubringen, der für einen kurzen Flug genügte.

Im Jahre 1885 wurde der Motor erprobt. Er war überraschend leicht, wog nur 240 kg, entwickelte aber eine Leistung von 80 PS. Das war für die damalige Zeit unerhört. Gerade einen solchen leichten und leistungsfähigen Motor benötigte man in der Luftschiffahrt.

Es gelang jedoch Kostowitsch nicht – wie so vielen anderen russischen Erfindern –, das begonnene Werk zu Ende zu führen. Die Mittel versiegten, die zaristische Regierung versagte die Unterstützung, und dann kam noch ein Brand hinzu, der das ganze Werk des Erfinders vernichtete. Nur der Motor, der in einem anderen Gebäude aufbewahrt wurde, blieb unversehrt. Heute befindet sich dieser Motor im Hause der Luftfahrt „M. W. Frunse“ in Moskau. Die Verdienste Kostowitschs wurden von den sowjetischen Technikern nicht vergessen.

Schema der Arbeitsweise eines Zylinders mit zwei sich trennenden Kolben beim Motor Kostowitschs



## Daimlers Motorwagen

In diese Zeit fallen auch die ersten Versuche, einen Verbrennungsmotor, der mit flüssigem Treibstoff arbeitet, für den Einbau in Landfahrzeuge zu entwickeln.

Im Jahre 1882 geriet Otto mit einem der Ingenieure seiner Fabrik in Streit, und zwar mit dem befähigten Konstrukteur Daimler, der über ein umfangreiches Wissen verfügte.

Der Ingenieur Daimler wollte einen Viertaktmotor für Kutschen entwickeln. Er war von der Idee eines selbstfahrenden Wagens begeistert. Wie könnte man den schienenlosen Verkehr verbessern, dachte Daimler, wenn man an Stelle von Pferden einen Motor an den Wagen spannte!

Otto jedoch wollte sich mit nichts anderem als mit der Vervollkommnung seines Motors beschäftigen. So verließ Daimler die Fabrik Ottos und eröffnete gemeinsam mit seinem Freund, dem Ingenieur Maybach, eine Werkstatt.

Zu dieser Zeit durchzogen bereits Eisenbahnschienen die ganze Welt. Man hatte versucht, die Dampfmaschine nach dem Vorbild der Lokomotive auch für den schienenlosen Verkehr zu verwenden – Dampfautos wurden gebaut. Doch das waren umständliche und ungeeignete Fahrzeuge, die keine weitere Entwicklung erfuhr.

Der Motor selbst und der Kraftstoff für ihn müssen so wenig Platz wie möglich beanspruchen, dachte Daimler. So reifte in ihm die Idee, einen Benzinmotor zu bauen.

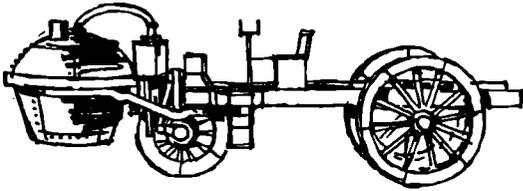
Erst im Jahre 1883 gelang es ihm, einen einzylindrigen Versuchsmotor zu bauen, den er mit einem Vergaser ausstattete. Einen Motor aber, der sich für den Einbau in Fahrzeuge eignete, bauten Daimler und Maybach dann im Jahre 1885.

Dieser Motor entwickelte eine Leistung von insgesamt 12 PS, und auf jede Pferdestärke entfiel ein Gewicht von 25 kg.

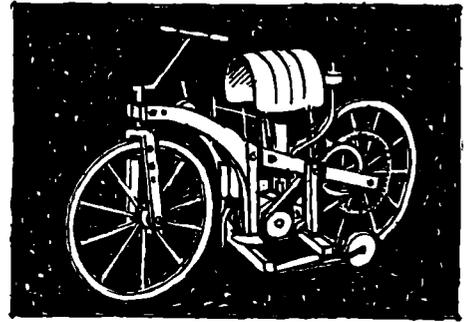
Im November 1885 ratterte ein Fahrzeug, das mit dem Motor Daimlers versehen war, mit eigener Kraft durch den Garten, der die Werkstatt umgab. Das war die erste Probefahrt eines Automobils.

Später wurde eine Geschwindigkeit von 18 km/h erreicht – das überschritt die Geschwindigkeit eines Fußgängers bereits drei- bis viermal.

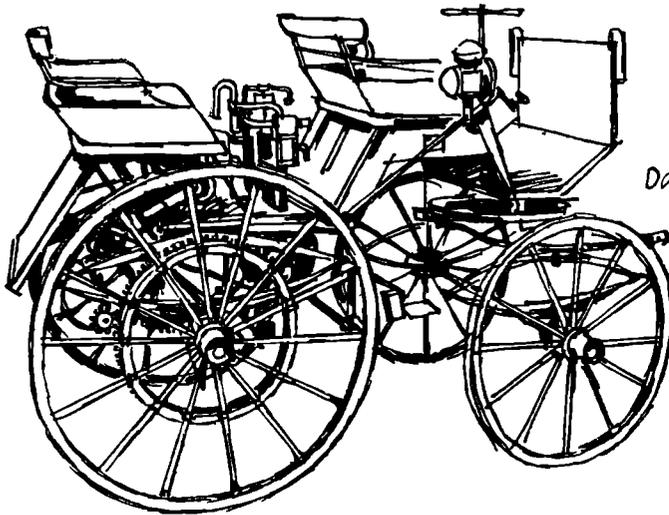
Inzwischen war die Welt noch um eine weitere bedeutende Erfindung reicher geworden. Im Jahre 1815 hatte Karl Friedrich Drais aus Sauerbronn



*Cugnots Dampfwagen 1769*



*Motorrad 1885*



*Daimlers Motorwagen 1886*

ein Laufrad vorgeführt, aus dem in den folgenden 50 Jahren das Fahrrad entwickelt wurde. Daimler kam dann auf den Gedanken, dieses Fahrzeug ebenfalls durch Motorkraft anzutreiben.

Er baute ein hölzernes Zweirad und rüstete es mit einem Benzin-Ottomotor aus. Der Motor vollbrachte 900 Umdrehungen in der Minute und leistete 0,5 PS. So wurde im Jahre 1885 das Motorrad geboren.

Der Verbrennungsmotor hatte sich damit bereits im letzten Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts seine weitesten Verwendungsgebiete erschlossen: den Landverkehr und die Luftfahrt.

## Der Glühkopfmotor

Der leichte Verbrennungsmotor, der mit flüssigem Treibstoff arbeitet, machte die Besitzer der Kohlenschächte nervös.

Der Gasmotor hatte sie nicht beunruhigt: Um Gas zu erzeugen, benötigte man Kohle oder Torf. Doch der Motor für flüssigen Treibstoff schien den Grubenbesitzern gefährlich. Wenn man diesen Motor nicht nur für Autos, sondern auch in der Industrie in Fabriken, Mühlen und Kraftwerken einsetzen würde! Da könnten sich die Herren der Ölquellen die Hände reiben, aber für die Kohleindustrie wäre das der Ruin. So urteilten die Kohlenkönige.

Mit anderen Augen sahen die Ölkönige dieser Entwicklung entgegen. Sie waren sogar bereit, diejenigen Erfinder zu unterstützen, die an der Verbesserung des Verbrennungsmotors für flüssigen Treibstoff arbeiteten.

Es gab viele Projekte für Viertaktmotoren, die nicht nur mit Benzin arbeiteten, sondern auch mit billigerem Treibstoff, und zwar mit Kerosin und sogar mit Rohöl. Unter allen Motoren dieser Art verwendete man damals die sogenannten Glühkopfmotoren am häufigsten.

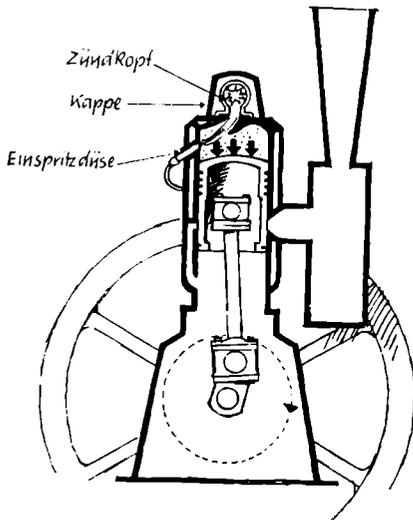
Wir wollen uns diesen Motor näher ansehen. Der Glühkopfmotor besitzt einen Zylinder mit Kolben und eine Kurbelwelle mit Schwungrad. Die ersten Glühkopfmotoren arbeiteten, wie auch die Gas- und Benzinmotoren, in vier Takten.

Aber in den Zylinder wurde kein Gas-Luft-Gemisch gesaugt, sondern lediglich Luft. Der Oberteil des Zylinders war mit einer großen Hohlkugel verbunden, dem Glühkopf. Dieser Glühkopf mußte vor dem Anlassen des Motors mit einer Lötlampe bis zur Rotglut erhitzt werden. Im Oberteil des Zylinders, unmittelbar unter dem Glühkopf, befand sich eine Zerstäuberdüse, durch die der Kraftstoff eingespritzt wurde.

Wie arbeitete dieser Motor?

Zunächst mußte man das Schwungrad drehen, damit der Kolben Luft ansaugen und bei seiner Aufwärtsbewegung verdichten konnte. Während sich der Kolben der oberen Stellung näherte, wurde automatisch eine bestimmte Treibstoffmenge eingespritzt. Der Treibstoff fiel auf die Oberfläche des Glühkopfes, verdampfte und entzündete sich beim Herannahen des Kolbens.

Nun vollzog sich der Arbeitshub, dem der letzte Takt, das Ausschleiben der verbrannten Gase, folgte.



Glühkopfmotor

Dadurch brauchte man weder einen Vergaser noch einen elektrischen Zündfunken. Da der Glühkopf nicht mit Wasser gekühlt wurde, blieb er, solange der Motor arbeitete, stark erhitzt.

Welche Vorteile besaß der Glühkopfmotor?

Seine Konstruktion war sehr einfach, und er konnte leicht hergestellt werden: Keine hochentwickelten Arbeitsmaschinen, keine großen Produktionsbetriebe wurden benötigt. Der Motor stellte keine besonderen Ansprüche an den Treibstoff, es ließ sich das billigste Öl verwenden. Wenn dieser Motor auch keine großen Leistungen entwickelte, genügte er vollauf für kleine Betriebe. Wohl dauerte das Anwerfen des Glühkopfmotors ziemlich lange, aber dafür waren Bedienung und Wartung sehr einfach. Das unbequeme Anwerfen und sein Gewicht machten es jedoch unmöglich, ihn für Autos zu verwenden, das Erhitzen des Glühkopfs nahm viel Zeit in Anspruch, doch der größte Mangel war seine Gefräßigkeit. Hatte man den Motor Lenoirs „Gasvertilger“ genannt, so konnte man die Glühkopfmotoren als „Ölvertilger“ bezeichnen.

Das ließ auf einen sehr unvollkommenen Verbrennungsprozeß des Treibstoffs schließen. Ein bedeutender Teil der Verbrennungswärme blieb ungenutzt.

Es war unmöglich, einen Glühkopfmotor mit so großer Leistung zu bauen, daß er mit der Dampfmaschine konkurrieren konnte. Im allgemeinen baute man Glühkopfmotoren nämlich nur mit Leistungen von 5 bis zu 120 PS.

Der schwedische Ingenieur Ericsson, einer der ersten Hersteller dieses Motors, baute einen Glühkopfmotor mit einer Leistung von 60 PS. Es gelang ihm also, einen für damalige Verhältnisse leistungsfähigen Motor herzustellen. Man stattete mit diesem Motor ein Schiff aus, aber nach einem



Rudolf Diesel

Jahr ersetzte man den Glühkopfmotor durch eine gewöhnliche Dampfmaschine, denn er mußte allzu häufig repariert werden. Obwohl also viele Motoren für flüssigen Treibstoff auftauchten – Benzin-, Kerosin- und Ölmotoren –, konnten die „Kohlenkönige“ doch beruhigt schlafen, denn die großen Fabriken, die leistungsfähigen Kraftwerke, die Hochsee- und Binnenschiffe benutzten nach wie vor Dampfmaschinen oder Dampfturbinen und verbrauchten somit große Kohlemengen.

### Das Schicksal Diesels und der Dieselmotoren

Im Jahre 1893 wurde in der ganzen Welt eine Broschüre gelesen, die der Feder des deutschen Ingenieurs Rudolf Diesel entstammte. Sie trug den sensationellen Titel „Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Kraftmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren“.

Dieser Titel veranlaßte jeden Ingenieur und technisch interessierten Menschen, die Broschüre zu studieren. Was für einen bewundernswerten Motor mochte sich der Verfasser ausgedacht haben?

Der tatkräftige und energische Verfasser mußte so vorgehen, denn es kannte ihn noch niemand. Er hatte seine Idee am 28. Februar 1892 patentieren lassen, aber sie war bisher nicht verwirklicht.

Diesels Idee war umwälzend. Sie zog sofort die Aufmerksamkeit auf sich, und der Name Diesel wurde in allen Zeitungen und Zeitschriften erwähnt. Worin bestand die Idee, und wodurch war Diesel auf sie gestoßen?

Schon 14 Jahre zuvor, als er noch Student war und das Münchener Polytechnikum besuchte, keimten die ersten Gedanken zu seinem späteren Lebenswerk. Damals hörte er bei dem berühmten Professor Linde, dem Erfinder der Kältemaschine, Vorlesungen über Thermodynamik.

Der Professor sprach über die Dampfmaschine und erklärte, sie sei ein verschwenderisches, Kohle fressendes Ungetüm, da sie nur 6 bis höchstens 10 Prozent der Verbrennungswärme in Nutzarbeit umwandle.

Der junge Diesel notierte damals an den Rand seines Kollegheftes, daß er die Möglichkeiten studieren wolle, um eine wirtschaftlichere Wärmekraftmaschine zu finden.

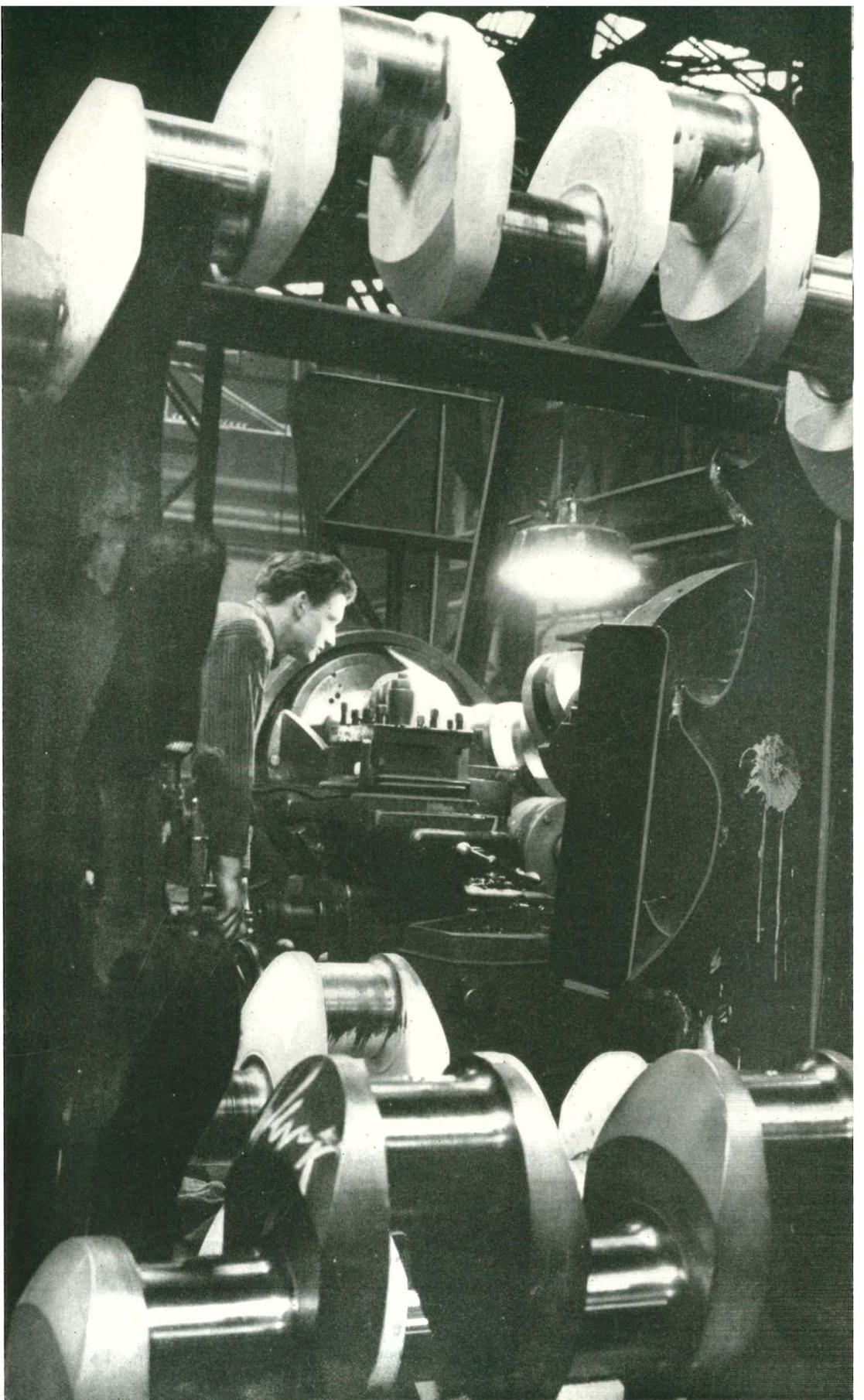
Mit dieser Notiz begann Diesels Forschungsarbeit. Sie sollte sein ganzes Leben ausfüllen und zu einer der bedeutendsten Erfindungen der Neuzeit führen: dem Dieselmotor.

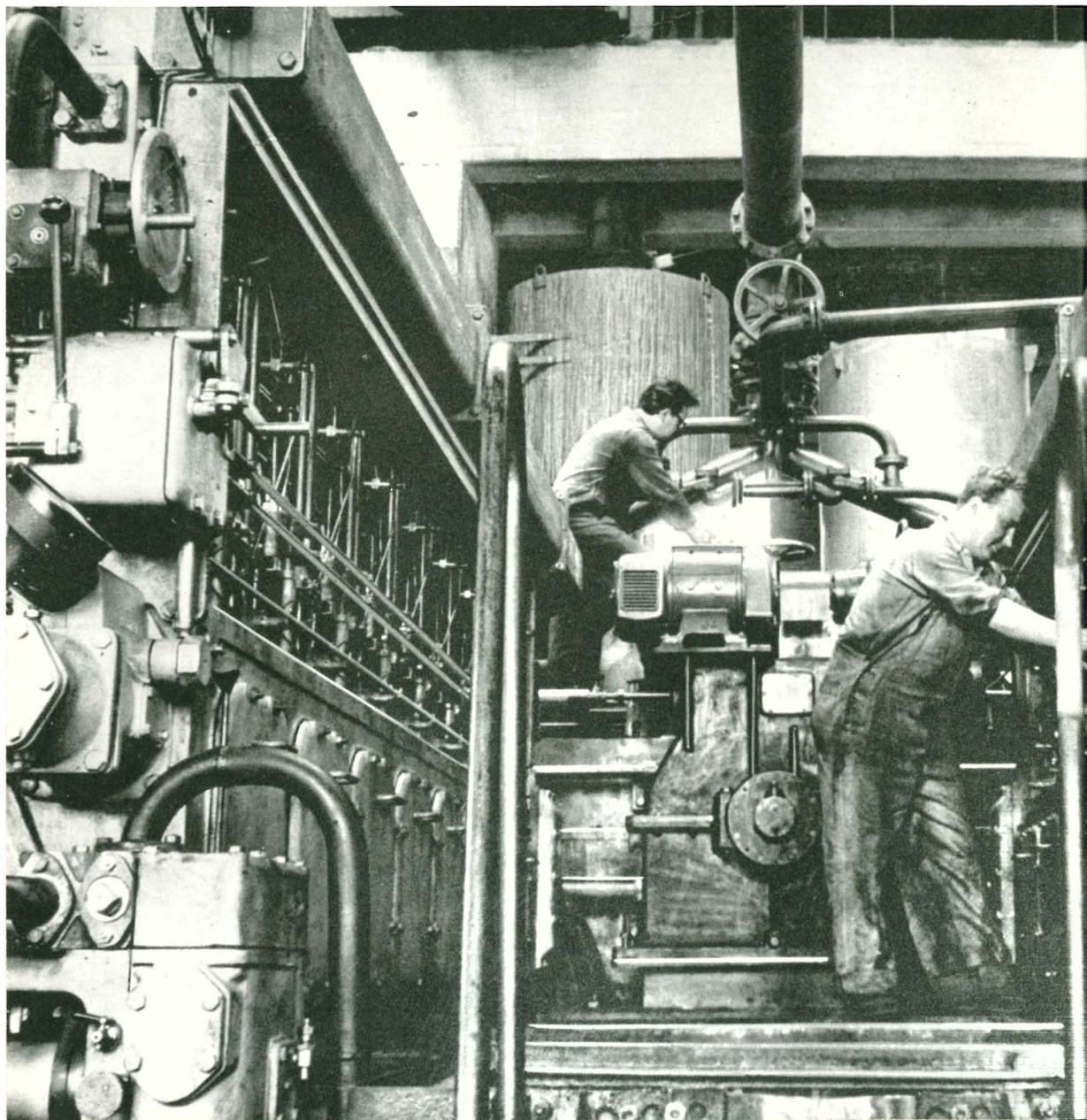
Diesel wußte, wie sich Sadi Carnot die Arbeit einer Wärmekraftmaschine gedacht hatte, bei der die größte Wärmemenge ausgenutzt würde. Deshalb folgerte er: Die Dampfmaschine nutzt die Wärme schlecht aus, weil der Brennstoff im Kessel verbrannt wird, viel Wärme mit den Abgasen entweicht und in den Leitungsrohren auf dem Weg zur Maschine verlorenght. Der Verbrennungsmotor hatte keinen Kessel, und trotzdem wurden im Gasmotor Lenoirs nur 3 bis 4 Prozent der Wärme genutzt. Besser verhielt es sich beim Ottomotor. Durch das Viertaktverfahren und vor allem durch die Verdichtung des Gases wurde der Wirkungsgrad vervierfacht: Er stieg auf 12 bis 14 Prozent.

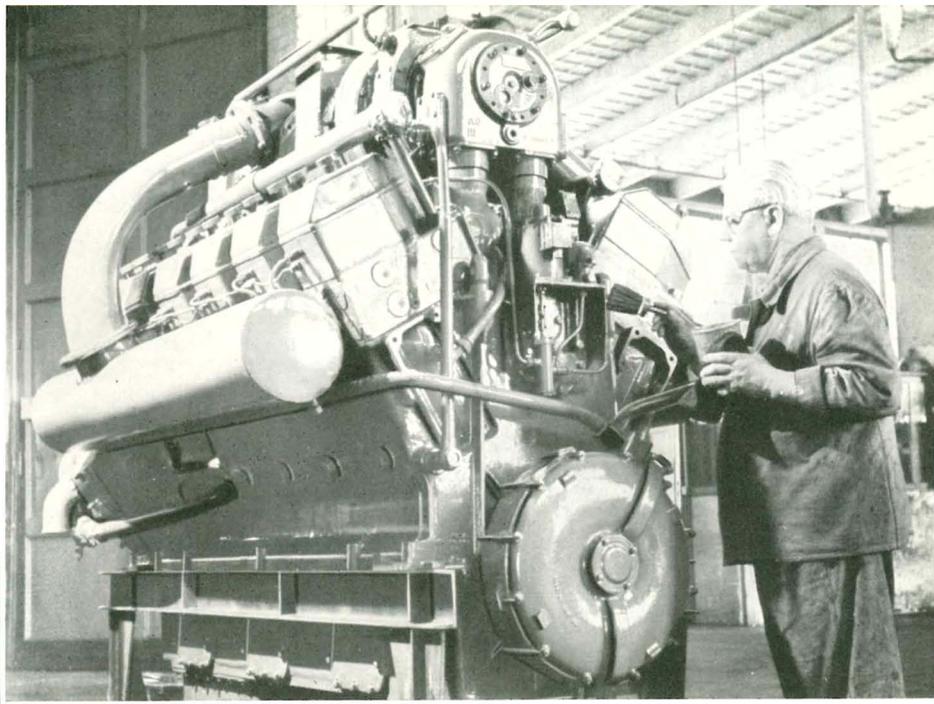
War das die Grenze? Sollte man nicht einen Motor bauen, der so arbeitet, wie es Carnot vorgeschlagen hatte, also nach dem Carnotschen Kreisprozeß? Dann könnte zwar immer noch nicht die gesamte Wärme, aber ein bedeutend größerer Teil als bisher genutzt werden.

Aber wie ließ sich dieser Kreisprozeß verwirklichen? Wie mußte der Motor beschaffen sein? Welches Gas sollte man als Energieträger verwenden?

Diesel dachte: In den Zylinder muß atmosphärische Luft angesaugt werden. Diese Luft ist sehr stark zu verdichten, wobei sie sich auf eine hohe Tempe-

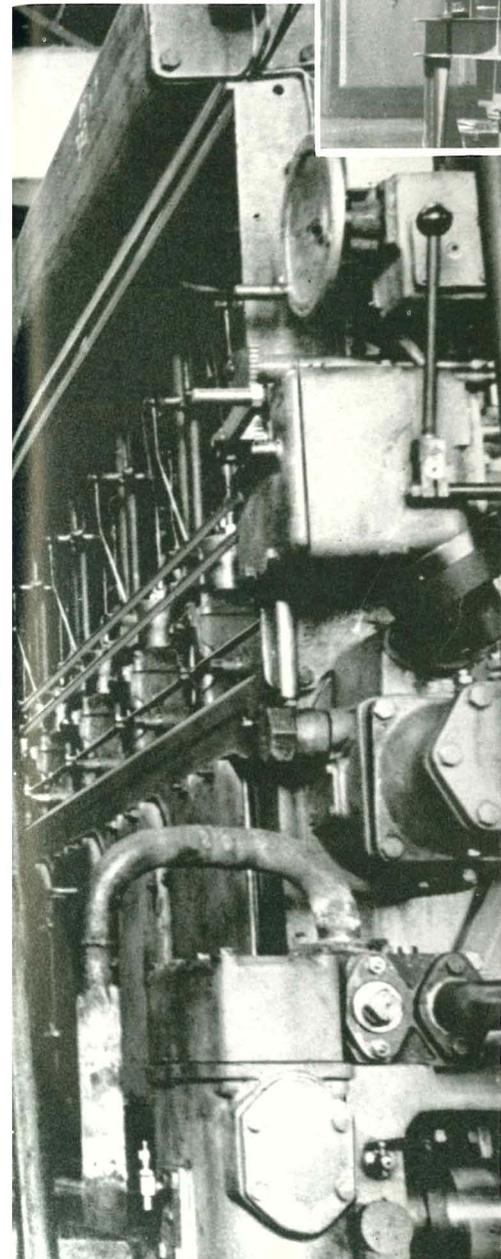




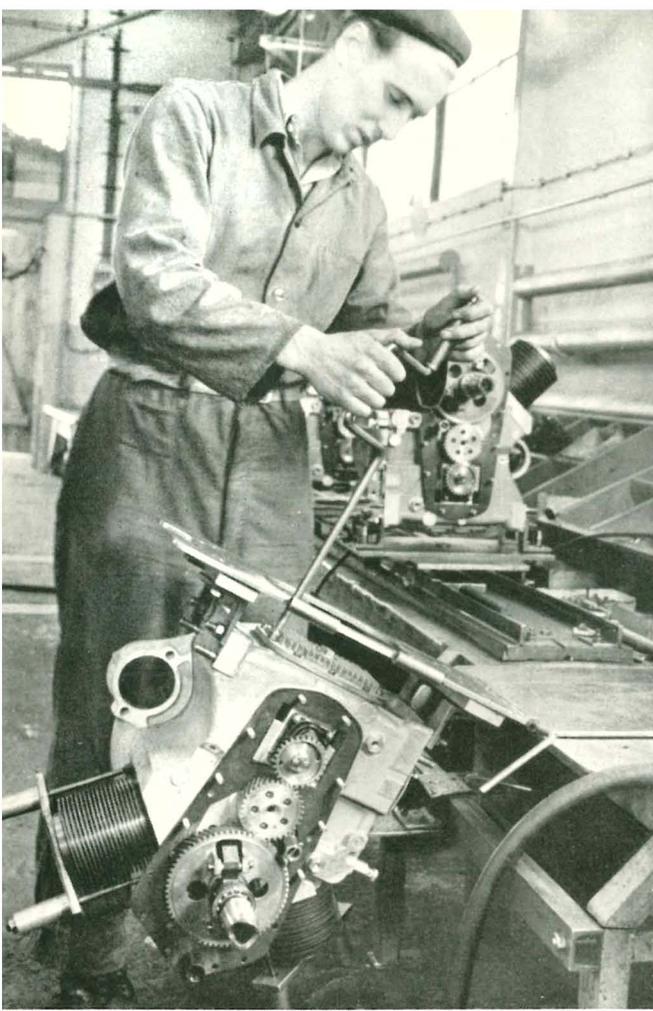


Ein 900-PS-Dieselmotor für die Diesellok V 180, die über jeweils zwei solcher Motore verfügt.

Entwickelt wurde dieser Motor von den Kollegen des volkseigenen Motorenwerkes in Berlin-Johannisthal

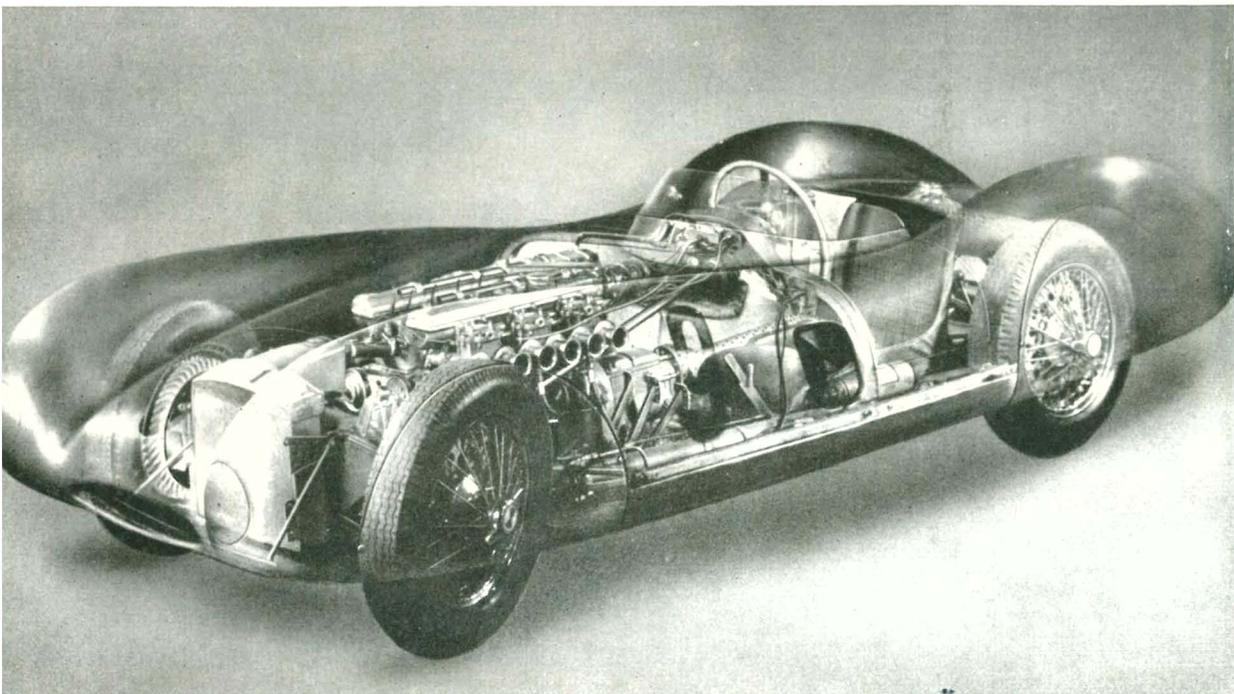


Von diesen beiden gigantischen Dieselmotoren wird über ein Spezialgetriebe eine Schiffswelle angetrieben.  
Leistung: 2x1000 PS



Das ist der Motor des berühmten Geräteträgers RS 09

Mit Röntgenaugen gesehen:  
Ein 1,5-Liter-Rennsportwagen  
aus Eisenach



ratur erhitzt. Wenn in den Ottomotoren die Verdichtung 10 bis 12 Atmosphären beträgt, so muß die Luft in meinem Motor bis zu 250 Atmosphären verdichtet werden.

In die stark erhitzte Luft soll dann, wenn der Kolben seinen oberen Totpunkt überschreitet, allmählich eine geringe Menge fester oder flüssiger Treibstoff in zerstäubter Form zugeführt werden. In der erhitzten Luft entzündet sich die erste Portion Treibstoff und verbrennt langsam (im Gegensatz zur Verbrennung im Ottomotor). Die Temperatur darf sich nicht erhöhen, solange Treibstoff zugeführt wird.

Der Kolben wird etwas nach unten geschoben, da das Gas sich ausdehnt. Die nun einsetzende Verringerung des Druckes wird durch die zugeführte Wärme aufgehalten, und das Gas verfügt noch über ausreichende Kraft, den Kolben anzutreiben.

Das war die isotherme Ausdehnung, wie sie Carnot empfohlen hatte.

Nachdem die Treibstoffzufuhr beendet war, sollte sich das Gas adiabatisch ausdehnen. Die Wärme sollte also von den Wänden nicht abgeleitet werden, so daß der Gasdruck genügend groß ist, um solange nützliche Arbeit zu leisten, bis der Kolben die tiefste Stellung erreicht hat.

Es war nicht möglich, den Motor so auszuführen, wie ihn Carnot beschrieben hatte. Da es notwendig war, die verbrauchten Gase zu entfernen, wurde ein Auspufftakt benötigt. Außerdem mußte mit einem Ansaugtakt Frischluft angesaugt werden. Erst dann durfte die Verdichtung wieder beginnen. Auf diese Weise war es praktisch unmöglich, ohne Temperaturverlust zu arbeiten, wie es Carnot vorgeschwebt hatte. Man konnte die Frischluft nur sehr schnell bis zu einem hohen Druck verdichten und annehmen, daß hierbei die gesamte, für die Verdichtung aufgewandte Arbeit zur Erwärmung der Luft diene, ohne daß ein Wärmeaustausch erfolgte.

Ein derartig beschaffener Motor würde nicht nach dem Carnotschen Kreisprozeß arbeiten, aber ihm schon bedeutend näherkommen. Der Wirkungsgrad dieses Motors mußte jedoch höher als bei den bisher entwickelten Motoren sein. Das waren die Gedanken, die Diesel in seiner Broschüre niedergelegt hatte.

Rudolf Diesel wagte es als erster, einen Motor nach dem Carnotschen Kreisprinzip zu bauen. Doch es war schwierig für ihn, Fabrikbesitzer zu finden, die für den Bau seines Motors Geld zur Verfügung stellten. War das nicht ein Unternehmen, das sich nur auf Bücherweisheit stützte? Ließ sich denn wirklich ein derartiger Motor herstellen? So fragten sich die Fabrikbesitzer. Endlich, nach vielen vergeblichen Anstrengungen, konnte Diesel die Direktion einer Maschinenfabrik in Augsburg und die Firma Krupp in Essen davon überzeugen, daß sein Unternehmen einen Versuch wert sei.

Nun gingen Diesel und seine Mitarbeiter in einem Laboratorium der Augsburger Maschinenwerke an den Bau des neuen Motors.

Diesels erster Entwurf sah einen Motor nach dem üblichen Viertaktverfahren vor. Zunächst wollte der Erfinder festen Treibstoff, und zwar Kohlenstaub, verwenden. Im Unterschied zum Gasmotor mußte der Treibstoff nach der Verdichtung der Luft allmählich ins Innere des Zylinders eingeführt werden. An Stelle der Zündung durch einen elektrischen Funken trat die Selbstzündung des Treibstoffes in der erhitzten Luft.

Im Jahre 1893 wurde der erste einzylindrige Versuchsmotor gebaut.

Bald hatte sich erwiesen, daß mit Kohlenstaub nichts zu erreichen ist, da während der Zeit, die für die Verbrennung vorgesehen war, nur ein Sechstel der vorgesehenen Staubmenge zugeführt werden konnte. Außerdem war die Zubereitung des feinen Kohlenstaubes und das Einblasen in den Zylinder schwierig und mit bedeutendem Verbrauch verbunden.

So sehr sich auch Diesel und seine Mitarbeiter abmühten, sie brachten nicht die gewünschte hohe Verdichtung im Zylinder zustande. An Stelle der vorgesehenen 250 Atmosphären wurden nur bis zu 34 Atmosphären erreicht, und auch das nur mit großer Mühe. Aber schon bei diesem Druck erhitzte sich die Luft auf etwa 800° C.

Nachdem sich Diesel damit abgefunden hatte, daß er keine größere Verdichtung erreichen konnte, entschloß er sich, bei diesem Verdichtungsgrad flüssigen Treibstoff zu benutzen.

Und so wurde einmal Benzin in den Zylinder gespritzt.

Ein Donnerschlag ertönte, und ein Hahn samt Manometer schoß den Forschern über die Köpfe. Der erste Motor hatte sich als nicht genügend stabil erwiesen, aber Zylinder und Kolben waren unversehrt geblieben. Die beim Bau gewonnenen Erfahrungen gaben wertvolle Aufschlüsse.

Jetzt hatte Diesel den Beweis erbracht, daß eine Verbrennung durch Selbstzündung tatsächlich möglich ist. Allerdings ließ sich eine Verbrennung bei gleichbleibender Temperatur, wie sie im Carnotschen Kreisprozeß vorgesehen war, nicht durchführen. Man konnte aber versuchen, eine Verbrennung unter gleichbleibendem Druck zu erreichen.

Als Diesel erneut an den Bau seines Motors heranging, sah er sich gezwungen, von seiner ursprünglichen Idee abzuweichen. Einen Motor zu bauen, der Diesels theoretischen Vorstellungen völlig entsprach, war vorerst unmöglich.

In seinem zweiten Patent erhob Diesel bereits keinen Anspruch mehr auf einen idealen Motor, vielmehr sicherte er sich das Recht, einen Motor mit Selbstzündung des Treibstoffs durch hohe Luftverdichtung allein bauen zu können. Nach Diesels Berechnungen mußte sich bei diesem Motor auch

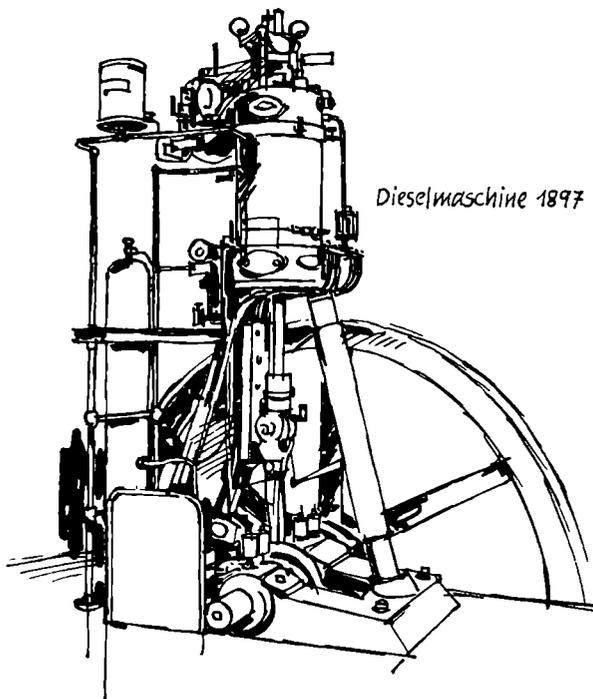
der Wirkungsgrad erhöhen. Er würde natürlich niedriger sein als beim Carnotschen Kreisprozeß, aber höher als bei den anderen Verbrennungsmotoren.

Dennoch schrieb man in den technischen Zeitschriften der damaligen Zeit: „Es gibt keine Gründe, den neuen Motor für ‚rationell‘ zu halten, Diesel hat sich selbst widerlegt.“

Ein deutscher Professor bezeichnete alles, was Diesel versprach, als märchenhaft und als etwas, das man nicht ernst nehmen könne. „Diesel wurde seinem eigenen Gedanken untreu!“ schlußfolgerte dieser kluge Professor. Nachdem Diesel sein neues Ziel erkannt und gründlich durchdacht hatte, setzte er sein Werk verbissen fort. Am 17. Februar 1894, nach einer Kette von Fehlschlägen, vollbrachte Diesels Motor die ersten Umdrehungen aus eigener Kraft.

Im Sommer 1898 war es dann soweit. Auf der Ausstellung für Kraftmaschinen in München liefen einige Dieselmotoren vor den Besuchern aus aller Welt.

Diese Motoren arbeiteten mit Kerosin, das von der in einem besonderen Kompressor erzeugten Druckluft in den Zylinder gepreßt wurde.



Der Wirkungsgrad des Dieselmotors lag wesentlich höher als bei Gas- und Benzinmotoren, die mit geringerer Verdichtung und mit Funkenzündung arbeiteten. Also war der Dieselmotor in diesem Sinne dennoch „rationell“ und übertraf den Wirkungsgrad der Dampfmaschine um ein mehrfaches. Zwanzig Jahre unablässiger Arbeit waren vergangen, seit Diesel jene Sätze in sein Schreibheft notiert hatte. Nun glaubte er, am Ziel zu sein. Die ganze Welt interessierte sich für Dieselmotoren.

Aber es gab Rückschläge.

Der erste Dieselmotor, der als Antriebsmaschine in der Zündholzfabrik „Union“ in Kampton aufgestellt wurde, zeigte Kinderkrankheiten, wie sie jede neue Erfindung aufweist. Ein Teil nach dem anderen wurde unbrauchbar. Im Motor entwickelten sich hohe Drücke und hohe Temperaturen. Fortwährend war man gezwungen, den Motor wegen Reparaturen anzuhalten. Die Werkleitung äußerte laut ihre Entrüstung. Die ungünstigen Nachrichten drangen in alle Länder.

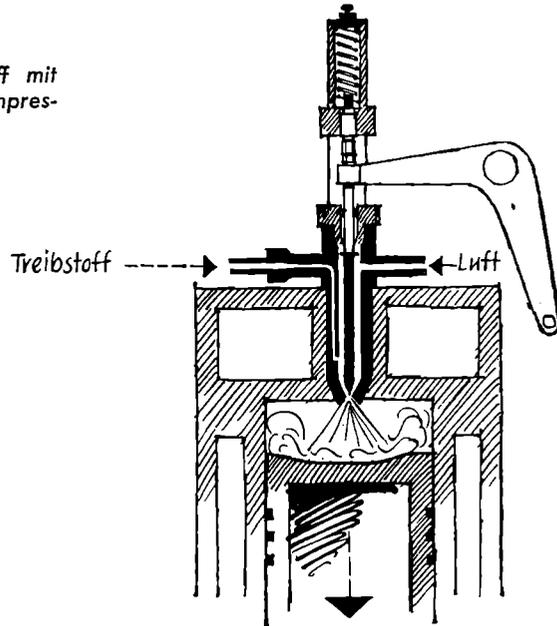
Wie Otto mußte auch Diesel eine Reihe von Gerichtsprozessen über sich ergehen lassen. Dabei zeigte sich, daß all das, wodurch sich sein Motor von anderen Motoren unterschied – hohe Verdichtung, Selbstzündung, langsame Verbrennung –, bereits von anderen Konstrukteuren beschrieben worden war. Doch das war nur ein Beweis dafür, daß sehr viele Ingenieure, Techniker und Erfinder die „Geburt“ einer neuen Maschine vorbereiten. Dann aber erscheint einer, dem es mit Tatkraft und Beharrlichkeit gelingt, die herangereifte Idee zu verwirklichen. Solche Erfinder waren Lenoir, Otto und schließlich auch Diesel.

