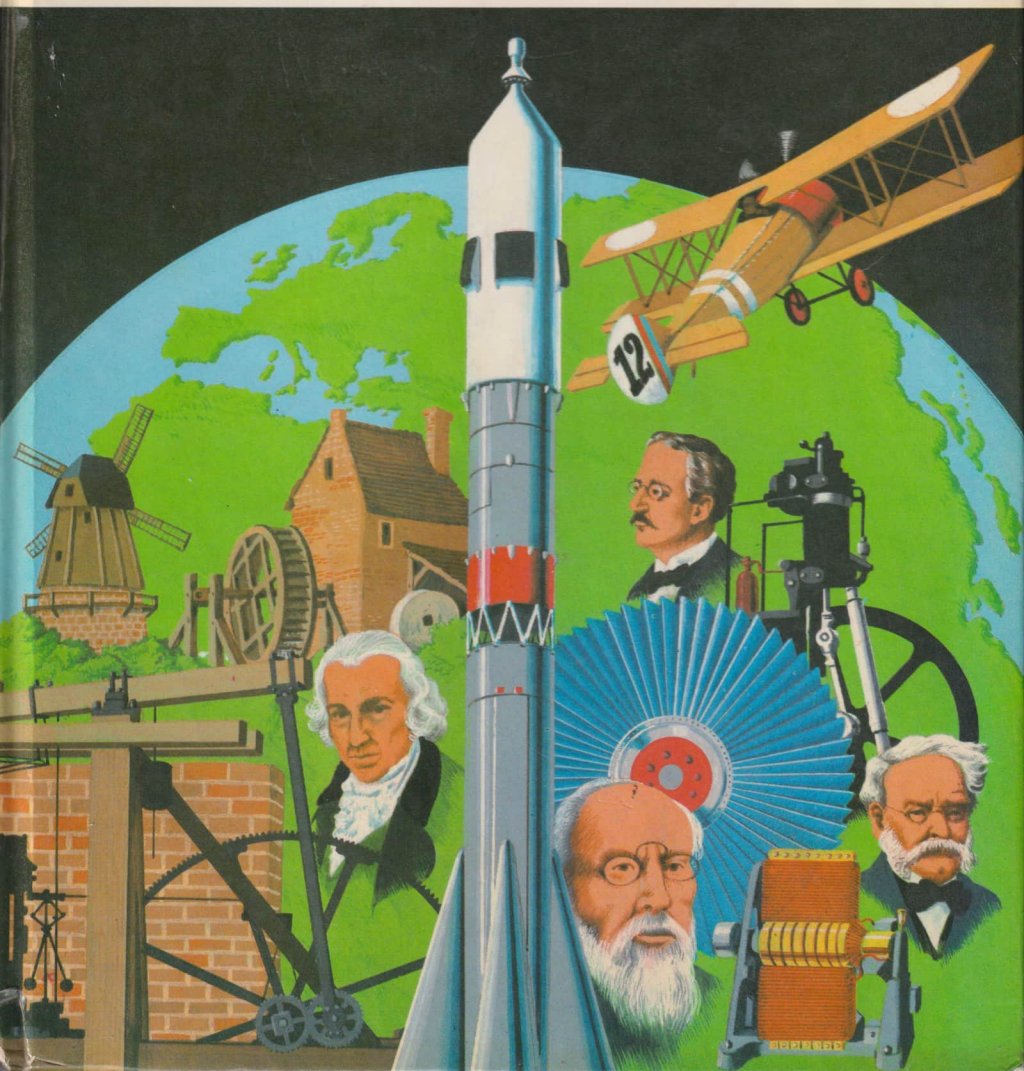


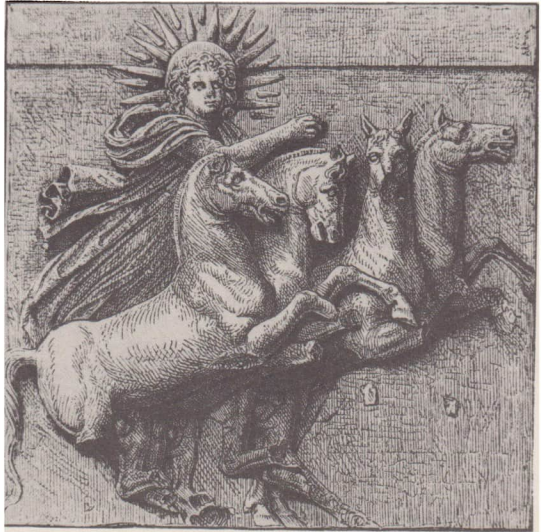
Karl Rezac

Von **Sonnengöttern**  
und **Maschinen**



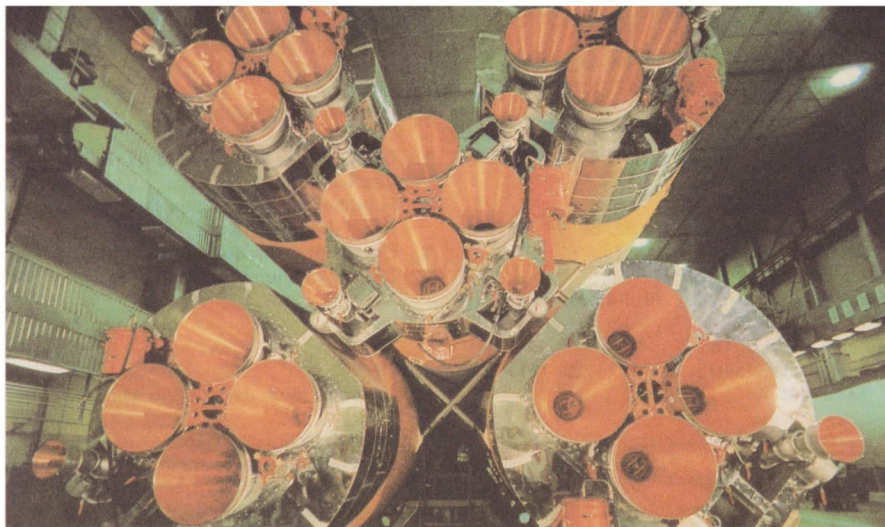
**Karl Rezac**

# Von Sonnen- göttern



Der  
Kinderbuchverlag  
Berlin





**und Maschinen**

## Illustrationen:

Joachim Arfert S. 8; 11; 12; 24; 36; 67; 78; 79;  
84; 101; 105; 107; 109; 117; 119; 120; 122;  
128; 129; 130;

Horst Boche S. 9;

Rainer Flieger S. 6; 16; 28; 34; 44; 50; 62; 74;  
92; 108; 124; 130;

Rosemarie Nast S. 10;

Karl-Heinz Naujocks S. 14; 32; 65; 71; 72; 89;  
99; 103;

Norbert Schmid S. 83;

Klaus Segner S. 7; 18; 26; 54; 80; 113; 131;  
137; 138; 139;

Roland Spörl S. 15;

Karl-Heinz Wieland S. 126; 127; 129; 131; 132;  
133; 134;

Einband: Rainer Flieger

# Inhalt

## I. Teil

### Das Ringen um Energie

1. Der Gott des Lichtes und die Rätsel  
des Sonnenfeuers ..... 7
2. Forscher enthüllen das Geheimnis  
der „lebendigen Kraft“ ..... 17
3. Der Brunnen im Stein des Königs ... 29
4. Das Maschinenwunder von Marly .. 35

## II. Teil

### Das Streben nach der großen Maschine

1. Einer Kraft auf der Spur ..... 45
2. Die Kraft aus dem Nichts ..... 51
3. Das Vakuum und die Kraft des Feuers 63
4. Die Verwirklichung eines Mensch-  
heitstraumes ..... 75

## III. Teil

### Der Kampf um den hohen Wirkungsgrad

1. Männer und Motoren ..... 93
2. Der unsichtbare Energiestrom ..... 109
3. Mit der Rakete in den Weltraum .... 125

## Anhang

- Wer ist wer? ..... 141  
Personen- und Sachregister ..... 143

# I. Teil

---

## Das Ringen um Energie

Im Jahre 1341 ließ der Bischof von Utrecht bekanntgeben, der Wind in der gesamten Provinz gehöre ihm. Von nun an müsse jeder, der eine Windmühle betreiben wolle, eine bischöfliche Erlaubnis einholen und dafür Zinsen zahlen.

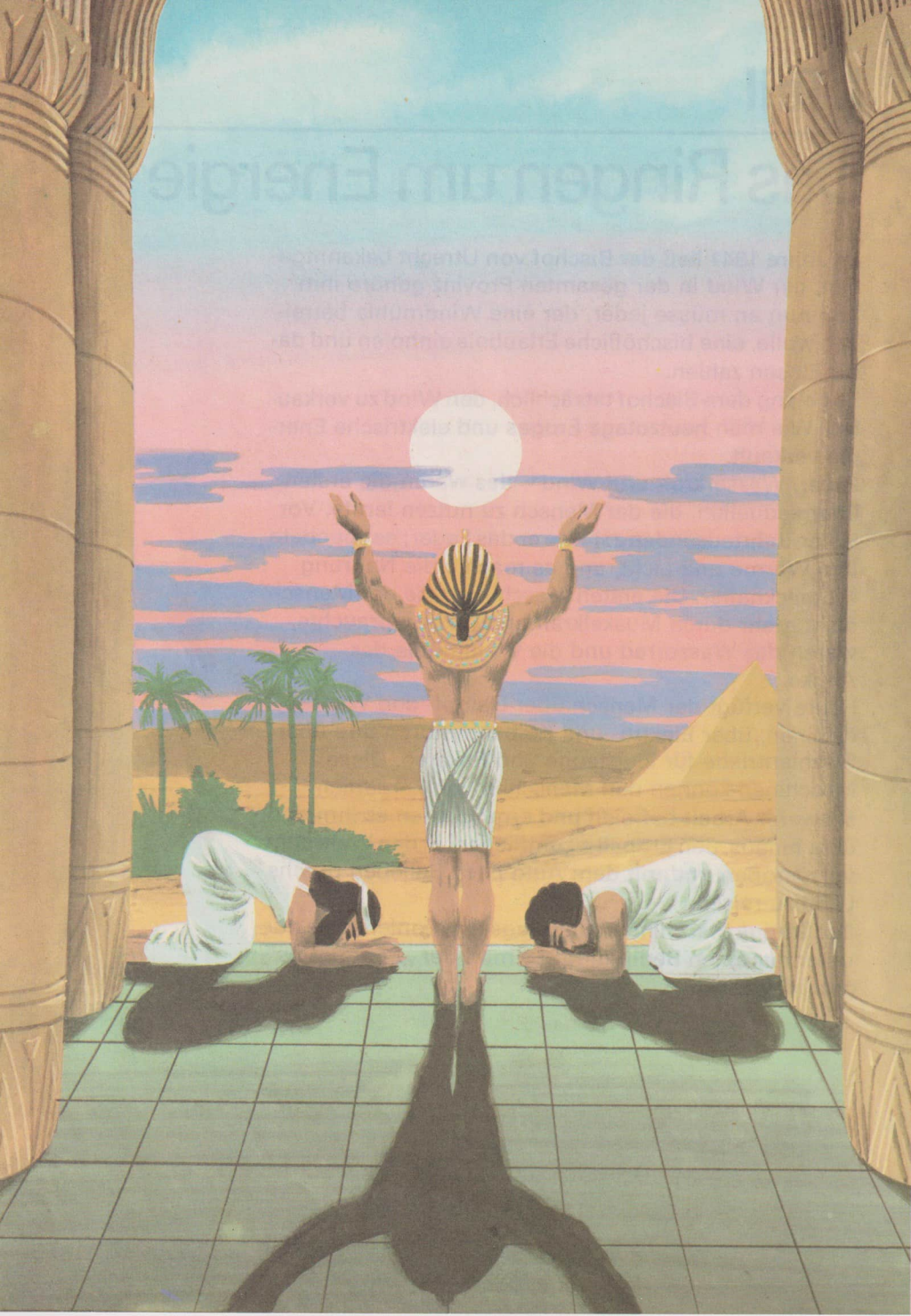
Es gelang dem Bischof tatsächlich, den Wind zu verkaufen. Wie man heutzutage Erdgas und elektrische Energie verkauft.

Feuer, Wasserkraft und Wind – das waren die ersten Energiequellen, die der Mensch zu nutzen lernte. Vor vielen Jahrtausenden zähmte er das Feuer; es spendete ihm Wärme und Licht, und es machte die Nahrung schmackhafter. Die ersten Maschinen, die der Mensch nicht mehr durch Muskelkraft anzutreiben brauchte, waren das Wasserrad und die Windmühle der Antike.

Heute verfügt der Mensch über Dampf- und Wasserturbinen, über Elektro- und Kolbenmotoren und über Strahlantriebe für Flugzeuge und Raketen. Diese Maschinen können den Menschen von körperlich schwerer Arbeit befreien und ermöglichen es ihm darüber hinaus, den Erdball zu umfliegen, in den Weltraum vorzustößen und mit dem Auto nach Belieben durchs Land zu reisen.