Rudolf Diesel starb unter rätselhaften Umständen. Im Jahre 1913 ging er im Amsterdamer Hafen an Bord des Dampfers „Dresden“, um nach England zu reisen. Doch als das Schiff den englischen Hafen Harwich erreichte, war Diesel nicht mehr an Bord. Allen Anzeichen nach hätte Diesel, zermürbt durch die aufreibenden Kämpfe, den Freitod in den Wellen gesucht. Dieses tragische Ende eines der bedeutendsten Erfinder ist kennzeichnend für die kapitalistische Gesellschaft, die Diesels Werk ausbeutete, aber ihn selbst in schwersten finanziellen Sorgen ließ.

Die Dieselmotoren jedoch setzten ihren Siegeszug fort. In den folgenden Jahren erfuhren sie bedeutende Verbesserungen.

Bei den ersten Dieselmotoren wurde nämlich der Treibstoff von einem Luftstrahl in den Zylinder geblasen. Dazu mußte man in einem besonderen Zylinder, dem Kompressor, Luft verdichten. Die verdichtete Luft wurde der Einspritzdüse zugeführt, wo sie mit dem Treibstoff zusammentraf und mit ihm, den flüssigen Strahl in feinste Tröpfchen zerstäubend, in den Zylinder strömte.

So wurde der flüssige Treibstoff mit Hilfe verdichteter Luft in die Kompressor-Dieselmotoren gestäubt



Nachdem die ersten Dieselmotoren in der Industrie verwendet wurden, erwies sich der zusätzliche Kompressor jedoch als sehr nachteilig für die Leistung des Motors. Von der Gesamtzahl der Zylinder des Motors mußten zwei, mitunter auch drei für den Kompressor vorgesehen werden, denn es war viel Luft für die Zerstäubung des Treibstoffs erforderlich. Der Kompressor mußte ständig arbeiten und beanspruchte für sich einen großen Teil der Leistung. Er machte die Maschine außerdem schwerer und umfangreicher.

Im Jahre 1898, in der Kindheit des Dieselmotors, unterbreitete der Student der Technologie, Trinkler, dem Direktor des Putilow-Werkes in Petersburg einen Vorschlag. Trinkler wollte einen Dieselmotor bauen, bei dem man keinen Kompressor mehr benötigte. Das Putilow-Werk interessierte sich für den Vorschlag Trinklers (auch Diesel hatte bereits über dieses Problem nachgedacht).

Er wollte an Stelle der großen Kompressoren im Kopf jedes Arbeitszylinders einen kleinen Zylinder anbringen, der nur soviel Luft verdichtete, wie für eine Einspritzung vor jedem Arbeitstakt notwendig war.

So ein kleiner Zylinder mit entsprechend kleinem Kolben beanspruchte wenig Raum. Der Kolben wurde durch einen einfachen Mechanismus immer dann in Bewegung gesetzt, wenn Treibstoff eingespritzt werden mußte.

Der Vorschlag des russischen Studenten Trinkler war der erste praktische Schritt zum kompressorlosen Dieselmotor.

Im zaristischen Rußland hatte man jedoch nur zu ausländischen Neuheiten Vertrauen, und Trinkler mußte fünf Jahre lang um das Patent für seine Erfindung kämpfen. Als in das Putilow-Werk ein neuer Direktor eingesetzt wurde, versagte man dem Erfinder jegliche Unterstützung. Trinkler sah sich gezwungen, nach Deutschland zu gehen, um dort seinen Motor zu bauen. Er fand für seine neue Konstruktion Anhänger, und in verschiedenen Ländern begann man sofort mit dem Bau kompressorloser Motoren.

Die heutigen Dieselmotoren sind Maschinen, die große Leistungen entwickeln und mit komplizierten Steuersystemen ausgestattet sind.

Man hat bereits vielzylindrige Dieselmotoren gebaut, die bis zu 20 000 PS leisten.

Es gibt Dieselmotoren kleiner Leistung mit 1,5 bis 150 PS, mittlerer Leistung von 150 bis 180 PS und großer Leistungen mit über 800 PS, zuweilen sogar 10- bis 20 000 PS.

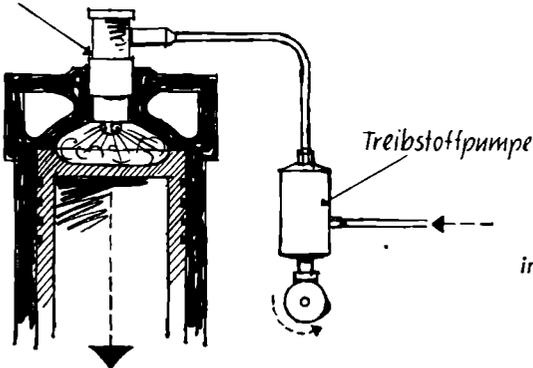
Diese Leistungsbreite ermöglicht es, die Dieselmotoren sowohl für Kraftwagen und Traktoren als auch für Panzer, Lokomotiven, Motorschiffe, ja selbst für Kraftwerke zu verwenden.

Die verbrauchten Gase des Motors strömen gegen eine kleine Turbine, von der ein Gebläse angetrieben wird, das in den Zylinder des Motors hochverdichtete Luft schleudert. Dadurch wird der Zylinder mit einer großen Luftmenge „geladen“, was auch eine größere Treibstoffmenge erfordert. Folglich entwickelt ein Dieselmotor mit Abgasturbine eine größere Leistung als ein Motor ohne diese Einrichtung.

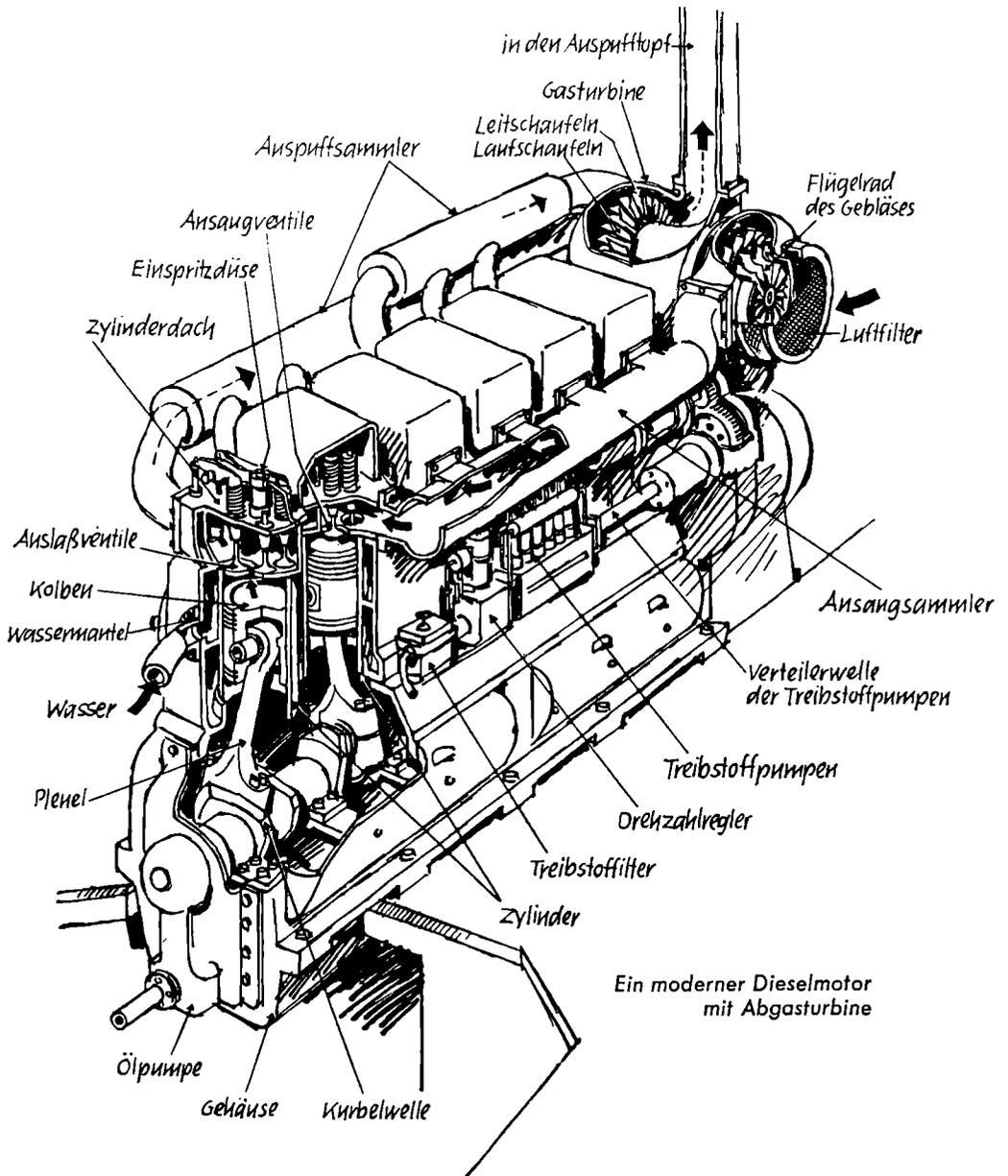
Am Beispiel der Lokomotiven wollen wir erkennen, welche großen Vorteile der Dieselmotor gegenüber einer Dampfmaschine hat.

Die Diesellokomotiven sind zusammen mit den elektrischen Lokomotiven berufen, im Eisenbahnverkehr die nicht sehr wirtschaftlich arbeitenden Dampflokomotiven abzulösen. Selbst bei einer modernen Schnellzug-

*Einspritzdüse*



*So wird der flüssige Treibstoff  
in den kompressorlosen Dieselmotoren  
zerstäubt*



lokomotive, die eine Leistung von 3000 PS und eine Geschwindigkeit von 175 km/h erreicht, werden nur ungefähr 10 Prozent der Verbrennungswärme ausgenutzt. Diese Lokomotive benötigt für 1 km Fahrt 10 kg Steinkohle.

Und wie verhält es sich bei den Diesellokomotiven?

Sie verfügen über die wirtschaftlichsten Wärmekraftmotoren, die es gegen-

wärtig gibt; ihr Wirkungsgrad liegt bei etwa 35 Prozent und in einigen Fällen sogar höher.

Man kann sich leicht vorstellen, welcher Nutzen daraus erwächst, wenn die Dampflokomotiven durch Diesellokomotiven ersetzt werden, denn beim Dieselmotor ist der Wirkungsgrad dreieinhalbmal höher als bei der Dampfmaschine. Demnach ist auch das Gewicht des Dieseltreibstoffs bedeutend geringer als das Gewicht der Kohle, die von der Dampflokomotive benötigt wird.

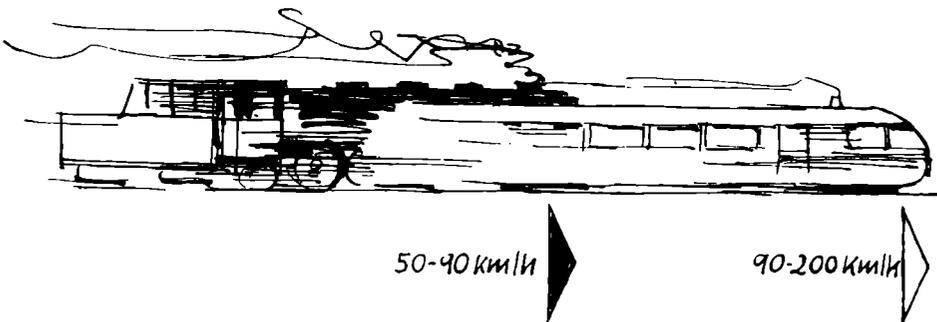
Eine Diesellokomotive braucht also zur Beförderung gleicher Lasten bei gleicher Entfernung weniger Treibstoff. Dadurch verringern sich die Transportkosten.

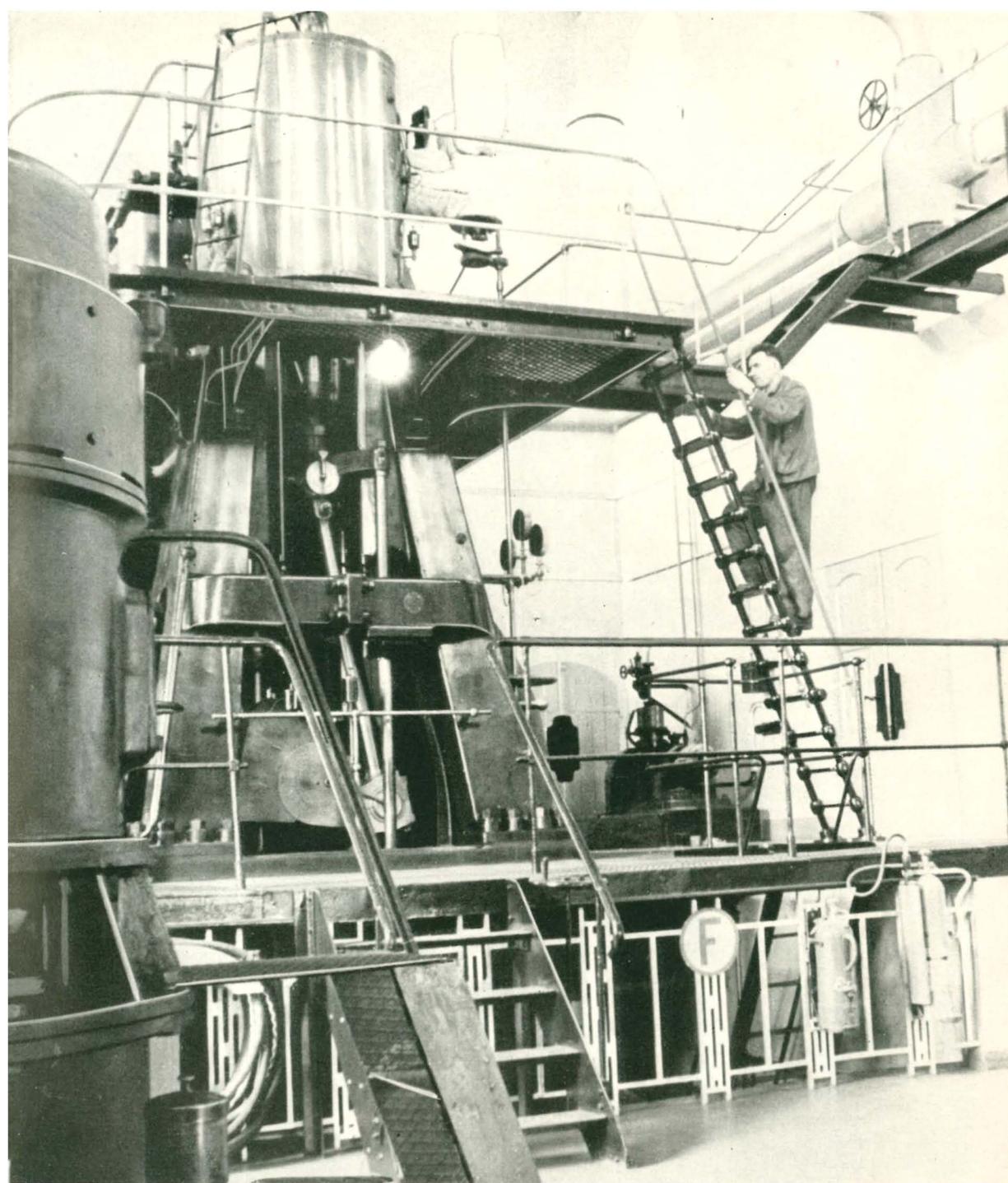
Da eine Diesellokomotive keine große Treibstoffmengen mitzuführen braucht, kann eine größere Nutzlast befördert werden. Es ist auch nicht notwendig, auf den Bahnhöfen große Treibstofflager anzulegen; außerdem werden die Züge, die bisher die Kohle für die Dampflokomotiven herbrachten, für Nutzlasten der Wirtschaft frei. Auch das für die Dampfkessel benötigte Wasser fällt bei den Diesellokomotiven weg. In wasserarmen Steppen- und Wüstengebieten erweist sich die Diesellokomotive als besonders vorteilhaft.

Auf den Unterwegsbahnhöfen verlieren die Diesellokomotiven weniger Zeit, und ihre Durchschnittsgeschwindigkeit erhöht sich: Die Lasten gelangen schneller zum Bestimmungsort.

Bei einem Aufenthalt auf Bahnhöfen kann der Dieselmotor abgestellt werden und verbraucht keinen Treibstoff. Eine Dampflokomotive muß ständig unter Dampf gehalten werden und verbraucht schon beim Anheizen des Kessels sehr viel Kohle.

Während die Durchschnittsgeschwindigkeit der Dampfzüge etwa 50 bis 90 km/h beträgt, fahren die Dieselschnelltriebwagen mit Geschwindigkeiten von 90 bis 200 km/h.

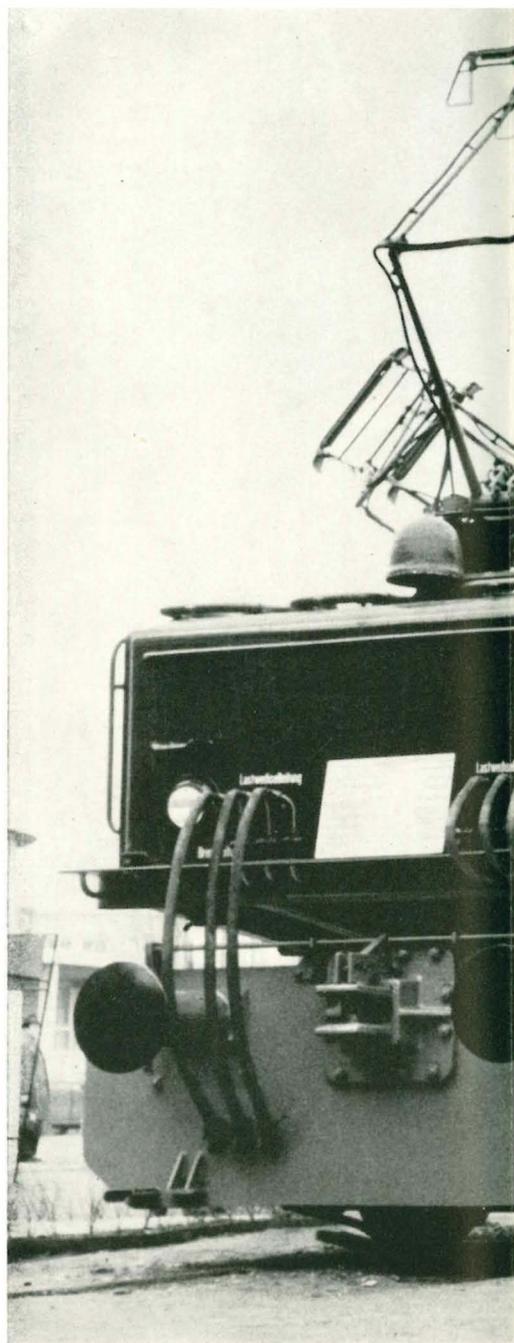




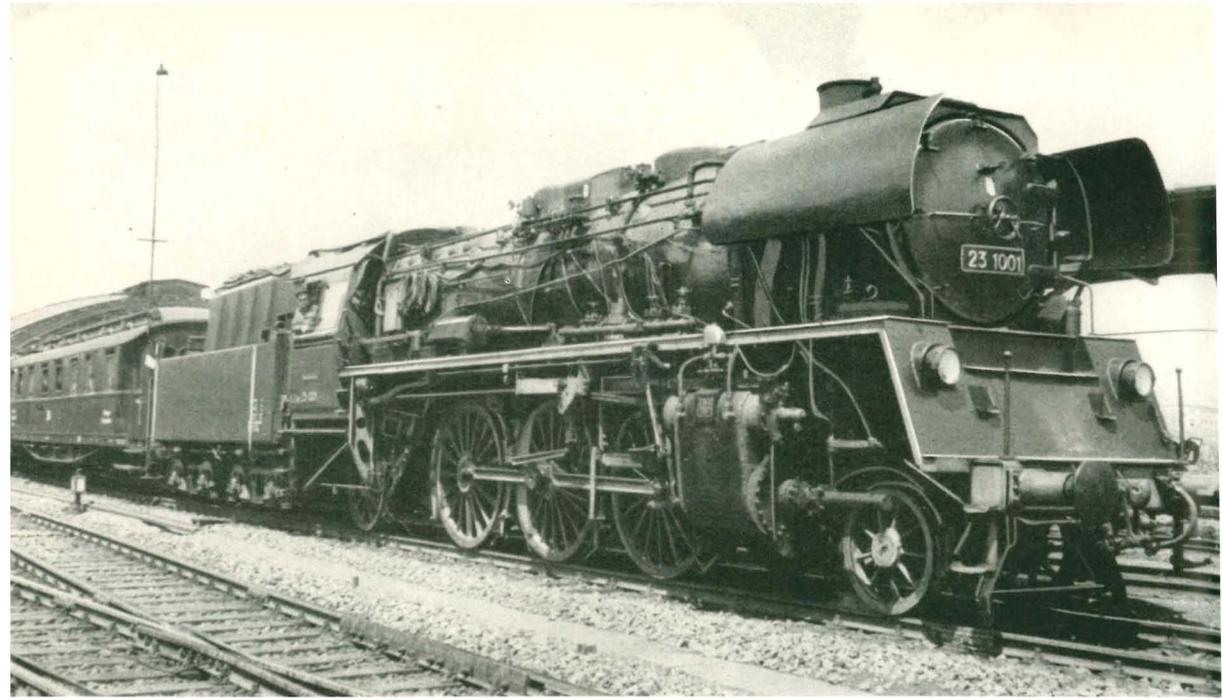
Eine Dampfmaschine aus dem Jahre 1905. Sie hatte 220 PS Leistung und trieb eine Reinwasserpumpe an. Jetzt steht sie unter Denkmalschutz

Das Zeitalter der Dampflokomotiven ist vorbei; sie arbeiten nicht wirtschaftlich genug und werden deshalb in der DDR nicht mehr gebaut. Ihre Nachfolger sind die Diesel- und Elektrolokomotiven.

Unser Bild zeigt die elektrische Industrielokomotive EL 2, die im VEB „Hans Beimler“, Hennigsdorf, hergestellt wird. Sie wiegt 100 t, ist 13,10 m lang, 3,15 m breit und 3,90 m hoch

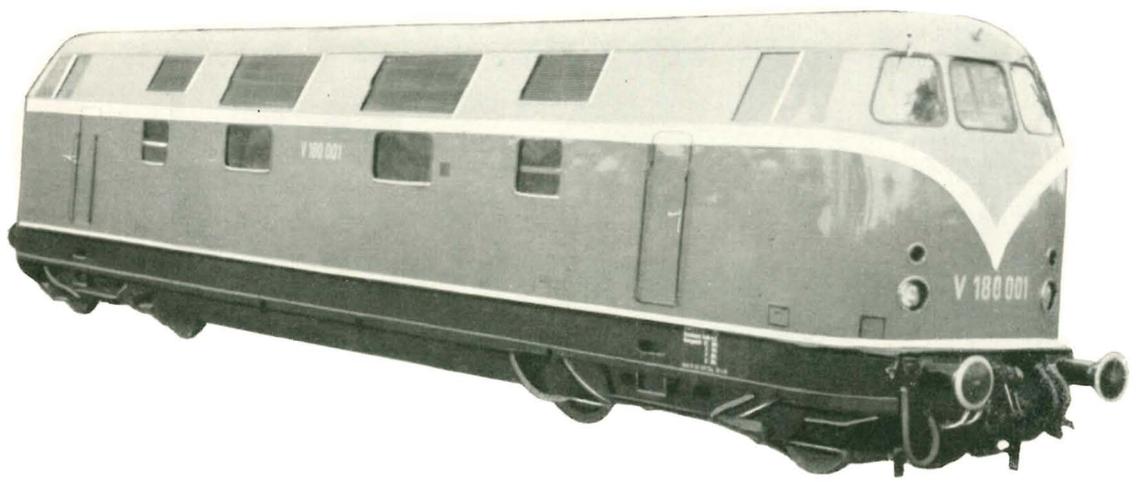






In den nächsten Jahren wird sie immer seltener zu sehen sein — die Dampflok

Ein Dieseltriebwagen



Die erste brauchbare Diesellokomotive wurde in Eßlingen (Württemberg) im Jahre 1925 nach Plänen sowjetischer Ingenieure für die UdSSR gebaut. Die Leistung dieser Diesellokomotive betrug 1200 PS.

Die Zeit der Dampflokomotiven ist vorbei. Seit dem Jahre 1961 werden in der DDR keine Dampflokomotiven mehr gebaut.

Aber nicht nur im Eisenbahnverkehr, auch bei der Hochsee- und Binnenflotte werden leistungsfähige Dieselmotoren eingesetzt. Man kann für den Antrieb von Schiffen Dieselmotoren oder Dampf- und Gasturbinen benutzen, aber in ständig wachsender Zahl durchfahren Motorschiffe die Meere und Ozeane, die mit Dieselmotoren ausgerüstet sind. Gegenwärtig wird die Hälfte aller Schiffe von Dieselmotoren angetrieben. Bei den Flußschiffen hat der Dieselmotor schon die führende Rolle übernommen.

Die Dieselmotoren weisen noch andere Vorzüge auf: Sie qualmen nicht, sind leicht und schnell in Gang zu bringen und einfach zu bedienen. Das alles ist für ein Schiff sehr wichtig.

Schiffsdieselmotoren werden auch in unserer DDR entwickelt und weisen heute Leistungen von 5400 PS auf. Sie werden im VEB Dieselmotoren Rostock im Serienbau für unsere wachsende Handels- und Fischereiflotte hergestellt.

Dieselmotoren werden auch stationär in Kraftwerken, Pumpstationen und Kompressoranlagen eingesetzt.

In Wärmekraftwerken sind gegenwärtig nicht viele Dieselmotoren vorhanden; der Hauptmotor ist hier die Dampfturbine. Doch in einigen Fällen, zum Beispiel in Erdölfördergebieten und in Steppengebieten, haben Dieselölkraftwerke Berechtigung, wenn man keine sehr hohen Leistungen benötigt.

### Die Erfindung des Zweitaktmotors

Wir blicken wieder zurück zum Jahr 1890. Der Viertaktmotor Ottos begann sich gerade durchzusetzen, da schlug der englische Advokat Douglas Clerk, ein Ingenieur aus Neigung, einen originellen Motor vor.

Der Motor Clerks sollte nicht in vier, sondern in zwei Takten arbeiten.

War es möglich, den Arbeitstakt häufiger herbeizuführen, nicht erst nach jeder zweiten Umdrehung, sondern unmittelbar hintereinander bei jeder Umdrehung der Welle?

Erinnern wir uns an die vier Takte! Beim ersten Takt geht der Kolben nach unten und saugt das Arbeitsgemisch in den Zylinder.

Und beim zweiten Takt? Der Kolben geht nach oben und verdichtet das Arbeitsgemisch.

Erst beim dritten Takt wird der Arbeitshub ausgeführt. Die Gase dehnen sich aus, und der Kolben bewegt sich nach unten.

Und schließlich der vierte Takt: Der Kolben bewegt sich nach oben, um die verbrauchten Gase auszustoßen.

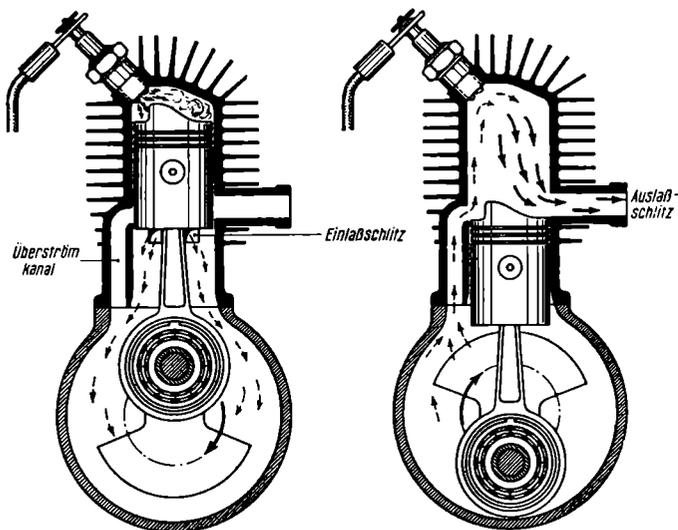
Sind wirklich vier Takte notwendig? Muß man sich damit abfinden, daß der erste, zweite und vierte Takt eigentlich Hilfstakte sind, das heißt, ein-undeinehalbe Wellenumdrehung für das Reinigen, Anfüllen und Verdichten verschwendet werden?

Zweckmäßiger wäre es, jeden Kolbenhub nach oben für die Verdichtung und jeden Kolbenhub nach unten für eine Arbeitsleistung auszunutzen. Dann würde sich die Anzahl der Verbrennungen und damit ebenfalls die Anzahl der Arbeitshube verdoppeln. Folglich müßte der Motor die doppelte Leistung bringen.

Doch wie sollte man den Zylinder reinigen und wieder mit neuem Gemisch füllen?

Folgende Lösung wurde von Clerk vorgeschlagen:

Durch die oberen Ventile strömt das neue Arbeitsgemisch ein und spült dabei die verbrauchten Gase durch Schlitze, die unten im Zylinder eingelassen sind, hinaus. Wenn sich der Kolben nach oben bewegt, verdeckt er die seitlichen Auspuffschlitze und verdichtet die frische Füllung des Arbeitsgemisches: der erste Takt.



Arbeitsweise  
eines Zweitaktmotors

Nach dem ersten Takt (Verdichtung) zündet ein elektrischer Funke das Gemisch. Es verbrennt, und der Kolben führt den Arbeitshub aus. Das ist der zweite Takt, die Ausdehnung.

Unten angelangt, verdeckt der Kolben nicht mehr die Auspuffschlitze, durch die die verbrauchten Gase entweichen sollen. Ein besonderer Mechanismus öffnet die Ventile im Zylinderdeckel, und eine Pumpe drückt das frische Arbeitsgemisch in den Zylinder. Der frische Zustrom des Gases muß die verbrauchten Gase verdrängen, solange die Auspuffschlitze freiliegen. Bei seiner Aufwärtsbewegung verdeckt der Kolben wieder die Auspuffschlitze und verdichtet das neue Arbeitsgemisch im Zylinder.

An Stelle der zwei Pumpakte, dem Ansaugen und Ausstoßen beim Viertaktmotor, wird hier der Zylinder „durchgeblasen“. Dadurch wird bei jeder Umdrehung ein Arbeitshub verrichtet.

Man müßte annehmen, daß der neue Zweitaktmotor bei gleicher Zylindergröße gegenüber dem Viertaktmotor die doppelte Leistung entwickelte. Doch das war nicht so.

Es erwies sich nämlich als nicht vorteilhaft, die Zylinder mit Arbeitsgemisch durchzublasen, weil zusammen mit den verbrauchten Gasen viel Treibstoff durch die Auspuffschlitze entwich.

In einigen Glühkopfmotoren, deren Zylinder nicht mit einem Gas-Luft-Gemisch, sondern mit reiner Luft ausgeblasen und gefüllt wurde, verwendete man den Zweitaktprozeß. Hier spritzte man am Ende des Verdichtungshubes den Treibstoff in den Zylinder.

Als dann die Dieselmotoren bereits weit verbreitet waren, erinnerte man sich ernsthaft an das Zweitaktverfahren.

Auch in den Zylinder eines Dieselmotors wird kein Arbeitsgemisch, sondern Luft gesaugt, so daß sich das Zweitaktverfahren bei ihm anwenden ließ. Damit wurde der Dieselmotor zum Wegbereiter des Zweitaktmotors.

Die Fabrik „Ludwig Nobel“ in Petersburg begann mit dem Bau von Zweitakt Dieselmotoren.

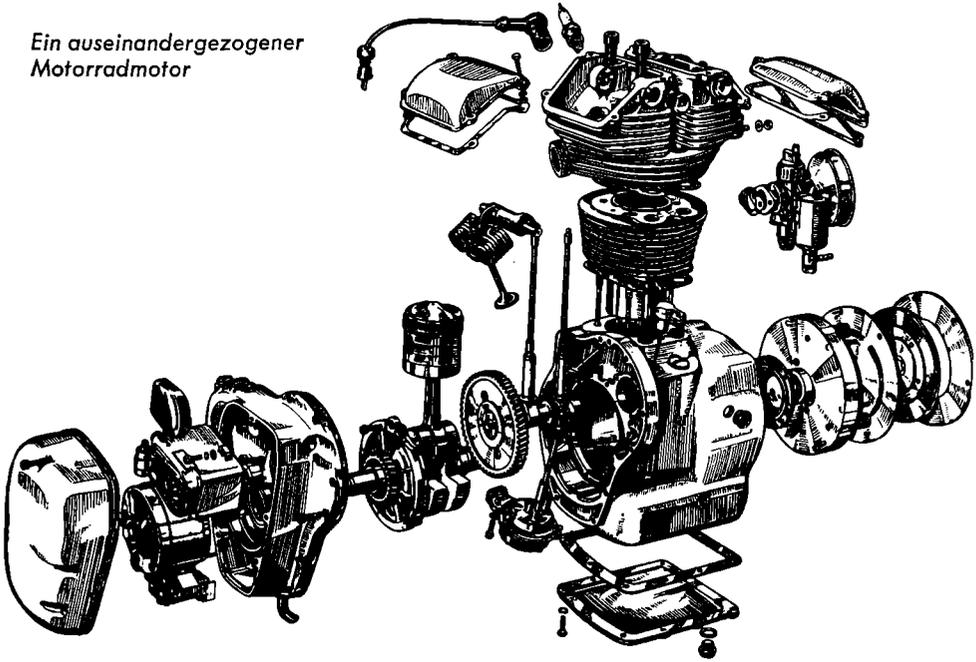
Man erprobte besondere Zylinder mit Glaseinsätzen, um so den Prozeß des Aus- und Einströmens (Durchblasen) bei verschiedener Form und unterschiedlicher Anordnung der Einström- und Ausströmöffnungen beobachten zu können.

Man wollte verschiedene Spülverfahren erproben, denn außer dem bereits beschriebenen gibt es die verschiedensten Spülverfahren.

Bei diesem Verfahren hat der Zylinderdeckel keine Ventile, aber dafür besitzt der Unterteil des Zylinders zwei Öffnungen.

Die Auslaßschlitze sind etwas größer, deshalb gibt sie der Kolben zuerst frei, wenn er sich nach unten bewegt. Nun dringen die verbrauchten Gase

Ein auseinandergezogener  
Motorradmotor



nach außen. Dann erst werden die Einlaßschlitze frei, durch die Luft in den Zylinder strömt, die durch ein besonderes Gebläse verdichtet wurde. Diese Luft strömt bogenförmig durch den Zylinder und verdrängt die Reste der verbrauchten Gase. Nach dem Spülen ist der Zylinder dann mit reiner Luft gefüllt.

Im Laufe der Zeit fanden die Zweitakt Dieselmotoren die gleiche weite Verbreitung wie die Viertakter. Bei stärkeren Anlagen herrschten sie sogar vor.

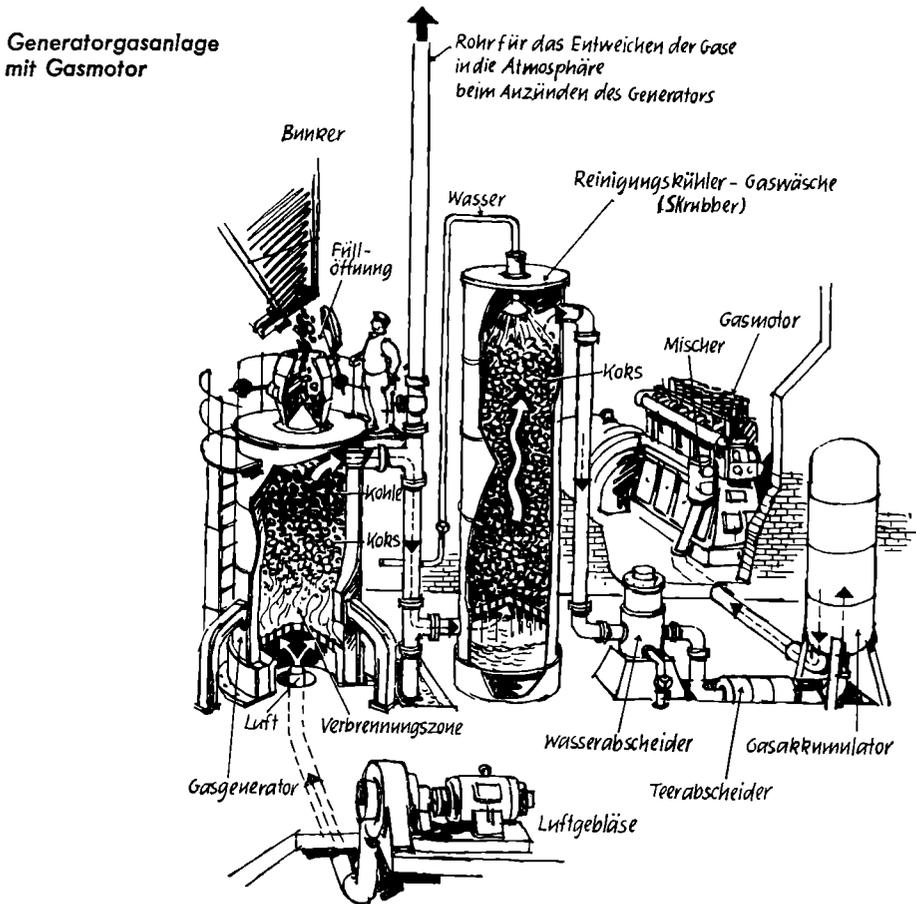
### Generatorgasmotoren

Die Dieselmotoren sind die jüngsten Verbrennungskolbenmaschinen. Die Gasmotoren sind die ältesten. Sie sind fast hundert Jahre alt, doch man verwendet sie immer noch. In ihnen wird nach wie vor sowohl Naturgas als auch Leuchtgas verbrannt.

Die modernen Gasmotoren arbeiten auch mit dem sogenannten Generatorgas.

Dieses Gas wird in einer besonderen Anlage erzeugt, die dem bereits beschriebenen Kolben Lebons im Prinzip ähnlich ist. In Lebons Kolben verbrannt Holzspäne bei geringer Luftzufuhr. Die modernen Generatorgasanlagen haben ebenfalls einen „Ofen“, in dem man Holz, Torf oder Kohle schwelen läßt. Das dabei entstehende Gas leitet man, bevor es in die Zylinder des Motors strömt, durch Filter und Kühler, so daß es gereinigt und etwas abgekühlt wird.

Welche Vorteile besitzt der Gasgenerator? Er kann mit jedem Brennstoff arbeiten. So fallen beispielsweise in Holzverarbeitungsbetrieben viel Abfälle an, während Öl oder Benzin erst herangeschafft werden müßten. In solchen Betrieben kann man mit Generatorgas Kraftfahrzeuge oder Stromerzeugungsanlagen antreiben. Es gibt auch Gasmotoren, die mit Erd- oder Industriegas arbeiten.



## Vorteile und Nachteile

Vergleichen wir nun noch den Benzinvergasermotor mit dem Dieselmotor: Im Zylinder eines Benzinmotors, der mit Funkenzündung arbeitet, ist der Verdichtungsgrad niedriger als im Zylinder eines Dieselmotors. Hier erhitzt sich die stark verdichtete Luft auf hohe Temperaturen, so daß es keines elektrischen Funkens bedarf – es vollzieht sich eine Selbstzündung des Treibstoffes.

Infolge des niedrigeren Verdichtungsgrades bei Benzinmotoren entstehen im Zylinder niedrigere Drücke. Deshalb braucht man die Motorteile – Kurbelwelle, Pleuel, Kolben, Zylinder – nicht so massiv herzustellen wie bei Dieselmotoren. Leichtere Teile vermögen sich auch schneller zu drehen. Bei ihnen treten dann die gefährlichen Fliehkräfte erst bei höherer Umdrehungszahl auf. Benzinmotoren können also mit höheren Drehzahlen arbeiten als Dieselmotoren.

Je schneller sich der Kolben im Zylinder bewegt, desto mehr Arbeitstakte finden statt, und eine um so größere Leistung entwickelt der Motor. Daraus ergibt sich, daß die leichten Benzinmotoren verhältnismäßig große Leistungen entwickeln.

Benzinmotoren sind jedoch weniger wirtschaftlich als Dieselmotoren, denn ihr Wirkungsgrad beträgt heute etwa 25 Prozent. Für Personenkraftwagen, Motorräder, Motorboote und Flugzeuge sind sie sehr geeignet, weil sie leicht sind und wenig Raum einnehmen. Man darf mit Recht sagen, daß dieser Motor erst die Entwicklung des Flugwesens und der Kraftfahrzeuge ermöglicht hat.

## GASTURBINEN

Im Jahre 1861 hatte der junge russische Ingenieur Kusminski in der Zeitschrift „Marine-Enzyklopädie“ geschrieben, daß bei einem wirtschaftlichen Motor die Luft vorverdichtet werden müsse, damit sie durch ihre Entspannung eine größere Arbeit verrichten könne.

36 Jahre später, also 1897, baute der an Erfahrungen reicher gewordene Ingenieur einen neuen Verbrennungsmotor, der nicht mehr mit Kolben, sondern mit einer Turbine arbeitete. Es war die erste Gasturbine der Welt.

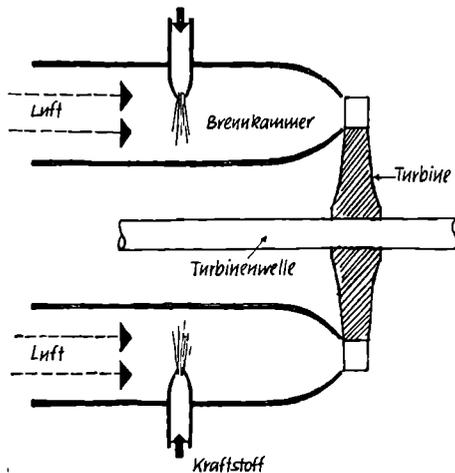
### Viele Vorteile und zahlreiche Schwierigkeiten

Wenige Jahre zuvor (1890) hatte Laval die erste Dampfturbine gebaut. Die Turbine wies gegenüber der Kolbenmaschine erhebliche Vorteile auf. Sie erreichte eine hohe Drehzahl, ihr Bau war unkomplizierter, und sie nahm weniger Raum in Anspruch. Vor allem aber entstand bei der Turbine sofort eine Drehbewegung. Bei der Kolbenmaschine mußte die Hin- und Herbewegung erst in eine Drehung umgewandelt werden.

Nun verstehen wir, daß auch für die Verbrennungsmotoren die Zeit gekommen war, vom Kolbenbetrieb zur Turbine überzugehen. Und da man sich von der Zukunft der Dampfturbine viel versprach, konnte man auch mit Recht auf die Gasturbine große Hoffnungen setzen.

Nach welchem Prinzip müßte so eine Gasturbine arbeiten? Zunächst besitzt eine solche Maschine ein Laufrad, das mit Schaufeln besetzt ist; es ähnelt also dem Turbinenrad einer Dampfturbine. Vor dieses Laufrad kann man ringförmig eine Reihe von Brennkammern mit Düsen montieren. In diesen Kammern verbrennt ein Gas-Luft-Gemisch. Die Verbrennungsgase treten mit hoher Geschwindigkeit aus den Brennkammern, strömen gegen die Schaufeln und treiben so das Laufrad an.

Das ist, stark vereinfacht, die Arbeitsweise einer Gasturbine.



Vereinfachtes Schema einer Gasturbine

Sie besitzt die Vorzüge der Dampfturbine. Darüber hinaus aber benötigt sie keinen Kessel mit komplizierten Feuerungsanlagen. Die Gasbrennkammern lassen sich in kleinen Abmessungen herstellen, und die verbrauchten Gase werden, wie bei den Kolbenmotoren, direkt in die Atmosphäre hinausgeschleudert, so daß auch ein Kondensator überflüssig ist.

Wir wollen noch einen weiteren Vorteil erwähnen. Wenn man Wasserdampf hoher Temperatur erhalten will, muß das Wasser im Kessel bei hohen Drücken verdampfen. Die Gase dagegen erreichen, wenn der Treibstoff in den Kammern verbrennt, sehr hohe Temperaturen. Der Druck aber bleibt dabei verhältnismäßig niedrig.

Aus allen diesen Gründen beansprucht eine Gasturbine noch viel weniger Raum als eine Dampfturbine, und außerdem ist sie leichter.

Sind das wesentliche Vorteile?