Großartige Maschinen. Allerdings funktionieren sie nur unter der einen Bedingung: Es muß der „Energiezins“ gezahlt werden.





# 1. Der Gott des Lichtes und die Rätsel des Sonnenfeuers

Von jeher war den Menschen die Sonne als etwas Wunderbares erschienen, und in ihrem Glauben und Denken nahm dieses strahlende Gestirn einen besonders hohen Rang ein. Anfangs meinten sie, die Sonne sei eine machtvolle, segenspendende Gottheit, die man anbeten müsse. Später – viel später allerdings erst – wurde erkannt, daß die Sonne das Zentralgestirn unseres Planetensystems ist. Seitdem wird sie wissenschaftlich erforscht.

## Ließen einst zürnende Götter die Sonne verschwinden?

Im Mai des Jahres 585 v.u. Z. standen sich in Kleinasien zwei Heere gegenüber. Beide Heerlager hatte man am Halys aufgeschlagen, einem breiten Fluß, der die Grenze zwischen Medien und Lydien bildete. Seit sechs Jahren führte Kyaxares, König der Meder, einen unerbittlichen Krieg gegen Lydien. Einige Schlachten hatten auf beiden Seiten blutige Verluste gefordert. Ein Ende dieses Krieges schien unabsehbar. Und gerade hier am Halys sollten die Kämpfe – unerwartet und überraschend – beendet werden.

Im Morgengrauen des 28. Mai traten die Krieger beider Heere in gewohnter Kampfordnung an: Hunderte mit Speeren bewaffnete Reiter, außerdem die Phalangen des Fußvolks, Bogenschützen, Spieß- und Schwertträger. Der lydische König Alyattes hatte seine Truppen bereits Tage zuvor mit Flößen über den Halys übersetzen lassen. Seine Krieger standen mit dem Rücken zum Flußufer, das sie zu verteidigen hatten. So mußten sie siegen oder sterben; Flucht gab es nicht.

In beiden Heerlagern erwarteten Feldherren und Priester den Aufgang der Sonne. Als die goldene Himmelsscheibe über dem Horizont aufstieg, verneigten sich die Priester vor ihr. Sie beteten zu Mithra, dem Gott des Lichtes, und flehten um den Sieg über den Gegner. Die Krieger hoben ihre Waffen dem Licht entgegen; Helme, Harnische und Schwerter glänzten in der Sonne.

Und dann begann ein erbarmungsloses Gemetzel. Wie ein Sturm brauste die Reiterei des Königs Kyaxares über die Ebene. Hagel dicht flogen ihr die Pfeile der lydischen Bogenschützen entgegen, warfen Krieger aus

dem Sattel und töteten Pferde, die ihre Reiter unter sich begruben. Waffen klirrten gegeneinander. Überall herrschten Kampfplärme und Geschrei, überall waren Blut und qualvolles Sterben – an diesem strahlenden Tag.

Keiner der Kämpfenden bemerkte, daß sich der Himmel trübte und ein kühler Wind die Steppensträucher schüttelte. Doch als es – zu dieser frühen Stunde – Nacht zu werden drohte, als sich über das Schlachtfeld Kälte und Dunkelheit ausbreiteten, blickte alles verstört zum Himmel.

Die Sonne war fort!

Selbst die Tapfersten, die eben noch mit Todesverachtung gefochten hatten, wurden von Furcht ergriffen. Sie wollten der unheildrohenden Finsternis entfliehen. Doch wohin? Die Nacht war überall. Sie warfen ihre Waffen weg und verbargen sich in Erdalten oder im Gesträuch. Pferde bäumten sich auf, warfen ihre Reiter ab und galoppierten davon. In den





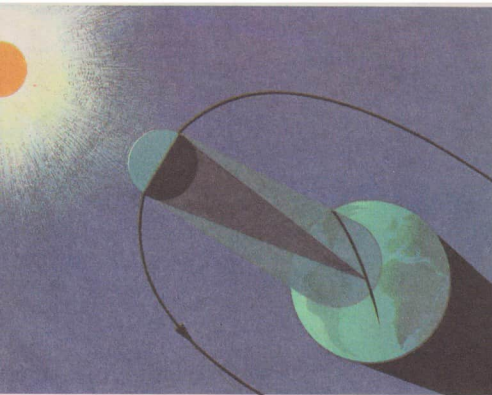
Zelten der Heerführer herrschte Verwirrung. Nur die Priester glaubten, sie wüßten Rat. Sie warfen sich zu Boden und beschworen Mithra: Gib uns das wärmende Himmelslicht wieder, die himmlische Feuerscheibe, die den Tag von der Nacht scheidet, die die Zeit des Säens und Erntens bestimmt und die die Mutter allen Lebens ist.

Die Gottheit erwies sich gnädig. Der Himmel hellte sich auf, und die Sonne stand wieder strahlend am Himmel. Zögernd erhoben sich die Krieger. An Kampf dachte niemand mehr. Jetzt mußte der eroberungssüchtige Mederkönig mit Alyattes Frieden schließen. Er kannte seine Krieger; sie fürchteten die Götter weit mehr als ihre Gegner auf dem Schlachtfeld. Sie würden gegen Lydien nicht wieder ins Feld ziehen, denn die Götter mißbilligten diesen Krieg. Sie hatten ein drohendes Zeichen gegeben.

## Über viele Jahrhunderte bestanden in der Astronomie Wahrheiten und Irrtümer nebeneinander

In Milet lebte zu jener Zeit der Naturforscher Thales, einer der sieben Weisen Griechenlands. Er hat wichtige geometrische Regeln aufgestellt und den Magnetismus entdeckt. Thales von Milet erschrak nicht, als sich am 28. Mai der Himmel verdunkelte. Im Gegenteil, er frohlockte sogar, denn er hatte dieses

Der Schatten des Mondes bei einer totalen Sonnenfinsternis. Der schwarze Streifen auf der Erdoberfläche zeigt den Weg, den der Kernschatten durchlief.



Thales von Milet

Ereignis vorausberechnet und mit Spannung erwartet: eine totale Sonnenfinsternis, eine seltene Naturerscheinung. Sie kommt zustande, wenn der Mond die Sonne verdeckt. Für kurze Zeit steht dann der Mond zwischen Sonne und Erde, und sein Kernschatten trifft dabei auf bestimmte Gebietsstreifen unseres Erdballs.

Thales von Milet konnte diese Sonnenfinsternis im Jahre 585 v. u. Z. voraussagen, weil er sich auf bereits vorhandene astronomische Kenntnisse stützte. Sternkundige Priester des alten Ägypten hatten sie vor mehr als 2000 Jahren zusammengetragen. Mit bloßem Auge erforschten sie die Sternwelt des nächtlichen Himmels. Auch sie hatten das glänzende Sonnengestirn, das den Menschen Wärme und Licht und damit Leben schenkte, zur Gottheit erhoben und beteten es ehrfürchtig an. Gewissenhaft beobachteten sie den Auf- und Untergang der Sonne und den Weg, den die Sonne im Verlaufe der Jahreszeiten am Himmel nahm. Sie und Gelehrte anderer alter Kulturvölker schufen die Grundlagen der Himmelskunde, der Astronomie.

Viele Jahrhunderte lehrte die Astronomie, die Erde stehe fest im All und bilde den Mittelpunkt der Welt. Man glaubte, die Sonne, die Planeten und der Mond umkreisten in „sphärischen Schalen“ die Erde. Dieses Weltbild hatte um das Jahr 150 der griechische Astronom Ptolemäus beschrieben. Doch im 16. und 17. Jahrhundert kam es zu ganz neuen Erkenntnissen über die Bewegungen der Planeten. Die Astronomen Nicolaus Copernicus





Anbetung der Sonne bei den Inkas

und Johannes Kepler bewiesen, daß nicht die Erde, sondern die Sonne im Mittelpunkt steht: Die Erde und alle übrigen Planeten bewegen sich auf ihren Bahnen um die Sonne, welche das Zentralgestirn unseres Sonnensystems ist.

## Physiker begannen, das Sonnenlicht – und damit die Natur der Sonne – zu erforschen

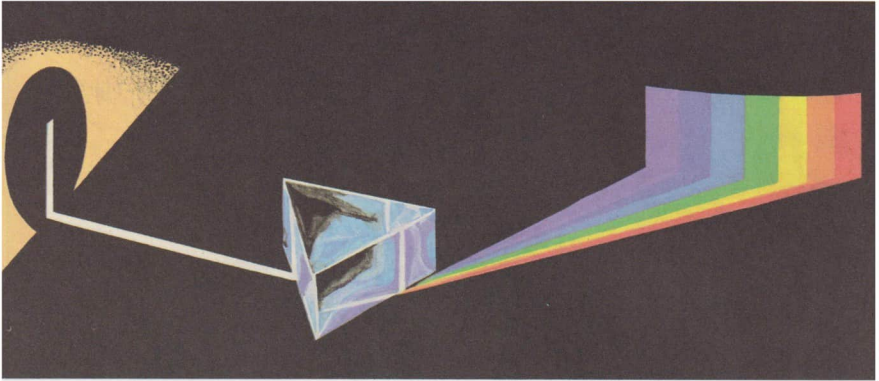
Im Jahre 1609 entwickelte der italienische Naturforscher Galileo Galilei ein leistungsfähiges Fernrohr und machte es zu einem Instrument der Himmelsforschung. Er richtete es auf die Sonne und sah, daß das himmlische Feuer nicht makellos war; er entdeckte die Sonnenflecken.

Ein halbes Jahrhundert darauf experimentierte der englische Physiker Isaac Newton mit Sonnenlicht, dem einzigen Boten, der von dem fernen Gestirn zur Erde gelangte. Er verdunkelte sein Laboratorium und ließ einen

feingebündelten Sonnenstrahl von einem Glasprisma auffächern. Auf einem weißen Bildschirm entstand ein vielfarbiges Band. Alle Farben des Regenbogens waren darin enthalten: Rot, Orange, Gelb, das fließend in Grün, Blau und Violett übergeht. Damit hatte Newton das Spektrum des sichtbaren Lichtes entdeckt.

Etwa zur gleichen Zeit wirkte in Holland der Mathematiker und Astronom Christian Huygens, der die Wellenvorgänge auf der Wasseroberfläche erforscht hatte. Er faßte den kühnen Gedanken, auch Licht sei eine Wellenerscheinung, und die einzelnen Farben des Spektrums seien jeweils Wellen von unterschiedlicher Länge. Somit müßten im weißen Licht alle sichtbaren Lichtwellen vereinigt sein.

Über die Natur der Sonne war damit noch nichts erklärt. Es gab brennende Fragen, auf die Wissenschaftler Antworten suchten: Woraus besteht die Sonne, und was geht in ihrem Innern vor? Wie entsteht das gewaltige, nie verlöschende Sönnenfeuer?



Mit Hilfe eines Glasprismas kann weißes Licht in seine Spektralfarben zerlegt werden, eine Entdeckung, die dem englischen Physiker Isaac Newton um 1700 gelang.

## Geheimnisse des Sonnenspektrums werden enthüllt

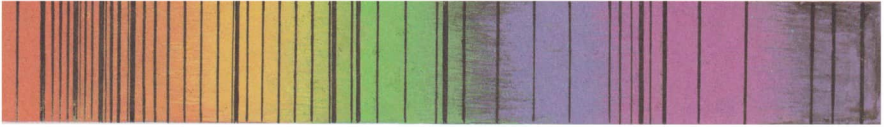
Es kam zu zwei wichtigen Entdeckungen, die endlich zu neuen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Sonnenforschung führen sollten. Die erste Entdeckung gelang zu Beginn des 19. Jahrhunderts dem deutschen Physiker Joseph von Fraunhofer.

Fraunhofer war unter den dürtigsten Verhältnissen als zehntes Kind eines Glasermeisters aufgewachsen und hatte im Alter von 12 Jahren beide Eltern verloren. Sein Vormund gab ihn bei einem Münchener Glasschleifer in die Lehre. Obwohl er von früh bis spät bei dem Lehrmeister tätig war, besuchte er die Sonntagsschule. Durch Selbststudium erwarb er sich umfangreiche mathematische und physikalische Kenntnisse, vornehmlich auf dem Gebiete der Optik. Mit 21 Jahren war er bereits ein angesehener wissenschaftlicher Mitarbeiter des *Mathematisch-mechanischen Instituts* in München, einer Werkstatt, die vor allem Himmelsfernrohre und Vermessungsgeräte herstellte.

Als Leiter einer Glasschmelze bemühte er sich, die Qualität optischer Gläser zu verbessern. Nach vielen Versuchen gelang es ihm, große, schlierenfreie Prismen und Linsen herzustellen. Mittels dieser Prismen zerlegte er das durch einen schmalen Spalt gehende Sonnenlicht in seine Spektralfarben. Er sah als erster, daß das Sonnenspektrum an vielen Stellen von haarfeinen schwarzen Linien



Der deutsche Physiker Joseph von Fraunhofer mit seinem Spektralapparat



Sonnenspektrum mit den wichtigsten Fraunhoferschen Linien

durchsetzt ist. Fraunhofer fand 657 von ihnen; inzwischen hat man mehr als 2 500 entdecken können.