Denken wir uns zwei Turbinen nebeneinandergestellt, und zwar eine Dampfturbine und eine Gasturbine. Beide sollen die gleiche Leistung haben, aber das Gewicht der Gasturbine wird wesentlich kleiner sein. Man spricht hier von einem günstigen Leistungsgewicht der Gasturbine. Das ist ein Vorteil, der besonders in der modernen Flugtechnik eine große Rolle spielt. So hat zum Beispiel eine Propellerturbine ein Leistungsgewicht von etwa 0,75 kp je PS. Die Gasturbine ist hierin sogar dem Ottomotor überlegen, dessen Leistungsgewicht rund 1,3 kp je PS beträgt. Man erhält das Leistungsgewicht, indem man das Gewicht des Motors durch seine Höchstleistung teilt. Hat ein Motor zum Beispiel eine Leistung von 40 PS, und sein Gewicht beträgt

48 kp, so ist sein Leistungsgewicht  $= \frac{48 \text{ kp}}{40 \text{ PS}} = 1,2 \text{ kp PS}$ .

So viele Vorteile! Doch den Ingenieuren stellten sich Hindernisse über Hindernisse in den Weg. Und es war noch ein Grund vorhanden, der die

Entwicklung des Gasturbinenbaues hemmte: Der Brennkammer der Turbine mußte ständig Luft zugeführt werden. Dazu war ein Kompressor nötig, den die Turbine selbst antreiben mußte. Anfänglich konnte man die Turbinen und Kompressoren noch nicht so berechnen, daß möglichst wenig Energie für den Kompressor abgezweigt wurde. Das führte dazu, daß die Maschine zwar umfangreicher, aber ihre Nutzleistung geringer wurde.

Wir haben erfahren, daß das Gas-Luft-Gemisch in den Brennkammern der Turbine verbrennt. Dabei treten hohe Temperaturen auf, die bis zu  $2000^{\circ}\text{C}$  erreichen. Welcher Werkstoff ist einer solchen Beanspruchung gewachsen? Die Materialien, aus denen die Turbinenschaufeln gewöhnlich hergestellt wurden, hielten so hohe Temperaturen nicht aus; sie verbrannten. Man mußte neue hitzebeständige Werkstoffe entwickeln. Gleichzeitig mußte man versuchen, die hohen Temperaturen auf ein erträgliches Maß, auf mindestens  $600$  bis  $700^{\circ}\text{C}$ , herabzusetzen. Die Temperatur noch wesentlich zu verringern, wäre unsinnig gewesen, denn sonst hätten die Gasturbinen einen zu kleinen Wirkungsgrad erhalten.

Die Dampfturbine dagegen, die bei niedrigeren Temperaturen und ohne Kompressoren arbeitete, setzte sich bereits um die Jahrhundertwende durch und wurde zur wichtigsten Antriebsmaschine der Wärmekraftwerke.

Im Jahre 1905 legte dann der deutsche Ingenieur Holzwarth der Fachwelt Pläne für die erste brauchbare Turbine vor. Das Prinzip schien vielversprechend, und jahrelang wurde an mehreren Versuchsturbinen geforscht. 1925 hatte Holzwarth eine Turbine für 1000 PS bei 3000 Umdrehungen pro Minute fertiggestellt. Allerdings reichte der Wirkungsgrad dieser Turbine, man nennt sie Verpuffungsturbine, nicht an den einer Gaskolbenmaschine heran. Wir wollen das Prinzip, nach dem die Holzwarthsche Turbine arbeitete, nicht näher erläutern, denn es hat sich nicht durchgesetzt. Man kam wieder auf die Grundgedanken Kusminskis zurück.

Erst in den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts begann die Gasturbine ihren Weg, und ihre Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen.

## Die Verbrennungsturbine

Wie wollte Sadi Carnot den Verbrennungsmotor arbeiten lassen? Die Luft ist mit einer Pumpe zu verdichten, muß dann in eine verschlossene Kammer strömen, in der ununterbrochen Treibstoff verbrennt, und dann leistet die Luft im Zylinder des Kolbenmotors Nutzarbeit.

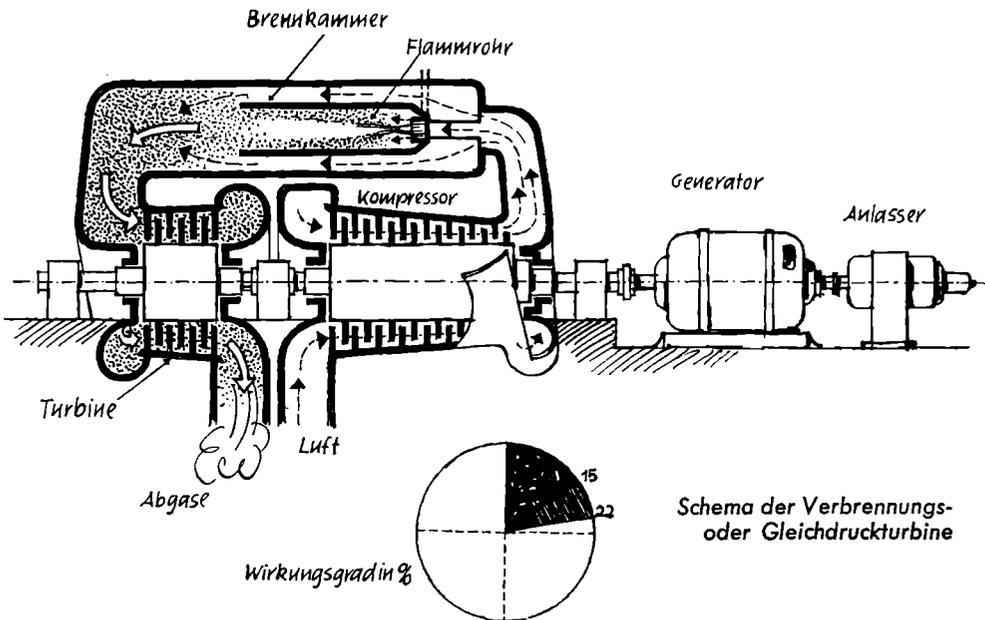
Um den ununterbrochenen Arbeitsablauf der Kolbenmaschine zu gewährleisten, ersann man das Viertakt- und das Zweitaktverfahren. Dabei verdichtet man zum Beispiel beim Dieselmotor die Luft in demselben Zylinder, in den der Treibstoff gespritzt wird. Wenn sich das Gas-Luft-Gemisch ausdehnt, verrichtet es Arbeit.

Doch in der Arbeitsweise der Verbrennungsturbine fand die Idee Carnots Verwendung.

Wir werden uns nun mit der Turbine bekannt machen, bei der sich die Verbrennung des Treibstoffs in der Brennkammer bei gleichbleibendem Druck vollzieht. Sie heißt deshalb auch Gleichdruckturbine und ist ein weit verbreiteter Typ.

Es ist eine Turbinenanlage zur Stromerzeugung. In einer Linie stehen vier Maschinen, die alle eine gemeinsame Welle haben: die Turbine, der Kompressor, der Elektrogenerator und ein Anlasser. Der Kompressor besteht aus mehreren Schaufelrädern. Die Schaufeln haben eine schraubenförmige Gestalt und verdichten bei ihrer Umdrehung die Luft. Man nennt diesen Teil der Anlage deshalb Kreis- oder Turbokompressor (Verdichter).

Der Kompressor führt die verdichtete Luft der Brennkammer zu. Ein Teil der Luft strömt in das Innere des Flammrohres, in das eine Düse flüssigen Treibstoff spritzt. Hier, im Innern des Flammrohres, verbrennt der Treibstoff ständig mit einer hellen Flamme.



Schema der Verbrennungs- oder Gleichdruckturbine

Der andere Teil der Luft strömt zwischen den Wänden des Flammrohres und des Brennkammergehäuses.

Auf diese Weise wird das Rohr gekühlt.

Da sich diese Luft ferner mit den heißen Gasen vermischt, die aus dem Flammrohr dringen, senkt sie auch gleichzeitig die hohe Temperatur dieser Gase auf 500 bis 700° C. Sonst könnte man sie nicht in die Turbine strömen lassen.

Die heißen Gase strömen in die Turbine. Dort dehnen sie sich aus und treiben die Turbinenwelle an. Auf diese Weise wird die Wärmeenergie, die bei der Verbrennung des Treibstoffes entsteht, direkt in mechanische Drehbewegung umgeformt. Daher kann man an die Turbinenwelle unmittelbar die Welle des Kompressors und auch die Welle des Elektrogenerators anschließen.

Die Maschine, die als „Anlasser“ bezeichnet wird, ist ein elektrischer Anlafmotor. Er ist notwendig, weil beim Anlassen zunächst der Kompressor in Bewegung versetzt werden muß, ehe die Turbine arbeiten kann. Dann treibt die Turbine den Kompressor mit, und der Anlasser wird ausgeschaltet.

Die Leistung, die eine Turbine abgibt, wird also teilweise für den Antrieb des Kompressors benötigt.

Dieser Teil der Leistung ist deshalb keine Nutzleistung.

Der andere Teil der Leistung, den die Turbine an den Elektrogenerator abgibt, stellt erst die eigentliche Nutzleistung dar.

Es ist Aufgabe der Ingenieure, diese Anlage so zu entwerfen, daß nur wenig Leistung an den Kompressor abgezweigt und dadurch mehr an den Elektrogenerator abgegeben wird.

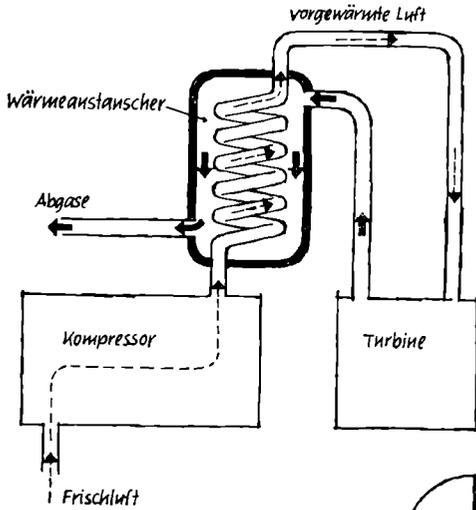
Diese einfachste Ausführung einer Gasturbinenanlage erlaubt es nicht, einen Wirkungsgrad von mehr als 15 bis 22 Prozent zu erreichen, selbst bei einer Gastemperatur von 500 bis 700° C.

Natürlich hat es da keinen Sinn, Dieselmotoren oder Dampfturbinen, die einen höheren Wirkungsgrad aufweisen, durch eine Anlage dieses Typs zu ersetzen.

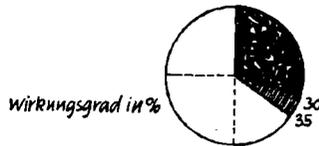
Aber man kann zwischen dem Kompressor und der Brennkammer einen Wärmeaustauscher, einen „Regenerator“ anbringen. In diesen Regenerator leitet man die heißen Abgase. Sie geben dort ihre Wärme an die angesaugte Frischluft ab, wärmen die Luft also vor.

Wenn man so auch die Wärme der Abgase ausnutzt, übersteigt der Wirkungsgrad sogar 30 Prozent und nähert sich dem Wirkungsgrad der besten Dampfturbinen.

Noch kompliziertere Anlagen erreichen sogar den Wirkungsgrad von 35 Prozent und erreichen damit den des Dieselmotors.

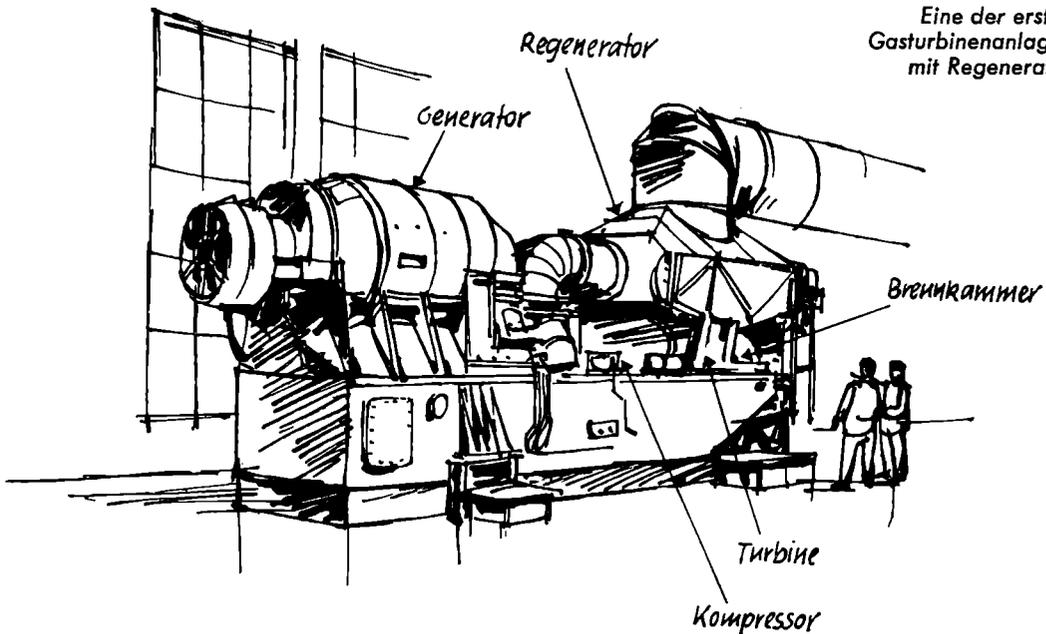


Schema einer Turbinenanlage mit Wärmeaustauscher



Die Turbinenanlage, die wir beschrieben haben, wird als Anlage mit offenem Kreislauf bezeichnet. Man nennt sie deshalb so, weil der Energieträger, die Luft, aus der Atmosphäre einströmt und die verbrauchten Gase wiederum in die Atmosphäre geschleudert werden.

Nun wollen wir sehen, wie eine Turbine mit geschlossenem Kreislauf arbeitet.



Eine der ersten Gasturbinenanlagen mit Regenerator

## Die Heißluftturbine

Bei dieser Turbine strömen nicht die Verbrennungsgase gegen das Laufrad, sondern lediglich Luft, heiße Luft.

Wie ist das möglich?

Der Kompressor saugt die Luft an und verdichtet sie. Aber da wir hier einen geschlossenen Kreislauf vor uns haben, wird die Luft nicht aus der Atmosphäre, sondern aus einem Behälter genommen, der zur Anlage gehört: dem Kühler.

Die vom Kompressor verdichtete Luft gelangt dann zum Regenerator. Wie ein Regenerator arbeitet, haben wir bereits erfahren; in ihm wird die Luft vorgewärmt.

Die verdichtete und vorgewärmte Luft gelangt nun in die Brennkammer. Diese Brennkammer ähnelt sehr einem Wasserrohrkessel. Aber in den Rohrschlangen wird kein Wasser, sondern die Luft stark erhitzt.

Nachdem die Luft auf diese Weise ihr Arbeitsvermögen vergrößert hat, wird sie ins Turbinengehäuse geleitet. Sie kühlt sich ab, dehnt sich stark aus, strömt mit hoher Geschwindigkeit gegen die Turbine und verrichtet Arbeit. Danach wird die entspannte Luft nicht in die Atmosphäre geschleudert, sondern gelangt wiederum in den Regenerator, diesmal als Wärmespendender.

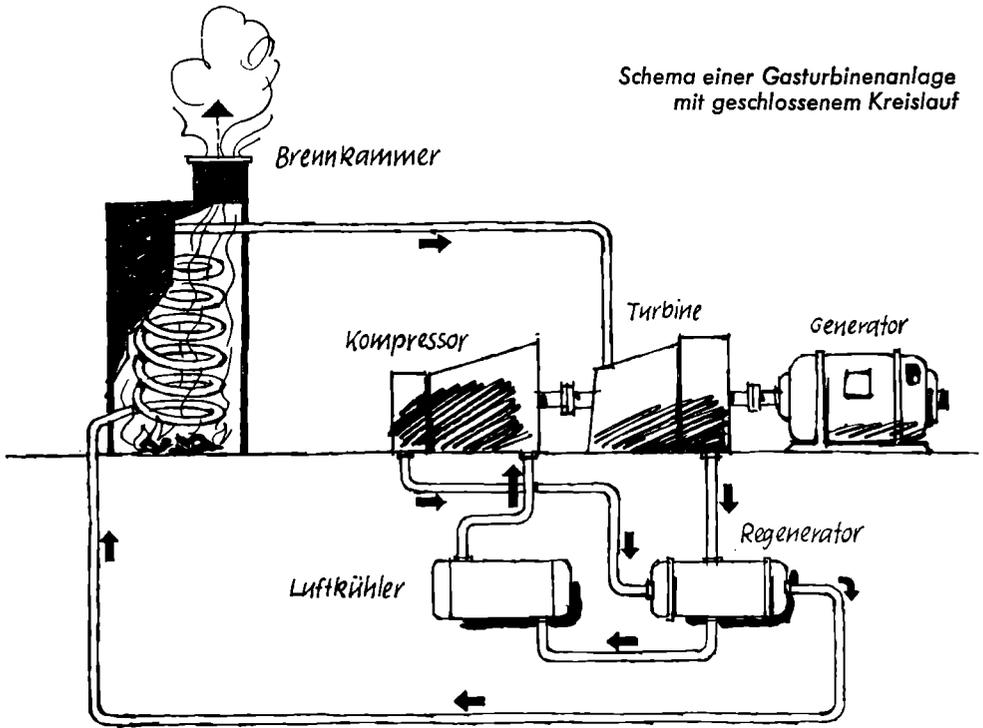
Wie die verbrauchten Gase bei der Verbrennungsturbine, so strömt hier die entspannte Luft mit genügend hoher Temperatur hinaus. Sie kann mit ihrer Eigenwärme die Luft vorwärmen, die aus dem Kompressor in den Regenerator gelangt.

Nun gelangt die Luft in den Kühler, und ihr Kreislauf beginnt von vorn: Kühler – Kompressor – Regenerator (wird vorgewärmt) – Brennkammer (wird bis zu einer hohen Temperatur erhitzt) – Turbine (dehnt sich aus und kühlt sich ab, führt Arbeit aus) – Regenerator (gibt die Wärme an die Luft ab, die in den Kessel eingetreten ist) – Kühler.

Wir wissen, daß für die Arbeit eines Wärmekraftmotors außer der „Wärmequelle“ auch eine „kalte Quelle“, also ein Wärmegefälle, vorhanden sein muß. Das bedeutet, Wärme soll nicht nur zugeführt, sondern auch abgegeben werden.

Der Kühler entzieht der Luft die Wärme, die in der Turbine und im Regenerator nicht genutzt wurde. Bevor die Luft in den Kompressor tritt, kühlt sie sich ab. Die für den Antrieb des Kompressors aufzuwendende Leistung wird gesenkt.

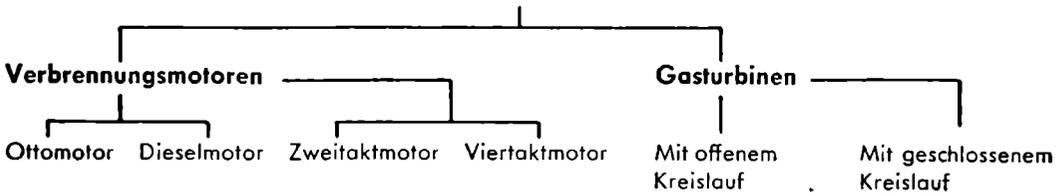
Gibt es beim offenen Kreislauf auch eine „kalte Quelle“? Dort ist doch kein Kühler vorhanden?



Doch es gibt diese Quelle. Es ist die Außenluft wie bei den Verbrennungsmotoren.

Eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf kann man auch Turboanlage mit äußerer Verbrennung nennen, weil sich der Treibstoff hier nicht mit der Arbeitsluft verbindet, sondern in einer besonderen Kammer verbrennt. Das hat den Vorteil, daß der Energieträger nicht von Rußteilchen und Verbrennungsrückständen verunreinigt wird. Man kann also Turbinen mit geschlossenem Kreislauf auch mit festen Brennstoffen beheizen.

## VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN



## Die Gasturbine heute und morgen

Die ersten modernen Turbinen besaßen keine eigene Brennkammer. Sie arbeiteten mit der Energie der Gase, die in den chemischen Werken ungenutzt entwichen. Immerhin entwickelten diese Maschinen bereits eine Leistung von etwa 7000 PS.

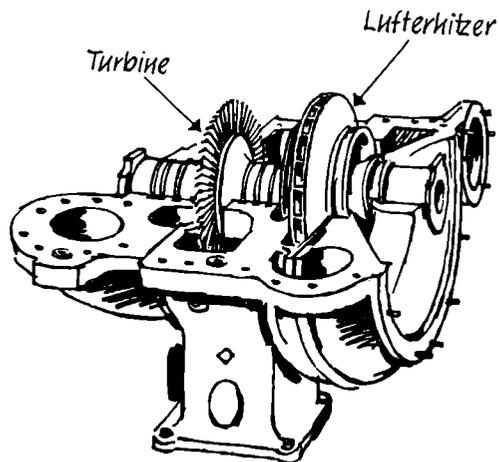
Auch die Abgasturbine des Verbrennungsmotors arbeitet ohne Brennkammer.

Bereits im Jahre 1905 hatte jedoch der Ingenieur Buchy vorgeschlagen, die Energie der Auspuffgase des Verbrennungsmotors durch besondere Turbinen auszunutzen: Sie sollten einen Kompressor und ein Gebläse antreiben. Dieser Kompressor schleudert die Luft für die Vorverdichtung und Aufladung in den Motor.

Was Vorverdichtung ist, ist uns bekannt. Doch was verstehen wir unter Aufladung?

Wenn in den Zylinder des Motors Gas oder Luft nicht einfach unter atmosphärischem Druck angesaugt, sondern zwangsweise durch einen besonderen Kompressor verdichtet wird, so befindet sich nach dem Ansaugtakt im Zylinder dem Gewicht nach eine größere Füllung frisches Arbeitsgemisch, das heißt, der Zylinder wird „aufgeladen“. Folglich kann dabei auch mehr Treibstoff verbrennen und mehr Wärme entstehen; der Gasdruck auf den Kolben erhöht sich, und die Motorenleistung nimmt zu.

Heute gibt es viele derartige Motoren, hauptsächlich Dieselmotoren, die nach diesem Verfahren arbeiten. Es handelt sich hier zumeist um sogenannte Abgasturbolader.



Ein Gasturbolader für Dieselmotoren — die obere Hälfte des Gehäuses wurde entfernt

Wenn wir von den Gasturbinen sprechen, so müssen wir hier ebenfalls diese Gasturbolader für Dieselmotoren erwähnen. Mit ihrer Hilfe gelingt es, die Leistung des Motors zu erhöhen, und zwar um fast das Anderthalbfache, zuweilen sogar um mehr.

Auf diesem Gebiete konnten auch die Maschinenbauer des Magdeburger Karl-Liebknecht-Werkes Erfolge erzielen. Sie produzieren leistungsstarke Dieselmotoren, die in der ganzen Welt geschätzt werden. Vor einigen Jahren bereits entwickelten die Ingenieure dieses Werkes einen Turbolader, der die Leistung des schweren Dieselmotors vom Typ 8 DV 148 A von 600 auf 1000 PS steigert.

Wo finden die modernen Gasturbinenanlagen Verwendung, und wo wird man sie in Zukunft antreffen?

Es gibt unterirdische Gasturbinenkraftwerke mit einer Leistung von 4000 kW (fast 5500 PS). Eine solche Turbinenanlage ist nicht sehr groß und benötigt wenig Wasser, so daß man diese leistungsfähigen Kraftwerke unter der Erde anlegen kann. Sie erzeugen keinen Lärm und verunreinigen die Luft nicht. Die Auspuffgase gelangen durch unterirdisch verlegte Rohre weit außerhalb von Wohnsiedlungen ins Freie.

Mit den Gasturbinen sind hohe Leistungen zu erzielen. Bereits jetzt gibt es Aggregate mit 50 000 kW, und künftig wird es noch leistungsfähigere geben.

Eine Gasturbine, die mit unterirdischen Gasen arbeitet, wäre ebenfalls sehr vorteilhaft.

Dmitri Iwanowitsch Mendelejew schlug bereits im Jahre 1888 vor, anstatt die Steinkohle unter gewaltigen Anstrengungen im Erdinnern abzubauen und zutage zu fördern, diese Kohle gleich unter der Erde zu verbrennen. Die dabei freiwerdenden Gase würden sich in Rohren leicht an die Erdoberfläche leiten lassen.

Wladimir Iljitsch Lenin billigte Mendelejews Idee leidenschaftlich in dem Artikel „Ein großer Sieg der Technik“. Lenin dachte daran, wieviel schwere Arbeit in der künftigen sozialistischen Gesellschaft durch die Methode der unterirdischen Kohlevergasung wegfallen würde.

Sowjetische Ingenieure befolgten den Hinweis Lenins und erforschten Methoden der unterirdischen Kohlevergasung. Bisher wurde diese schwierige Aufgabe nicht endgültig gelöst. Es ist zunächst vor allem erforderlich, gewaltige Gasgeneratoren zu entwickeln, die unterirdisch ohne menschliche Hilfe arbeiten und Gas in der gewünschten Qualität an die Erdoberfläche schicken.

Durch die Anstrengungen der Wissenschaftler wurden jedoch bereits Verfahren der unterirdischen Kohlevergasung entwickelt.

In den kommenden Jahren wird die unterirdische Vergasung der Kohle in der Sowjetunion weite Verbreitung finden. Die Gasturbinen werden dann der sowjetischen Volkswirtschaft einen unschätzbaren Nutzen bringen.

Die Leningrader Schwermaschinenfabrik hat bereits das erste Gasturbinenaggregat, das mit unterirdischem Gas arbeitet und eine Leistung von 12 000 kW besitzt, gebaut. Es wird seit dem Jahre 1956 für die unterirdische Kohlevergasung eingesetzt.

Dieses Aggregat ist außerordentlich kompliziert. Seine Turbine arbeitet mit Gasen, die eine Temperatur von 650° C aufweisen. Sie hat einen Wirkungsgrad von 27 Prozent, steht also vielen Dampfturbinen in der Wirtschaftlichkeit nicht nach.

Auf mehreren Gebieten der Technik nimmt die Gasturbine bereits eine bedeutende Stellung ein. Das trifft besonders für die Elektroenergieerzeugung, für die Luftfahrt und den Antrieb von Hochseeschiffen zu.

Auch in der Deutschen Demokratischen Republik werden seit einigen Jahren Gasturbinen gebaut und eingesetzt. Die Techniker, Ingenieure und Maschinenbauer haben mit großer Energie an der Weiterentwicklung der Gasturbine gearbeitet und dabei beachtliche Erfolge erzielt.

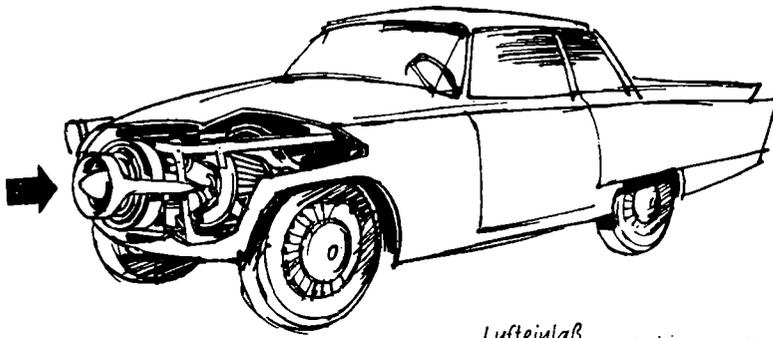
Wann setzt man heute Gasturbinen ein?

Wir erwähnten bereits die Erzeugung elektrischer Energie und wissen, daß sie nicht gleichmäßig verbraucht wird. Es gibt Spitzenbelastungszeiten, in denen die Dampfturbinen den plötzlichen Mehrverbrauch an Elektrizität nicht decken können. In diesen Zeiten liefern Gasturbinen, die in den Wärmekraftwerken als Reservemaschinen aufgestellt werden können, die erforderliche Mehrenergie. Die Gasturbine ist für solche Fälle besonders geeignet, da sie ohne langwieriges Anheizen sofort in Betrieb gesetzt werden kann. Sie kann leicht abgeschaltet werden und verbraucht beim Stillstand keinen Brennstoff, während Dampfturbinenanlagen ständig gleichmäßig beheizt werden müssen.

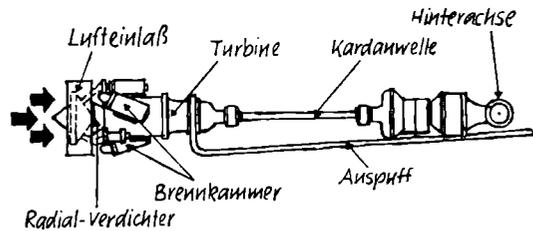
Braunkohle, die bei uns reichlich vorhanden ist, bildet den wichtigsten Rohstoff unserer chemischen Industrie. In den Großkokereien Lauchhammer und Schwarze Pumpe wird aus der Braunkohle hüttenfertiger Koks hergestellt. Das erspart uns die Einfuhr großer Mengen von Steinkohle.

Bei dieser Braunkohleverkokung werden aber nicht nur chemische Ausgangsstoffe gewonnen, sondern auch große Mengen brennbaren Kokereigas.

Mit diesen Gasen lassen sich Turbinen antreiben. In der Großkokerei Lauchhammer wurde 1957 die erste Gasturbinenanlage der DDR in Betrieb genommen. Es ist eine Turbinenanlage mit offenem Kreislauf. Sie wurde vom VEB Görlitzer Maschinenbau errichtet.



Turbinenauto



Das ist aber nur der Anfang. Künftig werden Gasturbinenkraftwerke eine bedeutende Rolle spielen.

Das Kombinat Schwarze Pumpe wird jährlich 3,3 Milliarden m<sup>3</sup> Gas erzeugen, das ab 1963 über ein Fernleitungssystem in alle Bezirke unserer Republik geleitet wird. Dann werden überall dort, wo wegen schlechter Kohle- und Wasserlage Dampfkraftwerke unwirtschaftlich arbeiten, Gasturbinen eingesetzt.

Ein derartiges Gasturbinenkraftwerk entsteht als Großbau der FDJ in der Nähe von Grimmenthal (Kreis Meiningen, Thüringen). Schon im Jahre 1962 werden hier zwei Gasturbinensätze von 50 000 kW anlaufen, die mit Schweröl betrieben werden.

In der Luftfahrt hat die Gasturbine bereits einen wahren Siegeszug angetreten. Für Flugzeuge sind sehr leichte, aber auch sehr leistungsstarke Motoren wichtig. So lag der Gedanke nahe, Flugzeuge mit Gasturbinen auszustatten. Bereits in den letzten Jahren des 2. Weltkrieges erprobte man Turbinenflugzeuge für Kriegszwecke. Heute sind die Turbinenriebwerke soweit vervollkommenet, daß turbinenbetriebene Flugzeuge nicht nur die schnellsten Verkehrsmittel sind, sondern auch eine hohe Betriebssicherheit haben.

Unsere Luftfahrtindustrie entwickelte im Jahre 1960 eine Kleingasturbine (Pirna 017). Sie leistet 130 PS und vollführt 32 000 Umdrehungen in der Minute. Sie kann ohne und auch mit Wärmeaustauscher gebaut werden. Zum Antrieb werden Kerosin, Dieselöl oder Benzin verwendet.

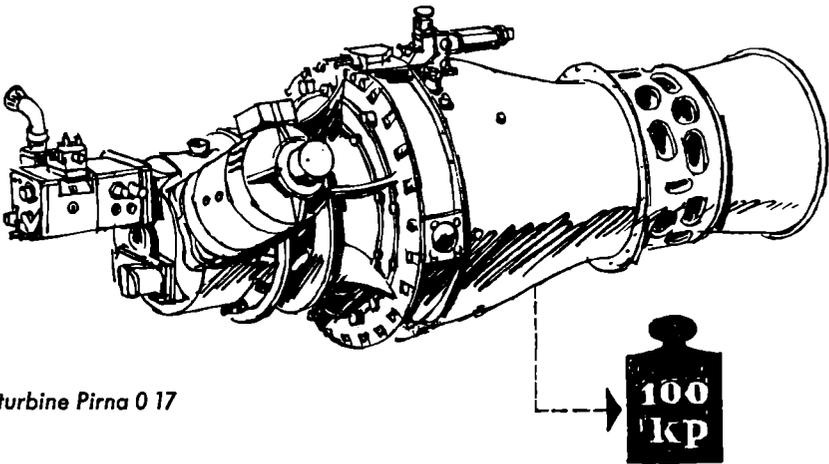
Diese Kleingasturbine ist sehr vielseitig. Sie treibt nicht nur Flugzeuge, sondern kann zum Beispiel auch für Notstromaggregate oder Feuerlöschpumpen eingesetzt werden.

Einen besonders großen Erfolg haben unsere Techniker in jüngster Zeit errungen. Am 25. Juni 1960 lief eines der modernsten Passagier-Hochseeschiffe der Welt vom Stapel: die „Fritz Heckert“. Das Schiff wurde von Wismarer Werftarbeitern gebaut, und seit dem Frühjahr 1961 durchkreuzt es als Urlauberschiff die Weltmeere. Es ist das erste Fahrgastschiff überhaupt, das von Gasturbinen angetrieben wird. Die Leistung der gesamten Antriebsanlage beträgt 10 000 PS und besitzt einen Wirkungsgrad von 35 Prozent. Warum aber ist man vom Dieselantrieb abgegangen?

Eine Dieselanlage gleicher Leistung hätte den doppelten Raum beansprucht. So aber bietet das Schiff mehr Platz für Kabinen, Säle und Klubräume. Die Turbinen arbeiten außerdem völlig erschütterungsfrei, sie können leicht gewartet werden und gestatten ein schnelles Manövrieren des Schiffes. Auch der Brennstoffverbrauch ist bei einer solchen Anlage sehr wirtschaftlich: Für eine Reise von 15 Tagen werden etwa 600 t Heizöl gebraucht.

Die Entwicklung der Gasturbinen ist noch nicht abgeschlossen. Welche Probleme müssen noch gelöst werden?

Eine Gasturbine muß bei hohen Temperaturen arbeiten. Zwar gibt es heute bereits Werkstoffe, die beträchtliche Temperaturen – 500 bis 700° C – lange aushalten, doch damit die Gasturbine wirtschaftlicher als andere Motoren arbeitet, das heißt, damit sie einen hohen Wirkungsgrad erreicht, muß man die Temperaturen der Gase auf 800 bis 900° C erhöhen. Bisher benutzt man solche Temperaturen nur bei Flugzeuggasturbinen.



*Kleingasturbine Pirna 0 17*

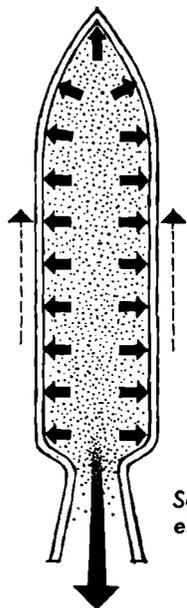
## STRAHLTRIEBWERKE

Wer hat sich noch nicht am Abend eines Festtages an einem Feuerwerk erfreut, hat beobachtet, wie pfeilschnell bunte Raketen zum Himmel schossen und dort in unzählige Sternchen zerplatzten?

Welche Kraft trägt die Raketen in die Höhe? Vielleicht denkt manch einer, daß die Rakete eine Art Granate darstellt, die durch die Kraft einer Pulverexplosion aus der „Raketenkanone“ geschleudert wird und im Fluge verbrennt. Doch die Sache verhält sich anders. Zwar ist auch die Rakete eine Art Geschöß, aber die Kraft für ihren Flug entwickelt sie in sich selbst, solange der in ihr enthaltene Treibsatz brennt. Es ist also gerade umgekehrt wie bei der Kanone, wo die Patronenhülse, die das Pulver enthält, beim Abfeuern des Schusses im Rohr verbleibt. Beim Auflassen einer Rakete fliegt die Hülse mitsamt der abbrennenden Treibladung davon. Kein Kanonenrohr ist dazu nötig, es genügt, die Pulverladung zu entzünden, und schon steigt die Rakete in die Höhe – man muß ihr nur die Richtung geben.

Es läßt sich schwer sagen, wann die erste Rakete auftauchte, wahrscheinlich fällt ihr Erscheinen mit der Entdeckung des Pulvers zusammen.

Im alten China knüpfte man Raketen an Bogenpfeile, und diese „Feuerpfeile“ flogen weit in das Lager des Feindes, jagten ihm mit ihren Feuerschweiften und ihrem Lärm gewaltigen Schreck ein. Wir werden die Geschichte der Rakete nur kurz streifen, da schon viele Bücher darüber geschrieben wurden. Uns interessiert vor allem die Kraft, die die Rakete antreibt und die auch in den modernen Düsentriebwerken ausgenutzt wird. Hier ist das Schema einer Rakete dargestellt, in deren Innerem irgendein brennbarer Stoff, zum Beispiel Pulver, verbrennt. Bei der Verbrennung wird viel Wärme frei, dadurch erhitzen sich die Gase im Innern der Rakete und drücken gegen die Wände,



Schema  
einer Rakete

gleichmäßig auf die linke wie auf die rechte Seitenwand. So gleicht sich der Druck aus. Auch auf der vorderen Wand, der Raketendecke, lastet der gleiche Druck, doch für ihn ist kein Ausgleich vorhanden. Ein Raketentriebwerk besitzt jedoch keinen Boden, die Gase fliegen durch die untere Öffnung hinaus. Daher kommt es, daß die nach oben wirkende Kraft die Rakete fortbewegt. Mit anderen Worten: Die Rakete wird durch den Gasstrahl fortbewegt, der sich von ihr abstößt.

Wir werden uns jetzt erinnern, daß die Bewegung im „Segnerschen Rad“ ähnlich erfolgte: Die Wasserstrahlen strömten hinaus, und das Rad drehte sich in entgegengesetzter Richtung.

Dieses Bewegungsprinzip nannten wir Rückstoßprinzip, und wir erfuhren, daß verschiedene Turbinen nach dem Rückstoßprinzip arbeiten. Jetzt erfahren wir, daß die Rückstoßkraft des ausströmenden heißen Gasstrahls – die nicht ausgeglichene Kraft des Druckes – die Rakete antreibt. Diese Kraft wird vom Rückstoß- oder Strahltriebwerk gezwungen, nützliche Arbeit auszuführen. Das Strahltriebwerk ist ein Verbrennungsmotor. Wie bei allen Wärmekraftmaschinen müssen auch bei ihm die Temperatur und der Druck bei der Verbrennung möglichst hoch, aber die Temperatur der abziehenden Gase und der Druck der Umgebung, in die der Gasstrahl geschleudert wird, möglichst niedrig sein. Da es in den Raketentriebwerken üblicherweise weder sich drehende noch sich ständig bewegendende Teile, also auch keine Reibung gibt, infolgedessen auch keine Nutzarbeit für „mechanische Bedürfnisse“ des eigenen Motors abgezweigt wird, ist der Wirkungsgrad höher als bei anderen Wärmekraftmaschinen. Vor allem aus diesem Grund wandte sich die moderne Technik diesem Motorentyp zu, um ihn für sehr schnelle Flugzeuge wie auch für die Raketen zum Vorstoß in den Weltraum einzusetzen.

### Die ersten Entwürfe

Die Raketen waren schon lange und überall bekannt. Mit der Ausnutzung der Rückstoßkraft zur Fortbewegung von Flugapparaten beschäftigten sich jedoch zuerst ernstlich russische Erfinder.

Vor mehr als 100 Jahren, im Jahre 1849, reichte der Stabskapitän Tretesski, der als Militäringenieur in der kaukasischen Armee diente, dem Generalgouverneur des Kaukasus einen Bericht ein. In diesem Bericht beschrieb er ein lenkbares, durch den Rückstoß ausströmender Gase angetriebenes Luft-

schiff und fügte auch Zeichnungen bei. Der Erfinder schlug vor, mit Hilfe eines Kompressors einige Behälter mit verdichtetem Gas zu füllen, das dann mit großer Geschwindigkeit aus dem Heckteil des Luftschiffes auströmen und so das Fahrzeug vorwärtsbewegen sollte.

Natürlich konnte ein solcher Motor nicht wirtschaftlich sein. Denn um die Behälter mit Gas zu füllen, brauchte man ja noch einen Motor, der den Kompressor antrieb.

Dabei ist die Energie, die in den verdichteten Gasen steckt, weit geringer als die, die der Motor zum Antrieb des Kompressors benötigt. Wieviel Energie geht schon im Kompressor und wieviel erst beim Verdichten in den Behältern verloren!

Wenn man ferner berücksichtigt, daß der erstere Motor (es konnte zur damaligen Zeit nur eine Dampfmaschine sein) ebenfalls einen niedrigen Wirkungsgrad besaß, so ist es verständlich, daß man von dieser Ausnutzungsart der Energie in Zukunft wohl kaum einen Erfolg erwarten durfte.

Wir möchten aber daran erinnern, daß damals das Flugzeug noch nicht erfunden war. Der Vorschlag Tretesskis, das Rückstoßprinzip für den Antrieb eines lenkbaren Luftschiffes auszunutzen, war deshalb bedeutend und verdiente Aufmerksamkeit.

Die zaristischen Beamten verhielten sich gegenüber der technischen Entwicklung in Rußland gleichgültig. So ging Tretesskis Entwurf im Dickicht der Kanzleien zugrunde und wurde nicht ausgewertet.

Ein anderer Entwurf entstand im Kerker. Der berühmte russische Narodnik Nikolai Iwanowitsch Kibaltschitsch (ein „Narodnik“ war Mitglied des Geheimbundes „Narodnaja wolja“, was „Volkswille“ bedeutet) kam auf die Idee eines Raketenflugzeuges.

Der ehemalige Student des Petersburger Ingenieurinstitutes für Verkehrswege, Kibaltschitsch, der wegen Verbreitung revolutionärer Ideen unter den Bauern zwei Jahre Kerker abgeüßt hatte, kehrte im Jahre 1877 wieder nach Petersburg zurück. Aber der grausame Zar Alexander II., der die fortschrittlichen Menschen verfolgte, verbot allen, die in irgendeiner Weise in die revolutionäre Bewegung verwickelt waren, nach Petersburg übersiedeln.

So durfte der junge Student, der sich leidenschaftlich dem Kampf für ein besseres Schicksal des Volkes verschrieben hatte und ebenso glühend die Wissenschaft liebte, die er sich aneignen wollte, sein Studium am Institut nicht fortsetzen.

Doch er fand einen anderen Weg, auf dem er seine technischen Kenntnisse, seine Liebe zu wissenschaftlichen Forschungen mit dem aktiven revolutio-

nären Kampf verbinden konnte: Kibaltschitsch ging in die Illegalität, wurde Pyrotechniker (Feuerwerker) einer illegalen politischen Bewegung.

An einem geheimen Ort, den nur die zuverlässigsten Mitglieder kannten, schuf sich Kibaltschitsch ein Laboratorium. Hier erfand er neue Zusammensetzungen von Sprengstoffen, arbeitete er die Konstruktion von Bomben und Wurfgeschossen aus. Die Narodniki bereiteten ein Attentat auf den Zaren vor.

Die Narodniki waren keine Marxisten. Sie wollten die Revolution durch einzelne Terrorakte herbeiführen. Doch bevor die heutige revolutionäre marxistische Partei entstand, schlossen sich den Narodniki viele kühne und der Revolution ergebene Menschen an, unter ihnen Kibaltschitsch. Sie glaubten, daß es ihnen durch die Ermordung des Zaren gelänge, der Revolution näherzukommen; sie waren bereit, ihr Leben für das künftige Glück des Volkes zu opfern.

Am 1. März 1881 wurde der Zar Alexander II. durch eine der vier von Kibaltschitsch hergestellten Bomben getötet.

Die Explosion der Bombe rief keine Revolution hervor, aber eine Welle von Verhaftungen. Am 17. März, zwei Wochen nach dem Attentat, wurde auch Kibaltschitsch verhaftet.

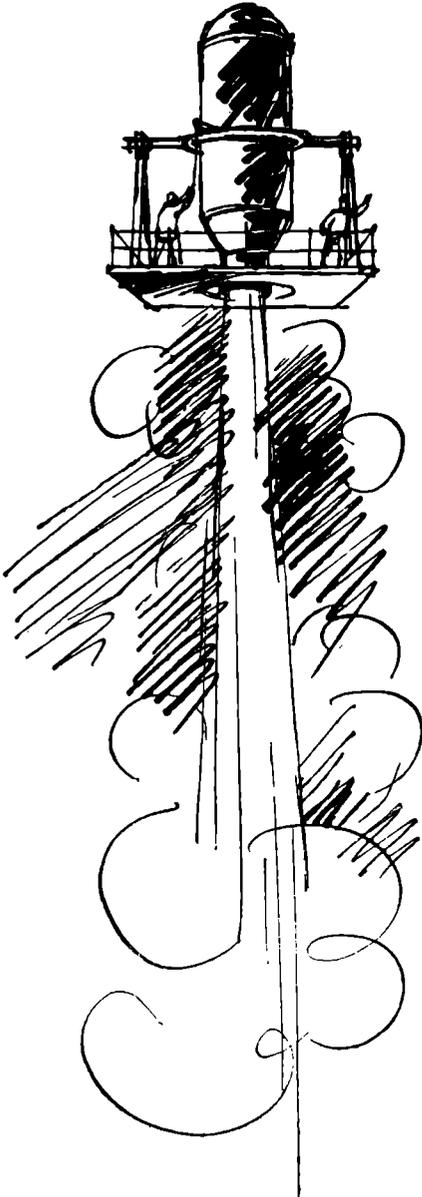
Kurze Zeit vor seiner Verhaftung hatte Kibaltschitsch eine Versuchsserie mit Pulver durchgeführt, das zu festen Säulen zusammengepreßt war. Dabei beobachtete er eine sehr interessante Eigenschaft dieser kleinen Säulen: Wenn man sie anzündete, verbrannten sie nicht durch eine augenblickliche Explosion, wie das bei gewöhnlichem losem Pulver der Fall war, sondern langsam, allmählich, Schicht für Schicht. Das brachte den jungen Forscher auf den Gedanken, daß man diese Eigenschaft zusammengepreßten Pulvers in einer Rakete ausnutzen könnte.

Um diesen Gedanken weiterzuentwickeln, war es notwendig, Berechnungen durchzuführen, Zeichnungen anzufertigen. Die Menschheit brauchte einen solchen Motor, er würde die Technik der Luftfahrt bedeutend vorantreiben! Doch Kibaltschitschs Verhaftung zerstörte alle Pläne.

Nachdem er jedoch in die Kerker der Peter-Pauls-Festung gebracht worden war und wußte, daß ihn die Todesstrafe erwartete, verzagte er nicht. Er war auch dann noch schöpferisch tätig. An der weißen, geputzten Zellenwand erschienen die ersten Linien einer Zeichnung.

Kibaltschitsch entrann mit seinen Gedanken der qualvollen Gegenwart und wandte sich einer lichten Zukunft zu, fest entschlossen, seine Idee der Menschheit zu hinterlassen. Dieser Entschluß und der Glaube, daß die Gesellschaft später einmal seine Erfindung verwirklichen und ausnutzen könne, hielt ihn aufrecht.

Er versuchte, Papier zu bekommen. Die Wärter, die von der außerordentlichen Energie des zum Tode Verurteilten stark beeindruckt waren, gewährten ihm diese Bitte. Am 23. März, sechs Tage nach seiner Verhaftung, übergab Kibaltschitsch den fertiggestellten Entwurf der Kerkerverwaltung. Der Entwurf begann mit den Worten: „Mich in Haft befindend, wenige Tage vor meinem Tod, schreibe ich diesen Entwurf. Ich glaube an die Durchführbarkeit meiner Idee, und dieser Glaube hält mich in meiner entsetzlichen Lage aufrecht.“



In den weiteren Ausführungen erläuterte er seinen Vorschlag. Nachdem er das Prinzip der Rakete beschrieben hatte, schlug er vor, für die Durchführung eines längeren Fluges einer derartigen Rakete Ladungen zusammengepreßten Pulvers zu verwenden. Nach seiner Überlegung mußte ein Flugapparat, der mit diesem Motor ausgestattet war, also eine Rakete, in der ununterbrochen Stäbchen aus zusammengepreßtem Pulver entzündet wurden, längere Zeit fliegen. Um die Fluggeschwindigkeit zu ändern, schlug Kibaltschitsch vor, Pulversäulen verschiedener Durchmesser zu verwenden. Denn je größer der Durchmesser der Pulversäulen, um so mehr Pulver wird in einem bestimmten Zeitmaß verbrannt und desto höher liegt die Temperatur in einer Rakete. Je höher der dadurch entstehende Druck der Gase ist, desto größer ist die Geschwindigkeit des Gasstrahls und demzufolge auch die Fluggeschwindigkeit der Rakete.

Kibaltschitsch unterbreitete viele Vorschläge für verschiedene Anlagen,

*So hätte die Rakete Kibaltschitschs ausgesehen, wenn sie gebaut worden wäre*

von denen eine die neuen Ladungen automatisch zuführen sollte, während andere für die Steuerung des Flugkörpers gedacht waren.

Aber diese Rakete wurde nicht gebaut. Man sagte Kibaltschitsch, daß sein Entwurf einer Kommission von Gelehrten zur Begutachtung vorgelegt würde, aber in Wirklichkeit legte man ihn im Archiv mit folgendem Vermerk ab: „Den Gelehrten nicht zu übergeben, um Unannehmlichkeiten aus dem Wege zu gehen.“

Zwei Tage vor seiner Hinrichtung bat Kibaltschitsch um ein Zusammenreffen mit einem Gelehrten. Er schrieb: Wenn die Gelehrten meine Ideen für ausführbar halten, so „werde ich ruhig den Tod erwarten mit der Gewißheit, daß meine Idee nicht mit mir zusammen stirbt, sondern der Menschheit weiterhilft, wofür ich bereit war, mein Leben zu opfern.“

Ein Zusammenreffen kam jedoch nicht zustande. Am 3. April 1881 wurde Kibaltschitsch hingerichtet.

Lange Zeit kannte niemand den genauen Inhalt des Entwurfs. Erst im Jahre 1918, nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution, wurde der Entwurf in den Polizeiarchiven aufgefunden und veröffentlicht.

Jedoch noch in der Haft, bei Gesprächen mit seinen Freunden, fand Kibaltschitsch Gelegenheit, seine Gedanken mündlich weiterzugeben, so daß sie später viele Gelehrte und Erfinder zum Weiterforschen veranlaßten.

### K. E. Ziolkowski, der Lehrer aus Kaluga

Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski, ein bedeutender russischer Gelehrter und Erfinder, der viel zur Weiterentwicklung des Raketenantriebes beitrug, gab ebenfalls ein leuchtendes Beispiel für heldenhaftes Wirken im Dienste der Wissenschaft.

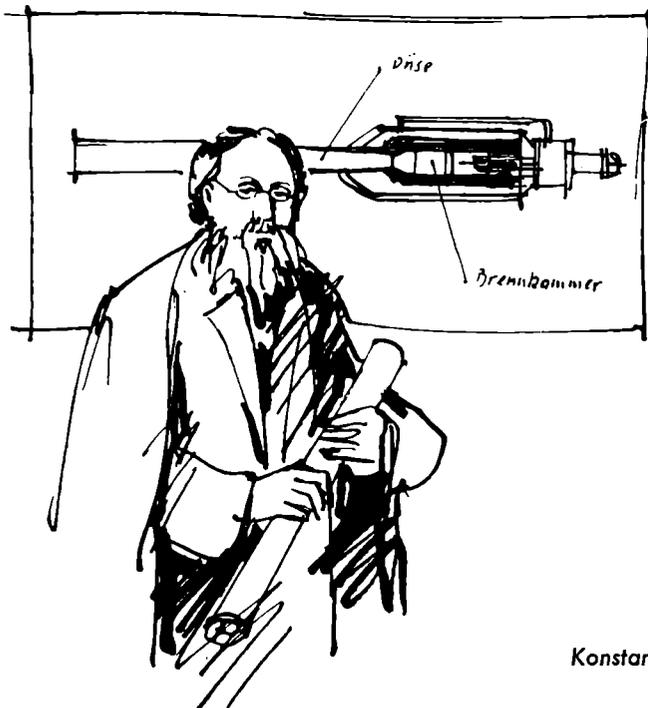
In der Familie des Försters Ziolkowski ereignete sich eines Tages ein Unglück: Der kleine Sohn Kostja erkrankte schwer an Scharlach. Es war unmöglich, einen guten Arzt zu bekommen – man kurierte selbst, so gut man konnte. Kostjas Krankheit hinterließ schwere Folgen. Er erholte sich zwar, doch sein Gehör hatte stark gelitten.

Nun konnte er die Schule nicht besuchen. Lesen und Schreiben lehrte man ihn deshalb zu Hause. Solange die Mutter lebte, erhielt er regelmäßig Unterricht. Doch zwei Jahre später starb die Mutter. Dadurch wurde das Leben für den einsamen, fast tauben Jungen immer schwerer. Draußen spielten und tummelten sich die anderen Kinder, unter denen sich auch

Kostjas älterer Bruder befand, sie scherzten und lachten. Sie hatten ihren Zeitvertreib, verlebten eine glückliche Kindheit.

In ihrer Welt kam sich Kostja wie ein Fremder vor. Und er fing an, sich selbst eine eigene interessante Welt zu schaffen. Das Fensterbrett wurde zu seinem Lieblingsplatz. Dort beschäftigte er sich mit Pappe und Papier, klebte mit Begeisterung alles mögliche Spielzeug zusammen. Er war froh, daß die von ihm geklebten Uhren mit Gewichten den wirklichen sehr ähnelten, daß seine Puppenhäuschen den kleinen Mädchen aus der Nachbarschaft gut gefielen und sie wegen dieser Häuschen bereit waren, mit ihm zu spielen.

Die Jahre vergingen. Er las mit großer Mühe die Lehrbücher seiner Brüder und eignete sich so den Unterrichtsstoff der verschiedenen Fächer an. Erst im Alter von 14 Jahren griff Kostja zum erstenmal nach dem Lehrbuch der Arithmetik. Seite für Seite, Buch für Buch bereiteten ihm neue Freude; je mehr er begriff, desto größer wurde sein Wissensdurst. Zusammen damit regte sich auch immer mehr seine Erfindungsgabe: Kein Spielzeug mehr, sondern eine Drehbank für Holzarbeiten baute sich der 15jährige Kostja. Nun beschäftigten ihn auch Autos mit Dampftrieb, Luftballons und andere Flugapparate.



Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski

Als sein Vater die außerordentlichen Fähigkeiten seines Sohnes bemerkt, entschließt er sich, ihn zum Studium nach Moskau zu schicken.

Nun befindet sich der 16jährige Konstantin, mit einem schweren körperlichen Gebrechen behaftet, in dem hastenden und lärmenden Moskau. Es gelingt ihm nicht, an der Universität anzukommen, und nachdem er eine armselige Unterkunft bei einer Wäscherin gemietet hat, fängt er an, wieder ohne Unterricht selbst zu lernen. Streng teilt er seine Zeit ein, fährt am Morgen in die Bibliothek und verläßt sie erst wieder am Abend. Auf dem Heimweg betritt er manchmal einen Laden, in dem er von seinen wenigen Mitteln Geräte und Chemikalien kauft. Am Abend stellt er verschiedene Apparaturen her und führt selbst physikalische und chemische Versuche durch.

So vergehen noch zwei Jahre. Viel hat er bereits erreicht, aber er will noch mehr erreichen. Sein Vater jedoch, um die Gesundheit des Sohnes bangend, nimmt ihn mit nach Hause, nach Rjasan. Hier besteht Konstantin Ziolkowski, 21 Jahre alt, sein Examen als Lehrer einer Stadtschule.

Zuerst muß er Unterricht in der Stadt Borowsk bei Moskau halten. Dort beginnt die wissenschaftliche Arbeit des jungen Lehrers. Er nimmt mit der Petersburger Physikalisch-Technischen Gesellschaft Verbindung auf, dort findet eine Reihe seiner Arbeiten Zustimmung. Doch die interessantesten und wichtigsten Arbeiten schafft der junge Physiklehrer in Kaluga, wohin er im Jahre 1892 versetzt wird.

Bereits im Jahre 1883 schrieb Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski in einem seiner frühen Aufsätze, den er „Freier Raum“ nannte: „Denken wir uns ein Faß, angefüllt mit stark verdichtetem Gas. Wenn wir einen seiner Hähne aufdrehen, so strömt ein ununterbrochener Gasstrahl aus dem Faß, wobei die Elastizität des Gases, indem sich seine Teilchen im Raum abstoßen, auch ununterbrochen das Faß abstoßen. Das Ergebnis ist, daß sich das Faß ununterbrochen bewegt.“

So kam Ziolkowski auf den Gedanken, das Rückstoßprinzip für eine Bewegung auszunutzen.

Das, was Ziolkowski über das Faß sagte, erinnert noch sehr an Tretesskis Idee. Von einem Verbrennungsmotor ist auch hier noch nicht die Rede.

Im Jahre 1896 las Ziolkowski die kleine Broschüre des Ingenieurs Fedorow „Ein neues Verfahren der Luftschiffahrt, bei dem ausgestoßene Luft als Tragpolster dient“. Der Verfasser beschrieb die Möglichkeit der Ausnutzung des Raketenprinzips für den Flug eines Geschosses in den luftleeren Raum. Das Büchlein hatte zwar keinen großen Wert, da vieles darin noch unklar war, doch zeigte es dem jungen Physiklehrer die verlockenden Möglichkeiten eines Fluges in den interplanetaren Raum mit Hilfe einer Rakete.

Ziolkowski beschloß, alle Vorschläge des Verfassers auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen, alles zu berechnen, zu beweisen und, falls erforderlich, zu ergänzen. Wie Ziolkowski später erklärte, hat ihn dieses unbedeutende Buch zu ernstest Forschungen angeregt.

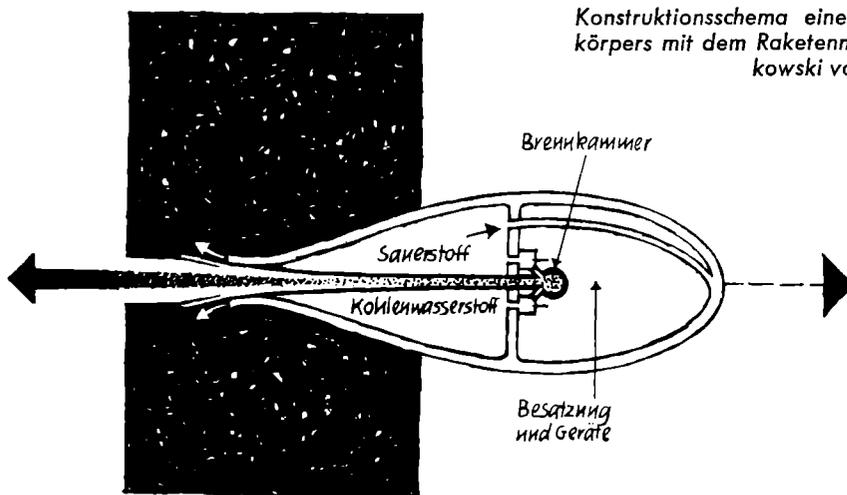
Im Jahre 1903 erschien eine neue Arbeit Ziolkowskis mit dem Titel: „Die Erforschung des Weltraums mit Rückstoßgeräten“.

Hier wurden erstmalig Berechnungen und eine wissenschaftliche Begründung des interplanetaren Raketenfluges dargelegt. Natürlich sollte den kosmischen Flugkörper kein mit Gas gefülltes Faß, sondern ein Raketenverbrennungsmotor antreiben.

Pulver für einen solchen Raketenantrieb zu verwenden, wie es Kibaltschitsch vorgeschlagen hatte, hielt Konstantin Ziolkowski für ungeeignet. Gewiß, das Pulver bot einen großen Vorteil: Da in ihm Brennstoff und Oxydationsmittel vereinigt sind, verbrennt es ohne jede Luftzufuhr, während bei anderen Treibstoffen außer dem eigentlichen Brennstoff immer noch ein Oxydationsmittel mitgeführt werden muß.

Doch nach Ziolkowskis Überlegungen und Berechnungen war Pulver nicht energiereich genug, und folglich müßte man zuviel von diesem Treibstoff an Bord nehmen. Erst in unserer Zeit hat man es gelernt, neuartige mächtige Pulverraketen (Feststoffraketen) zu bauen, die gewaltige Schubkräfte entwickeln.

Ziolkowski schlug ein Raketentriebwerk vor, das mit flüssigem Treibstoff arbeiten sollte, und zwar mit flüssigem Wasserstoff, Benzin oder Kerosin,



Konstruktionsschema eines kosmischen Flugkörpers mit dem Raketenmotor, der von Ziolkowski vorgeschlagen wurde

während als Oxydationsmittel Sauerstoff in flüssiger Form mitgeführt werden sollte.

Ziolkowskis Rakete ähnelt einem Regentropfen. Im vorderen Teil des Flugkörpers sind Besatzung und Geräte untergebracht. Der gesamte übrige Teil dient der Treibstoffaufbewahrung. Eine Hälfte dieses Vorratsraumes nimmt der Brennstoff selbst, die andere Hälfte der flüssige Sauerstoff ein. Gleichmäßig werden Brennstoff und Sauerstoff der Brennkammer zugeführt. Hier findet eine ständige Verbrennung statt. Die bis zu einer hohen Temperatur erhitzten Gase verlassen die Brennkammer mit gewaltiger Geschwindigkeit, erzeugen die Rückstoßkraft und treiben so den Raketenflugkörper mit großer Geschwindigkeit vorwärts.

Ziolkowski legte nicht nur die Idee eines Raketentriebwerkes für flüssigen Treibstoff dar, sondern schlug auch eine Reihe von wichtigen konstruktiven Lösungen vor: Er entwickelte Verfahren der Treibstoffzufuhr in die Brennkammer, der Kühlung des Motors, der Bedienung des Motors, der Steuerung der Rakete und des Raketenstarts.

Die von dem hervorragenden Gelehrten dargelegten Gedanken waren so zutreffend, daß viele dieser Gedanken 50 Jahre später in den Raketentriebwerken von heute praktisch verwirklicht werden konnten.

### Mit der Rakete in den Weltraum

Für welche Zwecke kann der Raketenantrieb Verwendung finden?

In seinen ersten Arbeiten zeigte Ziolkowski bereits, daß kein anderer Motor geeignet ist, den alten Traum der Menschheit zu verwirklichen – den Menschen von der Erde auf andere Planeten zu bringen.

Bereits im Mittelalter ließ dieser Gedanke dem menschlichen Verstand keine Ruhe. Der französische Dichter und Physiker Cyrano de Bergerac (1619–1655) behandelte in seinen phantastischen Werken mögliche Wege einer Reise zum Mond. So schlug er unter anderem vor, die Kraft von Pulverraketen auszunutzen, die nacheinander explodieren sollten.

Jedoch Cyrano de Bergerac selbst und viele andere nach ihm nahmen an, daß man interplanetare Flugkörper auch durch andere Verfahren antreiben könne.

Wie ließ doch Jules Verne seine Helden zum Mond reisen? Eine gewaltige Kanone schleuderte das Geschoß mit unglaublicher Kraft und Geschwindigkeit in den interplanetaren Raum.

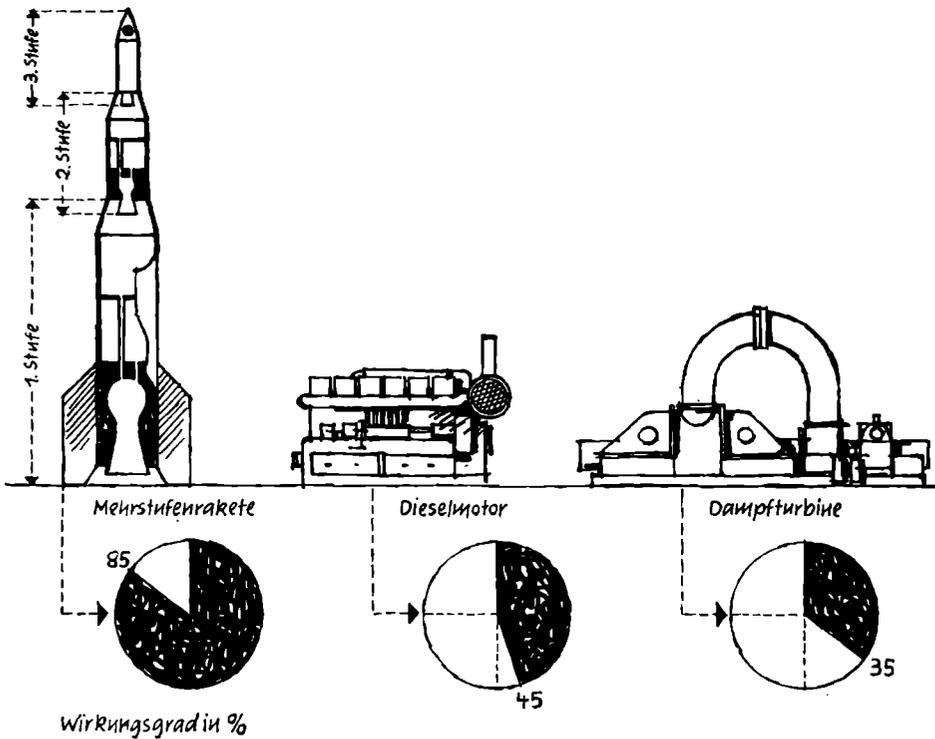
Ziolkowski hat berechnet, daß bei der gewaltigen Startgeschwindigkeit des Geschosses und der ungeheuren Beschleunigung nicht ein einziges Gerät heil bliebe, geschweige denn ein Mensch – selbst wenn es gelänge, eine Kanone mit einem 300 m hohen Rohr (das ist etwa achtmal so hoch wie ein Hochhaus) zu bauen und einen Gasdruck von kurzer Dauer zu schaffen, der ein Geschöß über die Atmosphäre hinaus schleuderte.

Wie Ziolkowski bewies, ist ein Raketenkörper frei von diesen Mängeln. Er kann verhältnismäßig leicht starten; seine Fluggeschwindigkeit läßt sich regulieren.

In einer Rakete können Geräte und sogar Menschen gefahrlos untergebracht werden. Eine Rakete kann auch wieder zur Erde zurückkehren.

Eine Rakete kann große Entfernungen zurücklegen und gewaltige Geschwindigkeiten entwickeln, denn für hohe Geschwindigkeiten erweist sich das Raketentriebwerk als besonders wirtschaftlich: 85 Prozent der durch die Verbrennung des Treibstoffs freiwerdenden Wärme werden in der Schubarbeit ausgenutzt.

Die besten Dampfturbinen nutzen nur 35 Prozent und die besten Verbrennungsmotoren, die Dieselmotoren, nur 45 Prozent der durch die Verbrennung des Treibstoffs freiwerdenden Wärme aus.



Ein halbes Jahrhundert ist inzwischen vergangen, seit Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski seine erste Arbeit über einen Flüssigkeitsraketenantrieb veröffentlichte. Seit der Zeit Cyrano de Bergeracs sind drei Jahrhunderte verstrichen.

Heute wird der Traum der Menschen vom interplanetaren Flug Wirklichkeit. Der Sowjetunion gebührt das Verdienst, bei der wissenschaftlichen Lösung dieser Aufgabe erfolgreich gearbeitet zu haben.

Es war am 4. Oktober 1957. Steil wie ein hoher Turm ragt der große schlanke Raketenleib in den Himmel. Von einem metallglänzenden Montagegerüst aus, das dicht an die Rakete herangeschoben ist, überprüfen Techniker, Ingenieure und Wissenschaftler noch ein letztes Mal alle wichtigen Raketenteile.

Alles in Ordnung!

Signallampen leuchten auf. Auf dem Startgelände sind keine Menschen mehr zu sehen. Die schweren Tankwagen, die den Treibstoff in den mächtigen Raketenkörper hinübergepumpt hatten, stehen am Rande des Startfeldes in Sicherheit. Nur noch durch ein dünnes Kommandokabel ist die Rakete mit dem Leitstand verbunden. Durch dieses Kabel werden der Rakete alle notwendigen Befehle erteilt: Die Ventile der Treibstoffleitungen öffnen sich, die Turbinenpumpen laufen an, das Triebwerk beginnt zu arbeiten.

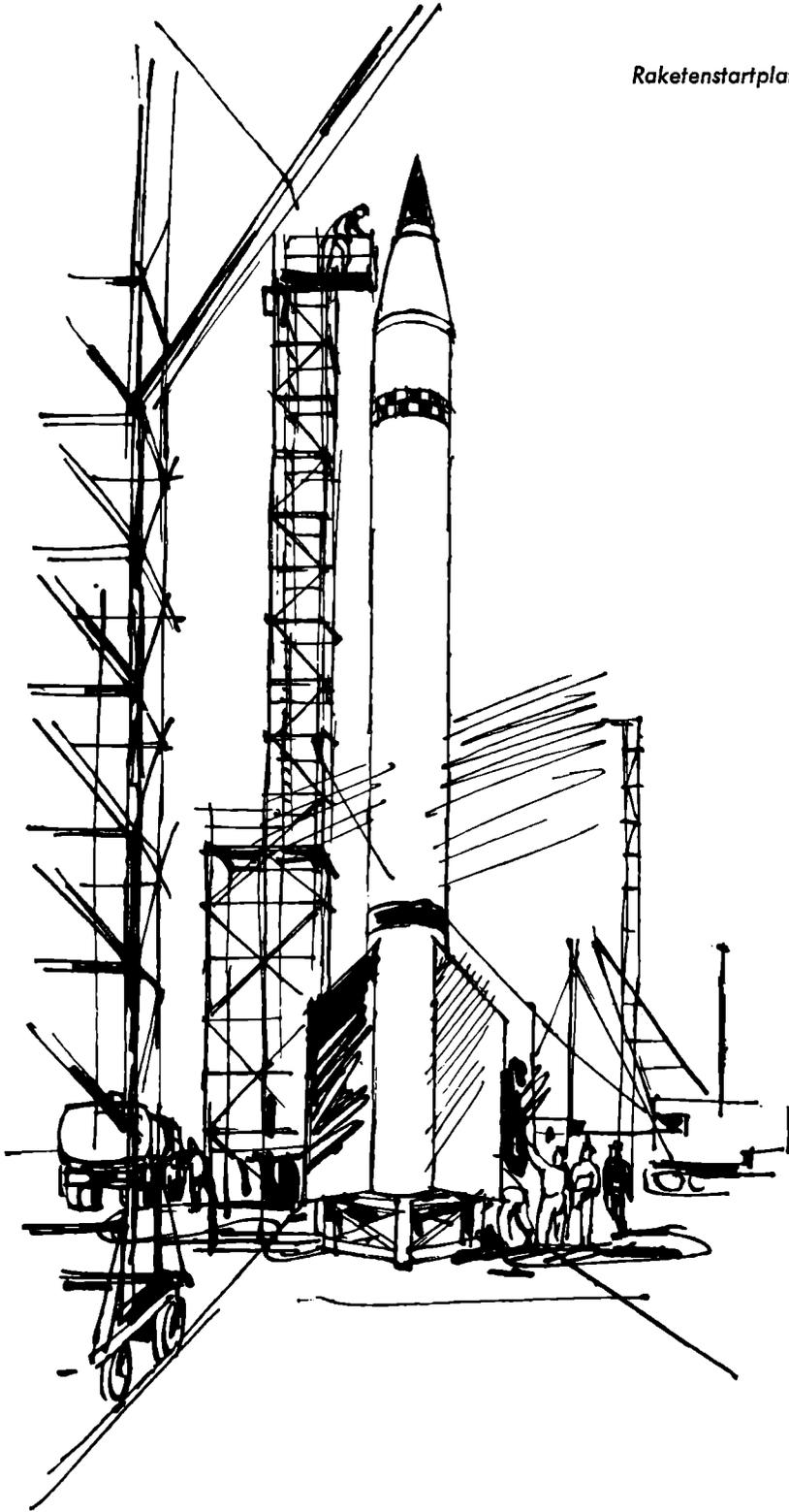
Aus dem Heck der Rakete schießt ein dicker Strahl heißer Verbrennungsgase, und langsam, ganz langsam hebt sich der tonnenschwere Raketenkörper über die Plattform. Fast scheint es einen Augenblick so, als stünde der metallglänzende Raketenkörper auf seinem Auspuffstrahl. Aber rasch nimmt seine Geschwindigkeit zu, und immer schneller steigt der Feuerpfeil höher und höher.

Ohrenbetäubender Donner zerreißt die abendliche Stille. Im Betonbunker verfolgen die Wissenschaftler und Techniker gebannt den Weg der Rakete auf den hellen Fernsehschirmen.

Und immer höher steigt der Feuerpfeil. Tonne um Tonne Treibstoff verbrennt. Schon nach zwei Minuten hat er eine Höhe von etwa 60 km erreicht. Nun ist der Treibstoff der ersten Raketenstufe verbraucht. Die Rakete, die aus mehreren übereinandermontierten Einzelraketen zusammengesetzt ist, teilt sich. Der unterste, ausgebrannte Teil wird abgeworfen, er löst sich von der weiterfliegenden Restrakete, die dadurch erheblich leichter wird. Jetzt setzt das zweite Triebwerk ein und bringt sie auf eine noch höhere Geschwindigkeit.

Bereits Ziolkowski hatte berechnet, daß eine Rakete, um die Erdanziehung zu überwinden, eine Geschwindigkeit von etwa 8 km/s erreichen muß, und

Raketenstartplatz



er hat für diesen Zweck diese zusammengesetzten „Mehrstufenraketen“ vorgeschlagen.

Immer schneller wird der rasende Flug zum Himmel. Ein paar hundert Kilometer über der Erdoberfläche teilt sich der Raketenkörper noch einmal, und schließlich – 900 km über der Erde – wird aus dem letzten weiterfliegenden Raketenteil eine silbrig glänzende Kugel mit vier langen Stacheln herausgeschossen.

Die Rakete hat ihre Aufgabe erfüllt: Ihr Fahrgast „SPUTNIK I“ hat seine Bahn im Weltraum erreicht, auf der er nun mit der kaum vorstellbaren Geschwindigkeit von 28 000 km/h alle 96 Minuten einmal die Erde umkreisen wird. Der erste von Menschenhand geschaffene Himmelskörper umkreist den Erdball. Eine Rakete hat ihn auf seine Bahn gebracht.

Dem ersten folgen bald weitere Geschwister:

Kaum einen Monat später folgt SPUTNIK II, das erste bemannte Raumfahrzeug mit der Hündin Laika an Bord.

Am 15. Mai folgt SPUTNIK III, ein wahres Schwergewicht mit einer wissenschaftlichen Nutzlast von 1327 kg.

Eine neue Sensation bringt der 2. Januar 1959 mit der 1. kosmischen Rakete (LUNIK I), die als Sonnentrabant nun die Sonne in einer Entfernung von rund 150 000 000 km umkreist – der erste künstliche Planet.

Am 14. September 1959 wird zum erstenmal der Flug eines irdischen Flugkörpers zu einem fremden fernen Gestirn Wirklichkeit: LUNIK II, die 2. sowjetische kosmische Rakete, erreicht den Mond.

Vierzehn Tage später aber wird auch diese Leistung schon wieder übertroffen: LUNIK III umfliegt den Mond, fotografiert seine Rückseite, entwickelt automatisch die Filme an Bord und übermittelt die gewonnenen Aufnahmen über einen Fernsehsender zur Erde.

Immer neue Erfolge erringen die sowjetischen Wissenschaftler und Techniker. Als Generalprobe für den Weltraumflug des Menschen startet am 15. Mai 1960 das erste Raumschiff, in dessen vollständig eingerichteter Kabine eine Puppe von der Größe und dem Gewicht eines Menschen sitzt.

Am 19. August 1960 folgt dem ersten ein zweites Raumschiff, das außer den beiden Weltraumhunden Belka und Strelka noch eine ganze Sammlung von Laboratoriumstieren, Pflanzen, Zellen und Fermenten an Bord hat. Dieses zweite Raumschiff ist das erste Weltraumfahrzeug, das aus dem Kosmos wieder zur Erde zurückkehrt – wohlbehalten und planmäßig.

Am 12. April 1961 umflog der sowjetische Raumflieger Juri Gagarin im Raumschiff OSTEN die Erde!

Wenn ihr dieses Buch in den Händen haltet, ist diese Liste weiter angewachsen.

Indem sie Ziolkowskis Ideen weiterentwickeln und verwirklichen, arbeiten die sowjetischen Ingenieure auch an der Lösung komplizierter technischer Fragen, die mit dem Bau eines „kosmischen Flugzeuges“ im Zusammenhang stehen.

Wir möchten nicht versäumen, einen interessanten Vorschlag des Ingenieurs Zander, eines Wissenschaftlers und Mitarbeiters Ziolkowskis, zu erwähnen. Zander, der die Möglichkeiten untersuchte, in Raketenmotoren Treibstoff mit einem hohen Heizwert zu verwenden, schlug als Treibstoff verschiedene Metalle vor. Denn Metalle wie Aluminium oder Magnesium geben, wenn man sie im Sauerstoff verbrennt, mehr Wärme als flüssige Treibstoffe ab. Das Raketentriebwerk würde dadurch noch leistungsfähiger.

Zander wies darauf hin, daß dies für Raumschiffe von großer Bedeutung sei, weil man dadurch nach und nach die unnötig gewordenen Metallteile der Rakete verbrennen könne. Die Rakete würde dadurch immer leichter, und ihre Geschwindigkeit nähme beträchtlich zu. Das wäre also dann ein Triebwerk, das sich zum Teil selbst verzehrt!

Allerdings hat die Technik vorläufig noch keine befriedigende Lösung dieser Aufgabe gefunden. Die beharrlichen Forschungen werden fortgesetzt, Wissenschaftler und Ingenieure suchen nach den besten Verfahren der Verbrennung und der Lenkung der Verbrennung dieser metallischen Treibstoffe.

Verlassen wir nun die unerforschten und unermesslichen kosmischen Räume und kehren wir wieder auf die Erde zurück.

Lassen sich Strahltriebwerke auch für weniger grandiose Aufgaben verwenden?

Als die Faschisten die Sowjetunion überfallen hatten und bereits bis Smolensk vorgedrungen waren, bereitete ihnen die Sowjetarmee eine „Überraschung“. Die nichts ahnenden vorgeschobenen Teile des Feindes, die fest an einen leichten Sieg glaubten, wurden plötzlich mit einer großen Anzahl todbringender Geschosse überschüttet. Es waren ungewöhnliche, nie dagewesene Geschosse: Mit rasender Geschwindigkeit kamen sie irgendwoher vom Himmel geflogen, einen Feuerschweif hinter sich herziehend. Sie hagelten so zahlreich nieder, daß der Platz, auf den sie fielen, einem Flammenmeer glich.

Die Faschisten waren starr vor Entsetzen. Soldaten, Waffen, Panzer – alles fiel unter den Feuerorkan. Doch nicht nur die Gewalt des Feuers flößte den feindlichen Soldaten Schrecken ein, vielmehr versetzte sie die rätselhafte Herkunft und die seltsame Art der Geschosse in Schrecken.

So machten die Hitlerfaschisten Bekanntschaft mit einer neuen sowjetischen Waffe – mit der Raketenartillerie, mit den „Katjuschas“.

Auf einem gewöhnlichen Lastauto werden einige Leitrinnen montiert – das sind die „Raketenkanonen“. Sie sind leicht und mehrrohrig. Rasch fahren sie von einem Ort zum anderen, feuern schnell einige Geschosse ab. So stellen sie eine für den Feind sehr gefährliche Waffe dar.

Nach Beendigung des 2. Weltkrieges wurde dieser jüngste Zweig der modernen Militärtechnik vor allem in England, in den Vereinigten Staaten und in der Sowjetunion sehr rasch weiterentwickelt. Es entstand eine völlig neue Waffengattung – die militärische Raketentechnik, die heute über ein großes Arsenal verschiedenster Raketentypen verfügt.

Aus den noch verhältnismäßig kleinen Geschossen der Katjuschas wurden in den Jahren seit 1945 wahre Giganten, von denen die größten die mehrfache Höhe eines großen Hauses haben. Da gibt es Kurz-, Mittel- und Langstreckenraketen; es gibt Raketen, die von Panzern, Schiffen, Flugzeugen und sogar von getauchten U-Booten aus aufgelassen werden können. Viele dieser Feuerpfeile werden von der Erde aus ferngelenkt, aber es gibt auch andere, die sich mit Hilfe empfindlicher Spürsysteme selbst mit tödlicher Sicherheit den Weg zu ihrem Ziel suchen.

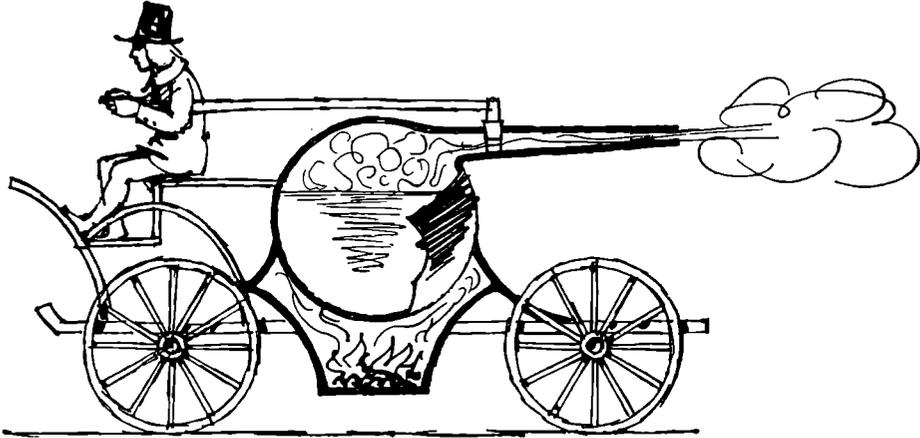
Die größten und leistungstärksten in diesem Arsenal der Feuerpfeile sind die sowjetischen interkontinentalen Großraketen, die von jedem beliebigen Startplatz aus in kürzester Zeit jeden beliebigen Ort der Erde erreichen können.

All das sind heute noch gefährliche Waffen. Doch der Tag ist nicht mehr fern, an dem diese militärischen Feuerpfeile vernichtet werden. Die friedliebenden Völker, an ihrer Spitze die Sowjetunion, werden die allgemeine und vollständige Abrüstung erzwingen. Dann können die interkontinentalen Raketen zum Beispiel als Post- oder Frachtraketen mehrere Tonnen Nutzlast in weniger als einer Stunde von Moskau nach New York befördern.

### Andere Möglichkeiten des Raketenantriebs

Ein gewöhnlicher Jagdflugzeug benötigt zum Start eine Rollbahn von einem halben Kilometer und eine schwere „fliegende Festung“ eine mehrere Kilometer lange Rollbahn. Der Flugplatz, der für solche Flugzeuge vorgesehen ist, nimmt eine riesige Fläche ein. Nicht überall ist es jedoch möglich, solche weiträumigen Flugplätze anzulegen.

Um den Start eines Flugzeuges zu beschleunigen, bedient man sich deshalb sogenannter Beschleunigungsraketen. Am Flugzeug werden Pulver- oder



*Das von Newton vorgeschlagene Dampfauto*

Flüssigkeitsraketen befestigt, die beim Start entzündet werden. Innerhalb weniger Sekunden entwickeln sie dann einen großen, zusätzlichen Schub, der dem Flugzeug hilft, die Startgeschwindigkeit bedeutend schneller zu erreichen. Gleich nachdem sich das Flugzeug in die Luft erhoben hat, lösen sich die verbrauchten Raketen und fallen an Fallschirmen zur Erde.

Läßt sich der Raketenantrieb aber auch für den Verkehr auf der Erde, zum Beispiel für Kraftfahrzeuge, verwenden?

Bereits vor langer Zeit, im Jahre 1686, wurde die Idee eines Dampfwagens bekannt. Man nimmt an, daß der Urheber dieses Entwurfes der berühmte englische Physiker Isaac Newton war.

Dieser Wagen sollte durch den Rückstoß eines Dampfstrahls angetrieben werden, der ununterbrochen aus einem Dampfkessel strömt.

Im Jahre 1886 machte der russische Erfinder Geschwend den Vorschlag, die Rückstoßkraft des Dampfes für die Fortbewegung von Eisenbahnzügen auszunutzen.

Um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts fuhren auf den Kanälen des Mariensystems (Kanalsystem im nördlichen Wolgagebiet) sogenannte Rückstoßschiffe. Das Wasser strömte am Bug des Schiffes ein und wurde dann mit großem Druck durch Heckrohre wieder hinausgepumpt. Die Rückstoßwirkung des ausströmenden Strahls trieb das Schiff an.

Diesen Schiffen gab man den sehr treffenden Spitznamen „Wasserspucker“. Es sei erwähnt, daß man auch heute noch derartige Rückstoßschiffe baut, die sich besonders für das Befahren sehr flacher Flüsse eignen. Während nämlich die Schraubenschiffe einen großen Tiefgang erfordern, weil die

gesamte Schiffsschraube mit Wasser bedeckt sein muß, können die Rückstoßschiffe auch bei geringstem Tiefgang fahren.

Es muß bemerkt werden, daß hier das Rückstoßprinzip nur für die Erzeugung der Schubkraft für das Schiff benutzt wird; die notwendige Energie für den Antrieb der Pumpe und das Hinausdrücken des Wassers erzeugt eine Wärmekraftmaschine.

Im Jahre 1928 führte der deutsche Autofabrikant Opel mit einem besonderen Auto Versuche durch, an dem er mit Hilfe einfacher Holzvorrichtungen zwei Pulverraketen befestigen ließ. Nach dem Entzünden der Raketen ruckte das Auto plötzlich an, legte in 9 Minuten etwa 150 m zurück und blieb stehen. Später erprobte Opel ein Auto mit 24 Raketen. Dabei stieg die Geschwindigkeit auf 120 km/h, doch bei dem jähen Anrucken erlitt der Fahrer empfindliche Verletzungen. Opel und andere deutsche Ingenieure erprobten auch die Anwendung der Pulverraketen für Eisenbahndraisinen und Motorboote. Hier ging die Sache nicht ohne Katastrophen ab. Eine der Draisinen sprang aus den Schienen und wurde zertrümmert; das Boot ging durch eine Explosion unter, und Opel gelang es gerade noch, sich schwimmend zu retten.

Im selben Jahr 1928 brachten zwei lettische Studenten Raketen an ihren Fahrrädern an und fuhren etwa einen halben Kilometer weit.

All diese Erfahrungen zeigten, daß bei Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h nur etwa 2 bis 3 Prozent der Raketenenergie genutzt werden, das heißt, für derartige Zwecke war die Rakete ein ungeeigneter Motor.

Seit dieser Zeit richteten die Ingenieure und Erfinder ihre Aufmerksamkeit darauf, den Rückstoßmotor vor allem in der Luftfahrt zu verwenden, wo höhere Geschwindigkeiten notwendig waren.



## Das Staustrahltriebwerk

Das Flugzeug ist mittlerweile zum schnellsten Verkehrsmittel geworden. Im Jahre 1934 betrug der Geschwindigkeitsrekord 709 km/h. Dieses Flugzeug konnte in 56 Minuten von Leningrad nach Moskau fliegen, während ein D-Zug für diese Strecke 10 bis 12 Stunden benötigte und ein Auto 6 bis 7 Stunden.

Im Jahre 1939 erhöhte sich der Fluggeschwindigkeitsrekord noch etwas. Eine deutsche einmotorige Rennmaschine erreichte 755 km/h – ein Rekord, der bis heute noch nicht gebrochen ist. Eine weitere Erhöhung der Geschwindigkeit des Kolbenmotorflugzeuges ließe sich nur durch eine bedeutende Vergrößerung der Motorenleistung erreichen. Doch mit dem Anwachsen der Leistung nehmen auch Größe und Gewicht des Motors sehr schnell zu, und sein Einbau in ein Flugzeug wird damit praktisch unmöglich.