Im Spektrum anderer weißer Lichtquellen ließen sich solche dunklen Linien nicht aufspüren. Fraunhofer fand eine Erklärung für diese seltsame Erscheinung: Im Sonnenlicht fehlen gewisse Farbanteile, genauer ausgedrückt, es fehlen Lichtwellen bestimmter Längen.

Jahrzehnte später, 1859, erkannten die deutschen Physiker Robert Bunsen und Gustav Kirchhoff, daß auch glühende Gase Licht ausstrahlen. Wenn sie dieses Licht mittels eines Prismas zerlegten, erblickten sie kein zusammenhängendes Spektrum, sondern einzelne farbige Linien, ein Linienspektrum. Und die Forscher fanden heraus, daß ein jedes chemische Element sein bestimmtes Linienspektrum zeigt. Dieses ist sozusagen der „Ausweis“, an dem man den betreffenden Grundstoff erkennt.

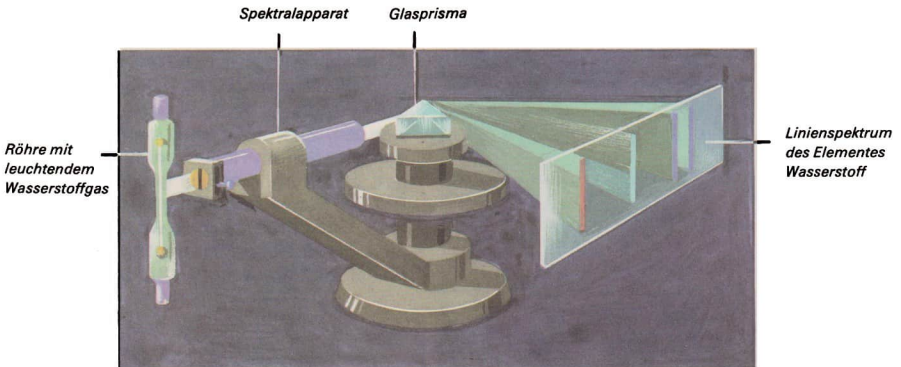
Ein Jahr später entwickelten die beiden Physiker die Spektralanalyse. Gemeint ist ein Verfahren, bei dem man mit Hilfe der Lichtzerlegung nachweisen kann, aus welchen chemischen Elementen ein Stoff zusammengesetzt ist. Bei dieser Arbeit entdeckten die Forscher



Robert Bunsen  
(1811–1899)

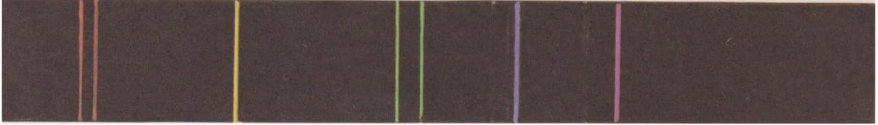


Robert Kirchhoff  
(1824–1899)



Entstehung eines Linienspektrums





Linienpektrum des chemischen Elementes Helium

noch etwas Eigentümliches: Sie ließen ein weißes Lichtbündel durch ein glühendes Gas treten, dann erst zerlegten sie es mit dem Prisma. In diesem Spektrum fanden sie hier und da schwarze Linien. Es fehlten also Lichtanteile. Das Gas hatte sie aufgenommen, absorbiert. Eigentümlicherweise war es das Licht, welches das Gas selbst aussendet. Es hatte sozusagen sein eigenes Linienspektrum „verschluckt“.

Nun vermochten Bunsen und Kirchhoff die von Fraunhofer entdeckten Linien im Sonnenspektrum zu deuten. Es sind Wirkungen einer vorangegangenen Absorption. (Dieses Wort kommt aus dem Lateinischen und bedeutet Aufsaugen oder Aufzehren.) Die Sonne ist nämlich von einer äußeren Gashölle, der Sonnenatmosphäre, umgeben. Durch dieses „Filter“ tritt das Licht in den Weltraum, und die Sonnenatmosphäre absorbiert dabei viele Lichtwellen bestimmter Länge. Daher die schwarzen Linien im Sonnenspektrum.

Man begann diese Linien zu entschlüsseln. Forscher wiesen nach, daß es auf der Sonne Sauerstoff gibt und Wasserstoff. Außerdem Eisen, Magnesium, Kalzium, Natrium – insgesamt mehr als 60 Elemente. Sie alle kommen auch auf der Erde vor.

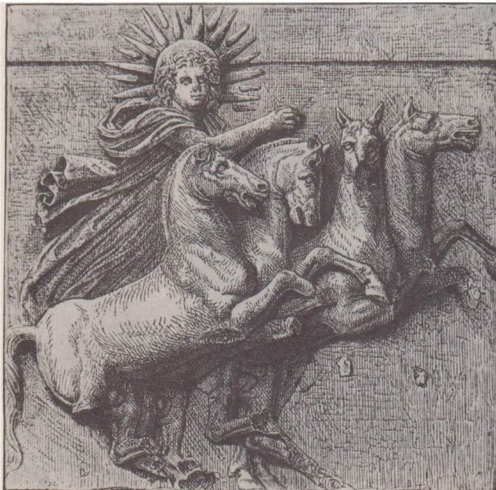
### Ein unbekanntes „Sonnenelement“ wird gefunden

Im Jahre 1868 spürte der englische Astronom John Locer ein Linienbild im Sonnenspektrum auf, das sich keinem auf der Erde bekannten Element zuordnen ließ. Er benannte dieses unbekannte Element Helium. Gewiß dachte er dabei an Helios, den jugendlichen griechischen Sonnengott, der, wie die Sage berichtet, täglich seinen von vier feurigen Rossen gezogenen goldenen Wagen über den Himmel führt. Helios galt als einer der mächtigsten Götter. Da er alles sah und hörte, war es Brauch, ihn zum Schwurzeugen aufzurufen.

Hatte John Locer mit dem Helium ein lediglich auf der Sonne vorhandenes Element gefunden?

Nur 26 Jahre nach der Entdeckung des Heliums konnte der Chemiker William Ramsey dieses Edelgas auch auf der Erde nachweisen, wo es in der Natur nur selten vorkommt. Es ist wesentlich leichter als Luft und nicht brennbar. Daher läßt es sich als ein gefahrloses Traggas für Ballons und Luftschiffe verwenden. Allerdings muß man die dazu nötigen Mengen an Helium in einem kostspieligen Verfahren künstlich gewinnen.

Auf der Sonne dagegen gibt es sehr viel Helium. Und dort ist es auch wesentlich beteiligt an dem mächtigen Sonnenfeuer, das seit drei Milliarden Jahren im Weltraum lodert.



Antike Darstellung des Sonnengottes Helios

## Kernkraftwerk Sonne versorgt die Erde

Die Sonne besteht aus einem gasförmigen Ball, dessen Durchmesser rund 1 400 000 Kilometer beträgt. Ihre Masse ist 332 000mal größer als die der Erde. Die Sonnenmaterie besteht überwiegend aus leichten Elementen, zu einem Zehntel aus Helium, zum größten Teil jedoch aus Wasserstoff.

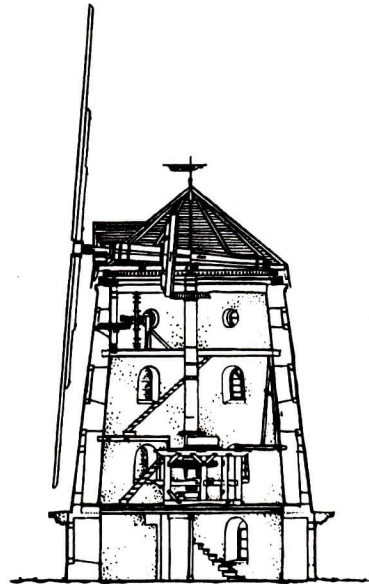
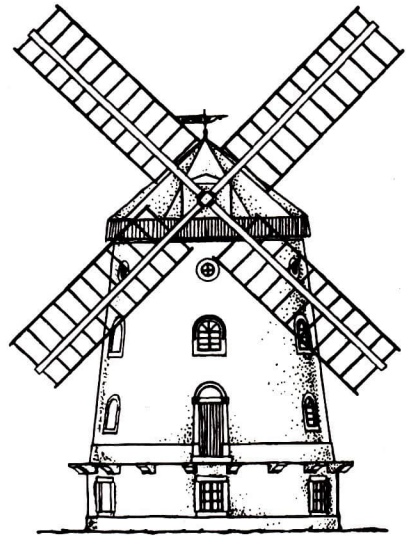
Unter den sehr hohen Temperaturen und Drücken, die im Innern der Sonne herrschen, verschmelzen ständig Atomkerne des Wasserstoffs zu den etwas schwereren Kernen des Heliums. Man nennt diesen Vorgang Kernfusion. Die Energien, die dabei entfesselt werden, sind gewaltig: Bei der Umwandlung von nur 1 Gramm Wasserstoff zu Helium werden 160 000 Kilowattstunden Energie frei. Eine 60-Watt-Glühlampe könnte von diesem Gramm Wasserstoff rund 300 Jahre lang gespeist werden.

Unermeßlich groß sind die Energien, die von der Sonne ständig in den Weltraum gestrahlt werden. Etwa ein halbes Billionstel davon gelangt zur Erde. Tag für Tag sind das 4,2 Billionen Kilowattstunden. Ein Drittel wird wieder in den Weltraum reflektiert, einen gewissen Anteil nimmt die Lufthülle der Erde auf. Doch die Sonnenstrahlen, die auf die Erde treffen, enthalten immer noch das Vieltausendfache an Energie, als alle Erdenbewohner insgesamt beanspruchen.

Das halbe Billionstel an Sonnenenergie gibt der Erde alles, um das Leben zu ermöglichen; in erster Linie spendet die Sonne Licht und Wärme. Mit Hilfe ihrer Strahlung bauen alle Pflanzen – Feldfrüchte, Blumen, Gräser, Bäume – energiereiche organische Stoffe auf. Stoffe, die Menschen und Tieren als Nahrung dienen oder die der Mensch von Anfang an als Bau- und Werkstoffe nutzen konnte.

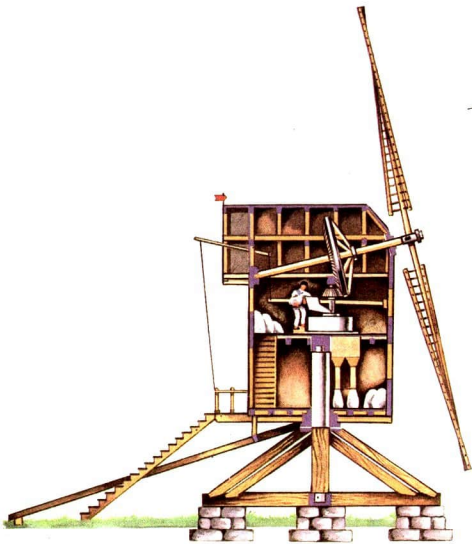
Jedes Wasserrad, jedes Wasserkraftwerk kann nur arbeiten, weil es auf der Erde den Wasserkreislauf gibt, den die Sonne hervorruft. Denn das Wasser, das die Sonne über den Meeren verdunsten läßt, sammelt sich zu Wolken am Himmel, fällt als Regen, Hagel oder Schnee zur Erde nieder und fließt in Flüssen und Strömen zum Meer zurück.

Keine der zahlreichen Windmühlen, die in der Vergangenheit das lebenswichtige Brotgetreide verarbeiteten, hätte die Mahlsteine drehen können – ohne die Hilfe der Sonne.