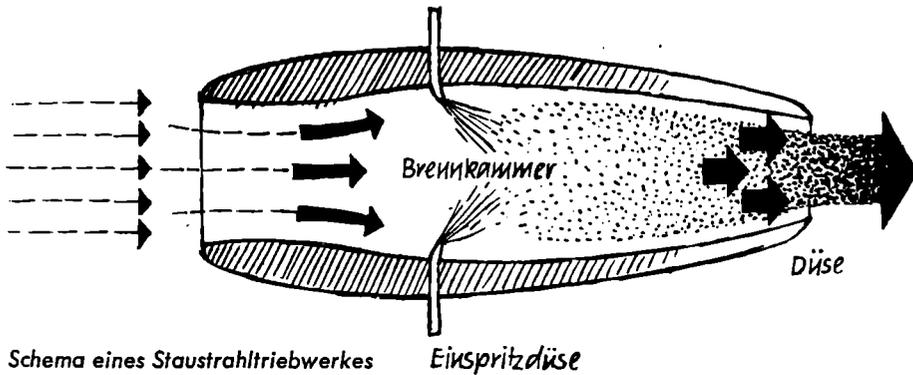
Gewaltige Motorleistungen sind notwendig, um den bei hohen Geschwindigkeiten auftretenden starken Luftwiderstand zu überwinden. Dabei arbeitet die Luftschaube, mit deren Hilfe das Flugzeug seinen Vortrieb bewirkt, bei sehr hohen Geschwindigkeiten schlecht und setzt der Geschwindigkeit schließlich Grenzen.

Deshalb entschlossen sich die Flugzeugkonstrukteure, größere Geschwindigkeiten mit Hilfe eines anderen Motors, des Strahltriebwerkes, anzustreben. Jedoch bauten die Konstrukteure keinen Pulverraketenmotor in das Flugzeug ein, sondern einen Flüssigkeitsraketenmotor. Dieser Motor unterscheidet sich aber von dem, der für interplanetare Raketen verwendet wird.

Wir erinnern uns, daß Ziolkowski vorschlug, flüssigen Treibstoff in der Atmosphäre reinen Sauerstoffs zu verbrennen. Sowohl der Treibstoff als auch der Sauerstoff mußten dabei in Behältern an Bord des Raketenflugkörpers aufbewahrt werden. Aber warum sollte man denn in einem Flugzeug Sauerstoff in Behältern mitnehmen, wenn es die ganze Zeit durch die Luft fliegt, in der genug Sauerstoff enthalten ist? Über der Atmosphäre der Erde, irgendwo im interplanetaren Raum, verhält es sich anders; dort ist nicht genug Sauerstoff vorhanden. Aber weshalb sollte man im atmosphärischen Raum Sauerstoff mitnehmen – mag doch der Motor Luft „einatmen“! An Stelle des Sauerstoffs kann man so mehr Treibstoff mit sich führen und damit weit größere Entfernungen ohne Nachtanken durchfliegen.

So kam man auf die Idee der Luftstrahltriebwerke oder Düsentriebwerke. Ein Luftstrahltriebwerk einfachster Konstruktion läßt sich leicht bauen.

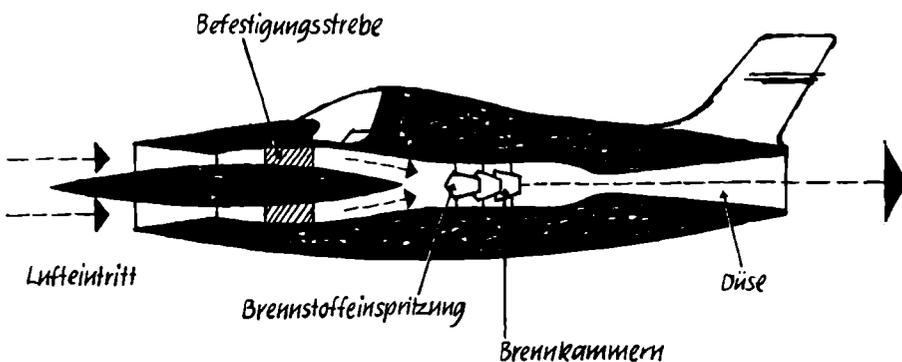
Das Strahltriebwerk ähnelt einem Ei, dem man beide Spitzen abgeschnitten hat. Um ein Flugzeug mit Hilfe eines solchen Rohrs zum Fliegen zu veran-



lassen, muß durch die vorderen Öffnungen Luft ins Rohrrinnere strömen. Dann wird flüssiger Treibstoff durch eine Düse in den Luftstrom gespritzt und nach der Entzündung durch einen elektrischen Funken verbrannt. Durch die freiwerdende Wärme steigt die Temperatur an und folglich auch der Gasdruck. Die Gase sind bestrebt, durch beide Öffnungen, die vordere und die hintere, zu entweichen. Während sie aber vorn auf großen Widerstand des eindringenden Luftstroms treffen, erweist sich hinten der Widerstand als gering.

Deshalb strömt der gesamte Inhalt der Brennkammer nach hinten und stößt diesen Rohrmotor und somit das ganze Flugzeug vorwärts. Die Techniker nennen ein solches Triebwerk „Strahlrohr“ oder noch genauer – Staustrahltriebwerk. Und da die Luft einfach das Strahlrohr durchströmt, ohne daß sie etwa mit einem Kompressor verdichtet wird, können wir es auch als ein Luftstrahltriebwerk mit direktem Durchstrom bezeichnen.

Ihr werdet euch denken können, daß ein solcher Motor einen großen Mangel besitzt, denn bevor der Motor arbeiten kann, muß das Flugzeug



Schema eines Antriebs ohne rotierende Aggregate für ein Überschallflugzeug

erst mit hoher Geschwindigkeit durch die Luft fliegen. Folglich müssen im Flugzeug noch besondere Anlaßvorrichtungen eingebaut werden, oder es muß erst mit Hilfe eines besonderen Starttriebwerkes auf die erforderliche Geschwindigkeit gebracht werden.

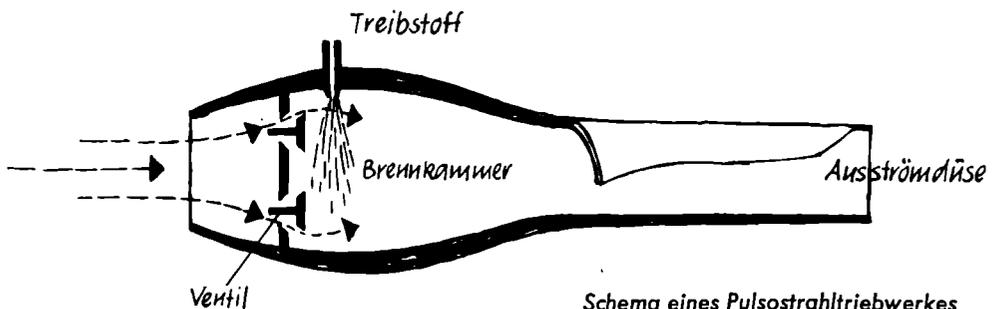
Außerdem ist dieser Motor für gewöhnliche Geschwindigkeiten unwirtschaftlich. Das ist ähnlich wie beim ersten Verbrennungsmotor, dem Lenoirmotor. Er besaß unter anderem deshalb einen niedrigen Wirkungsgrad, weil er ohne vorherige Verdichtung der Arbeitsfüllung arbeitete. Eine ähnliche Erscheinung tritt auch beim Strahltriebwerk mit direktem Durchstrom auf. Bei geringer Fluggeschwindigkeit ist der Luftdruck in der Brennkammer nicht sehr hoch, und die bei der Treibstoffverbrennung frei werdende Wärme wird schlecht genutzt.

Nur bei hohen Geschwindigkeiten – nahe der Schallgeschwindigkeit – besitzt die Luft einen genügenden Verdichtungsgrad, und der Motor arbeitet wirtschaftlich.

### Das Pulsostrahtriebwerk

Zur Familie der Luftstrahltriebwerke ohne Kompressor gehört außer dem eben besprochenen Staustrahtriebwerk noch das sogenannte Pulsostrahtriebwerk. Wir werden sehen, daß es diesen Namen zu Recht trägt.

Das Pulsostrahtriebwerk besteht zunächst aus einem Stahlrohr. Links, nahe der Einlaßöffnung, ist im Rohrinne eine Zwischenwand mit Öffnungen angebracht. Diese Öffnungen sind durch Ventile verschließbar, die durch Federn gehalten werden. Rechts der Zwischenwand befindet sich die Brenn-

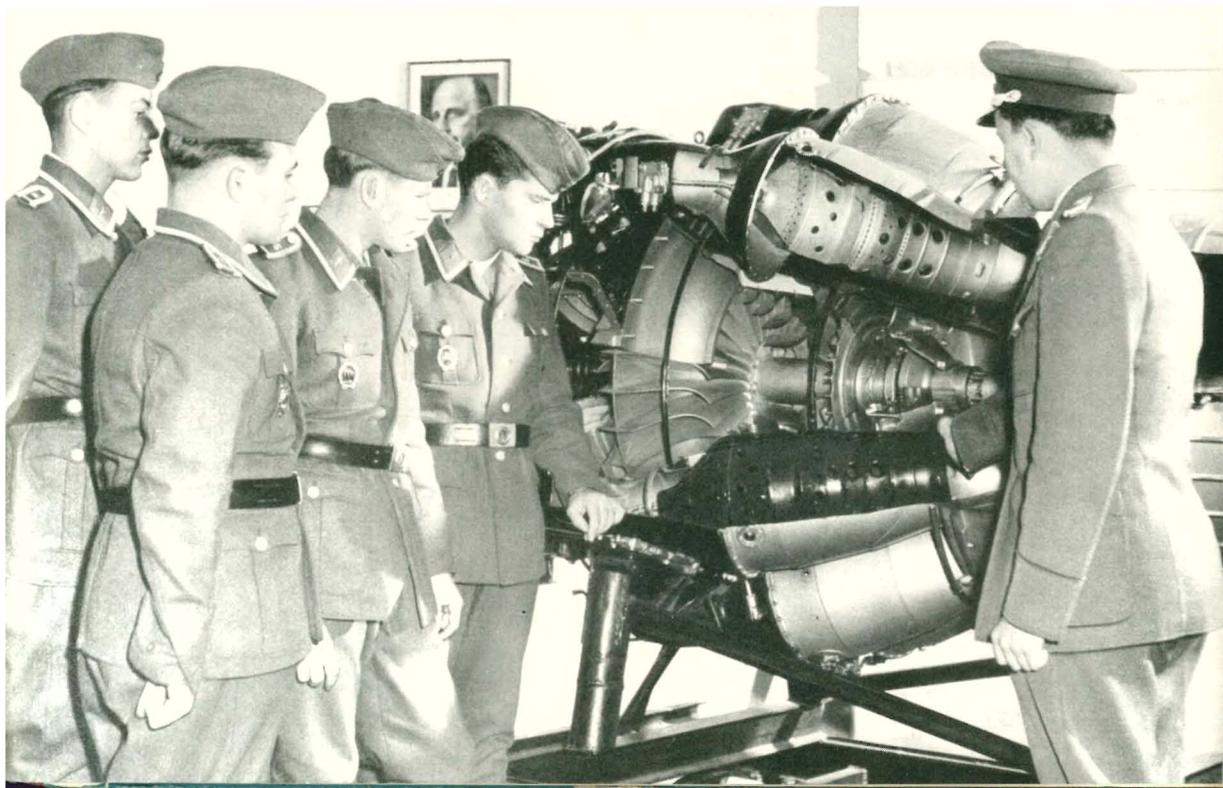


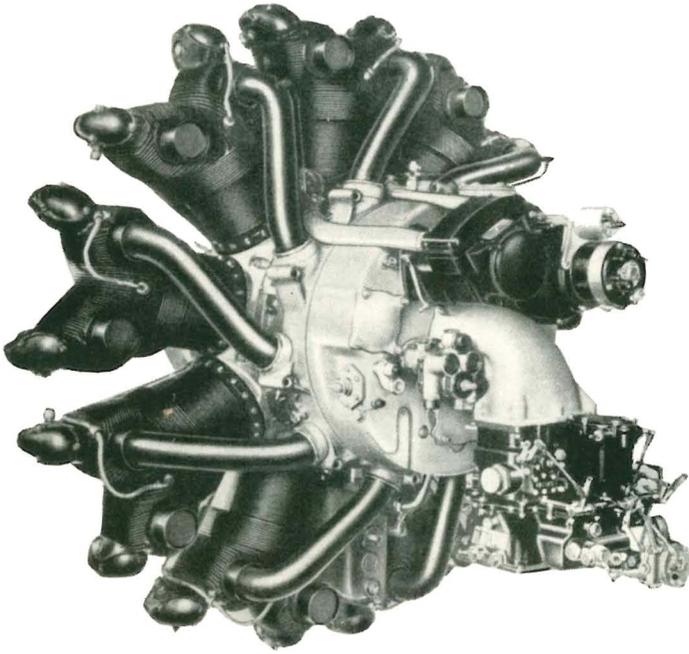
Schema eines Pulsostrahtriebwerkes



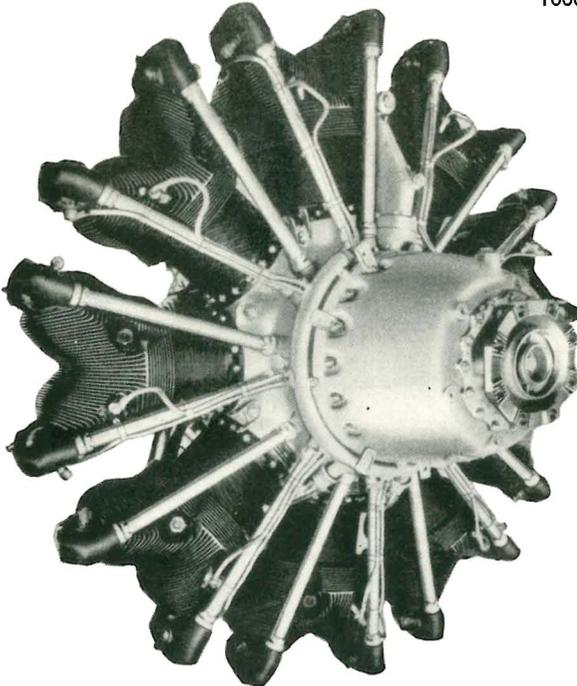
Auf einem Düsenjägerflugplatz unserer Nationalen Volksarmee

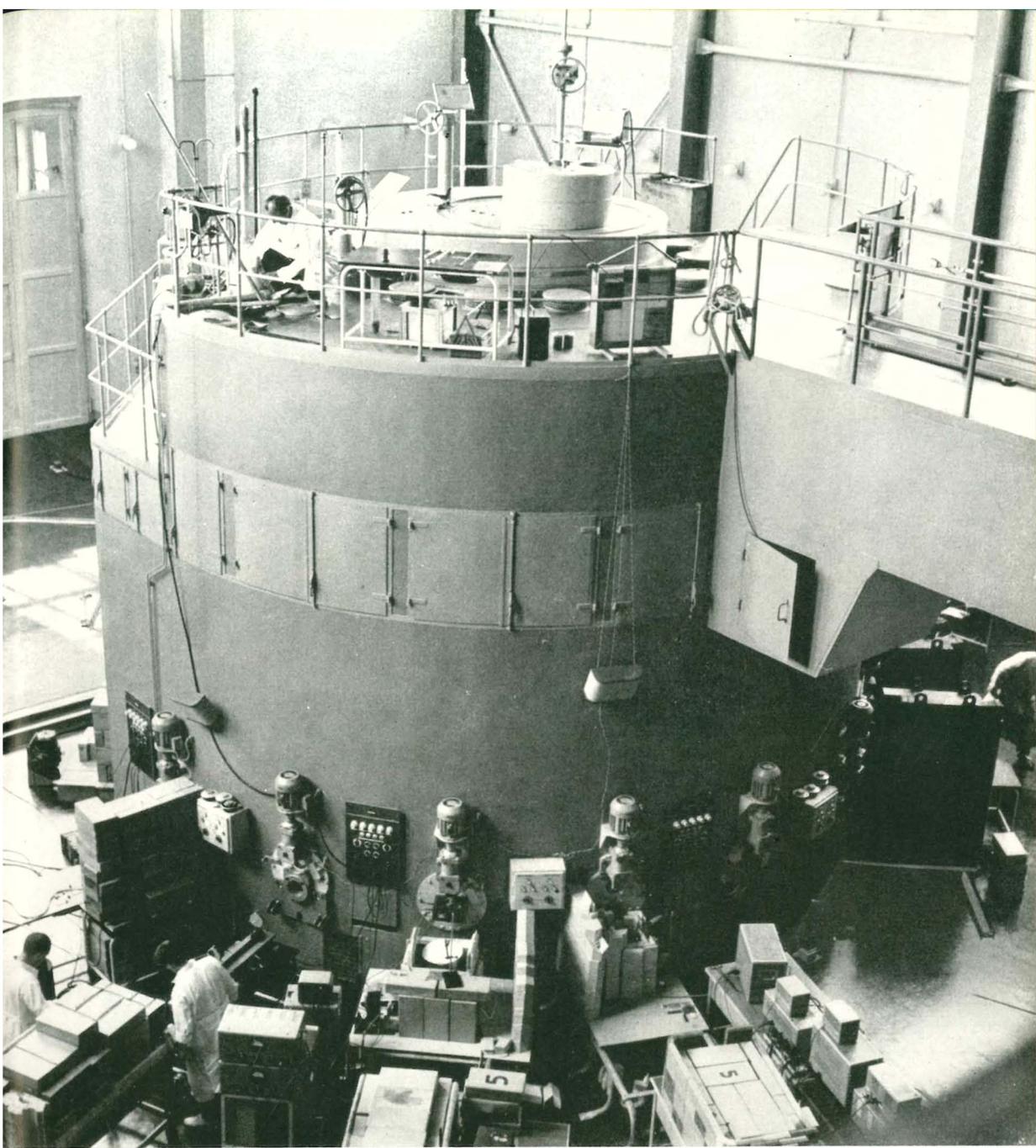
Die zukünftigen Piloten müssen genau Bescheid wissen, wie es in einem Strahltriebwerk aussieht



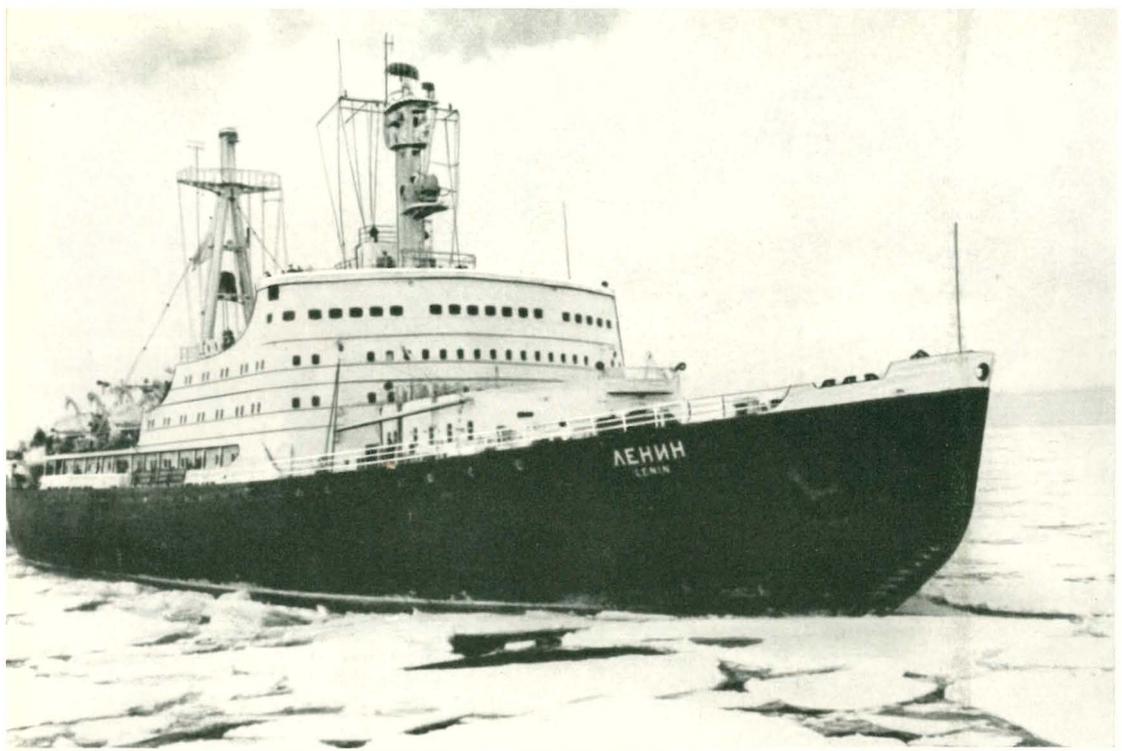


Ein 9-Zylinder-Sternmotor mit Lader und Untersetzungsgetriebe. Die Höchstleistung dieses Flugzeugmotors beträgt 1000 PS





Der Reaktor des Zentralinstituts für Kernphysik in Dresden-Rossendorf. Dieser Forschungsreaktor hat eine Wärmeleistung von 2000 kW

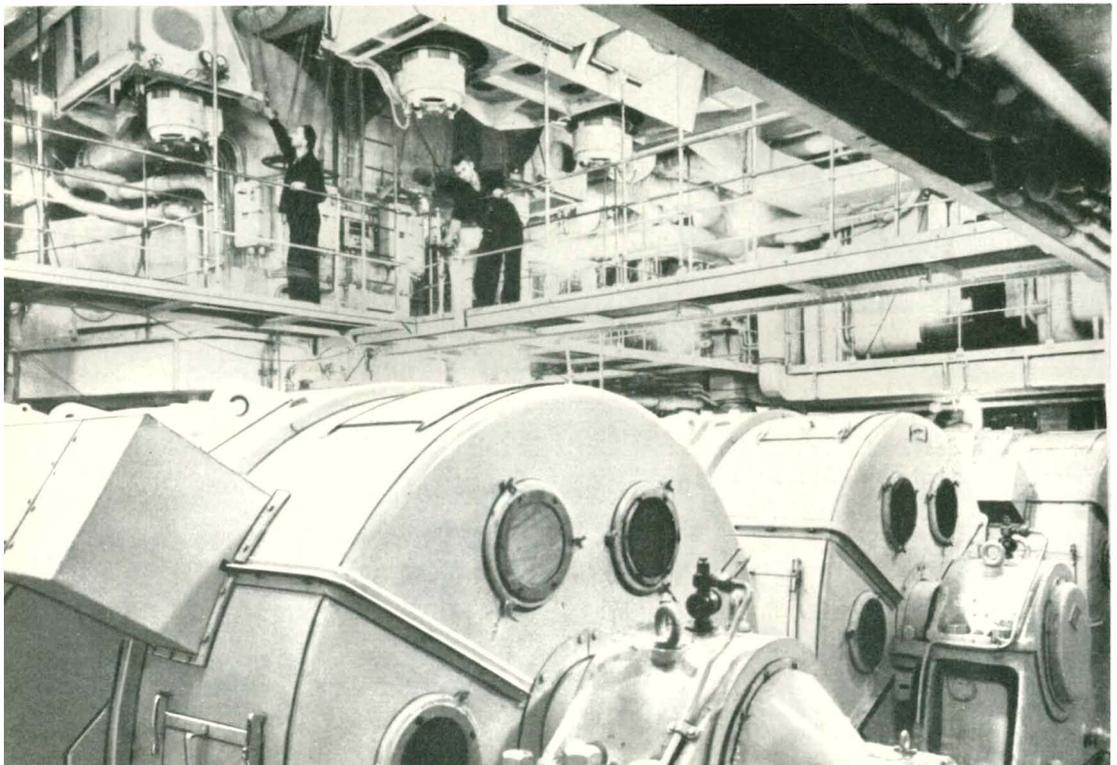


Friedliche Anwendung der Kernenergie ist eine der Hauptforderungen aller friedliebenden Menschen.

Ein überzeugendes Beispiel von den Möglichkeiten der friedlichen Verwendung bietet der Eisbrecher „Lenin“, das Flaggschiff der sowjetischen Eisbrecherflotte.

Der erste Atomeisbrecher der Welt besitzt drei Kernreaktoren, sechs Dampfgeneratoren, vier Dampfturbinen und acht Elektrogenatoren.

Blick auf die Dampfgeneratoren



kammer; dorthin wird der flüssige Treibstoff gespritzt. Noch weiter rechts beginnt die Ausströmdüse, ein enger Kanal, in der die Gase die notwendige Richtung und Geschwindigkeit erlangen.

Lassen wir nun den Motor an. Zu diesem Zweck spritzen wir Treibstoff in die Kammer und schicken gleichzeitig auch einen elektrischen Funken hinein. Der Treibstoff zündet, Temperatur und Gasdruck wachsen in der Kammer an. Nach links können die Gase nicht strömen, denn dort befindet sich die Zwischenwand. Also entweicht der Gasstrom nach rechts durch die Düse. Da aber das Gas mit hoher Geschwindigkeit hinausfliegt, bewirkt das Gas für einen Augenblick Luftleere in der Brennkammer – dort sinkt der Druck unter den Außendruck der Luft. Dann öffnen sich unter dem Einfluß des Außendruckes die Ventile in der Zwischenwand, und eine frische Portion Luft strömt in die Brennkammer. Jetzt spritzen wir wieder Treibstoff ein und so fort. Der Motor arbeitet stoßweise, als wenn er pulsire.

In der Nacht vom 12. zum 13. Juni 1944 tauchten über London unbemannte, gefährliche „Vögel“ auf. Sie hatten starre Flügel und stürzten sich, Feuer und Donner im Gefolge, vom Himmel auf Häuser und Menschen. Explosionen begleiteten ihren Aufschlag.

Am anderen Morgen wußten die Londoner, daß die todbringenden „Vögel“ 6000 friedliche Einwohner getötet und 20 000 verwundet hatten. 25 000 Gebäude waren bis auf die Grundmauern zerstört, viele Tausende Gebäude beschädigt.

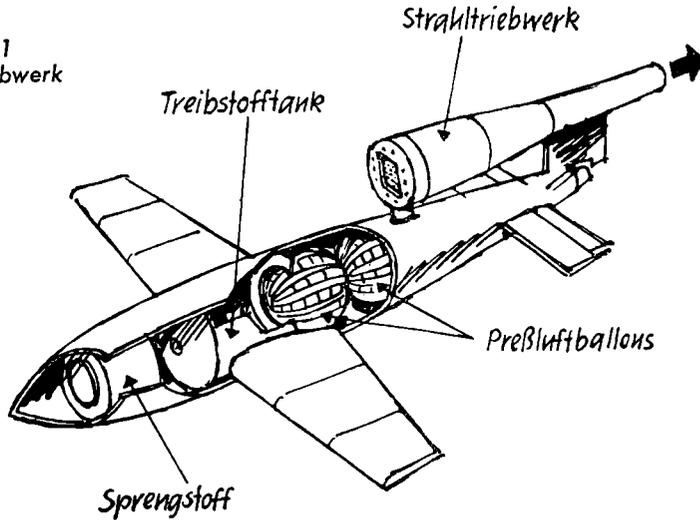
Ein grausamer Krieg war im Gange, die Londoner kannten keine Bombardierung. Vorher waren diese geheimnisvollen „Vögel“ niemals aufgetaucht. Die „Geheimwaffen“ des Verbrechers Hitler waren luftstrahlgetriebene Flugkörper, die von den Faschisten „V 1“ genannt wurden. Zwei große Flügel (etwa 5 m Spannweite) und ein langer, zigarrenförmiger Flugkörper. In der vorderen Hälfte befand sich der Sprengstoff des Geschosses, die Mitte diente zur Aufnahme des Behälters für den flüssigen Treibstoff und für die Preßluftballons. Im Schwanzteil, über dem Leitwerk, war das Rohr des Luftstrahltriebwerkes befestigt, das nach dem pulsierenden Prinzip arbeitete.

Dieser Flugkörper durchflog mit einer Geschwindigkeit von etwa 600 km/h eine Entfernung von 240 bis 280 km und explodierte beim Aufschlag.

In den folgenden Monaten wurden von den Faschisten täglich hundert und mehr solcher Geschosse nach England geschickt. Hitlers Bombenflugzeuge reichten nicht aus, denn die Faschisten verwüsteten gleichzeitig die Sowjetunion.

So bedienten sie sich dieser Flugkörper, denen beim Start die Richtung gegeben wurde und die dann automatisch gesteuert davonflogen.

Der Flugkörper V 1  
mit Pulsostrahltriebwerk



Mit der Anwendung dieser Waffe bewies Hitler erneut, wie grausam und menschenfeindlich das Wesen des Faschismus ist; denn mit diesem blinden, automatischen Raketengeschoß war es unmöglich, einen gezielten Beschuß durchzuführen. Getötet wurden Frauen, Greise und Kinder, Schaden erlitten Stadtbewohner, die fern des Kriegsgeschehens ihren Beschäftigungen nachgingen.

### Strahltriebwerke erobern die Luftfahrt

Wir wissen, daß der thermische Wirkungsgrad in einem Dieselmotor höher ist als in einem Vergasermotor. Im Dieselmotor wird die gewichtsmäßig gleiche Luftfüllung so stark vorverdichtet, daß die Temperatur in der Brennkammer schon im Augenblick der Explosion höher ist als im Vergasermotor. Wenn die Treibstoffmenge im Zylinder des Dieselmotors verbrennt, steigt die Temperatur doppelt so hoch an wie im Vergasermotor, und folglich ist auch der Druck der Gase auf den Kolben größer.

Auch für ein Luftstrahltriebwerk ist es zweckmäßig, verdichtete Luft zuzuführen. Stellen wir uns zum Beispiel vor, daß es sich nicht um die Brennkammer eines Strahltriebwerkes mit direktem Durchstrom, sondern um einen anderen Motor, der einen Kompressor besitzt, handelt. Durch den

Kompressor würde dann ständig Luft in die Brennkammer gepreßt. Es würde ein erhöhter Druck entstehen, und in die verdichtete Luft würde der Treibstoff gespritzt. Die heißen Gase würden dann mit noch größerer Geschwindigkeit aus der Düse hinausfliegen und damit einen größeren Rückstoß bewirken.

Wenn wir nun auf dem Weg des Gasstrahls ein Turbinenrad anbrächten, hätten wir einen uns schon bekannten Motor vor uns – eine Gasturbine.

Damit sind wir zu einem unerwarteten Schluß gelangt: Dieser Rückstoßmotor und die Gasturbine besitzen ein und dasselbe Prinzip der Treibstoffverbrennung, und man kann so einen kombinierten Motor schaffen – ein Turbinenluftstrahltriebwerk.

Diesen Weg beschritten die Konstrukteure der modernen strahlgetriebenen Flugzeuge.

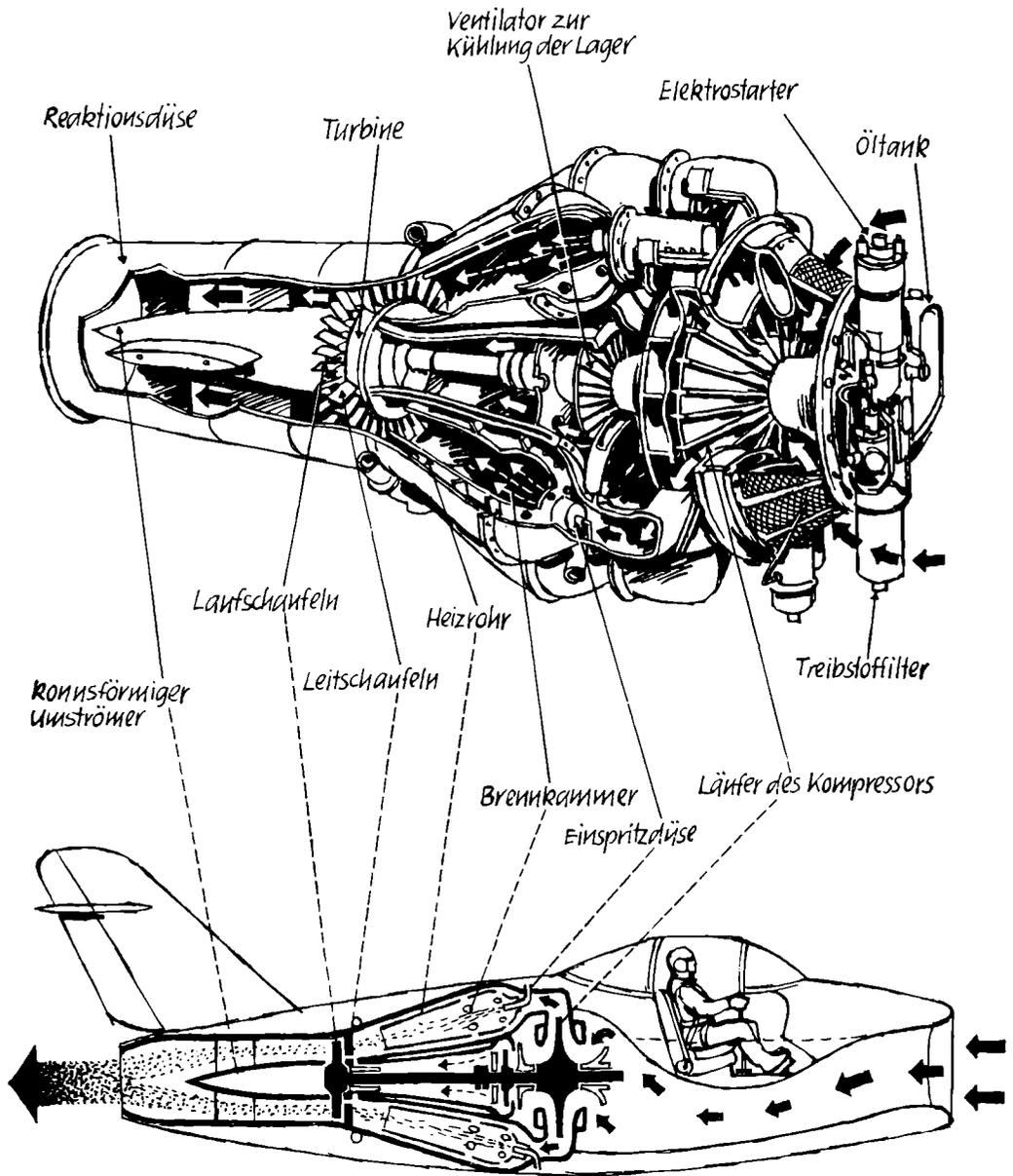
Bei den Strahltriebwerken strömt die Luft zuerst in einen Kompressor, den man auch Lader oder Verdichter nennt. Doch es handelt sich hier um keinen gewöhnlichen Kolbenverdichter, sondern um einen Kreisverdichter, den man auch als Turbokompressor oder Turbolader bezeichnet. In einem Kolbenkompressor wird die Luft mit Hilfe des Kolbens verdichtet und dann durch Ventile gedrückt. Hier nun wird die Luft noch einmal verdichtet, indem Schaufeln, die auf einem sich drehenden Läufer (Kreisrad) sitzen, sie gegen die Gehäusewände schleudern. Die Drehung des Läufers geschieht durch „Fremdenergie“.

Diese für die Drehung des Kompressors notwendige Fremdenergie wird mit Hilfe eines Gasturboladers erzeugt. Wenn nämlich die Luft den Kompressor verläßt, strömt sie bereits mit erhöhtem Druck in die Brennkammern. Durch besondere Einspritzdüsen wird flüssiger Treibstoff zugeführt. Dann erfolgt die Verbrennung. Die heißen Gase strömen mit großer Geschwindigkeit auf das Gasturbinenrad, dem sie ihre Energie abgeben, dann strömen sie in die Rückstoßdüse und fliegen hinaus, nachdem sie ihre Geschwindigkeit noch mehr vergrößert haben. Ein Flugzeug mit einem solchen Motor besitzt keine Luftschraube. Es wird durch die Rückstoßwirkung des Gasstrahls angetrieben. Die Turbine dient nur zum Antrieb des Kompressors.

Doch wie wird dieser Motor angeworfen?

Bringt man das Flugzeug durch Beschleunigungsraketen auf eine hohe Geschwindigkeit?

Nein, wenn der Motor einen Kompressor besitzt, ist er imstande, nicht nur im Flug, sondern auch am Boden zu arbeiten. Deshalb muß sich an Bord des Flugzeugs ein kleiner Verbrennungsmotor oder ein Elektromotor befinden, dessen Welle mit der Kompressorwelle verbunden sein muß.



Turbinenluftstrahltriebwerk. Der obere Teil zeigt einen Motor, bei dem die Gehäusewände entfernt wurden. Unten die schematische Darstellung einer möglichen Anordnung des Motors im Flugzeug

Nachdem der Hilfsmotor zu arbeiten begonnen hat, nimmt auch der Läufer des Kompressors seine Arbeit auf. Dann strömt Luft in die Brennkammer. Der Treibstoff wird eingespritzt und entzündet. Alles andere geht wie üblich vor sich – die Turbine läuft, die Rückstoßwirkung setzt ein, und man kann den Hilfsmotor wieder ausschalten.

Das Strahltriebwerk ist jedoch nur für hohe Geschwindigkeiten vorteilhaft. Nicht immer muß ein Flugzeug aber Geschwindigkeiten entwickeln, die sich der Schallgeschwindigkeit nähern. Für den normalen Bedarf genügen oft auch geringere Fluggeschwindigkeiten, und die läßt man vom Kolbenmotor und der Luftschraube erzeugen.

Es tauchte aber auch der Gedanke auf, die Luftschraube von einer Gasturbine antreiben zu lassen.

So entstand das Propeller-Turbinenluftstrahltriebwerk (kurz Turboproptriebwerk genannt).

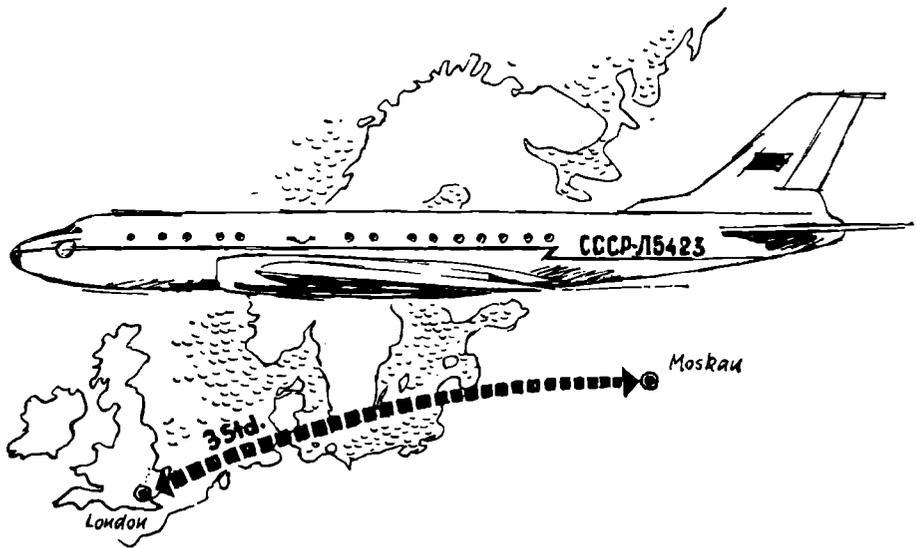
Es erinnert stark an das Turbinenluftstrahltriebwerk, das wir bereits kennen. Der Unterschied besteht nur darin, daß auf einer Welle mit der Turbine jetzt nicht nur der Kompressorläufer, sondern auch die Luftschraube des Flugzeugs befestigt ist.

Dieser Motor ist für Flugzeuge sehr geeignet. Er besitzt wenig Gewicht, benötigt keinen so hochwertigen Treibstoff, entwickelt eine große Leistung, nämlich 6000 bis 12 000 PS. Sein besonderer Vorteil liegt aber darin, daß der Motor bei geringerer Geschwindigkeit wirtschaftlich mit der Luftschraube arbeitet und man die Luftschraube bei höherer Geschwindigkeit abstellen kann, so daß der Motor nun wieder ein Luftstrahltriebwerk ist, das ebenfalls wirtschaftlich arbeitet.

Als wir uns mit der Gasturbine bekannt machten, hoben wir hervor, daß die Turbine zur bestmöglichen Wärmeausnutzung eine hohe Temperatur der Gase aushalten muß. In Flugzeugturbinen, von denen man keine so lange Lebensdauer fordert wie von einer stationären Turbine, werden heute Temperaturen von 750 bis 900° C und mehr erreicht.

Für sehr hohe Fluggeschwindigkeiten ist es jedoch oft vorteilhaft, ein Triebwerk mit direktem Durchstrom – also ohne Turbine – zu verwenden. Bei diesem Triebwerk unterliegt die Temperatur vor der Rückstoßdüse praktisch keinen Begrenzungen.

Schon heute ist der Kolbenmotor auf vielen Gebieten der Luftfahrt verdrängt, und die Geschwindigkeiten, die mit Strahltriebwerken erreicht werden, sind mehr als dreimal so hoch wie die Rekordgeschwindigkeiten der Kolbenmotorflugzeuge. Diese hohen Geschwindigkeiten übertreffen die Schallgeschwindigkeit (1228 km/h) in einigen Fällen bereits um ein Mehrfaches.



Inzwischen fehlte es nicht an Versuchen, große Düsenverkehrsflugzeuge zu bauen. So wurde in England das Düsenflugzeug „Comet-4“ erprobt. Die ersten Versuche endeten jedoch erfolglos. Die Konstruktion dieses mehrmotorigen Flugzeuges erwies sich als ungeeignet, und mehrere Maschinen stürzten ab.

Am Freitag, dem 23. März 1956, landete jedoch auf dem Londoner Flughafen ein mächtiges und wunderschönes Flugzeug mit 50 Fluggästen. Es war das sowjetische Düsenflugzeug „TU-104“.

Dieses Flugzeug hinterließ in London einen gewaltigen Eindruck. Die englische Zeitung „Daily Mail“ schrieb damals: „Dieses Flugzeug hat Rußland einen führenden Platz auf dem Gebiete der Zivilluftfahrt verschafft ...“

Kurz nach ihrem Erscheinen auf dem Londoner Flugplatz holte sich die TU-104 gleich ein ganzes Paket von Weltrekorden. So wurde dank des Könnens der sowjetischen Flugzeugkonstrukteure ein großer Sieg errungen – der Bau des ersten strahlgetriebenen Verkehrsflugzeuges der Welt, das im regelmäßigen Linienverkehr eingesetzt werden konnte. Die TU-104 besitzt zwei Triebwerke, die in den Tragflächen untergebracht sind. Mit einer Geschwindigkeit von 800 km/h kann sie in einer Höhe von mehr als 10 km fliegen. Die Entfernung von Moskau bis London legt die TU-104 in insgesamt drei bis dreieinhalb Stunden zurück.

Es hat nicht an Versuchen englischer und amerikanischer „Fachleute“ gefehlt, die TU-104 als einen einmaligen Zufallstreffer zu bezeichnen. Doch

merkwürdig: Auch die jüngeren Geschwister der TU-104 holten sich einen Weltrekord nach dem anderen. Hier sei nur die mächtige TU-110 mit ihren vier Luftstrahltriebwerken genannt oder der ebenfalls turbinenangetriebene Großhubschrauber Mi-6, der mit 12 000 kg Zuladung mühelos eine Höhe von 2400 m erklimmt. Und natürlich dürfen wir hier auch nicht das größte unter den modernen Flugzeugen vergessen – die mächtige TU-114, die mit ihren vier großen Turboproptriebwerken von Moskau aus jeden beliebigen Ort der Welt ohne Zwischenlandung erreichen kann, und die heute in der ganzen Welt als die schnellste und sicherste Maschine anerkannt wird. So sicherten sich die Strahltriebwerke einen festen Platz in der modernen Luftfahrt. Sie erwiesen sich als Triebwerke, die sich besonders für hohe und höchste Geschwindigkeiten eignen.

So erstaunlich es klingt: In kürzerer Zeit als einem Menschenalter wurde die Fluggeschwindigkeit von 40 km/h auf mehr als 2500 km/h heraufgeschraubt, während unbemannte Flugkörper heute sogar schon Geschwindigkeiten von rund 30 000 km/h erreichen. In der gleichen Zeit stieg die Flughöhe von bemannten Flugzeugen von 453 m im Jahre 1909 auf mehr als 30 000 m im Jahre 1959.

Ohne die Entwicklung außerordentlich leistungsstarker Strahltriebwerke wären all diese erstaunlichen Erfolge nie möglich gewesen.