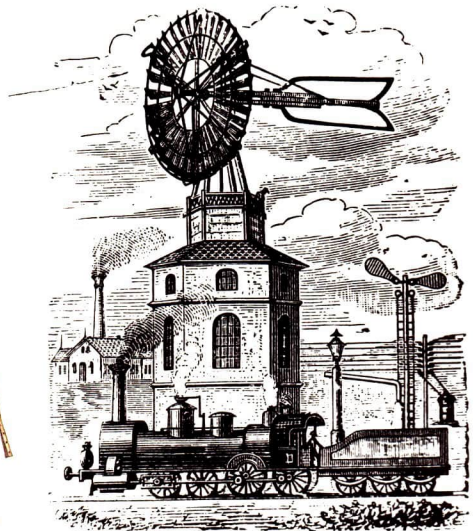


Turmwindmühle





Schnitt durch eine  
Bockwindmühle



Windmotor für eine Wasserstation  
der Eisenbahn, um 1880

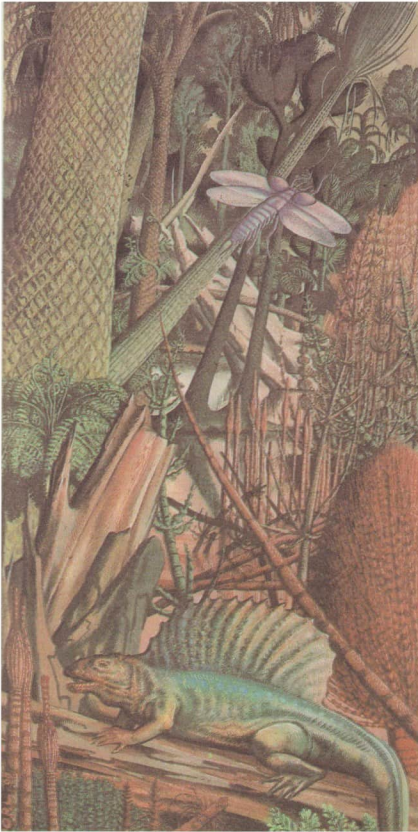


Eröffnungszug der ersten deutschen Eisenbahn zwischen Nürnberg und Fürth im Jahre 1835



Erst die Sonnenwärme verursacht Luftströmungen, also den Wind, den jeder Windmüller benötigt, wollte er das Korn zu Mehl mahlen.

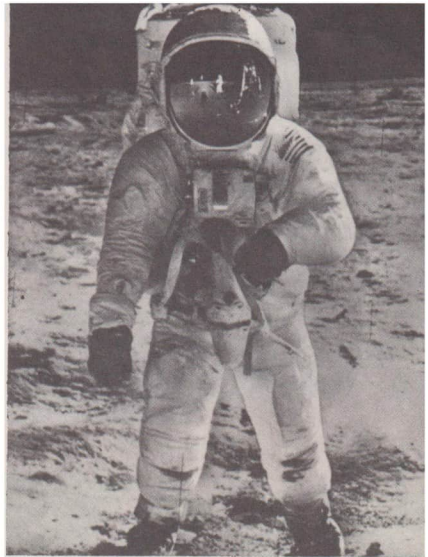
Das ist längst nicht alles, was uns die Sonne beschert. Ohne sie hätte weder im Jahre 1835 der erste deutsche Eisenbahnzug von Nürnberg nach Fürth – bescheidene 6 Kilometer – fahren, geschweige denn ein Raumfahrer seinen Fuß auf den Mond setzen können. Denn die Energiequellen sowohl für Dampflokomotiven als auch für Raketen fördern wir aus dem Schoße der Erde: Braun- und Steinkohle, Erdgas und Erdöl.



Tierisches und pflanzliches Leben im Erdaltertum, dem Karbon. Aus diesen Moorwäldern entstanden unsere heutigen Steinkohlelager.

Sie alle sind pflanzlichen oder tierischen Ursprungs und bildeten sich in einem über Jahrmillionen währenden Prozeß – Kohle in Sumpfwäldern und Mooren aus absterbenden Pflanzenresten, Erdöle durch das Faulen tierischer und pflanzlicher Materie. Wenn wir Kohle in der Feuerbuchse einer Lokomotive oder im Heizkessel eines Kraftwerks verbrennen, wenn wir Kraftstoffe in den Zylindern der Automotoren oder in Flugzeug- und Raketenantriebswerken zünden, dann setzen wir stets aufgespeicherte Sonnenenergie frei. Energie, die vor unvorstellbar langer Zeit von der Sonne zur Erde gelangt ist.

Niemand sollte deshalb die Sonne anbeten, wie es Menschen taten, die vor einigen tausend Jahren auf der Erde gelebt haben und die weder über unsere Kenntnisse noch über unsere Arbeitserfahrungen verfügen konnten. Aber sie hatten einen guten Instinkt, sie ahnten, was wir heute wissen. Darum ist es nützlich, daran zu denken, daß jedes Aufleuchten einer Glühlampe in der Nacht, jeder Liter Gemisch im Tank des Mopeds und auch die Wärme, die ein Lagerfeuer ausstrahlt, Gaben unserer Sonne sind.



Am 21. Juli 1969 betraten erstmals zwei Menschen den Mond: Das Bild zeigt den Astronauten der USA Edwin Aldrin, fotografiert von seinem Gefährten Neil Armstrong.





## 2. Forscher enthüllen das Geheimnis der „lebendigen Kraft“

**In der langen Geschichte der Technik hat es schon immer Tüftler gegeben, die etwas Besonderes, etwas Wunderbares zu finden hofften. Etwa eine Lichtquelle, die niemals erlischt. Oder den Stein der Weisen, mit dessen Hilfe man Blei in Gold umwandeln wollte. Und warum nicht gar eine Maschine, die sich ohne Antrieb bewegt?**

**Stets gab es auch Leute, die sich derartige Wunderdinge wünschten. Welcher der vielen Fürsten, die im 18. Jahrhundert in Europa verschwenderisch Hof hielten, hätte nicht brennend gern einen Goldmacher gehabt. Nicht weniger gefragt war der Immerbeweger, das sogenannte *Perpetuum mobile*, das aus dem Nichts Energie herbeizaubern sollte. Zum Beispiel ein Rad, das sich von selbst in Schwung hält.**

### Das Wundermobile von Kassel

Es war um das Jahr 1710, als in der hessischen Residenzstadt Kassel ein Fremder auftauchte, ein schwarz gekleideter Mann mit bleichem Gesicht und von hagerer Gestalt. Er mietete in einem Gasthof eine Kammer und gab sich als Ernst Elias Beßler zu erkennen, genannt Orffyreus; dies sei eine Art Künstlername.

Unauffällig bewegte sich der Fremde durch die Gassen der Stadt, und dann stand er lange sinnend am Ufer der Fulda und schaute hinüber zu der gerade erbauten Orangerie. Der zierliche Rokokobau lag inmitten prachtvoller Parkanlagen, die ein französischer Gartenarchitekt entworfen hatte. Beßler wußte, daß sich der residierende Landgraf Karl gern in diesem Park und in der Orangerie aufhielt, um die seltenen, aus Übersee herbeigeschafften Pflanzen und Bäume zu studieren. Der Landgraf galt als ein Freund der Wissenschaften. Und er mußte in diesem Punkt nicht gerade geizig sein.

Mit diesem Gedanken ging Beßler in die Stadt zurück und begab sich auf die Suche nach einer zuverlässigen und verschwiegenen Dienstmagd.

Noch am gleichen Abend verschloß er sich in seiner Kammer und verfaßte ein an den Landgrafen gerichtetes Schreiben. Darin bat er untertänigst um eine Audienz, denn er habe eine wichtige Angelegenheit vorzutragen. Es handle sich um eine Erfindung von absoluter Einmaligkeit. Er sei sicher, der Herr Landgraf, bekannt als ein großzügiger Förderer der Wissenschaften, werde seinen Vortrag

mit Interesse anhören. Beßler unterzeichnete den Brief mit dem Namen Orffyreus und ließ ihn anderen Tages der landgräflichen Kanzlei übergeben.

Er brauchte nicht lange zu warten, bis er die Aufforderung erhielt, vor dem Landgrafen zu erscheinen. Zur vorgeschriebenen Stunde stand er, schwarz gekleidet wie stets, eine wichtige Papierrolle unter dem Arm haltend, auf dem glänzenden Parkett inmitten der barocken Pracht des Audienzsaales. Der Landgraf, angetan mit einem goldbestickten seidenen Rock, saß hinter einem zierlichen Schreibtisch. Neben seinem Prunksessel stand ein Sekretär.

Beßler wurde bedeutet zu beginnen. Er holte weit aus, sprach von den Maschinenkünsten, die bereits im Altertum bekannt gewesen und heute noch gebräuchlich seien. Von den Wasserrädern, Windmühlen, den Winden, Göpeln und Treträdern. Sie alle seien nur tüchtig, wenn eine „lebendige Kraft“ sie in Bewegung halte. Die Wasserströmung etwa oder der Wind. Oder der Mensch, dessen Kräfte jedoch nicht unerschöpflich seien. Und indem er den Papierbogen entrollte, auf geheimnisvolle Linien und Kreisbögen hinwies, sprach er von dem Sehnen der menschlichen Kreatur, sich eine erlösende Maschine zu schaffen. Einen Mechanismus, der helfe, Wohlstand und Reichtum zu mehren.

Beßler bekannte, daß er die belebte Natur auf das genaueste beobachtet habe. So sei es ihm gelungen, das Geheimnis der sich von selbst bewegenden Maschine zu enthüllen. Er sei bereit, seine wunderbare Entdeckung preiszugeben.

Der Landgraf hatte dem Vortrag aufmerksam zugehört. Er war beeindruckt. Einmal von der Schlichtheit, mit der dieser Mann vor ihm erschienen war, zum anderen von dem würdevollen Ernst, mit dem dieser Erfinder seine genialischen Gedanken darlegte. Er gab seinem Sekretär einen leisen Wink, und dieser befahl: „Er darf in seiner Rede fortfahren, Monsieur!“

Nichts auf der Welt, so begann Beßler, kein Uhrwerk, kein Rad, könne sich bewegen ohne lebendige Kraft. Nun verhalte es sich so, daß die Kraft nur unter Zwang leben könne, eingesperrt in eine Maschine; in der Freiheit müsse sie sterben. Das Geheimnis bestünde darin, daß die Kraft sich in allen bislang bekannten Maschinen aufzehre, anstatt sich zu vermehren. Doch die Maschine, die er zu bauen gedenke, zwänge die Kraft, sich stetig selbst zu erneuern. So, wie es von jeher in der Natur zugehe. Da wüchse alles aus sich heraus in Fülle.

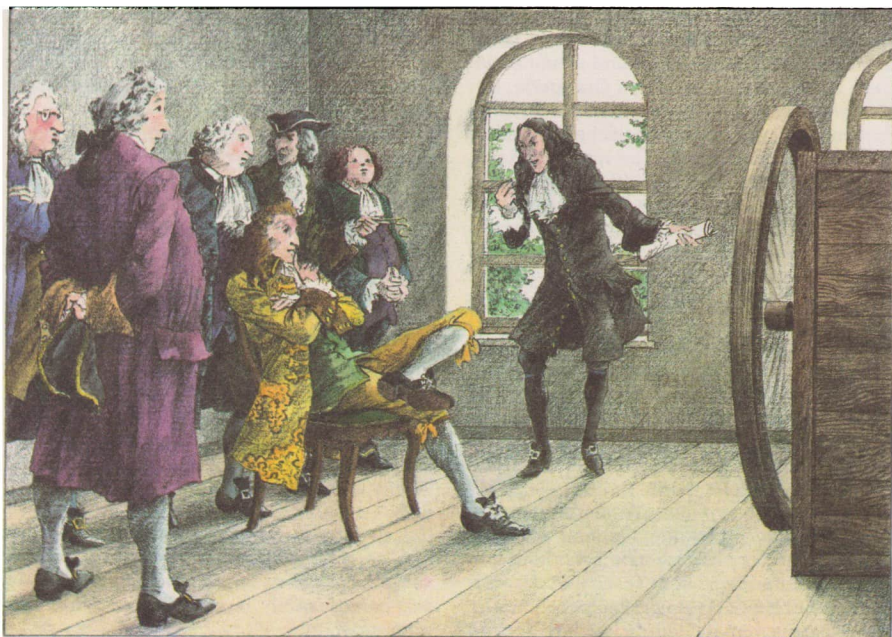
Ganz ähnlich verhalte es sich mit der lebendigen Kraft in seiner neuen Maschine, denn sie werde darin allmählich stärker und stärker

und gewinne ein fürchterliches und zugleich wunderbares Wirkungsvermögen.

Eine solche Maschine wollte sich der hessische Landgraf nicht entgehen lassen. Seit langem wünschte er sich ein Wasserpumpwerk, um in seinem Schloßgarten Springbrunnen und Fontänen sprudeln zu lassen. Beßler wurde aus der Staatskasse Geld angewiesen, und dies nicht zu knapp. Der Maschinenkünstler mietete ein leerstehendes Gartenhaus, in dem er sich von nun an Tag und Nacht aufhielt. Nach etlichen Wochen bat er den Landgrafen, Zeuge zu sein, wenn das Mobile in Gang gesetzt würde.

### Ist der ersehnte „Immerbeweger“ endlich entdeckt?

Der Landgraf erschien mit nur kleinem Gefolge zu diesem Ereignis. Beßler führte ihn in ein schlichtes Zimmer, in dem sich nichts befand, außer der Maschine. Sie stand an einer Wand, genau gegenüber der Tür, verborgen in einem großen hölzernen Kasten. Dies, wie





Beßler erklärte, um sie den Blicken allzu Wissensdurstiger zu entziehen. Doch zum Beweise ihrer Wirksamkeit habe er dieses große Speichenrad – jedem war es sofort ins Auge gefallen – mit der Maschine mechanisch verbunden. Er werde das Rad und damit auch das Mobile in Betrieb setzen. Beßler griff in die Speichen, einmal, zweimal und noch einmal. Dann drehte sich das Rad, fast geräuschlos.