## STRAHLTRIEBWERKE

### Luftstrahltriebwerke

(Düsentriebwerke)

Von der Erdatmosphäre abhängig, da zur Verbrennung des Kraftstoffs der Umgebungsluft Sauerstoff entnommen werden muß

Luftstrahltriebwerke ohne Kompressor (Strahlrohre)

Staustrahltriebwerke

Pulsostahltriebwerke

Luftstrahltriebwerke mit Kompressor (Gasturbinentriebwerk oder auch Turboantrieb oder Turbinen-Luftstrahl-Triebwerk, abgek. TL, genannt)

Propellerturbinen-Luftstrahl-Triebwerke (Turboprop)

Zweistromturbinen

Strahltriebwerke

### Raketentriebwerke

Von der Erdatmosphäre unabhängig, da der gesamte Treibstoff (bei chemischen Raketen also Treibstoff und Sauerstoffträger) an Bord mitgeführt wird

Raketentriebwerke mit chemischen Treibstoffen

Raketentriebwerke mit festem Treibstoff (Feststoffraketen)

Raketentriebwerke mit flüssigen Treibstoffen (Flüssigkeitsraketen)

Elektrische Strahltriebwerke und Raketentriebwerke mit Kernenergie

heute noch in der Entwicklung

## REAKTOREN – KRAFTMASCHINEN DER NAHEN ZUKUNFT

In der düsteren Zeit des Mittelalters, als man die wirklich Gelehrten auf den Scheiterhaufen der Inquisition verbrannte, blühten die verschiedenen Scheinwissenschaften auf – die Theologie, die Astrologie, die Alchimie.

Neben riesigen Gefäßen thronten die „Gelehrten“ und versuchten, indem sie einen Stoff mit den anderen mischten, aus einfachen Stoffen kostbares Metall – Gold – herzustellen. Das gelang ihnen natürlich nicht. Doch all ihre Mißerfolge in der Alchimie führten sie darauf zurück, daß sie noch nicht den „Stein der Weisen“ entdeckt hatten, der die Eigenschaft besitzen sollte, einfaches Metall in wertvolles Gold zu verwandeln.

Nachdem wieder die echten Wissenschaften die Oberhand gewonnen hatten, wurde die Unsinnigkeit des Suchens der Alchimisten bewiesen, die ohne jegliche wissenschaftliche Grundlage arbeiteten.

Heute nun, im Jahrhundert des einzigartigen wissenschaftlichen Fortschritts, sprechen die Wissenschaftler wieder von der Möglichkeit, einfache Stoffe in wertvolle umzuwandeln.

Also wurde der Stein der Weisen gefunden? Nein, ein wundertätiger Stein wurde nicht gefunden. Aber die Wissenschaft entdeckte ein bisher tief verborgenes Geheimnis der Natur – das Geheimnis des Atoms.

Bereits die alten Griechen bezeichneten mit dem Wort „Atom“ (das Unteilbare) das kleinste Teilchen eines Stoffes. Es ist schwierig, sich dieses Teilchen vorzustellen, seine Ausmaße sind sehr winzig. Die Gelehrten des alten Griechenlands nahmen nun an, daß sich die für das Auge sichtbaren Körper aus diesen kleinsten „Bausteinen“ zusammensetzen.

Der bedeutende Gelehrte und materialistische Philosoph Demokrit schrieb bereits im 4. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung: „Die Atome sind endlos in der Zahl und endlos vielgestaltig in der Form. Ihre Zusammenstöße und räumliche Bewegung und Drehung sind auch der Anfang der Welt...“

350 Jahre nach Demokrit schrieb ein anderer Gelehrter des Altertums, der römische Philosoph Lukrez, ein Buch in Versen „Von der Natur“, in dem er



die Ansichten Demokrits und anderer Vorgänger über den Aufbau der Körper wiederholte und das kleinste Stoffteilchen, das Atom, als den Anfang aller Dinge ansah.

Er stellte ebenso wie Demokrit die Lehre vom Atom dem religiösen Betrug gegenüber und schrieb:

„Haben wir also gesehen, daß Nichts aus dem Nichts wird geschaffen,  
Dann wird richtiger auch die Folgerung draus sich ergeben,  
Woraus füglich ein jegliches Ding zu entstehen im Stand ist  
Und wie alles sich bildet auch ohne die Hilfe der Götter.“

„... So mußst du

Überwunden gestehn: Es ist wirklich ein Kleinstes vorhanden,  
Das nicht teilbar mehr ist.“

Doch verhallten die Stimmen der materialistischen Gelehrten im Chor der theologischen Phrasen der Scheingelehrten. Die damals allmächtige Religion unterdrückte dann noch 15 Jahrhunderte lang jeden lebendigen Gedanken, so daß auch die Ideen Demokrits und Lukrez' in Vergessenheit gerieten.

Anstatt das Geheimnis des Atoms zu lüften und auf diesem Weg die Möglichkeit zu schaffen, einen Stoff zu verändern, suchten die Alchimisten des Mittelalters den „Stein der Weisen“.

Erst gegen Ende des 16. Jahrhunderts, als sich die Wissenschaften und Künste wieder zu erneuern begannen, hörten die Menschen das Wort „Atom“ erneut aus dem Munde der fortschrittlichen Gelehrten: des Italieners Giordano Bruno und später des Franzosen Pierre Gassendi.

Doch auch 2000 Jahre nach Demokrit stellte man sich das Atom immer noch als den kleinsten, unteilbaren und unveränderlichen „Baustein“ vor, aus dem die Stoffe aller Körper bestehen. Und selbst Pierre Gassendi nahm noch an, daß die ungeheure Mannigfaltigkeit der Atome, aus denen sich alle Körper der Natur zusammensetzen, von – einem Gott geschaffen worden sei.

Es war für die moderne Wissenschaft nicht leicht, sich durch das Dickicht der religiösen Vorurteile hindurchzukämpfen, das in vielen Jahrhunderten gewachsen war.

Der Anfang der wissenschaftlichen Erkenntnis über den Aufbau der verschiedenen Stoffe in der Natur wurde durch den großen russischen Gelehrten Michail Wassiljewitsch Lomonossow gemacht.

„Die Korpuskeln“, schrieb Lomonossow, „sind gleichartig, wenn sie aus einer einzigen Zahl ein und derselben Elemente bestehen, die zu einem Muster vereinigt sind... Die Korpuskeln sind verschiedenartig, wenn ihre Elemente verschieden und durch verschiedene Muster oder unterschiedliche

Zahl vereinigt sind. Davon hängt die unendliche Mannigfaltigkeit der Körper ab.“

Das, was Lomonossow als Korpuskeln bezeichnete, nennen wir heute „Moleküle“. Jeder Stoff besteht aus diesen Molekülen, die in dem bestimmten Stoff einander völlig ähnlich sind. Doch die Moleküle sind teilbar, denn sie setzen sich aus Atomen zusammen. Wenn es sich um einen einfachen Stoff handelt, dann sind alle Atome in einem Molekül gleichartig. Wenn es ein zusammengesetzter Stoff, eine chemische Verbindung, ist, dann sind die Atome in einem Molekül nicht gleichartig, sondern das Molekül besteht dann aus verschiedenartigen Atomen.

Was jedoch ein Atom ist, blieb für Lomonossow und für die Gelehrten der späteren Jahrzehnte ein Rätsel.

### Die große Tat Mendelejew

Die Entschleierung eines der tiefsten Geheimnisse der Natur, des Atomgeheimnisses, begann erst im allerletzten Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts. Sie wurde vorbereitet durch eine der größten Entdeckungen in der Geschichte der Wissenschaft, die dem russischen Gelehrten Dmitri Iwanowitsch Mendelejew gelang und die Friedrich Engels eine wissenschaftliche Großtat nannte.

In der Mitte des vergangenen Jahrhunderts war die Chemie eine in Mode stehende Wissenschaft. Zu ihr fühlten sich viele junge Leute hingezogen, die eine akademische Bildung anstrebten. Die Verbindung verschiedener Stoffe, die Erzeugung früher unbekannter Stoffe, die Enträtselung der Eigenschaften der Flüssigkeiten und Gase, das Eindringen in die „Küche der Natur“ – das alles begeisterte, das alles war neu, versprach schöpferische Freuden. Doch es war schwierig, die Chemie zu studieren. Man mußte eine Vielzahl verschiedener Verbindungen sowie ihre Eigenschaften im Gedächtnis behalten. Man mußte eine riesige Anzahl von Bezeichnungen und Reaktionen pauken, mitunter ohne dabei irgendeinen Zusammenhang zwischen den einzelnen chemischen Erscheinungen zu finden. Es herrschte ein Durcheinander. Während in der Mathematik immer eine strenge Ordnung beobachtet wurde, eine genaue Logik, so erschien die Chemie als eine verworrene Wissenschaft, bar jeglicher allgemeiner Gesetze.

Als man Dmitri Iwanowitsch Mendelejew aufforderte, vor den Studenten der Petersburger Universität Vorlesungen über die allgemeine Chemie zu

halten, dachte er vor allem daran, die so schwierige Wissenschaft faßlicher, einfacher und dennoch gründlich seinen jungen Hörern darzubieten.

Dmitri Iwanowitsch arbeitete schon lange an der Erforschung der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten in der Chemie. Ihm behagte der Wirrwarr in seiner geliebten Wissenschaft nicht. Er war der Ansicht, daß das Durcheinander nur deswegen herrsche, weil der menschliche Verstand gewisse allgemeine Naturgesetze noch nicht entdeckt hatte.

Als er nun seine Vorlesung über die allgemeine Chemie zusammenstellte, begann er gleichzeitig, seine bisherigen Beobachtungen und Forschungen in ein System zu bringen. Dabei war für ihn Hauptziel, einen Zusammenhang zwischen den verschiedenen chemischen Stoffen und Erscheinungen zu entdecken.

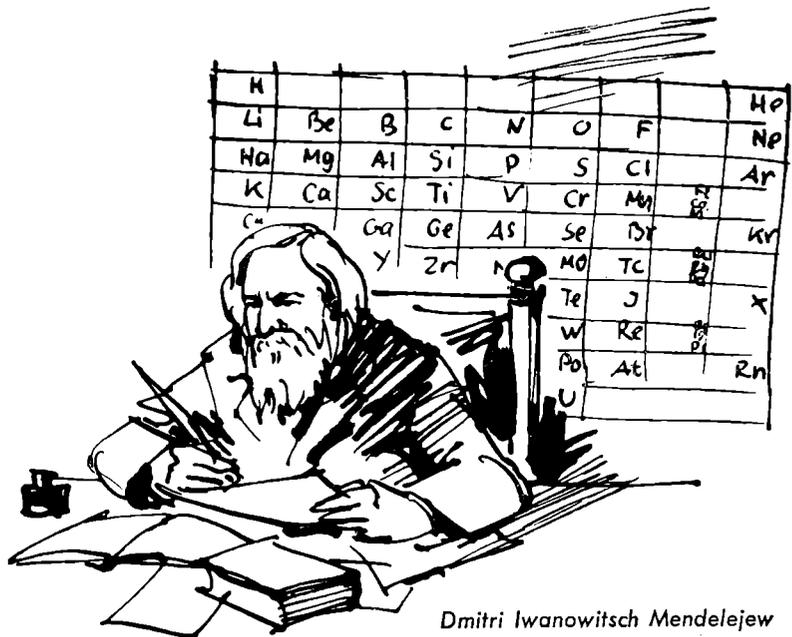
Mendelejew führte eine Vielzahl von Versuchen durch, stellte eine Kartei für alle bekannten einfachen Stoffe (für die „Elemente“, wie man sie nannte) zusammen und beschrieb genau ihre Eigenschaften.

Der Gelehrte entdeckte, daß die chemischen Eigenschaften jedes Elements vor allem durch sein Atomgewicht bestimmt werden. Mendelejew schrieb nun die Elemente in der Reihenfolge ihrer Atomgewichte zeilenweise nebeneinander und entdeckte dabei eine neue erstaunliche Erscheinung: Die Elemente mit ähnlichen chemischen Eigenschaften wiederholten sich in einer bestimmten Ordnung. So stand als erstes in der Reihe der Elemente der Wasserstoff, das leichteste Element mit dem Atomgewicht 1. Danach führte Mendelejew das Metall Lithium mit dem Atomgewicht 7 an. Weiter folgten Beryllium, Bor, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Fluor und Natrium – alles nach den zunehmenden Atomgewichten.

In seinen Eigenschaften ähnelte Lithium nur dem Natrium. Zwischen Lithium und Natrium befanden sich sechs unähnliche Elemente. Dafür erwies sich das Metall Beryllium, das hinter dem Lithium folgte, dem Metall Magnesium ähnlich, das hinter dem Natrium stand. Das hieß: Vom Lithium zum Natrium reichte eine Periode, die sich aus Elementen verschiedener Eigenschaften zusammensetzt, und vom Natrium an setzte sich die zweite Periode fort, in der wieder die Elemente miteinander wechselten, die in ihren Eigenschaften den Elementen der ersten Periode ähneln.

Nachdem nun Mendelejew das Gesetz der periodischen Wiederholung der Eigenschaften der Elemente entdeckt hatte, ordnete er alle chemischen Elemente, die der Wissenschaft bekannt waren, in ein streng aufgebautes System.

Im Jahre 1869 ließ der Gelehrte die erste Fassung dieser tabellarischen Übersicht drucken und schickte sie den Chemikern in den verschiedenen Ländern zu.



Dmitri Iwanowitsch Mendelejew

Das Gesetz, dem sich die chemischen Erscheinungen unterordnen, war damit erfunden.

„Die Eigenschaften der Elemente und daher auch die Eigenschaften der durch sie dargestellten einfach und kompliziert aufgebauten Körper stehen in periodischer Abhängigkeit zu ihrem Atomgewicht“, schrieb Mendelejew. Das von dem großen Gelehrten aufgestellte System erwies sich als eine Grundlage, auf der sich schnell und sicher die Wissenschaft vom Atom zu entwickeln begann.

Den allerersten und erstaunlichsten Beweis für die ungeheure Bedeutung seiner Entdeckung erbrachte damals Mendelejew der wissenschaftlichen Welt, indem er auf Grund seiner Tabelle die Eigenschaften der damals in der Natur noch nicht gefundenen Elemente voraussagen konnte.

Da hatte der junge französische Chemiker Boisbaudran im Jahre 1879 im Zinkerz der Pyrenäen ein neues, in der Wissenschaft noch unbekanntes chemisches Element gefunden. Boisbaudran nannte dieses Element „Galium“ zu Ehren seiner Heimat, die im Altertum Gallien genannt wurde. Die kurze Mitteilung Boisbaudrans in den „Vorträgen“ der Pariser Akademie der Wissenschaften zog die Aufmerksamkeit der Chemiker aller Länder auf sich. Es war das 65. Element in der Reihenfolge, das erste neu entdeckte

Element nach Aufstellung der Tabelle von Mendelejew, die insgesamt 64 Elemente enthielt. Bisher hatte man im Ausland vorgezogen, von dem Gesetz, das der russische Gelehrte entdeckt hatte, zu schweigen; man tat es als einen unbedeutenden Versuch ab, eine gewisse Regelmäßigkeit und Systematik in die Chemie zu bringen. Doch die Geschichte mit dem Gallium bewies nun, daß das von Mendelejew gefundene Gesetz grundlegende Bedeutung hatte und zu neuen Erkenntnissen führte.

Die Eigenschaften des von ihm entdeckten Elementes beschreibend, wies Boisbaudran darauf hin, daß Gallium das Atomgewicht 68 und eine Wichte von 4,7 besitzt. Die Gelehrten der ganzen Welt trugen die Angaben über das neue Element in ihre Nachschlagebücher ein. Keiner von ihnen zweifelte an der Glaubwürdigkeit dieser Angaben.

Nur ein Gelehrter, der Professor der St. Petersburger Universität, Dmitri Mendelejew, hegte Zweifel. Mendelejew hatte die Entdeckung eines Elementes mit den Eigenschaften des Galliums erwartet – das sagte ihm das von ihm gefundene periodische Gesetz.

In seiner Tabelle war neben anderen ein besonderes Kästchen vorgesehen, in das er ein Element mit der Bezeichnung „Eka-Aluminium“ eingetragen hatte; und bereits 5 Jahre vor der Entdeckung Boisbaudrans beschrieb er die Eigenschaften des Eka-Aluminiums, die nun fast genau auf die Beschaffenheit des Galliums zutrafen.

Doch Mendelejew war darüber überrascht, daß dieses Element bei dem französischen Chemiker eine Wichte von 4,7 besaß und nicht von 5,9–6,0, wie es das Gesetz vermuten ließ.

Er schrieb Boisbaudran einen Brief, in dem er ihm empfahl, die Wichte nochmals genau zu bestimmen. Darüber war Boisbaudran überrascht: Er, der einzige Mensch auf der Welt, der das Gallium in den Händen hält, sollte sich geirrt haben? Irgendein russischer Professor erlaubte sich, lediglich auf Grund bestimmter Schlußfolgerungen an seinen Angaben zu zweifeln?

Doch die Gewissenhaftigkeit des Gelehrten veranlaßte Boisbaudran, erneut seine Berechnungen zu prüfen. Wie verlegen war er, als die Wichte des Galliums bei der genauen Prüfung tatsächlich 5,96 betrug. Der Gelehrte sah sich gezwungen, seinem genialen russischen Kollegen Bewunderung zu zollen: „Ich glaube, es ist nicht notwendig, auf die gewaltige Bedeutung der sich bestätigten theoretischen Folgerungen des Herrn Mendelejew hinzuweisen“, schrieb Boisbaudran. Damit hatte sich die Richtigkeit des von Mendelejew entdeckten Gesetzes erwiesen.

Bald wurden auch andere Elemente entdeckt, die Mendelejew vorausgesagt hatte – die leeren Kästchen füllten sich. In der Tabelle des Periodischen

Systems zählte man später 92 Elemente. Das letzte ist das schwere Element Uran mit dem Atomgewicht 238. In den letzten 25 Jahren wurden noch zehn weitere, künstlich hergestellte Elemente gefunden, so daß die Gesamtzahl heute 102 beträgt.

Das Uran, ein Element, das das schwerste Atomgewicht von allen auf der Erde vorhandenen Elementen besitzt, lenkte die besondere Aufmerksamkeit des Entdeckers des Periodischen Systems auf sich. „Unter allen bekannten chemischen Elementen zeichnet sich Uran dadurch aus, daß es das höchste Atomgewicht besitzt“, schrieb Mendelejew. „Ich bin davon überzeugt, daß die Erforschung des Urans, beginnend von seinen natürlichen Quellen her, noch zu vielen neuen Entdeckungen führen wird. Ich empfehle dem, der Gegenstände neuer Forschungen sucht, sich besonders sorgfältig mit den Uranverbindungen zu beschäftigen.“

Die Wirklichkeit bewies bald, daß Mendelejew mit seiner Voraussage recht hatte. Das Uran half, in die Geheimnisse des Atomaufbaues einzudringen.

### Das Rätsel wird gelöst

Mit seiner genialen Entdeckung bestimmte Mendelejew den Beginn der systematischen Erforschung eines tiefverborgenen Naturgeheimnisses. Es vergingen kaum 15 Jahre, bis viele Wissenschaftler mit Hilfe des periodischen Gesetzes bereits einen ersten Blick in jene Welt werfen konnten, die man „Atom“ nennt.

Einer der ersten dieser Forscher, der sich gründlich mit dem Periodischen System von Mendelejew beschäftigte, war der russische Gelehrte Tschitscherin. In den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gelangte er zu dem Schluß, daß das dem Auge unsichtbare und nur durch den Verstand erfaßbare Atom jenen Gesetzen unterliege, nach denen sich die Himmelskörper in den endlosen Räumen des Weltalls bewegen. Jedes Atom stelle für sich ein Ebenbild des Sonnensystems mit zentraler Masse und umlaufenden Körpern dar. Tschitscherin verfügte dabei über keine Erfahrungswerte, sondern stützte sich nur auf mathematische Berechnungen, die sich aus dem Periodischen System ergaben.

Diese Gegenüberstellung – Atom und Sonnensystem – mutete damals viele Wissenschaftler seltsam an. Doch mit dieser Annahme ahnte der russische Gelehrte die späteren Entdeckungen voraus, die auf der Grundlage der Erfahrung ein derartiges Atommodell schufen.

Mehr noch: Tschitscherin sagte von den Atomen voraus, daß „sie unteilbar in den Grenzen unserer Erfahrung sind, aber es gibt keinen Grund, zu sagen, daß sie unbedingt unteilbar sind“.

Bis dahin hatte man sich in der Wissenschaft noch keine Gedanken über eine mögliche Teilbarkeit der Atome gemacht, und der russische Gelehrte Tschitscherin hatte seine Vermutungen nur auf Grund des Periodischen Systems aufgestellt.

Die Wissenschaft verlangt aber, daß jede Theorie, jegliche Berechnungen, alle Vermutungen durch die Praxis bestätigt werden. Nur sorgfältig geprüfte und mehrmals gemachte Beobachtungen können die Richtigkeit theoretischer Annahmen beweisen.

Bereits 10 Jahre später, im Jahre 1896, sammelte man die ersten experimentellen Erfahrungen. Sie wurden unerwartet bei der Untersuchung des Urans gewonnen.

Das ging folgendermaßen zu: Im Jahre 1895 war es dem deutschen Gelehrten Röntgen gelungen, unsichtbare, geheimnisvolle Strahlen zu entdecken.

Diese Strahlen konnten durch undurchsichtige Wände dringen, Spuren auf Photoplatten hinterlassen und Luft oder Gas zu guten Leitern elektrischen Stromes machen. Die Strahlen erzeugte man im Innern einer zugeschmolzenen Glasröhre, aus der die Luft herausgesaugt war und in der zwischen zwei Metallelektroden unter hoher elektrischer Spannung Entladungen stattfanden.

Röntgen nannte seine Strahlen „X-Strahlen“, also „unbekannte Strahlen“. In seinen Beschreibungen wies Röntgen darauf hin, daß die Strahlen von gelbgrünem Licht, das aus der Röhre dringt, begleitet werden.

Die Entstehung der rätselhaften X- oder Röntgenstrahlen interessierte die Physiker. Für die Wirkung und Eigenschaften dieser Strahlen interessierten sich die Ärzte, und sie benutzten sie schon bald für die „Durchleuchtung“ des menschlichen Körpers.

Viele Jahre lang bemühte sich der französische Physiker Becquerel um die Erforschung selbstleuchtender Stoffe. Es gab nämlich derartige erstaunliche Stoffe: Ließ man sie eine Zeitlang in der Sonne liegen, begannen sie bald von selbst in der Dunkelheit in gelbgrünem Licht zu strahlen.

Nachdem Becquerel von der Entdeckung Röntgens gelesen hatte, entschloß er sich, der Sache nachzugehen. Ähnelten die Strahlen der selbstleuchtenden Stoffe nicht den „X-Strahlen“? Konnte er vielleicht die Strahlen eines selbstleuchtenden Stoffes durch schwarzes, für das gewöhnliche Licht undurchdringliches Papier dringen lassen und würden sie vielleicht Spuren auf einer Photoplatte hinterlassen?

Becquerel begann mit seinen Versuchen. Er nahm ein Stück eines derartigen Stoffes (Uralkalisalz) und legte es in die Sonne. Nach einiger Zeit brachte er es in einen Dunkelkammerschrank und legte es auf eine sorgfältig, in schwarzes Papier eingewickelte Photoplatte.

Mit verschiedenen Stoffen wiederholte Becquerel diese Versuche, doch nicht alle verliefen erfolgreich. Einige Stoffe hinterließen keinerlei Spuren, aber einige, und zwar diejenigen, die Uran oder seine Verbindungen enthielten, hinterließen tatsächlich schwache Spuren. Allerdings war es noch nicht möglich, daraus irgendwelche Schlüsse zu ziehen; vielleicht leuchteten die einen schwächer, die anderen stärker, und demzufolge war die Platte bei den einen fast unempfindlich und bei den anderen sehr empfindlich.

Becquerel prüfte immer wieder neue Stoffzusammensetzungen, und wer weiß, wie lange Becquerel noch hätte Versuche anstellen müssen, wäre ihm nicht ein „Mißgeschick“ widerfahren, das ihn veranlaßte, seine Versuche abzubrechen.

Eines Morgens, nachdem Becquerel zum düsteren Pariser Himmel gesehen hatte, sah er sich zu seinem Kummer gezwungen, auf die Durchführung der Versuche zu verzichten.

In den Händen hielt er ein kleines Stück Uralkalisalz. Eigentlich wollte er es in die Sonne legen, aber das ging nun nicht. Seufzend legte Becquerel die unbelichtete, in einem schwarzen Umschlag befindliche Photoplatte in einen Schrank. Das Stück Uransalz legte er darauf.

Einige Tage später, als der Wissenschaftler seine Versuche wieder aufnahm, holte er das zurechtgelegte Stück heraus, aber die Platte ersetzte er durch eine andere. Wie groß war das Erstaunen des Physikers, nachdem er die neue und zugleich auch die alte Platte entwickelt hatte, als er auf der alten Platte noch stärkere Spuren von der Form des Stückes entdeckte als auf der neuen. Also brauchte man diesen Stoff nicht erst in das Sonnenlicht zu legen! Auch das nicht vom Sonnenlicht beschienene Stück dieses Stoffes sandte Strahlen aus, die den Röntgenstrahlen ähneln!

Das war eine völlig neue, unerwartete Entdeckung. Denn hier wurden Strahlen ausgesandt ohne luftleere Glasröhre und jegliche elektrische Spannung.

Man brauchte ja nur ein Stück von diesem Mineral zu nehmen, das die erstaunlichen Strahlen aussendet. Becquerel vergaß sofort seine ursprünglichen Absichten. Jetzt bediente er sich nicht mehr der Hilfe des Sonnenlichtes. Er wollte nun etwas anderes herausfinden, nämlich erfahren, welche Stoffe zu strahlen vermögen.

Durch eine Reihe neuer Versuche gelang es ihm dann, festzustellen, daß diese Eigenschaften dem Uran und seinen Verbindungen eigen sind.



*Marie Curie*

Die Eigenschaft des Urans, die Becquerel entdeckt hatte, interessierte auch andere Wissenschaftler. Die polnische Physikerin Maria Skłodowska und ihr Mann, der französische Physiker Pierre Curie, beschlossen festzustellen, welche Elemente außer Uran ebenfalls Strahlen aussenden. Durch langjährige Forschungen, mühselige Arbeit in einem dürftigen Laboratorium gelang es den beiden Physikern, noch andere dieser Stoffe zu finden, unter denen ein früher unbekanntes chemisches Element besonders auffiel. Die Curies nannten es „Radium“, was im Lateinischen „das Strahlende“ bedeutet. Es gab also ein Element, das millionenfach stärkere Strahlen als das Uran aussendet!

Maria Skłodowska und Pierre Curie bezeichneten die Fähigkeit gewisser Stoffe, unsichtbare Strahlen auszusenden, als „Radioaktivität“.

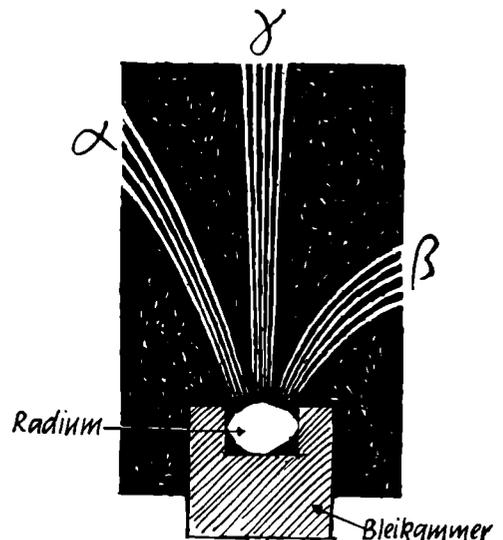
Was für Strahlen waren das? Handelte es sich vielleicht um dieselben X-Strahlen, die Röntgen entdeckte, oder um neue Strahlen?

Die Entdeckung des Radiums gab den Wissenschaftlern die Möglichkeit, diese Fragen zu beantworten. Bald schon war eine interessante Eigenschaft der neuen Strahlen entdeckt. Brachte man nämlich ein Stück Radium in das Feld eines starken Magneten, so hinterließen die vom Radium ausgesandten Strahlen drei Spuren, so als ob es sich hier um drei verschiedene Arten von Strahlen handeln würde. Das erste Strahlenbündel wich etwas nach links ab, das zweite war geradeaus gerichtet, und das dritte wich deutlich nach rechts ab. Die so gestreuten Strahlen mußten aus Teilchen bestehen, die elektrisch geladen sind, nahm man an. Entsprechende komplizierte Versuche ergaben, daß das linke Strahlenbündel aus schnell dahinjagenden positiv geladenen Masseteilchen besteht, die fast der Masse eines Heliumatoms gleich sind. Diese Teilchen wurden „Alphateilchen“ (Alpha =  $\alpha$ ) genannt.

Die Strahlen, die nach rechts abwichen, bestanden aus kleinsten Teilchen, welche die kleinste negative elektrische Ladung tragen. Es handelte sich also um Elektronen. (Elektronen waren damals den Wissenschaftlern schon bekannt; man nannte sie auch „Elektrizitätsatome“.) Diese Strahlen wurden „Betastrahlen“ genannt (Beta =  $\beta$ ).

Die mittleren Strahlen schließlich, die „Gammastrahlen“ (Gamma =  $\gamma$ ), ähneln den Röntgenstrahlen, die durch Entladung wie elektromagnetische Wellen strahlen.

Etwas war an diesen Entdeckungen besonders erstaunlich: Aus einem chemisch völlig bestimmten Element wie Radium oder Uran strahlen gewisse Teilchen aus, die den Atomen dieser Stoffe nicht ähneln. Woher sollen die



Spuren, die ein Stück Radium ausstrahlt, das in das Feld eines starken Elektromagneten gebracht wird

ausgestrahlten Teilchen aber kommen? Man konnte das damals nur so erklären, daß die Atome teilbar und die Alpha- und Betaeilchen Bruchstücke von Atomen sind! Atome können also zerfallen!

Die Vermutung Tschitscherins, daß Atome teilbar sind, bestätigte sich also tatsächlich.

Diese Schlußfolgerung der Wissenschaftler, die den alten Vorstellungen, daß das „Atom“ ein unteilbares kleinstes Teilchen sei, zuwiderläuft, war der Schlüssel zur Entschleierung des Atomgeheimnisses.

### Das Atom und seine Modelle

Das Atom ist also teilbar. Wie aber soll man sich seinen Aufbau vorstellen? Was für kleine Teilchen und wie viele sind in einem Atom enthalten? Wie sind sie angeordnet? Auf all diese Fragen gab es noch keine richtige Antwort. Auf Grund von Versuchen begannen die Wissenschaftler, verschiedene Atommodelle darzustellen, doch keines von ihnen konnte überzeugen. Der englische Physiker Thomson nahm zum Beispiel an, daß das Atom nur aus Elektronen bestehe, die wie in einer positiv geladenen Wolke schwimmen. Was das aber für eine Materie ist, die durch ihre positive Ladung negativ geladene Elektronen anzieht, konnten weder Thomson selbst noch andere Wissenschaftler erklären. Es war überhaupt unmöglich, mit dem Modell Thomsons die Tatsache in Einklang zu bringen, daß die  $\alpha$ -Teilchen, also die positiv geladenen Heliumatome, aus Radium- und Uranatomen strahlen.

Große Mühe, peinlich genaue Forschungen, komplizierte Berechnungen und viele Versuche waren notwendig, um zu einer Lösung der Probleme zu gelangen.

Es würde zu lange dauern, davon zu erzählen, wie das Atomgeheimnis Schritt für Schritt gelüftet wurde. Wir können hier nur flüchtig den Gang der wissenschaftlichen Erkenntnisse verfolgen.

Zu Beginn unseres Jahrhunderts kam der englische Physiker Rutherford, der viel zur Erforschung der radioaktiven Strahlen beitrug, zu dem Schluß, daß im Atom ein dichter, zentraler Kern vorhanden sein müsse. Das bewiesen besondere Versuche. Ferner gelang es am Beispiel der einfachsten Atome, der des Wasserstoffs und des Heliums, sich davon zu überzeugen, daß der Kern im Innern des Atoms positiv geladen ist und sich um ihn eine bestimmte Anzahl negativ geladener Elektronen befinden. So besitzt zum

Beispiel der Atomkern des Wasserstoffs eine positive Ladung, deren Größe der Ladung des Elektrons gleich ist. Folglich befindet sich in diesem Atom außer dem Kern nur ein Elektron. Denn dadurch heben sich die positive Ladung des Kerns und die negative des Elektrons gegenseitig auf. Damit ist erklärt, warum das Atom als Ganzes elektrisch neutral ist.

Die Wissenschaftler nannten das Atom des Wasserstoffs früher „Proton“ (das Erste), doch heute versteht man unter einem „Proton“ den Kern des Wasserstoffatoms, der eine positive Ladung enthält.

Die Wissenschaftler gelangten zu der Schlußfolgerung, daß das Atom eines beliebigen Stoffes einen zentralen Kern mit positiver Ladung und einigen Elektronen besitzt, die sich durch die Ladung neben dem Kern behaupten. Anfänglich schien es, daß diese Elektronen ein „Wölkchen“ um den Kern bilden, aber dann, als man die Eigenschaften des Atoms weiter erforschte, erkannten die Gelehrten, daß der Bau eines Atoms tatsächlich, wie schon Tschitscherin vermutete, an den Bau des Sonnensystems erinnert. Nach diesem Modell ließen sich viele bekannte Tatsachen erklären.

Das Atom wird bei diesem Modell in Form eines kleinen Systems dargestellt, in dessen Mittelpunkt sich der positiv geladene Kern befindet, um den sich in elliptischen Bahnen die negativ geladenen Elektronen bewegen. Es können etliche Bahnen sein mit kleinerem und größerem Durchmesser. Die Elektronen, die sich in den äußeren Bahnen befinden, können vom Kern wegfliegen, können gleichzeitig zu den äußeren Elektronenbahnen anderer benachbarter Atome gehören, die zusammen ein Molekül bilden. Die auf den verschiedenen Bahnen den Kern umlaufenden Elektronen nennt man auch die Atomhülle.

Nachdem man so ein Atommodell geschaffen und durch Versuche gelernt hatte, die Größe der elektrischen Kernladung zu bestimmen, begriffen die Wissenschaftler erst richtig den Sinn des Periodischen Systems. Es stellte sich heraus: Wenn das erste Element des Periodischen Systems, Wasserstoff, eine Kernladung besitzt, die einer Protonenladung entspricht, so besitzt das folgende, zweite Element, also Helium, eine Kernladung, die zwei Protonenladungen entspricht und so fort.

Die Größe der Kernladung des Atoms jedes beliebigen Elements entspricht genau seiner Ordnungszahl im Periodischen System. Folglich bestimmt nicht so sehr das Atomgewicht, sondern vielmehr die Ladung der Atomkerne alle Eigenschaften eines Stoffes. Schon Mendelejew hatte nicht alle Elemente genau nach der Zunahme des Atomgewichts geordnet, sondern einige nach der Größe der Kernladung. Wahrscheinlich hatte der große Gelehrte irgendeine tiefere Gesetzmäßigkeit als die bloße Annahme des Atomgewichts geahnt.

Mendelejew stellte zum Beispiel das Element „Tellur“ mit dem Atomgewicht 127,61 vor das Element „Jod“, obwohl dessen Atomgewicht mit 126,92 geringer ist. Ihren Eigenschaften nach mußten aber die Elemente gerade so angeordnet werden. Und wie sich später herausstellte, war die Kernladung des Tellurs tatsächlich um eine Einheit geringer als die Kernladung des Jods.

Was die Atomgewichte anbelangt, so entdeckten die Wissenschaftler bald, daß ein und dasselbe Element in einigen Arten vorkommen kann, die sich wohl in ihren Atomgewichten unterscheiden, in ihren chemischen Eigenschaften aber völlig ähnlich sind. Zum Beispiel besitzt das bekannte Metall Blei, das im Periodischen System die Nummer 82 hat, bei Gewinnung aus Uranerz ein Atomgewicht von 206, aus Thoriumerz 208 und aus allen anderen Erzen 207,2. Das letztere Gewicht war von den Chemikern bereits sehr früh bestimmt worden, und es stellt gewissermaßen den Mittelwert zwischen dem Uran- und Thoriumblei dar. Im gewöhnlichen Blei befinden sich also zwei Arten von Atomen, nämlich solche mit einem Gewicht von 206 und solche mit einem Gewicht von 208. Nach ihren chemischen Eigenschaften sind beide Bleiarten völlig gleich, und die Kernladung ihrer Atome ist ebenfalls gleich.

Die Arten ein und desselben Elements, die sich nur durch das Atomgewicht unterscheiden, wurden von den Wissenschaftlern „Isotope“ genannt. Demzufolge können sich in einem Kästchen der Tabelle des Periodischen Systems mehrere Isotope eines Elements befinden. Auch dieser Umstand weist darauf hin, daß die Eigenschaften eines Elements nicht durch das Atomgewicht, sondern durch die Kernladung bestimmt werden.

Nachdem sie zu dieser Schlußfolgerung gekommen waren, fiel es den Wissenschaftlern noch lange Zeit schwer, zu erklären, wie sich nun der Atomkern aufbaut und weshalb zwischen dem Atomgewicht und der Ladung ein Unterschied besteht. Tatsächlich besitzt der Atomkern des Wasserstoffs, das „Proton“, eine einzige positive Ladung, und das Atomgewicht ist auch annähernd einer Einheit gleich.

Das in der Tabelle nach ihm folgende Element Helium (Nr. 2) besitzt die doppelte Ladung, aber sein Atomgewicht ist viermal so groß wie das Atomgewicht des Wasserstoffs. Darauf folgt das Element Lithium (Nr. 3); es hat die dreifache Ladung, aber das Atomgewicht 7. Das letzte Element der Tabelle, das Uran (Nr. 92), besitzt die Ladung 92, aber das Atomgewicht 238. Woran liegt das? Nun, wenn die Kerne aller Atome nur aus einer verschiedenen Anzahl von Kernen des einfachen Atoms, des Wasserstoffs, also aus Protonen bestehen, so dürfte das Atomgewicht des Heliums nur doppelt so groß, das Atomgewicht des Lithiums nur dreimal so groß und das Atom-

gewicht des Urans 92mal so groß wie das Atomgewicht des Wasserstoffs sein. Die Atomkerne konnten also nicht nur aus Protonen bestehen.

Eine Zeitlang nahm man an, die Größe der Kernladung sei nur deshalb geringer, weil der Kern außer den Protonen noch eine Anzahl „gebündelte“ Elektronen besitze.

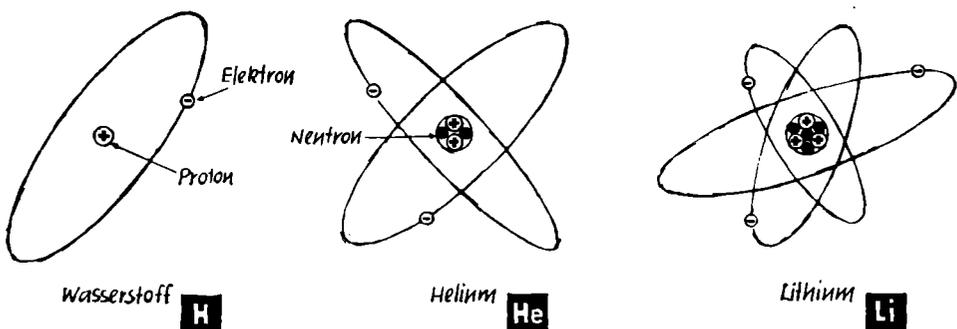
Diese Kernelektronen würden einen Teil der positiv geladenen Protonen neutralisieren. Dadurch wäre zum Beispiel erklärt, warum Helium die Kernladungszahl 2, aber die Massenzahl 4 hat. Von den 4 Protonen des Kerns konnten nur 2 zur Ladung beitragen, weil die positiven Ladungen der 2 übrigen Protonen durch das Vorhandensein von 2 negativen Kernelektronen neutralisiert, ausgeglichen waren. Aber diese Annahme, daß sich auch im Atomkern Elektronen befinden, erwies sich als falsch.

Im Jahre 1932 wurde nämlich noch ein Teilchen experimentell gefunden, das im Kern enthalten ist; nach dem Gewicht war es dem Proton gleich, doch trug es keinerlei Ladung. In dem gleichen Jahr 1932 sprach der sowjetische Wissenschaftler Iwanenko den Gedanken aus, daß der Atomkern nicht aus Protonen und Elektronen, sondern aus Protonen, positiv geladenen Teilchen, und aus völlig ungeladenen Teilchen, den Neutronen, bestehe. Die Wissenschaftler konnten so das von ihnen erdachte Atommodell weiter vervollkommen. Es wurde verständlich, daß die Kernladung durch die Zahl der Protonen im Kern, doch das Atomgewicht durch die Zahl der Protonen und Neutronen zusammengenommen bestimmt wird.

So stellt man sich heute zum Beispiel die Atome der drei Elemente Wasserstoff, Helium und Lithium vor.

Wasserstoff besitzt einen Kern aus einem Proton, und in der Hülle um den Kern bewegt sich ein einziges Elektron, ein sehr leichtes, bewegliches Teilchen, dessen Masse 1836mal kleiner als die Masse des Protons ist. Das

*Schematische Darstellungen der Atome des Wasserstoffs, Heliums und Lithiums*



Atomgewicht wird im wesentlichen nur durch die Masse des Protons bestimmt.

Helium besitzt einen Kern, der aus zwei Protonen und zwei Neutronen besteht. Die Ladung ist 2, das Atomgewicht 4. In der Atomhülle bewegen sich zwei Elektronen.

Lithium besitzt einen Kern aus drei Protonen und vier Neutronen. Die Ladung ist 3, das Atomgewicht 7. In der Atomhülle befinden sich 3 Elektronen. Ihre Bahnen bilden zwei Elektronen„schalen“, und zwar eine kleine mit zwei Elektronen und eine große mit einem Elektron. Stets enthält ein Atom in seiner Hülle so viel Elektronen wie Protonen in seinem Kern!

Nachdem das Neutron entdeckt war, wurde auch klar, was Isotope sind. Die Protonenzahl (Kernladungszahl) muß bei allen Atomkernen desselben Elements zwar immer die gleiche sein, die Neutronenzahl aber kann etwas verschieden sein. So erklärt es sich, daß zum Beispiel das Blei-Isotop mit dem Atomgewicht 206 82 Protonen und 124 Neutronen in seinen Atomkernen hat, das Blei-Isotop mit dem Atomgewicht 208 aber 82 Protonen und 126 Neutronen. Beide Isotope haben die gleichen chemischen Eigenschaften, weil diese durch die Anzahl der Elektronen bestimmt werden und deren Anzahl wiederum durch die Kernladungszahl, das heißt durch die Zahl der Protonen.

Doch was verbindet die Neutronen und Protonen des Kerns untereinander, weshalb stoßen sich die positiv geladenen Teilchen nicht voneinander ab, und weshalb verstreuen sich die Neutronen nicht?

Hier beginnt die nächste Etappe der Enthüllung des Atomgeheimnisses, die Etappe, die zur Gewinnung der Atomenergie führte.

### Wunderbare Umwandlungen

Ein Atom ist ein sehr kleines Teilchen, und sein Kern ist noch hunderttausendmal kleiner als das ganze Atom. Die Teilchen, die sich im Innern des Atomkerns befinden, sind natürlich noch kleiner. Man kann sich das kaum vorstellen.

Im Atomkern kommen die Protonen und Neutronen gut nebeneinander aus. Durch welche Kräfte werden sie aber zusammengehalten? Um elektrische Kräfte kann es sich dabei nicht handeln, denn positiv geladene Protonen würden sich einander abstoßen. Von welcher Natur die „Kernkräfte“ sind, wie die Wissenschaftler die den Kern zusammenhaltenden

Kräfte nennen, ist jedoch noch nicht genau geklärt; sie sind Gegenstand zahlreicher Forschungen, welche die Wissenschaftler unserer Tage durchführen.

Es ist aber bereits gelungen, einige Eigenschaften der Kernkräfte zu bestimmen. Beispielsweise ist bekannt, daß innerhalb eines Kernes, in dem der größte Abstand zwischen den Teilchen  $0,0000000000013$  cm nicht überschreitet, diese Kräfte sehr groß sind. Aber schon bei geringster Vergrößerung dieses Abstandes lassen die Kernkräfte sehr schnell nach. Vergrößert sich der Abstand zwischen den Teilchen gegenüber dem ursprünglichen um das Zwei- bis Dreifache, dann verschwinden diese Kräfte ganz.