Man wartete. Minuten vergingen. Der Landgraf ließ sich einen Stuhl bringen und blickte gebannt auf das sausende Rad, das nicht aufhören wollte, sich zu drehen. Schließlich, nach einer guten Stunde, ordnete er an, ein Guckfenster in die Tür zu machen und ansonsten das Zimmer zu verschließen und zu versiegeln.

Fortan hatte Beßler keine leiblichen Sorgen. Er konnte sich Diener halten und eine Kutsche leisten. Viele kamen eigens nach Kassel gerüstet, um einen Blick in das geheimnisvolle Zimmer zu werfen. Und der Landgraf bescheinigte dem Erfinder mit „fürstlich wahren Worten“, daß seine Maschine ein „ohne jegliche Gewalt und Hülfe von selbst laufendes Mobile“ sei.

Noch nach sechs Wochen lief das Rad wie am ersten Tag. Beßler, durch diesen Erfolg ermutigt, befaßte sich bereits mit neuen Plänen, als unverhofft ein peinliches Ereignis eintrat. Wie so häufig, drängten sich Neugierige vor dem versiegelten Zimmer, als eine Tür aufflog, ein Frauenzimmer auf den Flur gestürzt kam, sich hinter den Besuchern zu verbergen suchte und schrie: „Rettet mich! Er wird mich sonst erschießen! Das hat er geschworen!“

Das Wundermobile stand still. Die Dienstmagd, die es wochenlang von Nebenzimmer aus in Gang gehalten hatte, verspürte keine Lust, bis an ihr Lebensende in diesem Zimmer zu hocken und eine Kurbel zu drehen.

Der Scharlatan Beßler stürzte zurück in das Nichts, aus dem er aufgetaucht war.

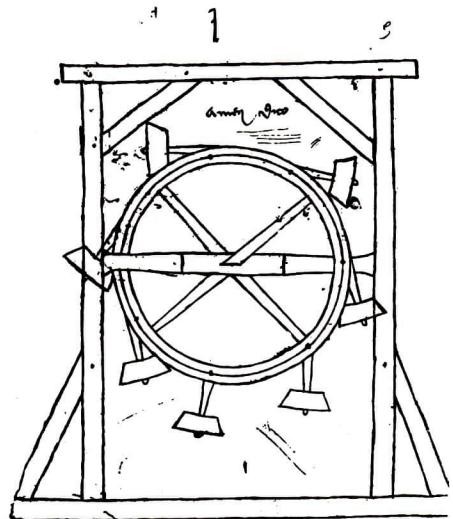
So oder ähnlich mag es sich mit dem „Rad von Kassel“, das seinerzeit alle Welt in Atem hielt, zugetragen haben. Doch aus welchem Grund konnten der Landgraf und seine Beamten, auch die vielen anderen Bewunderer des Mobiles auf diesen Schwindel hereinfallen? Sie waren doch nicht allesamt Dummköpfe.

## Der Traum vom Perpetuum mobile

Zu jener Zeit wurde nach dem Perpetuum mobile ernsthaft geforscht, einer phantastischen Maschine, die, einmal in Gang gesetzt, für alle Zeit aus „eigener Kraft“ in Bewegung bleibt. Darüber hinaus sollte sie Arbeit verrichten, zum Beispiel Wasser in die Höhe pumpen, eine Drechselbank oder einen Wagen antreiben. Nicht nur Betrüger entwarfen Pläne für Perpetuum mobiles. Auch tüchtige Techniker und Erfinder wollten diese Maschine bauen.

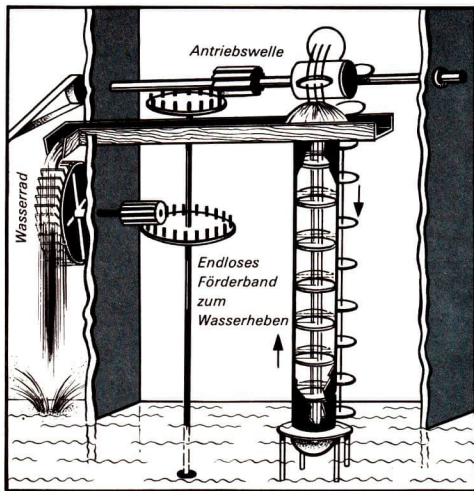
Aus welchem Grunde sollten also die Zeitgenossen Ernst Elias Beßlers daran zweifeln, daß die ersehnte Wundermaschine endlich geschaffen war? Sie konnten nicht ahnen, was heute für jeden Techniker selbstverständliches Grundwissen ist, daß nämlich keine Maschine mehr Energie abgeben kann, als man ihr zuführt. Denn damals war über das Wesen der Energie und der Energieumwandlung fast nichts bekannt.

So ist es kein Wunder, daß Akademien und Patentämter mit Vorschlägen für Perpetuum

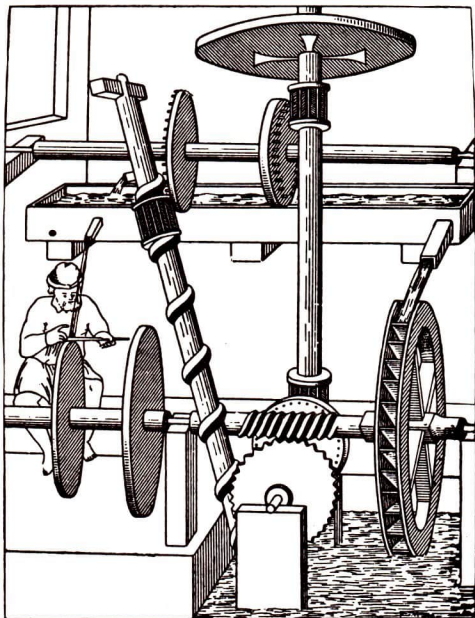


*Placer les 6 fixer maniere de faire un - avec une roue  
par le poids des bras et en faire tourner par toutes manieres  
par les engins.*

Entwurf zu einem Perpetuum mobile mit beweglichen Hämern, um 1235



Dieses Perpetuum mobile sollte folgendermaßen funktionieren: Fallendes Wasser dreht ein Wasserrad sowie eine Antriebswelle; zugleich wird das Wasser wieder in die Höhe gefördert.



Entwurf zu einem Perpetuum mobile aus dem Jahre 1620

mobiles förmlich überflutet wurden. Doch wie raffiniert ausgetüftelt diese Selbstbeweger auch konstruiert waren – keiner wollte funktionieren. Auf Grund dieser Erfahrung faßte im Jahre 1775 die Französische Akademie einen bedeutsamen Beschluß. Sie erklärte, daß ein Perpetuum mobile nicht herzustellen sei und sie von nun an keine Pläne für Immerbeweger mehr annehme.

Die Frage jedoch, *warum* eine solche Maschine nicht möglich ist, konnten die Akademiemitglieder nicht beantworten. Erst im 19. Jahrhundert gelang es, dieses Problem zu lösen. Beteiligt daran waren der deutsche Forscher Julius Robert von Mayer und der englische Physiker James Prescott Joule.

## Ein Arzt macht eine grundlegende Entdeckung

Robert Mayer wurde im Jahre 1814 in Heilbronn als Sohn eines wohlhabenden Apothekers geboren. Schon frühzeitig bestimmte der Vater, sein Sohn habe Medizin zu studieren. Den zehnjährigen Robert jedoch fesselte die Konstruktion der Heilbronner Wassermühlen weit mehr als das Studium der lateinischen Sprache. Er bastelte Modelle von Wasserrädern und probierte sie in einem schmalen, in den Neckar fließenden Bach aus. Bei dieser Beschäftigung kam auch er auf die Idee, ein Perpetuum mobile zu bauen, was ihm natürlich nicht gelang.

Nachdem Mayer sein Medizinstudium beendet hatte, unternahm er als Schiffarzt eine Reise nach Java, einer der im Indischen Ozean gelegenen Sundainseln. Auf dieser Fahrt machte er eine Reihe von Beobachtungen, die ihn zum Nachdenken zwangen. So bemerkte er zum Beispiel, daß die vom Sturm gepeitschten Wogen eine höhere Temperatur haben als die ruhige See. Hatte etwa mechanische Bewegung Wärme hervorgebracht? Und wenn er seine Patienten in den Tropen zur Ader ließ, fiel ihm auf, daß deren Venenblut nicht die gewohnte dunkle Farbe hatte, sondern eine hellrote.

Robert Mayer wußte, daß zu jeder Lebensfunktion Energie benötigt wird. Der menschliche Körper gewinnt die zum Leben nötige Energie aus der Nahrung, und zwar durch einen Verbrennungsprozeß, der im Organismus vorstatten geht. Das hellrote Venenblut



Robert Mayer  
(1814–1878)



wies darauf hin, daß in den Tropen der menschliche Organismus für diesen Prozeß weniger Wärmeenergie verbraucht als in Gegenden gemäßigten Klimas oder gar in nördlichen Regionen. Beim Nachdenken über diese Beobachtungen stellte er sich eine Aufgabe, die sein ganzes späteres Leben bestimmen sollte: das Problem der Energieumwandlung zu erforschen. Zunächst wollte er die Beziehung zwischen mechanischer Arbeit und Wärme untersuchen.



Robert Meyers Wohnhaus in Heilbronn

Nach seiner Rückkehr in die Heimat ließ sich Robert Mayer als Arzt in Heilbronn nieder. Seine Praxis ließ ihm wenig freie Zeit für physikalische Studien. Dennoch konnte er einige Aufsätze abfassen, in denen er seine Gedanken zur Energieumwandlung darlegte. Mit aller Klarheit sprach er darin das Gesetz der Energieerhaltung aus, nur verwendete er – wie es zu seiner Zeit gebräuchlich war – für den Begriff *Energie* das Wort *Kraft*: „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. Im ewigen Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort wie hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft.“

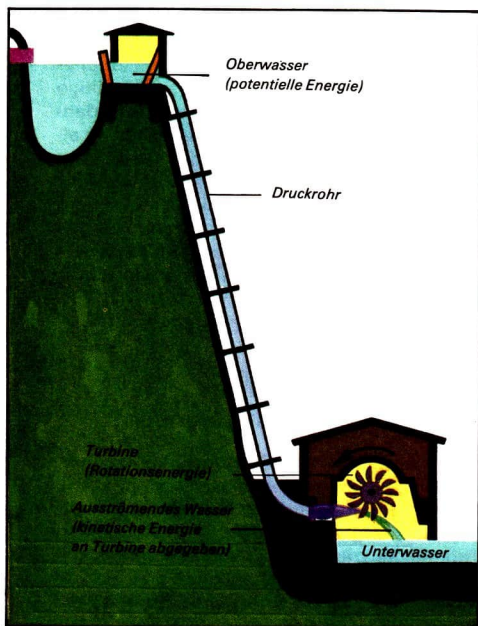
## Das Grundgesetz aller Naturbewegung ist gefunden

Was hier Robert Mayer mit ehrfürchtig anmutender Schlichtheit niederschrieb, gilt als eines der grundlegendsten Naturgesetze überhaupt: Energie ist gespeichertes Arbeitsvermögen. Sie tritt in verschiedenen Formen auf, deren wichtigste die chemische Energie, die Wärmeenergie, die elektrische Energie, die Kernenergie und mechanische Energieformen sind. Energie läßt sich weder aus dem Nichts erzeugen, noch läßt sie sich vernichten. Man kann lediglich die in der Natur vorkommenden Energiequellen nutzen, indem man eine Energieform in eine andere umwandelt.

Bei einem Wasserkraftwerk zum Beispiel strömt gestautes Wasser unter gewaltigem Druck gegen die Schaufeln der Turbinen und versetzt diese in rasche Drehung. Die Turbinen treiben Stromerzeuger an. Der elektrische Strom wird durch Kabel in Betriebe und Wohnungen geleitet und versorgt Glühlampen, Elektroöfen und Elektromotoren mit Energie. Die mechanische Energie des gestauten Wassers, auch potentielle Energie genannt, wurde in kinetische Energie, in Bewegungsenergie umgewandelt. Diese erzeugte elektrische Energie, und der Verbraucher gewinnt daraus Licht, Wärme und mechanische Bewegung.

Doch auch das Stauen des Wassers erforderte Energieaufwand. Damit Wasser in das Staubecken zu Tal fließen kann, muß es zuvor auf hochgelegenes Gelände gebracht worden sein, eine Arbeit, welche die Sonne verrichtet. Denken wir an den Wasserkreislauf.





Die Energieumwandlung bei einem Wasserkraftwerk mit Pelton-turbine; schematische Darstellung

Robert Mayers Worte sagen noch weit mehr aus. Jeder Vorgang und jede Bewegung erfordert den Einsatz von Energie – das Wachsen einer Pflanze, der Sprung eines Rehes, das Fallen eines Blattes vom Baum, der Regen und das Gewitter, das Heben einer noch so geringen Last, das Schwingen eines Hammers, das Tönen einer Glocke, auch ein Blick auf das Zifferblatt der Uhr...