Folglich wirken im Innern des Kernes zwei Arten von Kräften, die gegeneinander gerichtet sind: Die Kernkräfte sind bestrebt, die Teilchen zu binden, die elektrischen Kräfte sind bemüht, sie voneinander abzustößen.

Wenn es nun gelänge, den Kern zu spalten, die Teilchen auseinanderzutreiben, dann würde die Wirkung der Kernkräfte ganz und gar aufhören, unter dem Einfluß der Kräfte der elektrischen Abstoßung flögen einige Protonen und mit ihnen zusammen auch die Neutronen aus dem Kern heraus. Sie würden dabei eine ungeheure Geschwindigkeit entwickeln.

Doch wenn aus dem Kern auch nur ein Proton entfernt wird, so verändern sich die Ladung und auch das Gewicht dieses Kernes. Und verändert sich die Ladung, so wandeln sich auch die chemischen Eigenschaften des Stoffes. Mit anderen Worten: Ein Element würde sich in ein anderes verwandeln.

Die Kerne der schwersten Elemente, Uran, Thorium und Radium, zerfallen von selbst, die einen schneller, die anderen langsamer. Die Strahlung, die Becquerel beim Uran und das Ehepaar Curie beim Radium entdeckten, ist nichts anderes als das Ergebnis des beständigen Zerfalls der Atomkerne dieser Elemente. Dieser Zerfall vollzieht sich langsam, aber ununterbrochen und gesetzmäßig. Die Wissenschaftler stellten zum Beispiel fest: Nimmt man eine bestimmte Menge Uran, so ist nach viereinhalb Milliarden Jahren die Hälfte dieser Menge zerfallen.

Für das Element Radium beträgt die „Halbwertzeit“, wie die Wissenschaftler die Zerfallszeit der halben Menge bezeichnen, etwa 1590 Jahre, denn die Ausstrahlung des Radiums geht viel schneller vor sich.

Schon Milliarden von Jahren währt dieser Zerfallsprozeß der schweren Elemente. Allmählich verwandeln sie sich in nicht mehr zerfallende, „stabile“ Elemente – in Isotope des Bleis.

Nach der Entdeckung dieser Erscheinung war es den Wissenschaftlern möglich, das Alter unseres Planeten, der Erde, zu berechnen.

Früher nahm man an, daß sich der feurigflüssige Erdball bis zum jetzigen Zustand in 40 Millionen Jahren abgekühlt hat. Dann wurde durch ver-

schiedene Verfahren eine andere Mindestzeit, nämlich 30 Millionen Jahre, gefunden. Jedoch war das alles falsch. Jetzt haben die Wissenschaftler festgestellt, daß die Erde bedeutend älter ist – ihr Alter beträgt etwa 5 Milliarden Jahre.

Gibt es nun Möglichkeiten, die Kernladung eines beliebigen Elementes künstlich zu verändern, indem man Protonen hinaustreibt oder hinzufügt? Einen derartigen Versuch unternahm erstmalig der englische Physiker Rutherford im Jahre 1919.

Ihm gelang es, durch Beschuß mit  $\alpha$ -Teilchen (Alphastrahlen), von denen jedes zwei Protonen besitzt, Stickstoffgas in Sauerstoffgas zu verwandeln. Sehen wir uns das Periodische System an. Wir stellen fest, daß man Stickstoff in Sauerstoff verwandeln kann, indem man die Kernladung von 7 auf 8 erhöht, das heißt um eine Einheit. Daraus folgt, daß eins der Protonen, die in einem  $\alpha$ -Teilchen enthalten sind, in dem beschossenen Stickstoffkern verbleibt. Das Ergebnis ist ein umgewandeltes chemisches Element: Sauerstoffgas.

Ist das nicht eine wunderbare Umwandlung? Man lernte, künstlich auch andere Elemente umzuwandeln, darunter Quecksilber in Gold. Aus dem Kern des Quecksilbers wird dabei ein Proton herausgetrieben, und das einfache Metall Quecksilber (Nr. 80 im Periodischen System) verwandelt sich in das wertvolle Metall Gold (Nr. 79).

Derartige Umwandlungen stellen zwar nicht den „Stein der Weisen“ dar, dem die Alchimisten nachjagten, sondern sind ein strenges wissenschaftliches Eindringen in die Naturgeheimnisse.

Sie sind jedoch nicht das Hauptergebnis der wissenschaftlichen Erkenntnisse der Kernphysik, denn diese Art der Goldgewinnung zum Beispiel erweist sich vorläufig als zu kostspielig und ist deshalb unzweckmäßig.

Der praktische Nutzen der modernen Wissenschaft vom Atom liegt auf anderem Gebiet, in der Entdeckung der Verfahren und Mittel, die gewaltige Energie, die im Atomkern schlummert, freizusetzen und auszunutzen.

### Eine mächtige Energie

Der 2. Weltkrieg näherte sich dem Ende. Die siegreiche Sowjetarmee, die die faschistischen Truppen Hitlers zerschlagen hatte, trug entscheidende und schnelle Vorstöße gegen die Truppen des aggressiven Japans vor. Die Welt erwartete die baldige Beendigung des Krieges.

Da, im August 1945, als der Ausgang des Krieges bereits entschieden war, wurde von einem amerikanischen Flugzeug über der Stadt Hiroshima eine Bombe von ungewöhnlicher Zerstörungskraft abgeworfen. Eine früher nie gesehene Explosionskraft löschte die dichtbevölkerte Stadt fast von dem Gesicht der Erde, begrub im Feuer und in den Ruinen etwa 200 000 Menschen.

Die Welt war von der Gewalt der neuen Bombe, von der bekannt wurde, daß sie auf der Ausnutzung der Atomenergie beruhte, als auch von der sinnlosen und unmenschlichen Weise ihrer Anwendung entsetzt. Die Atombombe, der so viele Menschen zum Opfer fielen, wurde der Welt als grausiges Vorzeichen der unvorstellbaren Schrecken künftiger Kriege vor Augen geführt.

Die Völker aller Länder, über das Schicksal der Menschheit beunruhigt, führen seitdem einen unermüdlichen Kampf für das Verbot der Atombombe, für die Verwendung der neu entdeckten, gewaltigen Energie zu friedlichen Zwecken.

„Die mächtige Atomenergie soll nicht der Zerstörung, sondern dem friedlichen Aufbau dienen!“ steht auf dem Banner der Friedenskämpfer.

Was ist das für eine Energie? Warum ist sie so gewaltig? Worin verbirgt sich das Geheimnis der Gewinnung dieser Energie? Warum konnte die Menschheit ihre ungewöhnlichen Möglichkeiten bisher nicht voll ausnutzen?

Die Menschheit nutzt vom Anfang ihrer Entwicklung an eine Erscheinung der Atomenergie aus – die Sonnenenergie. Milliarden von Jahren schickt die Sonne bereits Wärme und Licht, erwärmt sie die Erde und ermöglicht auf ihr das Leben. Lange wußte die Menschheit nicht, woher die Sonne ihren unerschöpflichen Energievorrat nimmt. Die Religion erklärte das als eine übernatürliche, dem menschlichen Verstand nicht zugängliche Kraft der Götter.

Die Wissenschaftler fanden jedoch dafür die richtige Erklärung.

Vor nicht allzulanger Zeit nahm man noch an, daß die Sonne eine gigantische, glühende Kugel sei, die langsam in Milliarden von Jahren abkühlt. Es war aber schwierig, zu erklären, was das nun für eine Kugel sei, wie sie aufgebaut ist und woher sie diese Wärmevorräte nimmt.

Denn um soviel Energie zu erzeugen, wie sie die Sonne ausstrahlt, müßte man 180 000 000 Milliarden Kraftwerke wie das von Kuibyschew bauen!

Erst in den letzten Jahren, nachdem das Atomgeheimnis gelüftet worden war, vermochten die Wissenschaftler auch die Natur der Sonnenenergie zu erklären. Es erwies sich, daß auf der Sonne ununterbrochen eine ungeheure Menge Atomenergie freigesetzt wird. Die wohlthätigen Sonnenstrahlen, deren wir uns sowohl im Sommer als auch im Winter erfreuen, die uns

Wärme und Licht bringen, sind das Ergebnis einer gigantischen Erzeugung von Atomenergie auf der Sonne. Jede uns bekannte Energieart, die Energie des Wassers, des Windes und die Wärme der Treibstoffverbrennungen läßt sich nach ihrer Herkunft auf die Sonne zurückführen!

Folglich nutzt die Menschheit schon lange die Atomenergie aus. Doch sie unmittelbar gewinnen, nicht durch die Sonnenausstrahlung, sondern ebenso direkt wie die Sonne selbst, das konnte der Mensch noch nicht. Erst in unseren Tagen enträtselten die Wissenschaftler einige Geheimnisse der Gewinnung von Atomenergie. Es wurden Möglichkeiten für die praktische Ausnutzung dieser Energie gefunden.

Es ist übrigens besser, die Atomenergie als Kernenergie zu bezeichnen, denn in den Kernen der Atome verbirgt sich der gewaltige Energievorrat, in den Atomhüllen nur ein vergleichsweise kleiner.

Wir sprachen schon von den Kräften, die die Protonen und Neutronen zu festen, dichten Atomkernen verbinden. Um die Kernkräfte auseinandersprengen zu können, muß man mit irgendeinem „Geschöß“ in den Kern treffen. Dadurch fliegen die freigewordenen Protonen und Neutronen unter Einwirkung elektrischer Kräfte mit gewaltigen Geschwindigkeiten davon. Lange suchten die Wissenschaftler die erforderlichen „Geschosse“. Zuerst führte man den Beschuß mit  $\alpha$ -Teilchen durch, das heißt mit positiv geladenen Heliumkernen (2 Protonen + 2 Neutronen). Doch in den Kern eines beliebigen Atoms zu treffen, erwies sich dabei als sehr kompliziert: Die positiv geladenen  $\alpha$ -Teilchen wurden durch die positiv geladenen Kerne abgestoßen. Und erst nachdem die  $\alpha$ -Teilchen auf ungewöhnlich hohe Geschwindigkeiten gebracht wurden, gelang es, in den Kern einzudringen, also die Blockade der elektrischen Abstoßungskraft zu durchbrechen. Doch die Treffer endeten entweder durch „Steckenbleiben“ der Protonen, und folglich wandelte sich ein Element in ein anderes um, oder es wurde ein Proton herausgeschleudert, was ebenfalls zu Umwandlungen führte. Die dabei entstehende Energie erwies sich jedoch als unbedeutend und deckte nicht die Kosten des Energieverbrauches für den Beschuß.

Wenn wir in diesem Zusammenhang von Energie sprechen, verstehen wir darunter vor allem die Bewegungsenergie der Bruchstücke und der Teilchen, die unter dem Einfluß der Kräfte der elektrischen Abstoßung mit ungeheuren Geschwindigkeiten aus dem Kern herausfliegen. Diese „Bruchstücke“ können die Entfernung von der Erde zum Mond in weniger als einer halben Minute zurücklegen.

Stoßen die schnellen Teilchen mit den Atomen der Stoffe zusammen, so werden diese Atome ebenfalls zu schnellerer Bewegung angeregt. Bewegung von atomaren Teilchen ist aber praktisch gleichbedeutend mit Wärme.

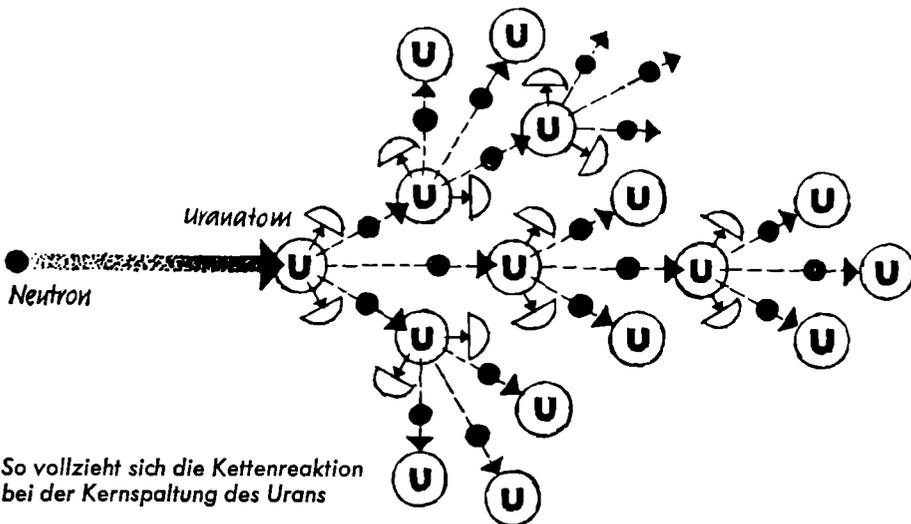
Die Bewegungsenergie wandelt sich in Wärme um, die sich für viele Zwecke nutzen läßt.

Wärmeenergie in genügender Menge durch Beschuß der Kerne zu gewinnen, erwies sich, wie schon gesagt, als schwierig. Im Jahre 1938 versuchten jedoch die Wissenschaftler, die Kerne der schweren Elemente des Periodischen Systems mit Neutronen zu beschießen. Dabei wurde eine interessante Erscheinung festgestellt: Wenn ein Neutron in den Kern des schwersten Elementes, des Urans, traf, spaltete sich der Kern in zwei fast gleiche Teile. Die Bruchstücke flogen dabei mit gewaltigen Geschwindigkeiten davon, sie stießen sich voneinander ab. Außer den Bruchstücken, die nun die Kerne neuer Elemente darstellten, die zum mittleren Teil des Periodischen Systems gehören (Kobalt, Caesium, Barium, Krypton und andere), flogen bei der Kernspaltung des Urans 2 bis 3 freie Neutronen mit hohen Geschwindigkeiten davon.

Das war eine sehr wichtige Entdeckung. Die Physiker studierten sie gründlich; durch die Arbeiten des italienischen Physikers Fermi, der deutschen Kernchemiker Hahn und Straßmann, des französischen Physikers Joliot-Curie und des sowjetischen Physikers Prekel wurde bewiesen, daß in der Reaktion der Kernspaltung des Urans eine Möglichkeit der praktischen Ausnutzung der Atomenergie liegt.

„Man muß nur Bedingungen schaffen“, erklärten die Wissenschaftler, „unter denen sich eine ‚Kettenreaktion‘ der Kernspaltung vollzieht.“

Eine Kettenreaktion?



So vollzieht sich die Kettenreaktion bei der Kernspaltung des Urans

Nehmen wir an, daß in ein bestimmtes Uranatom ein „Geschoß“, ein Neutron, eindrang und sich der Kern spaltete. Dann wurden auch drei neue „Geschosse“ gebildet! Was geschieht nun, wenn jedes von ihnen in andere Kerne trifft? Dann spalten sich drei Kerne, und dabei erscheinen 9 neue „Geschosse“. Diese neun spalten nun wiederum neun andere Kerne, aus denen 27 „Geschosse“ herausfliegen. Die „Feuerkraft“ der Atomartillerie wird immer mehr zunehmen.

Eine Reaktion, die auf immer mehr Nachbarkerne übergreift, heißt Kettenreaktion. Sobald ein Neutron getroffen hat, entsteht eine unaufhaltsame Lawine von Neutronen, die immer mehr anwächst und eine gewaltige Anzahl von Kernen spaltet. Die dabei herausfliegenden Bruchstücke setzen eine ungeheure Wärmemenge frei.

Eine derartige Reaktion ist nicht in jedem Stück Uran möglich. In einem kleinen Stück können viele Neutronen, die auf ihrem Weg den Kern nicht treffen, wieder aus dem Stück hinausfliegen. Nur in Stücken von einer bestimmten Mindestgröße trifft das Neutron, wohin es auch fliegt, immer einen Kern. Die kleinste Masse, bei der eine Kettenreaktion möglich ist, heißt deshalb „kritische Masse“.

Die erste Atombombe bestand aus zwei Uranstücken, die zusammen eine „kritische Masse“ ergaben. Für die Explosion wurden beide Stücke durch ein besonderes Verfahren plötzlich einander genähert, und die sich schnell entwickelnde Kettenreaktion setzte eine gewaltige Energie frei.

Die über Hiroshima abgeworfene Atombombe überzeugte die Menschheit erstmalig von der Gewalt der Atomenergie. Das geschah um den Preis vieler Menschenleben, die durch die Schuld derer zugrunde gingen, die sich für die Ausnutzung der Atomenergie in einer Bombe entschieden.

Natürlich ist es unmöglich, sich bei der Ausnutzung der Atomenergie zu friedlichen Zwecken desselben Verfahrens der plötzlichen Freisetzung dieser ungeheuren Energie zu bedienen.

Für friedliche Zwecke müssen andere Wege beschritten werden. Die sowjetischen Wissenschaftler leisteten hier als Vertreter einer neuen, menschlichen, sozialistischen Wissenschaft einen großen Beitrag.

Doch ehe wir davon erzählen, wie es gelang, die Atomenergie so zu bändigen, daß sie Arbeitsmaschinen antreibt und Häuser erleuchtet, wenden wir uns noch einmal der Sonne zu. Wir hatten bereits gesagt, daß die Sonnenenergie Kernenergie darstellt. Aber werden denn auf der Sonne ständig Urankerne gespalten?

Nein, denn man kann Atomenergie nicht nur durch die Kernspaltung der schweren Elemente freisetzen. Auch durch Kernfusion, das heißt durch Kernverschmelzung, läßt sich gewaltige Energie erzeugen. Dieses Verfahren

ist kompliziert; es ließ sich erst dann verwirklichen, als die Wissenschaftler das Verfahren der Spaltung der Urkerne beherrschten.

Wenn man die Kerne der leichten Elemente stark erhitzt, fangen sie an, sich mit großen Geschwindigkeiten zu bewegen, sie stürzen aufeinander und schließen sich bei sehr starker Annäherung zu neuen Kernen zusammen.

Mit der Wärme eines Streichholzes erreicht man hier allerdings nichts. Für solche Verschmelzungsreaktionen ist eine Temperatur von Millionen Grad erforderlich. Diese Reaktionen erhielten die Bezeichnung „thermonukleare“ Reaktionen (griechisch „thermos“ = Wärme, lateinisch „nucleus“ = Kern).

Heutzutage kann man bereits thermonukleare Reaktionen durchführen, in deren Ergebnis bei der Verschmelzung der Kerne eine tausendmal größere Energie als bei der Spaltung der Kerne freigesetzt wird.

Als Wärmequelle dient eine Art Uranbombe, bei deren Explosion sofort eine Temperatur von einigen Millionen Grad entwickelt wird.

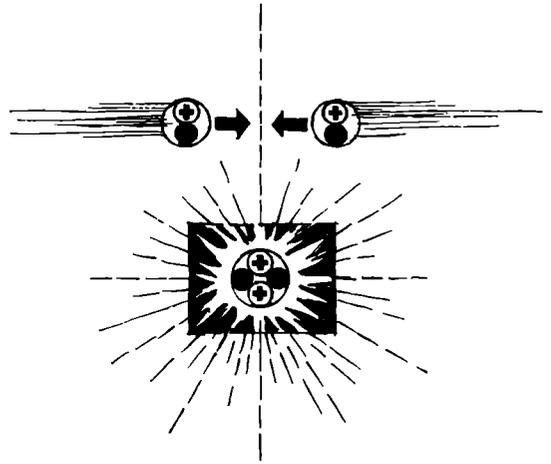
Als Kerne der leichten Elemente verwendet man für eine derartige Reaktion die Kerne des schweren Wasserstoffs. Sie enthalten zum Unterschied von dem gewöhnlichen Wasserstoff außer einem Proton noch ein Neutron. Der schwere Wasserstoff wird aus schwerem Wasser gewonnen, und schweres Wasser ist in geringer Menge im gewöhnlichen Wasser enthalten.

Während einer thermonuklearen Reaktion bilden zwei leichte Kerne, nachdem sie sich verschmolzen haben, einen Heliumkern.

Auf einer thermonuklearen Reaktion beruht das Wirkungsprinzip der „Wasserstoffbombe“, die eine bestimmte Menge schweren Wasserstoffs und eine Uranbombe enthält, die als Zünder dient.

Die Leistung einer „Wasserstoffbombe“ ist theoretisch grenzenlos. Hier gibt es keine „kritische Masse“ und um so mehr schwerer Wasserstoff zubereitet wurde, je stärker erweist sich die Wirkung der Bombe. Außerdem ist hier auch die Energieausbeute größer: Ein Kilogramm Wasserstoff, das sich auf diesem Wege in Helium verwandelt, setzt viel mehr Energie frei als ein Kilogramm vollständig zertrümmertes Uran.

Wie die Wissenschaftler festgestellt haben, geht auf der Sonne eine ununterbrochene thermonukleare Reaktion unter Bildung von „Heliumgas“



vor sich, das seine Bezeichnung („Sonnenstoff“) dadurch erhielt, weil es zum erstenmal in den Gasen gefunden wurde, die die Sonne umgeben. Die Wissenschaftler fanden bisher noch kein Verfahren, mit dem sie die thermonuklearen Reaktionen für industrielle Zwecke nutzbar machen können. Es wurden noch keine Möglichkeiten entdeckt, gezügelte thermonukleare Prozesse unter den auf der Erde gegebenen Verhältnissen zu erzeugen. Man hat noch nicht gelernt, „künstliche Sonnen“ zu schaffen. Doch die Spaltungsenergie der Urankerne wird bereits beherrscht. Ihre erste industrielle Ausnutzung fand sie in der Sowjetunion. Am Donnerstag, dem 1. Juli 1954, wurde in allen Zeitungen der Sowjetunion folgende Mitteilung des Ministerrates der UdSSR veröffentlicht:

**„DAS ERSTE INDUSTRIELLE ATOMKRAFTWERK WURDE IN DER UDSSR IN BETRIEB GENOMMEN**

In der Sowjetunion wurden gegenwärtig die Arbeiten sowjetischer Wissenschaftler und Ingenieure zur Projektierung und Errichtung des ersten industriellen Atomkraftwerkes mit einer Leistung von 5000 Kilowatt abgeschlossen.

Am 27. Juni 1954 wurde das Atomkraftwerk in Betrieb gesetzt und erzeugt elektrischen Strom für die Industrie und Landwirtschaft.

Zum erstenmal arbeitet eine Industrieturbine nicht durch Verbrennung von Kohle oder Brennstoffarten, sondern mit Atomenergie, die durch die Kernspaltung des Uranatoms gewonnen wird. Die Inbetriebnahme des Atomkraftwerkes stellt einen realen Schritt zur friedlichen Verwendung der Atomenergie dar.

Von den sowjetischen Wissenschaftlern und Ingenieuren werden Arbeiten durchgeführt, ein industrielles Atomkraftwerk für eine Leistung von 100 000 Kilowatt zu schaffen.“

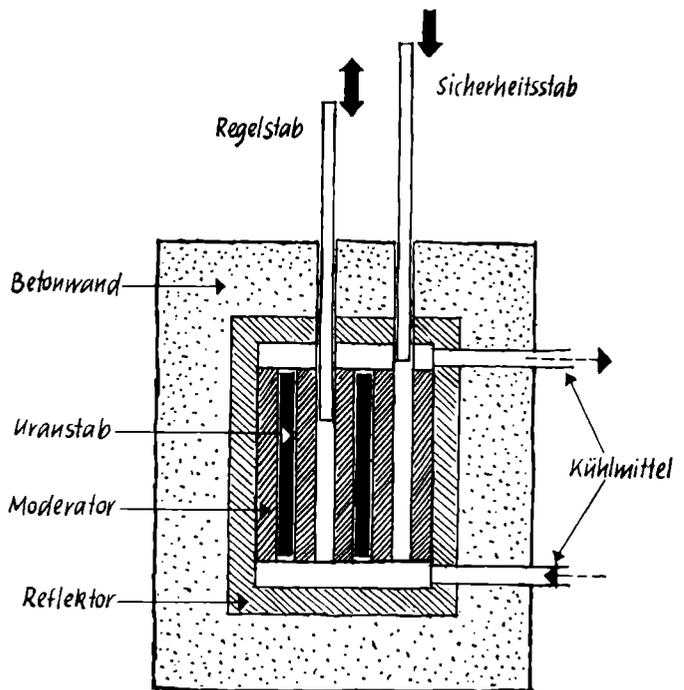
Die erste Atomkraftmaschine war in Betrieb.

### Atomreaktor und Atomtreibstoff

Freigewordene Atomenergie verwandelt sich in Wärme. Also muß die Kraftmaschine, die diese Wärme in mechanische Arbeit umsetzt, eine Wärmekraftmaschine sein.

Die Technik hat bereits Wege gefunden, um solche mit Atomenergie angetriebenen Wärmekraftmaschinen bauen zu können. Es müssen nur an

Schema eines Reaktors



Stelle der bei Dampf- oder Gasturbinen üblichen Dampf- oder Gaskessel besondere „Atomkessel“ gebaut werden. In diesen Kesseln muß sich die Freisetzung der Atomenergie allmählich vollziehen ohne Explosionen, wie das bei einer Uranbombe der Fall ist. Seit 1942 werden solche „Kessel“ gebaut.

Wie ist nun ein derartiger Kessel beschaffen? Ein „Atomkessel“ ähnelt Dampfkeßeln überhaupt nicht. Ja, auch die Bezeichnung „Kessel“ kann man nur bedingt auf ihn anwenden. Richtig heißen die Atomkessel Reaktoren.

Der Reaktor sieht von außen wie ein Betonklotz ohne Fenster und Türen aus. Man kann sich kaum denken, daß dies ein „Atomkessel“ sein soll.

Nach außen, durch den Beton hindurch, führen nur einige Rohre und Stäbe. Es gibt keine Feuerung, die Wärme wird im Innern eines Reaktors ohne jegliche Feuerung freigesetzt.

Das Herz des Reaktors stellt ein Graphitblock dar, der aus einer Reihe von aufeinandergelegten dünnen Graphitplatten besteht. In die Platten sind in bestimmter Anordnung Löcher gebohrt, und in den Löchern stecken Stäbe aus Uran.

Der mit Uranstäben gefüllte Graphitblock ist sozusagen umwickelt mit einer dünnen Schicht Beryllium und dann mit einer Betonschicht von 1 bis 5 m Dicke.

Der erste Reaktor, der im Jahre 1942 von den Amerikanern gebaut wurde, besaß die Abmessungen von  $10 \times 10 \times 7$  m.

Wozu dient der Graphit, der einen sehr reinen Kohlenstoff darstellt, im Atomreaktor?

In der Uranatombombe werden die Atomkerne durch schnelle Neutronen gespalten. Jedes Neutron, das aus einem gespaltenen Atomkern herausfliegt, ist nämlich ein schnelles Neutron. Es bewegt sich mit unvorstellbar großen Geschwindigkeiten, die noch die Geschwindigkeit der Sputniks und künstlichen Planeten tausendfach übertreffen. Ferner enthält eine Uranatombombe nicht gewöhnliches chemisch reines Uran, sondern nur Uran des Isotops U 235. Uran kommt nämlich hauptsächlich in zwei verschiedenen Isotopen vor, als U 238 und U 235. Nur etwa 0,7 Prozent des Urans entfallen auf das Isotop U 235, der Rest auf U 238.

Ausgerechnet sind aber nur die Atomkerne des Isotops U 235 leicht durch Neutronen zu spalten, und zwar sowohl durch schnelle wie langsame Neutronen. Die Atomkerne des Isotops U 238 spalten sich dagegen keinesfalls jedesmal, wenn ein Neutron in sie eindringt. Meist fängt der Atomkern U 238 das Neutron nur weg, ohne sich zu spalten. Dadurch geht das so eingefangene Neutron zunächst nutzlos verloren. Da in einem Stück natürlichem Uran aber viel mehr Atomkerne des Isotops U 238 vorhanden sind als des Isotops U 235, werden praktisch alle Neutronen, die jemals bei irgendwelchen Kernspaltungen entstehen, sofort weggefangen, ohne daß sich die Spaltung der Urankerne als fortlaufende Kettenreaktion fortsetzen kann.

Nun gibt es in bezug auf das Wegfangen der Neutronen durch die Kerne des Urans 238 aber einen gewichtigen Unterschied zwischen langsamen und schnellen Neutronen! Die Kerne U 238 haben auf langsame Neutronen „keinen Appetit“, die langsamen Neutronen werden von diesen Kernen nicht oder nur ganz selten eingefangen. Dadurch ergibt sich eine Möglichkeit, auch in natürlichem Uran, in dem das Isotop 238 vorherrscht, eine Kettenreaktion von Kernspaltungen in Gang zu setzen, obwohl sich dabei fast nur Kerne des selten vorhandenen Isotops U 235 spalten. Man muß nämlich die Neutronen sofort, nachdem sie aus einem gespaltenen Kern U 235 herausgeflogen sind, abbremsen, also von schnellen zu langsamen Neutronen machen. Diesem Zwecke dient im Kernreaktor der Graphit!

Man nennt diesen Bestandteil des Reaktors Moderator, was Neutronenverlangsamer bedeutet. Und der Moderator umgibt die Uranstäbe. Fliegen infolge einer irgendwo in einem Uranstab stattgefundenen Kernspaltung die schnellen Neutronen aus dem gespaltenen Kern, so gelangen sie, noch bevor sie Gelegenheit finden, wieder mit anderen Uranatomkernen zu-

sammenzustoßen, in den Moderator, also in die Graphitblöcke. Hier stoßen sie mit den Atomkernen des Moderatorstoffes zusammen und werden dadurch abgebremst, so wie sich eine Billardkugel durch den Aufprall auf eine andere abbremst. Dieser Vorgang wiederholt sich viele Male, und jedesmal verliert das Neutron dabei an Geschwindigkeit, während die angestoßenen Atomkerne des Moderators zu schneller Bewegung angeregt werden. Schnelle Bewegung von Atomteilchen aber bedeutet – wie wir schon erwähnten – Wärme. Folglich erwärmt sich der Moderator, wir erhalten viel Wärme, die wir zum Antrieb der Wärmekraftmaschinen brauchen.

Nachdem das Neutron im Moderator mit vielen Atomkernen zusammengestoßen und dabei im Zickzack hin- und hergeprallt ist, fliegt es rein zufällig auch mal wieder in einen Uranstab hinein. Aber jetzt braucht es nicht mehr zu befürchten, von einem Kern Uran 238 weggefangen zu werden. Diese Kerne lassen ja die langsamen Neutronen ungehindert vorbei, und so kommt es, daß die langsamen Neutronen nach längerer oder kürzerer Zeit schließlich trotz der Seltenheit der Kerne des Urans 235 doch auf irgendeinen dieser Kerne stoßen und ihn spalten. Auf diese Weise gehen nur wenige Neutronen nutzlos verloren, so daß immer noch gerade eines der je Kernspaltung entstandenen freien Neutronen wieder auf einen neuen Kern U 235 stößt und dadurch die Kettenreaktion fortsetzt.

Als Moderator eignen sich nur bestimmte Stoffe: Es dürfen keine zu schweren Elemente sein, und vor allem dürfen sie Neutronen nicht einfangen, sondern nur abbremsen.

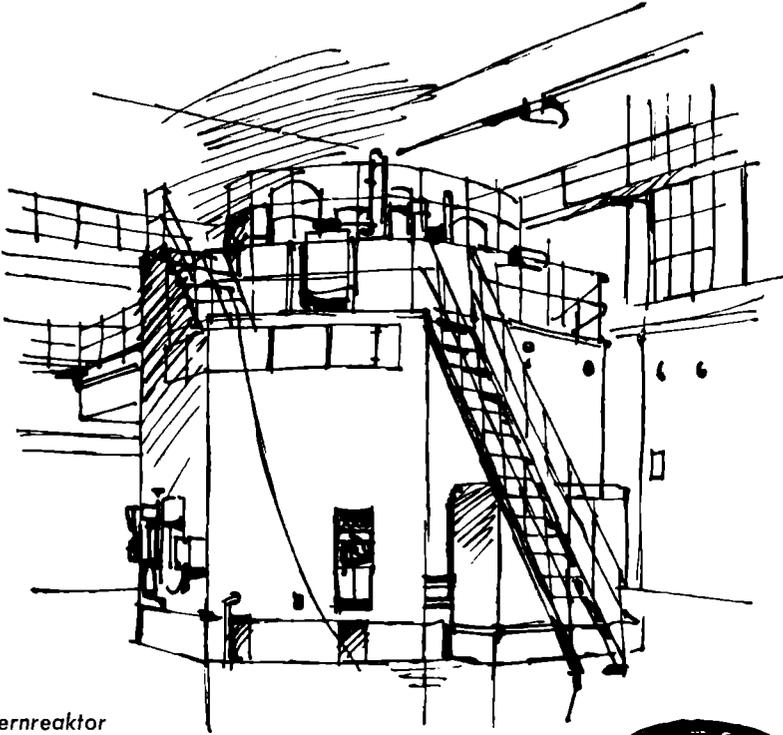
Die Berylliumhülle des Graphitblocks dient dazu, die Neutronen, die aus dem Moderator herausfliegen wollen, ins Innere des Reaktors zurückzuwerfen.

Wozu dient nun der Beton?

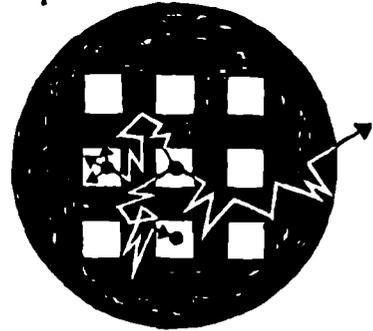
Bei der Spaltung der Urankerne bilden sich viele radioaktive, das heißt Strahlen aussendende Stoffe. Dies sind die Bruchstücke der gespaltenen Urankerne. Denn der Atomreaktor schleudert, wenn er in Betrieb ist, ständig radioaktive Strahlen sehr großer Stärke aus, die für Menschen schädlich sind. Die Betonwand bewirkt hier den notwendigen Schutz und bewahrt das Bedienungspersonal vor den gefährlichen  $\gamma$ -Strahlen, vor Neutronen und anderen energiereichen Strahlen. Sie bleiben in der dicken Betonwand stecken!

Aber kann es nicht geschehen, daß ein derartiger Reaktor in die Luft fliegt? Kann nicht einmal die Reaktion schneller als vorgesehen verlaufen?

Die Wissenschaftler stellten fest, daß man eine Explosion nicht zu befürchten braucht, aber durch eine sehr hohe Temperatur kann der Reaktor schmelzen. Für diesen Fall sind außer den Uranstäben noch einige Kadmiumstäbe



Kernreaktor



vorgesehen, die in den Graphitblock hineingeschoben werden können. Kadmium ist ein Stoff, dessen Atomkerne besonders gierig Neutronen an sich reißen und dadurch die Kettenreaktion dämpfen. Doch sollen die Kadmiumstäbe nur in gefährlichen Momenten in Tätigkeit treten, deshalb werden sie unter normalen Verhältnissen aus dem Reaktor herausgezogen, jedoch eingeschoben, wenn die Temperatur im Reaktor bedeutend ansteigen beginnt. Mit Hilfe der Kadmiumstäbe läßt sich die Zahl der freibleibenden Neutronen, mithin also auch die Heftigkeit der Kettenreaktion und folglich die Menge der freigesetzten Wärme steuern.

Wo bleibt nun die freigesetzte Wärme? Um die Wärme abzuleiten, läßt man durch den Reaktor Kühlwasser oder irgendein anderes Kühlmittel (Gas, geschmolzenes Metall) strömen. Beim Reaktor des ersten Atomkraftwerkes der Welt – des sowjetischen – erfolgt die Kühlung mit Wasser, das unter Druck die Kanäle des Graphitblockes durchläuft. Das Kühlwasser wird deshalb unter Druck zugeführt, damit es, ohne sich in Dampf zu verwandeln, auf eine hohe Temperatur erhitzt werden kann und auf diese Weise mehr Wärme ableitet. Das Kühlwasser stellt das Mittel der Wärmeübertragung vom Reaktor zur Wärmekraftmaschine dar.

Aber bevor wir uns mit dieser Maschine beschäftigen, wollen wir noch über den „Atomtreibstoff“ sprechen, mit dem der Reaktor arbeitet.

Bis heute handelt es sich um nur eine Art dieses Treibstoffs – um das Isotop des Urans mit dem Atomgewicht 235. Von allen auf der Erde natürlicherweise vorhandenen Elementen läßt sich nur das Isotop U 235 leicht spalten und so die Voraussetzung für eine Kettenreaktion schaffen. Doch auch dieses Isotop wird mit großer Mühe gewonnen. Die Uranerze enthalten, wie gesagt, hauptsächlich das andere Isotop des Urans mit dem Atomgewicht 238.

Beide Isotope besitzen die gleichen chemischen Eigenschaften, und folglich ist es unmöglich, durch ein einfaches chemisches Verfahren U 235 von U 238 zu scheiden. Der einzige Weg der Abscheidung, der jetzt durch die Technik gefunden wurde, ist der Weg der Atomsortierung. Man kann U 235 von U 238 trennen, indem man das Metall in eine gasförmige Verbindung mit dem Element Fluor bringt.

Dieses Gas heißt Uranhexafluorid. Nachdem man es gewonnen hat, wird es in Rohren durch eine ganze Serie von durchlässigen Scheidewänden geschickt, und jede Scheidewand hält die schweren Moleküle mit den Uranatomen zurück. Die leichten läßt sie hindurch. Hinter der letzten Scheidewand erhält man dann ein Gas, das hauptsächlich die verhältnismäßig leichten Atome des Urans 235 enthält. Nun trennt man das Uran wieder vom Fluor und hat dann reines Uranmetall des Isotops U 235. Es gibt auch noch andere Verfahren, aber alle sind sehr kompliziert und kostspielig.

Für einen Reaktor braucht man aber als Brennstoff kein reines Uran 235, sondern kann auch „Natururan“ der genannten Zusammensetzung benutzen. Meist verwendet man jedoch Uran, in dem das Isotop U 235 von nur 0,7 Prozent auf einen höheren Prozentsatz angereichert wurde.

Man kann die Arbeitsweise des Reaktors sogar so einrichten, daß der Treibstoff, also das zu spaltende Material, nicht vermindert wird, sondern zunimmt! Mit gewöhnlichem Treibstoff geschehen derartige Wunder nicht, doch beim „Atomtreibstoff“ zeigt es sich, daß so etwas möglich ist.

Natürlich nehmen die Kerne, die gespalten wurden, nicht mehr an der Kettenreaktion teil, aber an Stelle des ehemaligen Kerns können unter bestimmten Bedingungen durchschnittlich 1,5 neue, zur Spaltung fähige Kerne gebildet werden.

Wie kommt das? Wenn in den Kern des Urans 238 doch ein Neutron dringt, wird es von diesem Kern eingefangen. Dadurch bildet sich ein neues Isotop – Uran 239. Dieses Isotop ist radioaktiv. Ein Neutron des Kerns hat sich in ein Proton umgewandelt. Die Kernladung vergrößerte sich um eine Einheit. Es ist ein neues Element entstanden, das „Neptunium“ benannt wurde, mit dem Atomgewicht 239 und der Ladung 93 (Np 239). Es ist das 93. Element des Periodischen Systems. Doch auch dieses Element ist radioaktiv, und bald wandelt sich noch ein Neutron des Kerns in ein Proton um. Die Kernladung wächst auf 94 an. Jetzt erscheint das 94. Element mit demselben Atomgewicht 239, das Plutonium genannt wird (Pu 239). Dieses Element ist ebenfalls radioaktiv, aber verhältnismäßig langlebig. Seine Halbwertszeit beträgt 24 000 Jahre. Plutonium spaltet sich ebenso wie Uran 235 durch langsame Neutronen und kann deshalb gleichfalls als „Atomtreibstoff“ dienen.

Also gibt es ein Verfahren, die „Verbrennung“ im Atomreaktor so zu organisieren, daß an Stelle des „verbrannten“ Treibstoffs ein anderer Treibstoff gebildet wird. Dieser Treibstoff kann in demselben Reaktor „verbrennen“. Doch erhält man mehr Plutonium, als Uran 235 aufgewendet wird – und das gibt eine Möglichkeit, den Treibstoff während seiner „Verbrennung“ zu „vermehrten“.

Die Wissenschaft fand noch eine Möglichkeit, auf demselben Weg eine dritte Treibstoffart zu gewinnen: Uran 233. Unter Nr. 90 finden wir im Periodischen System das Metall Thorium (Th 232). Seine Vorräte auf der Erde überschreiten die Uranvorräte um ein Vielfaches.

Wenn man Thorium in einen Atomreaktor bringt, so verwandelt sich Th 232 – ebenso wie sich U 238 in Pu 239 verwandelt – in U 233. Uran mit dem Atomgewicht 233 besitzt nun, ebenso wie auch Uran 235, die Eigenschaft, sich durch langsame Neutronen zu spalten. Jetzt wird klar, daß man bei richtiger Handhabung des Atomreaktors mit doppeltem Nutzen arbeiten kann: für uns die nötige Energie zu erzeugen und neuen Treibstoffvorrat zu schaffen.

Sehen wir uns den Weg der Neutronen im Atomreaktor an! Der Kern wurde gespalten. Ein Neutron dringt in den Kern des U 235 und bewirkt die Entwicklung der Kettenreaktion. Ein anderes Neutron dringt in den Kern U 238 und bildet einen Plutoniumkern, das dritte Neutron fliegt weg. Aus dem Reaktor hinausfliegen sollen so wenig Neutronen wie möglich.

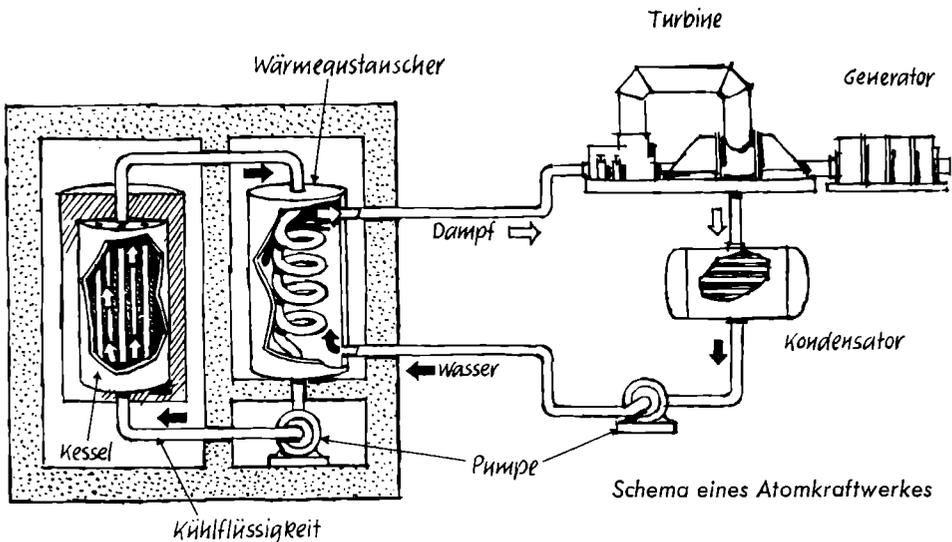
Doch warum bildet sich in den Uranvorkommen keine Kettenreaktion? Einmal weil Uran in reinem Zustand in der Natur nicht angetroffen wird. Es findet sich nur in Verbindungen, und das Vorhandensein fremder Kerne führt zu einem schnellen Einfangen aller Neutronen. Eine Kettenreaktion ist deshalb unmöglich. Aber selbst in reinem Natururan kann keine Kettenreaktion entstehen, weil die in der Überzahl vorhandenen Kerne U 238 schnelle Neutronen im wesentlichen nur wegfangen, sich aber nicht spalten. Es fehlt in den natürlichen Uranvorkommen also der Moderator.

Der Reaktor, den wir hier beschrieben haben, besitzt Graphit als Moderator. Das ist derselbe Graphit, wie er in Bleistiften enthalten ist. Er ist nur von viel höherer Reinheit. Es können jedoch auch andere Moderatoren benutzt werden, wie zum Beispiel schweres Wasser.

### Wie arbeitet ein Atomkraftwerk?

Wir wissen nun, wie man mit Hilfe eines Atomreaktors Wärme gewinnen kann. Jetzt wollen wir uns damit vertraut machen, wie sich die gewonnene Wärme in mechanische Arbeit verwandeln läßt.