## Tragik und Triumph eines Forscherlebens

Robert Mayer konnte mit seinem Energiesatz als erster deuten, warum es keine Maschine geben kann, die aus dem Nichts Energie gewinnt. Und daß daher ein Perpetuum mobile nicht zu verwirklichen ist.

Die wissenschaftliche Welt allerdings schenkte dieser bahnbrechenden Entdeckung zunächst keinerlei Beachtung. Im Gegenteil, Robert Mayer wurde wegen seiner Ideen verspottet und sogar angefeindet. Der

enttäuschte und tief verletzte Forscher verfiel in eine schwere Gemütskrankheit und mußte schließlich in eine Nervenheilanstalt eingeliefert werden. Zu jener Zeit wurden Patienten in derartigen Kliniken von Ärzten und Pflegern äußerst brutal behandelt. Auch als sich Robert Mayers seelischer Zustand weitestgehend gebessert hatte, wurde er wochenlang in eine Zwangsjacke geschnürt, in einen Zwangsstuhl geschnallt oder auf andere Weise gemartert. Bis es ihm nach 13 Monaten endlich gelang, seine Befreiung zu erzwingen.

Erst spät wurde Robert Mayer als verdienstvoller Wissenschaftler anerkannt. Er verdankte dies vor allem dem Engländer John Tyndall. Mutig und uneigennützig trat dieser geachtete Physiker öffentlich für Robert Mayer ein. Professor Tyndall war zu jener Zeit Direktor der *Royal Institution*, einer wissenschaftlichen Einrichtung in London. Im Jahre 1862 sprach Tyndall vor vielen namhaften Wissenschaftlern, die aus mehreren Ländern zu einer bedeutenden Ausstellung in die britische Hauptstadt gekommen waren. In einem glanzvollen Festvortrag legte er die neuesten Erkenntnisse dar, die man damals über das Wesen der Energie und über die Energieumwandlung gewonnen hatte. Dann überraschte er seine Zuhörer mit der Bemerkung, alles das, was er soeben ausgeführt habe, seien Forschungsergebnisse des Heilbronner Arztes Robert Mayer.

„Wenn wir“, schloß Tyndall seinen Vortrag, „die äußeren Umstände von Robert Mayers Leben und die Zeit, in welcher er arbeitete, bedenken, so müssen wir staunen über das, was er vollbracht hat. Dieser geniale Mann arbeitete ganz in der Stille. Nur von der Liebe zu seinem Gegenstand erfüllt, gelangte er zu den wichtigsten Ergebnissen, allen anderen voraus, deren ganzes Leben der Naturforschung gewidmet war.“

So erfuhr Robert Mayer noch zu seinen Lebzeiten die verdiente Würdigung seiner Gedankenarbeit. Der nun hochgeachtete, mit Medaillen und Orden dekorierte Wissenschaftler starb im Jahre 1878.

## Das mechanische Äquivalent der Wärme

Im Jahre 1851 war eine besonders wichtige Schrift Robert Meyers erschienen; sie trug den Titel *Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme*. Das Wort Äquivalent kommt aus dem Lateinischen und bedeutet das Entsprechende. Mayer legte darin dar, welcher Betrag an mechanischer Arbeit oder mechanischer Energie einer bestimmten Wärmemenge entspreche. Anders ausgedrückt, wieviel Kalorien an Wärmeenergie entstehen, wenn man zum Beispiel die mechanische Arbeit von einem Kilopondmeter vollständig in Wärme umwandelt. Was sind Kalorien? Und was bedeutet Kilopondmeter?

Die Kalorie ist eine Einheit, mit der man früher die Wärmemenge gemessen hat. Und zwar ist 1 Kalorie etwa die Wärmeenergie, die 1 Gramm Wasser aufnimmt, wenn seine Temperatur um 1 Grad Celsius oder 1 Kelvin ansteigt. 1 000 Kalorien nannte man 1 Kilokalorie. – Das Kilopond hat man lange Zeit hindurch als eine Kräfteinheit verwendet. Mit

dem Kilopondmeter wurden sowohl die mechanische Arbeit als auch die mechanische Energie gemessen. Hob man zum Beispiel einen Körper, dessen Gewichtskraft 1 Kilopond betrug, 1 Meter hoch, so verrichtete man an ihm eine Arbeit von 1 Kilopondmeter. Und in diesem gehobenen Körper war dann eine potentielle Energie von 1 Kilopondmeter gespeichert.

Gegenwärtig sind andere Einheiten gesetzlich vorgeschrieben als jene, die zur Zeit Robert Meyers verwendet wurden.

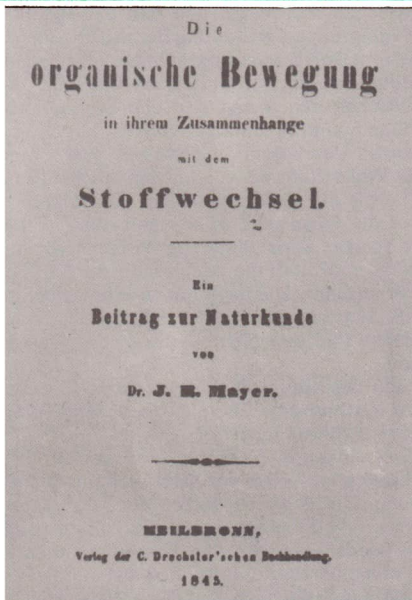
Robert Mayer war kein Physiker, hatte die schwierige Kunst des Experimentierens nicht erlernt. Er verstand sich weniger darauf, mit physikalischen Geräten umzugehen oder gar neue Versuchsanordnungen zu ersinnen und die dazu gehörenden Apparate zu erfinden. Doch er konnte äußerst scharfsinnige Schlüsse ziehen. Und so stellte er einen reinen Gedankenversuch an, wobei er sich auf bereits bekannte physikalische Forschungsergebnisse stützte. Mit Hilfe dieser Überlegungen errechnete Robert Mayer annähernd richtig denjenigen Betrag an mechanischer Energie, der einer Wärmemenge von einer Kilokalorie gleichwertig ist, das mechanische Wärmeäquivalent. Gemeint ist die zahlenmäßige Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit. Wir werden noch Genaueres darüber erfahren.

## Der Rührtopf des James Prescott Joule

Physiker sind stets bemüht, wissenschaftliche Vermutungen durch Experimente entweder zu bestätigen oder zu widerlegen. Denn jeder wissenschaftliche Versuch ist eine Frage an die Natur; er beantwortet, ob eine Überlegung richtig ist oder ob sie sich als falsch erweist.

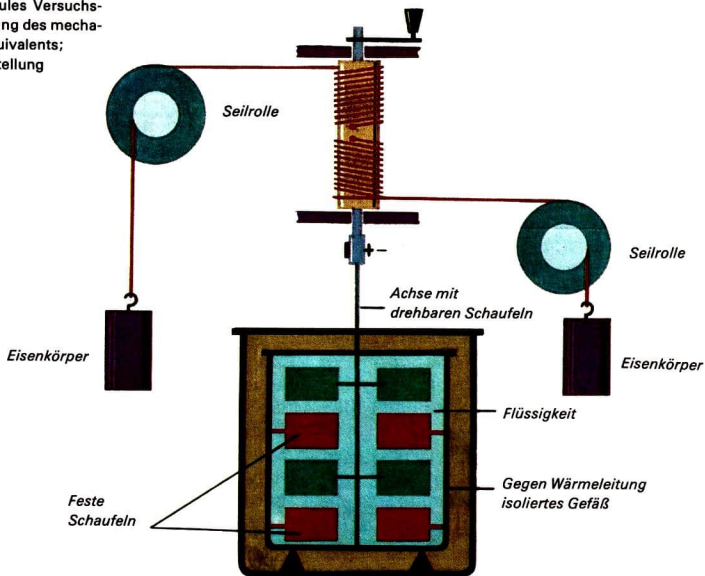
Ein sehr praktisch denkender Physiker, der leidenschaftlich gern experimentierte und dieses meisterhaft beherrschte, war James Prescott Joule.

Auch ihn beschäftigte das Problem der Energieumwandlung. Durch eine große Anzahl von Versuchen gelangen ihm wichtige Entdeckungen. Er hatte ein Instrument erfunden, das sich zur genauen Messung elektrischer Ströme verwenden ließ und mit dem er den elektrischen Strom näher untersuchte. Eines



Titelblatt einer der wichtigsten Schriften Robert Meyers

James Prescott Joules Versuchsgerät zur Bestimmung des mechanischen Warmaquivalents; schematische Darstellung



Tages beobachtete er bei einem Versuch, daß sich ein dünner Metalldraht stark erwärmte, als dieser von elektrischem Strom durchflossen wurde. Damit hatte er entdeckt, daß sich elektrische Energie in Warmenergie umwandeln läßt.

In vielen weiterführenden Versuchen, die Joule ersann, erkannte der Forscher, daß sich mechanische, elektrische, chemische Energie und Warmenergie ineinander umwandeln lassen. Auch er stellte sich die Aufgabe, das mechanische Warmaquivalent zu bestimmen. Doch im Gegensatz zu Robert Mayer ermittelte er den Betrag des Warmaquivalents durch ein berühmt gewordenes Experiment.

Herzstück seiner Versuchsanordnung war ein gegen Wärmeabgabe sorgfältig isoliertes Gefäß, das Flüssigkeiten aufnehmen konnte. Es war doppelwandig, mit einem luftverdünnten Zwischenraum. Dieser verminderte die Wärmeleitung: weder gab die Flüssigkeit viel Wärme nach außen ab, noch konnte sie Wärme aus der äußeren Umgebung aufnehmen.

Joule hatte dieses Gefäß mit einem Rührwerk ausgestattet. Rotierende Flügel, an einer senkrechten Welle befestigt, drehten sich zwi-

schen feststehenden Flügeln. Der Abstand zwischen den festen und den beweglichen Flugelgruppen war gering bemessen. Bei gefülltem Gefäß wurde die Drehung des Flügelrades infolge der Flüssigkeitsreibung, die zwischen den festen und den beweglichen Flügeln auftrat, stark behindert.

Joules Überlegung leuchtet ein: Wenn man die Welle dreht, so wendet man mechanische Energie auf. Diese wird über das Rührwerk auf die Flüssigkeit übertragen, und da die Flüssigkeit dabei in heftige Wirbelbewegung gerät, muß sich die Temperatur der Flüssigkeit erhöhen. Die gewonnene Wärmemenge läßt sich aus der Art der Flüssigkeit, deren Masse und dem Temperaturanstieg errechnen.

Doch wie wollte der erfinderische Physiker die mechanische Energie, die er dem Rührwerk zuführte, messen?

Zwei sinkende Eisenstücke versetzten das Flügelrad mit Hilfe von Schnurzugen in Drehung. Die Fallhöhe betrug etwa 1,7 Meter. Waren die Stücke abgesunken, konnte Joule sie wieder emporwinden. Ein sinnreicher Mechanismus sorgte dafür, daß dabei das Flügelrad in Ruhe blieb. Auf diese Weise konnte der Versuch so oft wiederholt werden, bis



sich eine meßbare Temperaturerhöhung ergab.

Zunächst experimentierte Joule mit Wasser. Zwanzigmal ließ er die Eisenstücke ablaufen. Danach war die Temperatur des Wassers um etwa 0,3 Kelvin angestiegen. Um jetzt die dafür aufgewendete mechanische Arbeit zu ermitteln, brauchte Joule lediglich die Gewichtskraft beider Stücke mit dem zwanzigfachen Fallweg zu multiplizieren. Denn bekanntlich ist Arbeit gleich dem Produkt aus Kraft und Kraftweg.

Allerdings waren zu Lebzeiten Joules die in neuerer Zeit gebräuchlichen Maßeinheiten noch nicht eingeführt. Im Jahre 1843 schrieb der Forscher: „Die Arbeit, verrichtet von einem Pfund über 772 Fuß in Manchester, wird, wenn sie zum Erzeugen von Wärme durch Reibung in Wasser verwendet wird, die Temperatur von einem Pfund Wasser um ein Grad Fahrenheit erhöhen.“ – Masse sowie Gewichtskraft gab Joule also in englischen Pfund an, den Kraftweg in englischen Fuß, und die Temperatur maß er nach der damals in England üblichen Fahrenheit-Skala.

Joule stellte zahlreiche Experimente mit seinem Rührgefäß an, wobei er außer Wasser auch Quecksilber verwendete. Bei der Auswertung seiner vielen Versuche errechnete er einen Mittelwert. Dieser besagte, daß mechanische Energie von 425 Kilopondmetern erforderlich sei, um eine Wärmemenge von 1 Kilokalorie zu erhalten. Damit hatte Joule – als erster durch ein Experiment – das mechanische Wärmeäquivalent annähernd richtig bestimmt. Und darüber hinaus hatte er Robert Meyers Gedankenversuch glänzend bestätigt.

Später hat man das Umrechnungsverhältnis von mechanischer Energie und Wärmeenergie sehr genau ermittelt. Der aufgerundete Zahlenwert des mechanischen Wärmeäquivalents beträgt  $1 \text{ Kilokalorie} = 427 \text{ Kilopondmeter}$ .

Das bedeutet in Worten: Die gleiche Energie, welche die Temperatur 1 Kilogramms Wasser um 1 Kelvin erhöht, wäre theoretisch in der Lage, zum Beispiel einen Körper von 1 Kilopond Gewicht um 427 Meter zu heben. Andererseits, wenn man mechanische Energie von 427 Kilopondmetern – etwa durch Gleitreibung – vollständig in Wärme umwandelt, so erhält man eine Wärmemenge von 1 Kilokalorie.

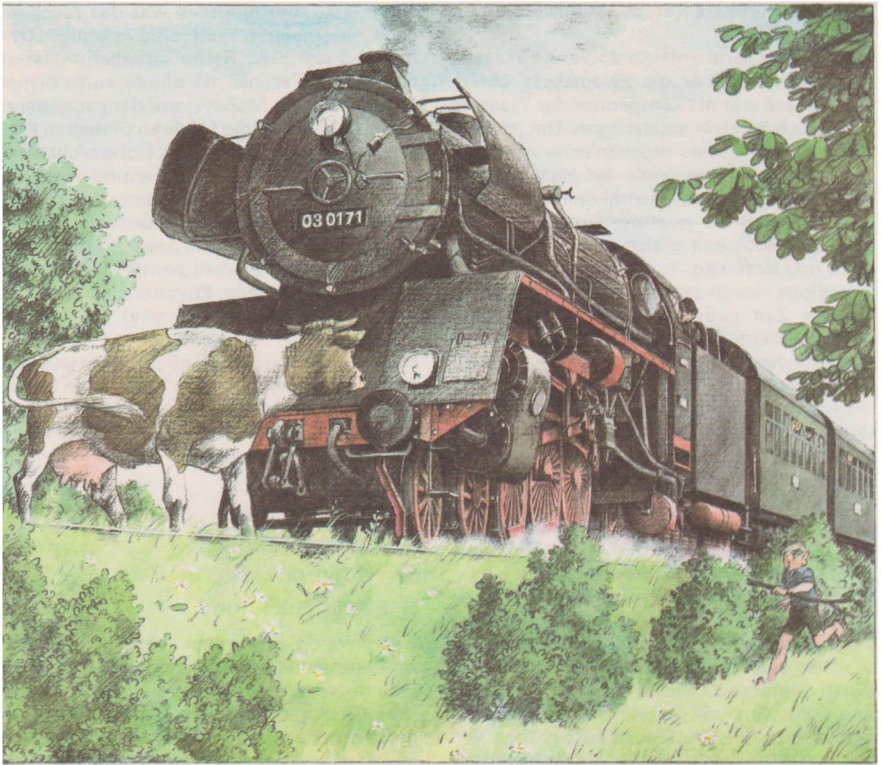
Über 150 Jahre hindurch war das mechanische Wärmeäquivalent eine wichtige Umrechnungsgröße. Heute arbeiten Wissenschaft und Technik mit einem einheitlichen internationalen Maßsystem, dem sogenannten SI. Darin sind die früheren Einheiten Kilopond, Kilopondmeter und Kalorie nicht mehr enthalten. Da Wärmeenergie und mechanische Energie nur verschiedene Energieformen sind, kann man sie in derselben Einheit angeben, zum Beispiel in *Joule* (Kurzzeichen: J). Diese Energieeinheit wurde zu Ehren des genialen englischen Physikers so benannt. Andere Energieeinheiten sind die Wattsekunde und das Newtonmeter.

Das mechanische Wärmeäquivalent ist damit überflüssig geworden. Die Leistungen Robert Meyers und James Prescott Joules für die Wissenschaft werden dadurch jedoch in keiner Weise geschmälert.

## Der Wirkungsgrad – die „Visitenkarte“ der Kraftmaschine

Gegenwärtig umrunden ständig viele Forschungsatelliten in großer Höhe den Erdball. Eine Reihe von ihnen, die sich auf erdnahen Umlaufbahnen befinden, haben eine begrenzte Lebensdauer. Nach einer gewissen, meist vorausberechenbaren Zeit tauchen sie mit sehr hoher Geschwindigkeit in die irdische Lufthülle ein. Die dichteren Schichten der Erdatmosphäre bremsen ihre Geschwindigkeit stark ab, ihre Außenhaut wird dadurch aufgeheizt, und sie verglühen wie Sternschnuppen. Ihre Bewegungsenergie – auch kinetische Energie genannt – hat sich in Wärmeenergie umgewandelt.

Auch an einfachen Versuchen und zahlreichen Vorgängen des täglichen Lebens ist zu beobachten, daß sich mechanische Energie durch mechanische Arbeit in Wärme überführen läßt. Schlägt man mit einem Hammer mehrmals kräftig auf einen Bleiwürfel, so erwärmt sich das Blei. Reibt man die Handflächen unter kräftigem Druck rasch gegeneinander, spürt man, daß sie sofort warm werden. Achsen, die nicht hinreichend geölt sind, laufen sich heiß. Beim Aufpumpen eines Fahrradschlauches werden die Luft, die Luftpumpe und das Ventil heiß. Auch bei jeder



Zerspanungsarbeit, zum Beispiel beim Drehen, Bohren und Schleifen, erhitzen sich die Werkzeuge sowie die Werkstücke und müssen daher während des Bearbeitungsprozesses gekühlt werden.

Es ist also gar nicht schwierig, kinetische Energie in Wärmeenergie zu überführen. Ganz anders verhält es sich, will man Wärme dazu zwingen, mechanische Arbeit zu verrichten, will man also Wärmeenergie in Bewegungsenergie umwandeln.

Denken wir uns einen beladenen Güterzug, der auf freier Strecke unterwegs ist. Seine große Masse wurde von der Lokomotive auf eine hohe Geschwindigkeit gebracht. Damit hat der Zug einen großen Betrag an kinetischer Energie erhalten. Angenommen, der Lokomotivführer sei infolge einer Gefahr zu einer Schnellbremsung gezwungen. In solch einem Fall drücken mit großer Kraft Brems-

klötze gegen sämtliche Räder des Zuges. Sie „vernichten“ die Bewegung, indem sie kinetische Energie in Reibungswärme umwandeln, wobei auch Zerspanungsarbeit auftritt. Bei jedem Bremsvorgang verschleifen nämlich die gegeneinanderreibenden Teile.

Hat der Zug angehalten, ist die Bewegungsenergie zum überwiegenden Teil in Wärme umgewandelt. Die Bremsklötze und die Räder haben eine höhere Temperatur angenommen. Doch um nichts in der Welt gelänge es, die so entstandene Wärme wieder in Bewegungsenergie zurückzuwandeln. Zwar geht die Wärme nicht verloren, doch kann sie nicht genutzt werden. Sie wird auf die Umgebung übertragen, auf die Schienen und die Luft.

Will man aus Wärmeenergie nutzbare mechanische Arbeit gewinnen, so bedarf es dazu hochkomplizierter Mechanismen. Es sind die



Wärme­kraft­ma­schin­en ge­meint, die Kol­ben­dampf­ma­schin­en und die Dampf­tur­bin­en, die Gas­mo­to­ren und die An­trie­be für Kraft­fahr­zeu­ge und Schif­fe, also Zwei­takt- und Vier­takt­mo­to­ren sowie Dies­el­mo­to­ren. Auch in den Strahl­trieb­wer­ken für die Luft­fahrt und in den Ra­ket­en­trieb­wer­ken, bei­spiels­wei­se für die Raum­fahrt, wird Wär­me­en­er­gie in me­chanische En­er­gie um­ge­wandelt.

Alle diese Kraft­ma­schin­en und Trieb­wer­ke ha­ben ei­nes ge­mein­sam: Die not­wen­di­ge Wär­me­en­er­gie ge­winnt man durch Ver­bren­nung fes­ter, flüs­si­ger oder gas­för­mi­ger Brennstoffe. Doch die so frei­ge­setz­te Wär­me läßt sich nur zu ei­nem klei­nen Teil als me­chanische Ar­beit nut­zen.

Von 100 Ki­lo­gramm Kohle, die der Hei­zer ei­ner Kol­ben­dampf­lo­ko­ti­ve in die Feu­er­buch­se schaufelt, wer­den etwa 90 bis 94 Ki­lo­gramm nutz­los ver­brannt. Das hat meh­rere Grün­de. Ein gro­ßer Teil der Ver­bren­nungs­wär­me ent­weicht mit den Ver­bren­nungs­gasen durch den Schorn­stein. Der Lo­ko­ti­v­kessel strahlt Wär­me an die ihn um­ge­ben­de Luft ab. Die En­er­gie, die in dem hoch­ge­spann­ten Dampf ge­speich­ert ist, kann nicht rest­los aus­ge­nutzt wer­den; wenn der Dampf in den Zylindern sei­ne Ar­beit verrich­tet hat, ent­weicht er, ob­wohl er noch ein ge­wis­ses Ar­beits­ver­mö­gen hat.

Nicht alle Kraft­ma­schin­en sind der­art ver­schwen­de­risch mit En­er­gie wie die Kol­ben­dampf­lo­ko­ti­ve. An­dere ar­bei­ten wei­taus en­er­giespa­ren­der. Ein Maß da­für, wie wirt­schaf­tlich Kraft­ma­schin­en oder Trieb­wer­ke ar­bei­ten, ist der Wirkungs­grad. Er gibt das Ver­hält­nis von Nutzen zu Auf­wand an.

Auf fol­gen­de Wei­se wird der Wirkungs­grad er­mit­telt: Man mißt ge­nau die me­chanische

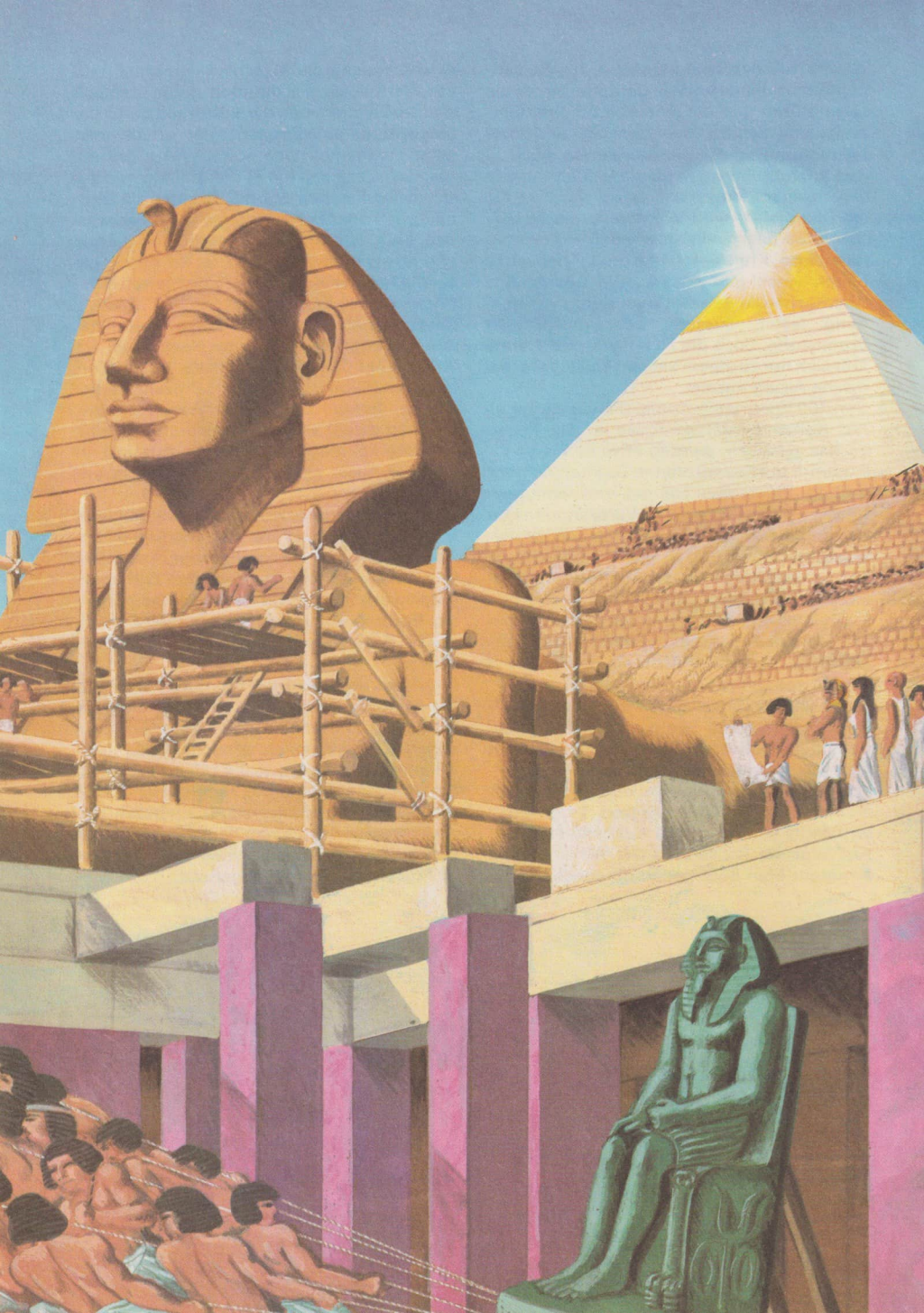
Ar­beit, welche die Ma­schin­e verrich­tet, und die Wär­me­en­er­gie, die man da­für „zah­len“ mußte. Di­vidiert man die Nutzar­beit durch die auf­ge­wen­de­te Wär­me­en­er­gie, er­hält man ei­nen Quo­ti­en­ten. Das ist der Wirkungs­grad. Als For­mel­zei­chen hat er den klei­nen griechischen Buchstaben Eta ( $\eta$ ). Er kann als De­zi­malbruch oder in Pro­zen­ten an­ge­ge­ben wer­den. Da jede Kraft­ma­schin­e we­ni­ger En­er­gie ab­gibt, als man ihr zu­führt, ist ihr Wirkungs­grad stets klei­ner als 1 be­zie­hungs­wei­se ge­ri­n­ger als 100 Pro­zent.