Den Hauptteil des mit Kernenergie betriebenen Kraftwerkes stellt der Atomreaktor dar. Vom Reaktor zweigen zwei Rohre ab. Durch das untere Rohr wird dem Reaktor mit Hilfe einer besonderen Pumpe ein Kühlmittel zu-



geführt. Indem das Kühlmittel den Reaktor durchläuft, nimmt es die im Reaktor erzeugte Wärme auf und strömt dann durch das obere Rohr zu einer sehr wichtigen Anlage – zum Wärmeaustauscher. Hier gibt das nun heiße Kühlmittel seine Wärme an das Wasser ab, das um die Rohrschlangen zirkuliert. Aus den Rohrschlangen strömt das inzwischen abgekühlte Kühlmittel wieder in die Pumpe und wird erneut in den Reaktor gedrückt.

Das Wasser nun, das im Wärmeaustauscher erhitzt wird, erwärmt sich bis zur Dampfbildung. Von nun ab unterscheidet sich die Erzeugung von Elektroenergie im Atomkraftwerk nicht mehr von der im gewöhnlichen Wärmekraftwerk: Der Dampf strömt in die Turbine, gibt seine Energie an das Laufrad der Turbine ab, bewirkt also dessen Drehbewegung und die des Elektrogenerators. Der verbrauchte Dampf gelangt in den Kondensator, wo er kondensiert, also in Wasser zurückverwandelt wird. Dann wird das Wasser wieder mit Hilfe einer Pumpe dem Wärmeaustauscher zugeführt.

Weshalb braucht man überhaupt einen Wärmeaustauscher? Weshalb läßt man nicht das Kühlmittel im Reaktor zu Dampf werden und treibt die Turbine gleich damit an, ohne erst den Umweg über den Wärmeaustauscher zu wählen? Hierbei darf man einen Umstand nicht außer acht lassen: Das „Atomwasser“ wird im Reaktor mit radioaktiven Teilchen angereichert! Man kann es nicht gefahrlos durch die Rohre der Anlage strömen lassen. Wie die Abbildung gezeigt hat, ist nicht nur der Reaktor, sondern sind auch der Wärmeaustauscher, die Pumpe und die Rohre, in denen die Kühlflüssigkeit zirkuliert, von einem Betonschutzmantel umgeben.

Das Wasser des äußeren Kreislaufs jedoch, das nicht mit dem Atomreaktor in Berührung kommt und sich nicht mit dem „Atomwasser“ vermischt, kann durch alle Rohre fließen. Es kann auch als Dampf zur Turbine gelangen.

Wäre es jedoch nicht möglich, alles – sowohl die Turbine selbst als auch den Generator – in ein Betongewölbe einzumauern, von dem aus nur eine Leitung nach außen führt? Was aber, wenn irgendeine Maschine eine Panne hat? Wie sollte sie repariert werden, wenn alle Teile radioaktiv sind?

Während der Atomreaktor und der Wärmeaustauscher nämlich keine beweglichen Teile besitzen (die Sicherheitsstäbe braucht man nicht zu berücksichtigen), sind viele Teile in den Maschinen beweglich und folglich der Abnutzung ausgesetzt. Sie müssen ab und zu erneuert werden. Also ist doch die Konstruktion mit Wärmeaustauscher am zweckmäßigsten.

Aber wo ist nun die „Atomkraftmaschine“? Sie gibt es gar nicht, denn als Kraftmaschine arbeitet auch im Atomkraftwerk die uns schon bekannte Dampfturbine. Neu ist nur, daß die Wärme nicht mehr durch gewöhnliche Verbrennung von Stoffen erzeugt wird, sondern durch Atomkernspaltung.

## Das erste Atomkraftwerk der Welt

Mitten im Wald steht ein weißes Gebäude, an dessen Eingang eine Tafel mit der Inschrift befestigt ist: „Akademie der Wissenschaften der UdSSR. Atomkraftwerk.“

Das weiße Gebäude hat keinen Schornstein, nach wie vor ist die Waldluft rein. Neben dem weißen Gebäude erstrecken sich keine Kohlenhalden, keine Hügel von Schutt und Asche, der Wind führt keinen schwarzen Staub mit sich. In dem weißen Gebäude ist kein gewöhnliches Wärmekraftwerk untergebracht, sondern ein Kraftwerk, das mit Atomenergie arbeitet.

Der „Atomtreibstoff“ wird nur drei- bis viermal im Jahr, etwa alle 100 Tage, in den Reaktor gebracht. Für eine Auffüllung genügen 100 bis 200 kg Uran – ein gewöhnliches Wärmekraftwerk braucht dagegen ununterbrochen und tonnenweise Kohle.

Das Atomkraftwerk der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, das erste in der Welt, entwickelt eine Leistung von 5000 kW und verbraucht täglich 30 g Uran. Ein Kohlekraftwerk dagegen benötigt in derselben Zeit 70 bis 80 t Kohle.

Mancher Leser, der nachgerechnet hat, wird nun sagen: Wenn der Reaktor 30 g Uran täglich verbraucht, in 100 Tagen also 3 kg, warum wird dann nach 100 Tagen bedeutend mehr Uran in den Reaktor gefüllt? Ja, das kommt daher, weil die Uranstäbe verderben, wenn sie sich lange im Reaktor befinden.

Beschäftigen wir uns noch etwas genauer mit dem ersten industriellen Reaktor der Welt. Machen wir uns mit der Anlage und mit der Arbeitsweise des ersten Atomkraftwerks bekannt, das von sowjetischen Wissenschaftlern und Ingenieuren entwickelt wurde.

Im Innern des weißen Gebäudes sind alle Teile des Atomkraftwerkes untergebracht. 128 Stäbe aus Uran sind in bestimmter Weise in einem runden Graphitblock angeordnet. Das Gesamtgewicht der Reaktorfüllung beträgt 550 kg. Es muß erwähnt werden, daß das Uran für diesen Reaktor etwas mit Uran 235 angereichert ist, dessen Anteil bis zu 5 Prozent beträgt. Die Uranstäbe werden, bevor sie in den Reaktor kommen, in besondere Graphitkapseln gelegt, in deren Innern sich außerdem ein dünnwandiges Stahlrohr befindet.

Die Kapsel wird zusammen mit einem Uranstab in eine Bohrung gesteckt, die von oben nach unten durch den Graphitblock führt. Das Stahlrohr wird oben und unten mit besonderen Wassersammlern verbunden. Durch die Wassersammler und Rohre strömt das Kühlwasser dann mit einem Druck von etwa 100 Atmosphären.

Während das Wasser unter gewöhnlichem atmosphärischem Druck bei 100° C siedet, läßt sich Wasser, das einen Druck von 100 Atmosphären aufweist, auf über 300° C erhitzen, ohne sich in Dampf zu verwandeln.

Im Reaktor erhitzt sich das Wasser auf 270° C und bringt seine Wärme in die Wärmeaustauscher. Hier strömt das „Arbeitswasser“, mit Hilfe von Pumpen zu einem Druck von 12,5 Atmosphären verdichtet, durch die Rohre des zweiten Kreislaufes. Das Wasser des zweiten Kreislaufes wird im Wärmeaustauscher bis auf 260° C erhitzt und in Dampf umgewandelt. Der Dampf strömt in die Turbine und wird dann durch Abkühlung in Wasser zurückverwandelt.

Der Reaktor besitzt oben und an den Seiten eine Schutzwand aus Graphit, Beton, Wasser und Stahl. Den Graphitblock umgibt ein 1 m dicker Wasser- und außerdem ein 3 m dicker Betonmantel.

Die sowjetischen Ingenieure trafen alle notwendigen Vorkehrungen, um die Sicherheit der Menschen zu gewährleisten, die im Werk arbeiten. Deshalb wurden außer den dicken Wänden um den Reaktor alle Gänge, in denen sich Menschen der Anlage nähern müssen, in der Art zickzackförmiger Korridore angelegt. Das ist deshalb erforderlich, damit sich die direkten Ausstrahlungen nicht weit ausdehnen.

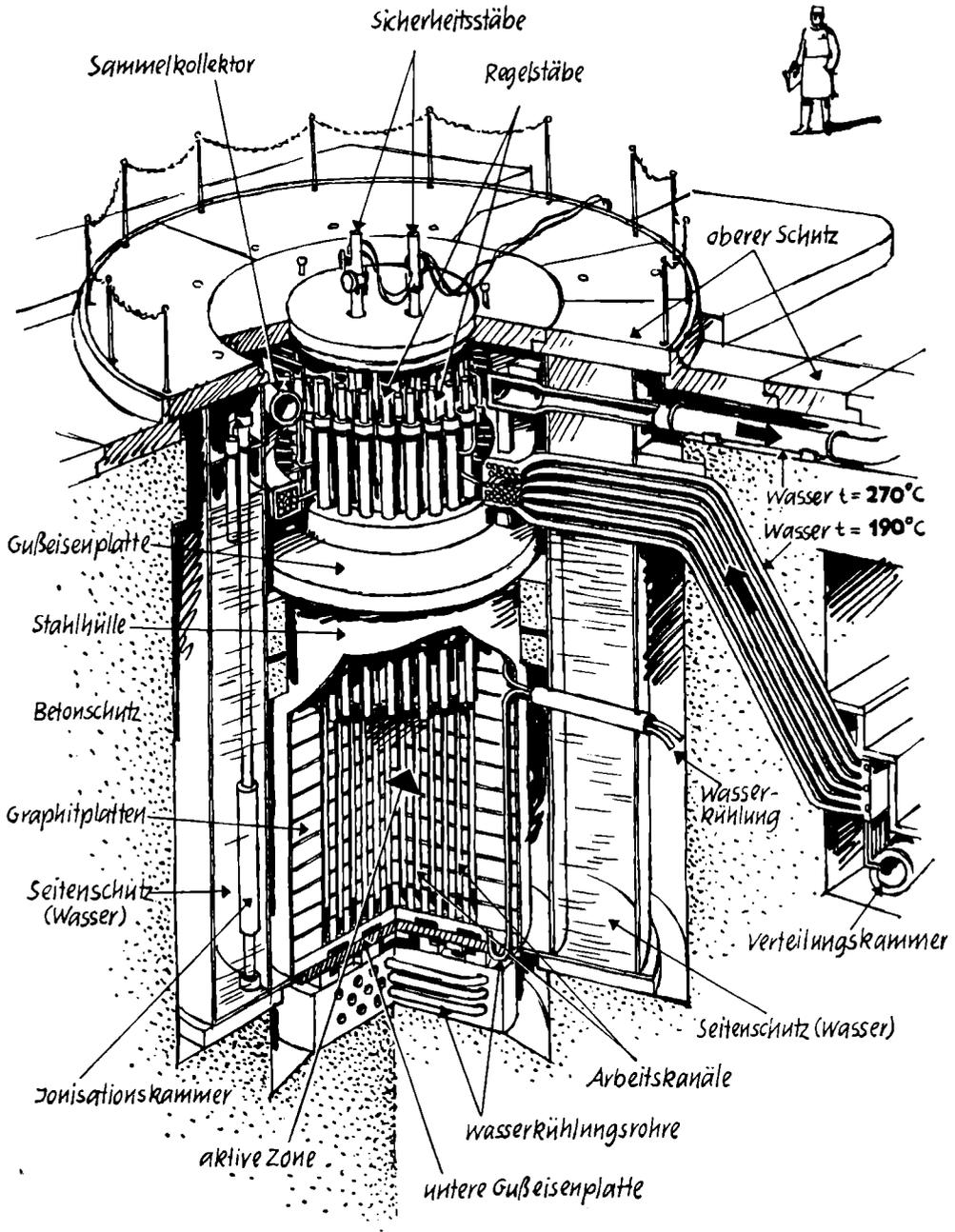
Über dem Reaktor befindet sich der geräumige Hauptsaal des Atomkraftwerks. Eine runde Stahlplatte versperrt die Luke, durch die man Zugang zum Reaktorraum erhält.

Auf der Abbildung sieht man einen Mann im weißen Kittel neben einer losen Absperrung stehen, die den Reaktor umgibt. Doch der Mann darf nicht immer hier stehen. Man hat festgestellt, daß die radioaktiven Ausstrahlungen manchmal sogar die Schutzwände durchdringen. Geschieht das, dann flammen besondere rote Signallampen auf und Schallsignale ertönen. Das bedeutet Gefahr: Die Menschen müssen den Saal sofort verlassen.

In diesem Saal tun die Menschen eigentlich nicht viel. Die ganze Arbeit zur Bedienung des Reaktors (Einschieben der Sicherheitsstäbe, aus Borborbid hergestellt, Auswechseln der Uranstäbe) ist automatisiert.

Nicht nur diese Arbeiten, sondern auch alle anderen zur Bedienung des Kraftwerkes notwendigen Arbeitsgänge werden von einem zentralen Steuerpult aus ferngesteuert. Dutzende empfindlicher Geräte sorgen dafür, daß zwei diensttuende Ingenieure, ohne ihren Platz verlassen zu müssen, genügen, um die Arbeit des gesamten Kraftwerks zu überwachen.

Die sowjetischen Wissenschaftler berichteten auf der internationalen Konferenz zur friedlichen Verwendung der Atomenergie, die im August 1955 in Genf stattfand, über das erste Atomkraftwerk der Welt. Es wurde ein



**Der Reaktor**  
 des Atomkraftwerkes der Akademie der Wissenschaften der UdSSR,  
 des ersten Atomkraftwerkes der Welt

besonderer Film über das Atomkraftwerk gezeigt, der den Titel trug: „Zum erstenmal in der Welt“. Der Reaktor des Atomkraftwerks der Akademie der Wissenschaften der UdSSR war in einer Modellnachbildung im sowjetischen Ausstellungspavillon zu sehen.

Die Mitteilung der sowjetischen Wissenschaftler, ihr aufrichtiger Bericht über ihre wissenschaftlichen Leistungen bewies der ganzen Welt, daß die sowjetische Wissenschaft in der friedlichen Verwendung der Atomenergie einen großen Schritt vorwärtsgekommen war. Die sowjetischen Wissenschaftler machten aus ihren Erfolgen kein Geheimnis, sondern traten dafür ein, daß alle Wissenschaftler der Welt bei der Erforschung der friedlichen Ausnutzung der Atomenergie zusammenarbeiten. Nicht ohne Grund schrieb die amerikanische Zeitung „New York Times“, die ansonsten der Sowjetunion keine besondere Sympathie entgegenbringt:

„Wie von allen erwartet, richtet sich die Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Rolle, welche die Russen in Genf spielen. Ihr Auftreten entspricht völlig dem Geist der Konferenz, und sie beschreiben ausführlich den Bau ihres Kraftwerkes, das eine Leistung von 5000 Kilowatt besitzt, seit einem Jahr Elektroenergie liefert und das erste Atomkraftwerk in der Geschichte darstellt.“

Zur selben Zeit schrieb eine dänische Zeitung: „Es gibt ernsthafte Gründe, anzunehmen, daß das Jahrhundert der Atomenergie recht bald in der Sowjetunion anbricht.“

Die unermesslichen Räume des Sowjetlandes, die von den Sowjetmenschen erschlossen werden, verlangen ein umfassendes Netz von Energieanlagen. Neben neuen, leistungsfähigen Wasserkraftwerken braucht die Sowjetunion Wärmekraftwerke, die jene Gebiete mit Elektroenergie versorgen, die weit von großen Flüssen entfernt sind. Bis jetzt wurden dort Wärmekraftwerke gebaut, die Kohle oder Torf als Brennstoff benutzen.

Welche gewaltigen Möglichkeiten eröffnen sich bei der Erschließung neuer Gebiete, wenn dort Atomkraftwerke arbeiten werden! Die Ladung von zwei bis drei Transportflugzeugen würde genügen, ein derartiges Kraftwerk ein Jahr lang mit Brennstoff zu versorgen.

Wenn man dann später über genügend „Atombrennstoff“ verfügt, wäre es möglich, alle vorhandenen Wärmekraftwerke auf Atomenergie umzustellen, so daß aus Kohle und Rohöl auf dem Wege der chemischen Verarbeitung nur noch wichtige Bedarfsgüter hergestellt werden könnten! Die Luft der Städte und Dörfer bliebe von Rauch und Flugasche frei.

Die sowjetischen Wissenschaftler und Ingenieure arbeiten unentwegt weiter an der Erschließung der Atomenergie. Bald wird das Sowjetland 2 bis 2,5 Millionen kW Elektroenergie aus Atomkraftwerken erhalten. Diese Leistung

entspricht der des Kuibyschewer Wasserkraftwerkes. Die Atomkraftwerke sollen vor allem den Energiebedarf jener Gebiete decken, wo man keine Wasserkraftwerke bauen kann und die Anlegung der üblichen Wärme- kraftwerke wegen der schlechten oder sehr weiten Transportwege des Brennstoffes schwierig ist. Deshalb wurden in den letzten Jahren zwei Atomkraftwerke im Uralgebiet gebaut und ferner zwei große Werke in Moskau und in Leningrad.

Die Atomenergieerzeugung entwickelt sich auch in anderen Ländern. England hat ein Atomkraftwerk von 60 000 kW gebaut, und eine Reihe von Projekten für Atomkraftwerke werden in der DDR, den USA und auch in Frankreich verwirklicht.

Die Atomkraftanlage wird zur Kraftmaschine unserer Zeit. Natürlich müssen die Wissenschaftler und Ingenieure noch viel Arbeit aufwenden, sich noch mehr Können und Wissen aneignen, bis sich der „Atommotor“ zu einem ebenso vollkommenen und vertrauten Motor entwickelt, wie es die uns bisher dienenden Motoren sind. Doch diese Zeit ist nicht mehr fern.

Die Wissenschaftler und Ingenieure arbeiten bereits an der Entwicklung eines noch günstigeren „Atommotors“, der keinen Uranreaktor besitzt, sondern als Wärmequelle eine Art „künstliche Sonne“ ausnutzt. Wir meinen das Problem der Steuerung von thermonuklearen Reaktionen. Jene unerschöpflichen Energievorräte in den Dienst der Menschen zu stellen, die unaufhörlich die Sonnenstrahlung erzeugen – auch damit beschäftigen sich die sowjetischen Wissenschaftler.

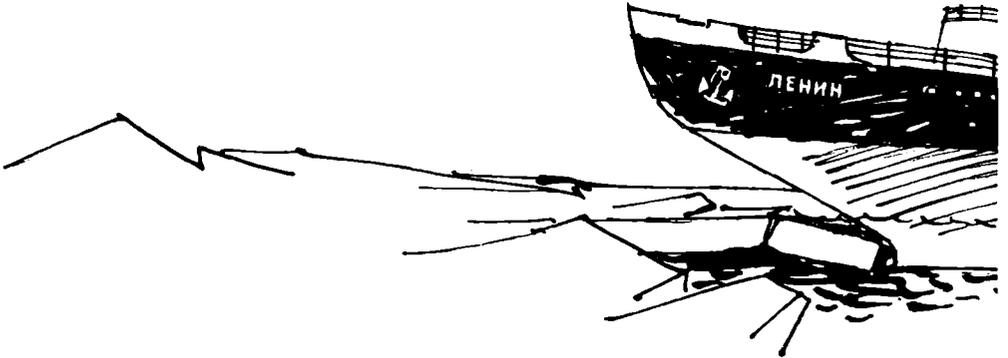
### Atomschiffe und Atomraketen

Vom Kai des Leningrader Hafens hat sich ein großer Ozeanriese gelöst. Ein langer Weg liegt vor ihm: die Ostsee, die Nordsee, der Atlantische Ozean, das Mittelmeer, das Rote Meer, das Arabische Meer, der Indische Ozean, das Ost- und Südchinesische Meer – und Schanghai, der Bestimmungshafen.

Die Sowjetunion schickt dem brüderlichen China Maschinen. Es sind viele Maschinen, alle Laderäume sind mit riesigen Kisten ausgefüllt.

Das Schiff stach in See, aber die ihm das Geleit gebenden Vertreter verschiedener Leningrader Organisationen blieben noch eine Weile zusammen stehen. „Wißt ihr, in den Schiffsräumen befindet sich keine Kohle, sondern nur Fracht“, weiß einer zu berichten, der mit an Bord des Schiffes war.

Ansicht des sowjetischen Atomeisbrechers „Lenin“  
Schematische Darstellung der Atomkraftanlage:  
1 = Atomreaktor, 2 = Wärmeaustauscher, 3 = Dampfturbine, 4 = Elektrogenerator, 5 = Pumpe, 6 = Schutzwand



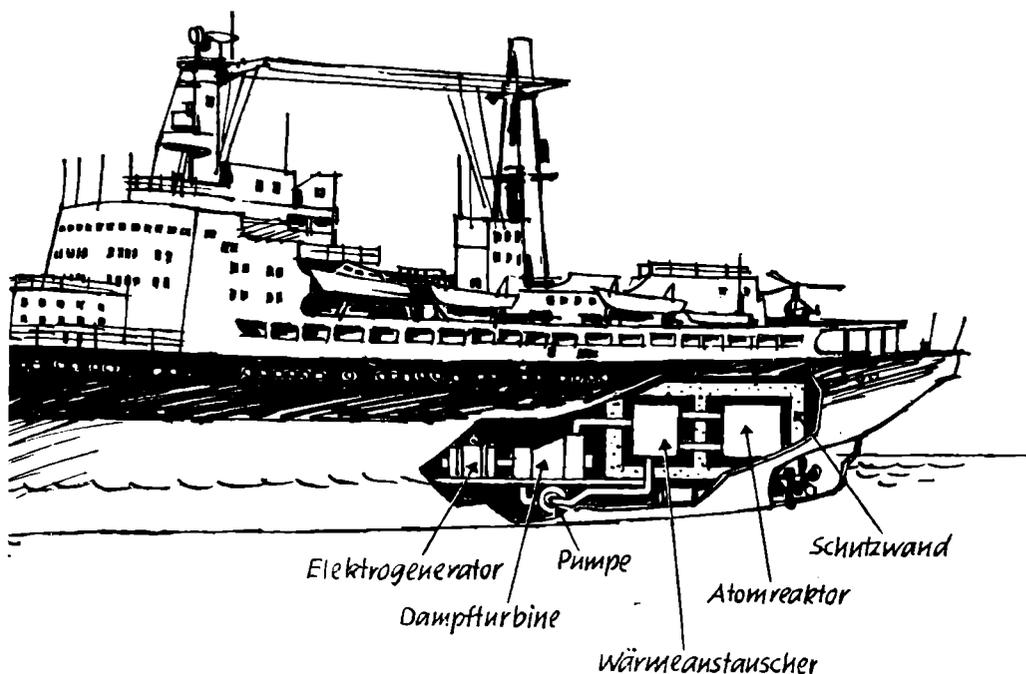
„Das Schiff braucht unterwegs keinen Hafen anzulaufen!“ ruft ein anderer aus.

Ähnliches wird sich wohl sehr bald ereignen. Es handelt sich hier um ein Schiff, das von einem „Atommotor“ angetrieben wird. Alle Räume sind für die Fracht frei, die Reisedauer verkürzt sich, und Zwischenhäfen zur Treibstoffübernahme braucht man nicht anzulaufen.

Über 20 000 km lang ist der Seeweg von Leningrad nach Schanghai. Gegenwärtig müssen die Dampfer unterwegs noch mehrere Male Häfen anlaufen. Der „Atomtreibstoff“ jedoch ermöglicht eine ununterbrochene Fahrt vom Heimat- zum Bestimmungshafen.

Die sowjetischen Ingenieure beschäftigen sich heute viel mit dem Bau von Atomschiffen. Der Atomeisbrecher „Lenin“ ist bereits in Betrieb. Sein Bau war ein erster Versuch. Inzwischen hat dieses neuartige Schiff bereits dazu beigetragen, die Fahrten sowjetischer Schiffe in den weiten Räumen der Polarmeere zu erleichtern.

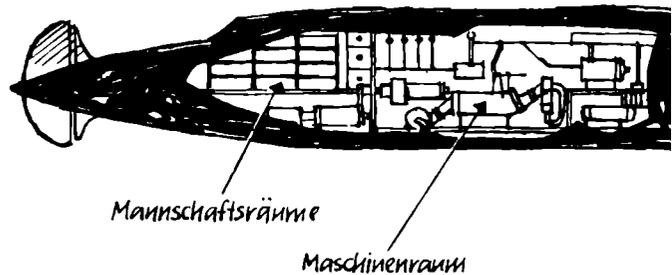
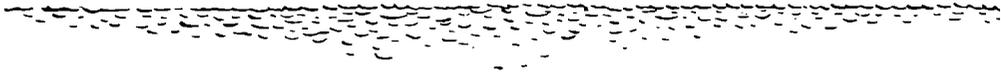
Der Atomeisbrecher übertrifft mit seiner Motorenleistung die üblichen Eisbrecher anderthalb- bis zweimal. Sie beträgt etwa 44 000 PS.



Seine Atomkraftanlage arbeitet nicht wesentlich anders als die eines Atomkraftwerkes. Die Anlage des Schiffes ist natürlich größer und schwerer, denn die Besatzung muß vor den radioaktiven Strahlen geschützt werden. Doch ungeachtet der viel Raum beanspruchenden Atomkraftanlage mit ihren dicken Schutzwänden kann dieser Eisbrecher mehr Nutzlast aufnehmen als ein gewöhnlicher Eisbrecher, da die Brennstoffvorräte fast keinen Raum einnehmen. Bei gewöhnlichen Eisbrechern entfallen bis zu 30 Prozent des Schiffsnutzraumes auf die Brennstofflager. Für eine Fahrtdauer von 24 Stunden benötigen diese Eisbrecher mehr als 100 t Brennstoff. Da das Gewicht des Brennstoffs bei einem Atomeisbrecher bedeutend geringer ist, kann man den Schiffskörper stabiler bauen, also mit ihm auch dickere Eisschichten zerbrechen; er kann zwei bis drei Jahre unterwegs sein, ohne neuen Treibstoff aufzunehmen, nur muß man große Mengen Lebensmittel einlagern.

Das neue Schiff wird von der Kommandobrücke aus automatisch bedient und gesteuert.

Es ist ein sehr leistungsfähiges Schiff.



Die umfangreichen Erfahrungen, die man beim Betrieb und Einsatz des Atomeisbrechers „Lenin“ sammelt, dienen als Grundlage für den Bau anderer, mit Atomkraft betriebener Schiffe.

Während in der Sowjetunion die ersten Atomschiffe für friedliche Zwecke bestimmt sind, arbeitet man in den USA bereits seit Jahren an der Schaffung von atomkraftgetriebenen Unterseebooten. Die amerikanischen Admirale verbrauchten gewaltige Summen von Steuergeldern, nur um das erste Atomunterseeboot zu besitzen.

Gerade zu der Zeit, als die sowjetischen Wissenschaftler erfolgreich ihren ersten Atomreaktor für friedliche Zwecke schufen, begann in Amerika der Bau des Atomunterseebootes „Nautilus“.

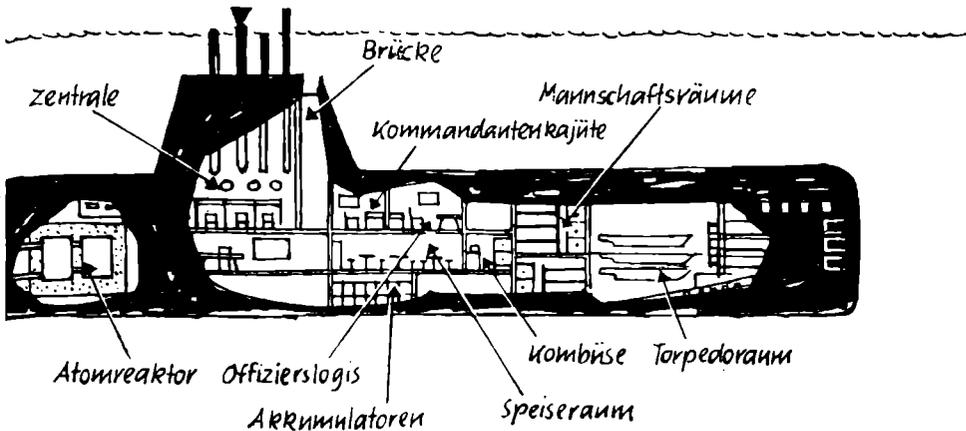
Die „Nautilus“ soll, ohne aufzutauchen, 55 000 km zurücklegen.

Die Atomkraftanlage ist somit der einzige Motorentyp, mit dessen Hilfe man längere Seereisen unternehmen kann und der sich für längere Unterwasserfahrten eignet.

Wäre der Atomreaktor nicht auch der beste Motor für Weltraumraketen? Das Haupthindernis beim Bau eines Weltraumschiffes stellt bisher die Unterbringung großer Treibstoffvorräte und des Oxydationsmittels dar. „Atomtreibstoff“ würde man aber nur sehr wenig brauchen, und das Oxydationsmittel entfiel ganz.

Trotzdem ist es vorläufig noch nicht möglich, eine mit Atomkraft angetriebene Rakete zu bauen.

Viele Projekte liegen vor, aber keines von ihnen erwies sich als bereits verwirklichungsreif.



Die gegenwärtige Weltraumfahrt stützt sich noch auf die üblichen Raketen-  
triebwerke mit chemischen Treibstoffen. Trotzdem werden schon jetzt Atom-  
stahlflugzeuge entworfen, die erste Erfahrungen über die Verwendung von  
Atomenergie zum Antrieb von Flugzeugen und Raumschiffen ermöglichen  
sollen.

### Die Energie der Zukunft

Atomkraftwerke, Atomschiffe, Atomflugzeuge . . .

Bald werden die Atomkraftanlagen auch Flugzeuge und Lokomotiven an-  
treiben. Einstweilen beanspruchen sie noch zuviel Raum, und das erschwert  
ihre Anwendung.

Wie ist das zum Beispiel beim Kraftfahrzeug?

Um viermal um die Erdkugel fahren zu können, brauchte ein Kraftfahrzeug  
nur ein walnußgroßes Stück Atomtreibstoff. Das wäre sehr vorteilhaft. Der  
Nachteil ist nur, daß ein Kraftfahrzeug den großen Atomreaktor mit Schutz-  
wänden und allem Zubehör mit sich führen müßte.

Auch wenn man vorschlägt, als Treibstoff reines Uran 235 zu verwenden,  
so würde das Gewicht der Energieanlage einige Tonnen betragen. Der  
Verbrennungsmotor eines modernen Personenkraftwagens wiegt aber ge-  
wöhnlich nicht mehr als 300 bis 400 kg.

Doch die Entwicklung der Atomkraftanlagen wird fortschreiten, schon deshalb, weil die Vorräte der herkömmlichen Treibstoffe begrenzt sind.

Die Geologen haben berechnet, daß die Menschheit beim gegenwärtigen Tempo des Verbrauchs von Erdöl und Steinkohle nur noch annähernd 200 bis 400 Jahre mit diesem Treibstoff auskommt.

Der Energiebedarf wächst jedoch immer mehr. Es wurde errechnet, daß sich allein im kapitalistischen Teil der Welt der Energieverbrauch in jeweils 10 Jahren verdoppelt, in den sozialistischen Ländern steigt er noch schneller.

Gäbe es die Atomenergie nicht, dann stünde es schlecht um die Menschen des 25. Jahrhunderts.

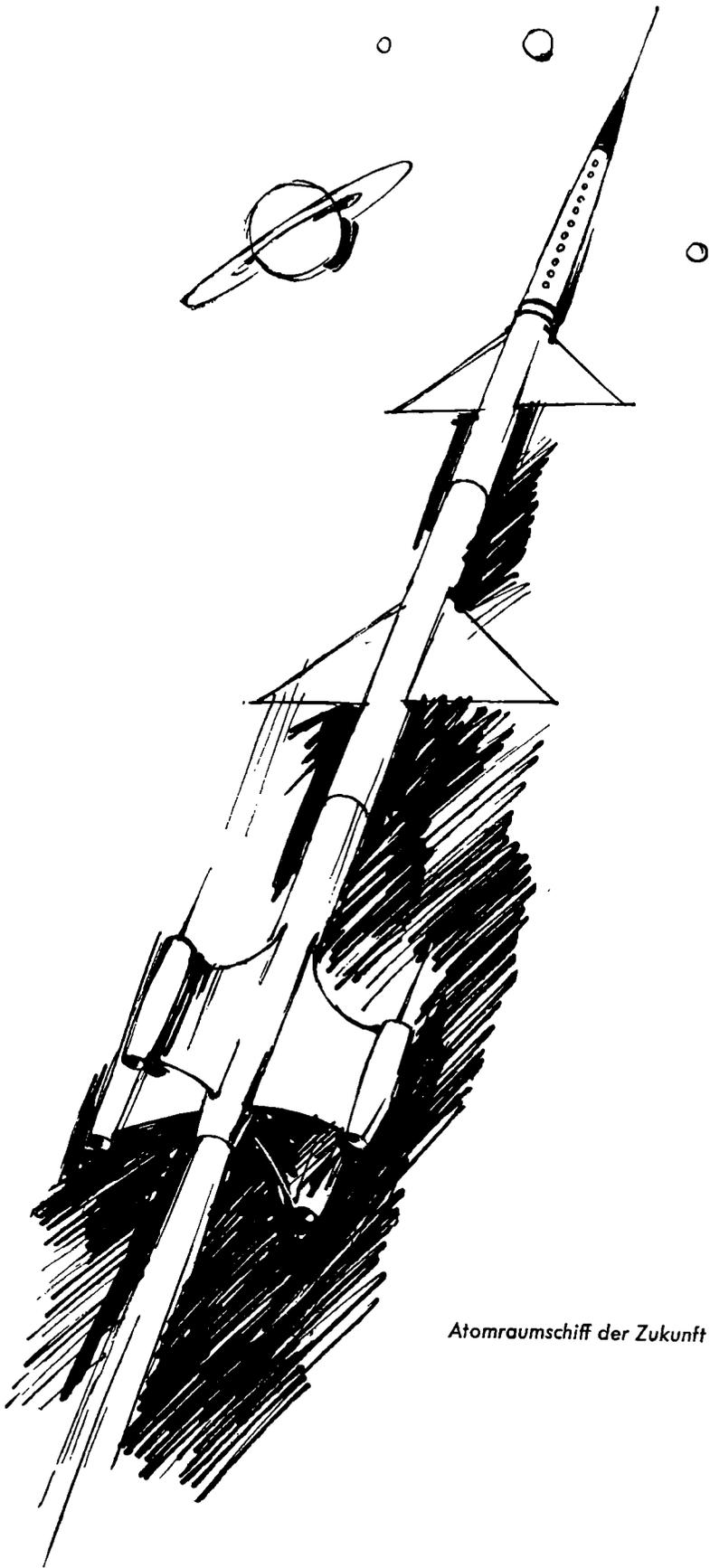
Die Atomenergie ist jedoch auch nicht unerschöpflich. Wenn man künftig Uran als Hauptatomtreibstoff benutzen wird, so garantieren bei dem jetzigen Stand des Energieverbrauchs die Geologen der Menschheit 10 000 Jahre ein ruhiges Leben, ohne daß der Gedanke eines „Energiehungers“ aufkäme. Denn die Welturanvorräte wurden in der Vergangenheit nur in sehr kleinen Mengen abgebaut.

Die Wissenschaft vertritt jedoch nicht die Ansicht, daß die vorhandenen Verfahren der Ausnutzung der Atomenergie für viele Jahre unverändert bleiben. In einem Uranreaktor wird nämlich nur 0,1 Prozent der Energie gewonnen, die der Uranatomkern besitzt. Wenn man also nicht von einem Wärme-, sondern von einem Atomwirkungsgrad sprechen würde, so erreichte er im Uranreaktor nur die winzige Größe von 0,001.

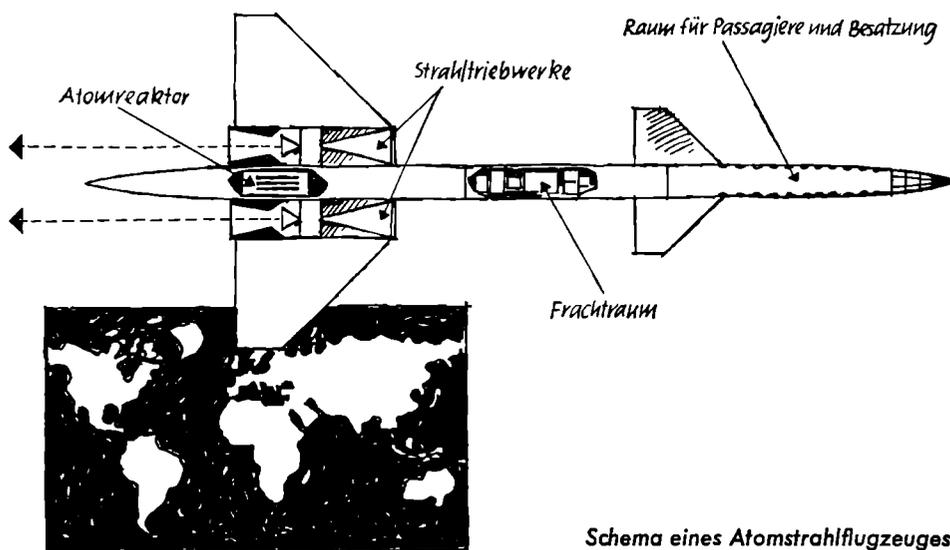
Der Reaktor nutzt ja nur die Energie aus, die bei der Spaltung des Uran-kerns in zwei Bruchstücke freigesetzt wird. Gelänge es, nicht nur die Bewegungsenergie von zwei Bruchstücken, sondern die Energie aller Kernteilchen auszunutzen, dann stünde auch dem Menschen die volle Leistung eines Atomkerns zur Verfügung.

Auch die bisher bekannten Verfahren der Atomenergiegewinnung mit Hilfe thermonuklearer Reaktionen sind nicht bedeutend wirksamer als die Uran-kettenreaktion – dabei werden 0,5 Prozent der Atomenergie gewonnen.

Die Wissenschaft der Zukunft wird noch andere, vorteilhaftere Verfahren der Gewinnung und Ausnutzung von Atomenergie finden, ebenso wie die Wissenschaft in der Vergangenheit immer bessere Wege fand zur immer besseren Ausnutzung der Wärme. Der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschinen stieg von 3 bis 4 Prozent (die ersten Dampfmaschinen) auf 40 bis 45 Prozent (die besten modernen Dieselmotoren) und dann auf 70 bis 80 Prozent (in kombinierten Wärmekraftanlagen, in denen die abgehende Wärme für die Heizung von Wohnhäusern und zu anderen Zwecken ausgenutzt wird).



*Atomraumschiff der Zukunft*



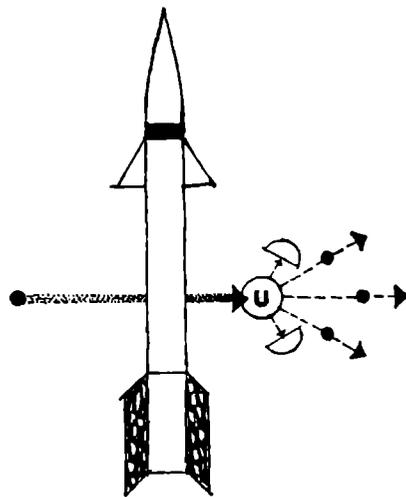
Schema eines Atomstrahlflugzeuges

Die Wissenschaft der Zukunft wird das Atomgeheimnis völlig ergründen. Dann wird die Menschheit eine unbegrenzte Energiequelle besitzen. So unauslöschlich wie die Sonne, so unauslöschlich sind auch die Atomenergievorräte in der uns umgebenden Welt.

Und wenn man heute schon aus einem beliebigen Stück Uran zweimillionenmal mehr Energie als aus dem gleichen Stück Kohle gewinnen kann, wenn schon jetzt 70 kg Uran 235 die Jahresarbeit eines so leistungsfähigen Wasserkraftwerkes wie des Dnepr-Kraftwerkes ersetzen, welche Möglichkeiten der Energiegewinnung werden sich dann in nicht allzuferner Zukunft ergeben!

Die Wissenschaft entwickelt sich ständig weiter. Die Zeit ist nicht mehr fern, in der der Mensch lernen wird, Atomenergie nicht nur aus Uran, sondern auch aus – na, sagen wir einem Pflasterstein zu gewinnen. Dann wird der Mensch Energie in Hülle und Fülle haben.

Deshalb wird die Atomenergie in Zukunft die wichtigste Energie sein. Noch lange werden sowohl die unerschöpfliche Wasserenergie als auch die unbegrenzte Windenergie der Menschheit dienen. Aber alle Wärmekraftmaschinen auf dem Lande, auf dem Wasser und in der Luft werden einmal mit „Atomtreibstoff“ arbeiten.



## INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
---------	---

### WASSER- UND WINDKRAFTMASCHINEN

Die ersten Wasserräder	9
Drei Wasserradtypen	12
Der Weg zur Wasserturbine	16
Freistrah- und Rückstoßturbinen	19
Die größten Wasserturbinen der Welt	24
Wasserkraftwerke	25
Vom Windrad zum Windmotor	29
Windkraftwerke	32

### DAMPFKRAFTMASCHINEN

Die Kanone „architronito“ und Brancas ungewöhnlicher Motor	35
Fragen, die geklärt werden mußten	39
Eine notwendige Erfindung	42
Der „Papinsche Topf“	45
Savarys Dampfpumpe	48
Die atmosphärische Maschine Newcomens	49
Die große Erfindung Iwan Polsunows	52
Die Kolbendampfmaschine des Mechanikers James Watt	59
Das vergessene Buch Sadi Carnots	66
Eine neue Wissenschaft – die Thermodynamik	67

Laval konstruiert die erste Dampfturbine	74
Die Gleichdruckturbine Rateaus	78
Die Curtisturbine	80
Parsons' Überdruckturbine	81

## **ELEKTROMOTOREN UND GENERATOREN**

Der Aufbau eines Gleichstrommotors	85
Der Elektrogenerator – ein Sekundärmotor	87
Aus der Geschichte der Wärmekraftwerke	88

## **VERBRENNUNGSMOTOREN**

Der „Gasvertilger“ Lenoirs	95
Kommen Sie in Schopens Laden!	98
Nikolaus Otto baut den ersten Viertaktmotor	100
Der russische Kapitän Kostowitsch und sein Motor	103
Daimlers Motorwagen	107
Der Glühkopfmotor	109
Das Schicksal Diesels und der Dieselmotoren	111
Die Erfindung des Zweitaktmotors	121
Generatorgasmotoren	124
Vorteile und Nachteile	126

## **GASTURBINEN**

Viele Vorteile und zahlreiche Schwierigkeiten	127
Die Verbrennungsturbine	129
Die Heißluftturbine	133
Die Gasturbine heute und morgen	135

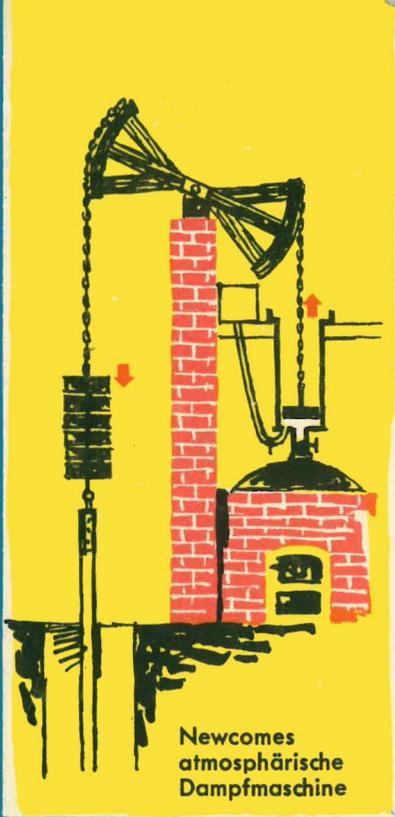
## **STRAHLTRIEBWERKE**

Die ersten Entwürfe	141
K. E. Ziolkowski, der Lehrer aus Kaluga	145
Mit der Rakete in den Weltraum	149
Andere Möglichkeiten des Raketenantriebs	155
Das Staustrahltriebwerk	158
Das Pulsstrahltriebwerk	160
Strahltriebwerke erobern die Luftfahrt	162

## **REAKTOREN – KRAFTMASCHINEN DER NAHEN ZUKUNFT**

Die große Tat Mendelejews	171
Das Rätsel wird gelöst	175
Das Atom und seine Modelle	180
Wunderbare Umwandlungen	184
Eine mächtige Energie	186
Atomreaktor und Atomtreibstoff	192
Wie arbeitet ein Atomkraftwerk?	199
Das erste Atomkraftwerk der Welt	201
Atomschiffe und Atomraketen	205
Die Energie der Zukunft	209





Newcomes  
atmosphärische  
Dampfmaschine