Die erste mittels Dampf betriebene Ma­schin­e, die der Eng­län­der Thomas New­comen im Jahre 1711 kon­struierte, hatte ei­nen Wirkungs­grad von 0,01. Das ist 1 Pro­zent. Ledig­lich der hundertste Teil der Wär­me­en­er­gie, die man dieser ersten Wär­me­kraft­ma­schin­e zu­führte, konnte ge­nutzt wer­den. Aus un­serer heu­ti­gen Sicht eine unge­heure Ver­schwen­dung.

Doch mit dieser noch plumpen, un­ge­fügigen Ma­schin­e be­gann ja erst das tech­nische Zei­ter­zeitalter. Und fortan wa­ren Er­fin­der, Tech­ni­ker und Wis­sen­schaftler bestrebt, den Wirkungs­grad zu er­hö­hen. Denn der Wirkungs­grad ei­ner Ver­bren­nungs­kraft­ma­schin­e wird durch deren Kon­struk­tion und Ar­beits­wei­se be­stimmt.

Gegen­wärtig zäh­len die Dampf­tur­bin­en und Dies­el­mo­to­ren zu den wirt­schaf­tlich­sten Wär­me­kraft­ma­schin­en. Bei be­son­ders gün­stigen Kon­struk­tionen er­rei­chen sie ei­nen Wirkungs­grad von  $\eta = 0,4$  oder 40 Pro­zent. Ein mächtiger Fort­schritt, ver­gleicht man sie mit New­comens Ma­schin­e. Doch im­mer­hin, ob­wohl diese Ma­schin­en heute als tech­nisch voll aus­ge­reift zu be­trach­ten sind, blei­ben 60 Pro­zent an En­er­gie un­ge­nutzt.





# 3. Der Brunnen im Stein des Königs

Die drei Pyramiden von Gizeh gelten als das älteste der Sieben Weltwunder des Altertums. Sie liegen am Rande der Libyschen Wüste, 8 Kilometer vom Stadtzentrum Kairo entfernt. Die größte unter ihnen, das Grabmal des Gottkönigs Cheops, ist heute 137 Meter hoch; einst war sie 10 Meter höher. Ägyptische Bauleute errichteten sie um 2650 v.u. Z.

Die einzige Energiequelle, die sie beim Bauen einsetzen konnten, war ihre Muskelkraft. Mit Hilfe von Walzen und geneigten Ebenen türmten sie 6,5 Millionen Tonnen Gestein zu diesem gewaltigen Bauwerk auf. Eine technische Leistung, die nur durch den Masseneinsatz von Menschen zu erreichen war. Nicht nur im Altertum – auch in neuerer Zeit blieb über viele Jahrhunderte die Muskelkraft von Mensch und Tier wichtigste Energiequelle, um Flaschenzüge, Göpel und Treträder in Bewegung zu setzen.

## Kurfürstliche Order für Meister Planer

An einem trüben Herbsttag des Jahres 1562 jagte ein kurfürstlicher Bote sein Pferd durch die Wälder und Schluchten des sächsischen Erzgebirges. Nach langem, anstrengendem Ritt erblickte er die Türme und Mauern der Bergstadt Freiberg. Am Tor fragte er nach dem Haus des Brunnenbauers und Bergbaumeisters Martin Planer. Vor dem stattlichen Fachwerkhause des geachteten Meisters schwang er sich aus dem Sattel, und indem er um Hafer und Wasser für sein Pferd bat, zog er aus der Kuriertasche eine versiegelte Order. Auf Anordnung des Kurfürsten August I. wurde dem Meister Planer befohlen, sich unverzüglich auf die Burg Königstein zu begeben. Dort habe er festzustellen, ob sich in den Fels ein Tiefbrunnen teufen lasse, aus dem die Besatzung der Burg stets ausreichend mit Wasser versorgt werden könne.

Die Burg Königstein stand nahe der böhmischen Grenze am rechten Elbufer hoch über dem Stromtal auf einem mächtigen Sandsteinfels, dem „Stein des Königs“, wie er genannt wurde. Der Felsen stieg an drei Seiten senkrecht auf und war von daher völlig unzugänglich. Nur an der vierten Seite führte ein ziemlich steil ansteigender Weg zum Burgtor. Der Gedanke lag nahe, die Burg zu einer uneinnehmbaren Festung auszubauen. Dies allerdings nicht allein aus Sorge vor böhmischen Angriffen.

Eine Festung, die unbezwingbar war, ließe sich sehr wohl für mehrere Zwecke nutzen. In unruhigen Zeiten fänden hier die sächsischen

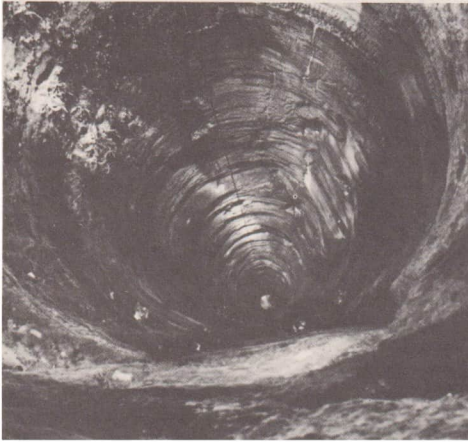
Fürstenfamilien Zuflucht. Ihre Gold-, Silber- und Kunstschatze wären in den Festungsgewölben sicher untergebracht. Und nicht zuletzt: Aus einer Festung, in die nicht einmal eine Katze unerlaubt hineingelangen konnte, würde es einem Staatsgefangenen, etwa einem in Ungnade gefallenen Kanzler, unmöglich gelingen, zu entfliehen.

Solcherart Gedanken begleiteten den Bergbaumeister Planer nicht, als er das Elbtal stromaufwärts reiste. Aber er konnte sich gut vorstellen, daß die Burgbesatzung unter Wassermangel litt. Denn sie mußte sich mit dem begnügen, was sich an Regenwasser in den wenigen Zisternen ansammelte. Unbezwungbar würde der Königstein erst sein, wenn er über eine unerschöpfliche Wasserquelle verfügte.

Martin Planer ließ aus Freiberg und Marienberg erfahrene Bergleute auf den Königstein kommen. Auch Fronarbeiter wurden hinzugezogen. Mit Schlegel und Eisen arbeiteten sich die Knappen in den Berg, Zentimeter um Zentimeter, sechs volle Jahre lang. Dann hatten sie einen 3,5 Meter weiten Schacht 152,5 Meter tief in den Sandstein getrieben. Klares Quellwasser strömte aus zwei seitwärts ausgehauenen Strecken in den Brunnen, täglich 8 Kubikmeter. Das sind 8000 Liter.

Von dieser Menge sollte täglich soviel wie möglich gefördert werden. Dazu benötigte man große Schöpftonnen; jede wurde so bemessen, daß sie 150 Liter faßte. Wenn ein solcher Kübel mit Wasser gefüllt war, hatte er eine Masse von nahezu 200 Kilogramm. Diese schweren Behälter wollte man an jedem Tage recht häufig aus der Tiefe des Brunnens in die Höhe ziehen.





Blick in den Brunnenschacht auf dem Königstein



Das Brunnenhaus der Festung



Das stets bewachte Tor der Festung Königstein, aus der es kaum ein Entrinnen gab

## Auf der Suche nach einer geeigneten Maschinerie

Der Uhrmachermeister Konrad König aus Altenburg wurde vom Kurfürsten beauftragt, ein Wasserhebwerk für den Königsteiner Brunnen zu konstruieren. Nach schlaflosen Nächten, die er grübelnd verbrachte, fertigte der Meister ein Modell an und führte es stolz dem kursächsischen Hof vor. Die Maschine schien erfolgversprechend; es handelte sich um ein Schöpfwerk, das von Pferden, die im Kreis zu gehen hatten, angetrieben werden sollte. Während aber der Uhrmacher noch an seinem Modell bastelte, und dies über einige Jahre, drängte der Kurfürst, von Mal zu Mal ungeduldiger. Schließlich begann man auf dem Königstein – zu voreilig – die Maschine des Uhrmachers zu bauen. 800 Baumstämme waren bereits verarbeitet und in der kurfürstlichen Gießerei schon eiserne Leitungsrohre gegossen worden, als eine Kommission von Staatsbeamten, die der Kurfürst auf den Königstein entsandt hatte, eine enttäuschende Feststellung machte.

Die Maschine, deren Modell gelaufen war wie ein Uhrwerk, funktionierte nicht. Allzu ungefüßig, viel zu klobig waren die hölzernen Maschinenelemente geraten, die Göpel und Wellen, die Zahnräder und Seilzüge. Keine zehn Pferde vermochten dieses Monstrum von Maschine in Bewegung zu setzen.

Der Kurfürst ließ den unglücklichen Erfinder sofort verhaften. Doch später, als sich der fürstliche Zorn gelegt hatte, durfte Konrad König wieder in seine Werkstatt nach Altenburg zurückkehren.

nterdessen hatte man ein Brunnenhaus ertichtet, um das kostbare Naß vor Verunreinigung zu schützen. Doch was half das? Von selbst kam das begehrte Wasser nicht heraus. So wurde beschlossen, eine Antriebsmaschine einzusetzen, die zu jener Zeit weit verbreitet war: das Tretrad.

## Kraftmaschine und – Folterinstrument

Bereits im alten Rom hatte man mit Treträdern Baukrane betrieben, um große Lasten in die Höhe fördern zu können, ebenso im Mittelalter, als sehr große Kirchenbauten errichtet wurden. Die Häfen der Hansestädte ver-





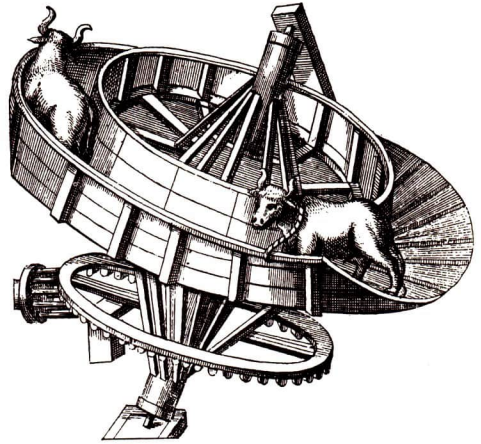
Legendes Tretrad, wie es einst im Bergbau eingesetzt wurde

fügten über Tretrane, die zum Beladen und Löschen der Schiffe dienten. Treträder wurden auch verwendet, um aus Bergwerksschächten Grundwasser zu fördern, Mahlwerke anzutreiben oder die Blasebälge einer Schmiede.

Das Tretrad hatte die Form einer großen hölzernen Trommel, deren Durchmesser einige Meter betragen konnte. Schwere, balkenartige Speichen verbanden das Rad mit einer starken Welle, die zum Antrieb einer Winde oder eines Zahnradgetriebes in Drehung versetzt werden sollte. Als lebende Energiespender mußten Tiere, viel häufiger jedoch Menschen in diesen Treträdern laufen. Denn Vieh war kostbarer als ein Leibeigener oder Strafgefangener; es mußte ja mit klingender Münze bezahlt werden.

Hier und da, zum Beispiel in einigen alten Hansestädten, sind Tretradantriebe als technische Denkmale erhalten geblieben. Wagt man sich in ein solches Laufrad hinein und versucht, an der gewölbten Innenwand aufzusteigen, so setzt sich die mächtige Maschine ächzend in Bewegung. Dies wird durch die Gewichtskraft des menschlichen Körpers verursacht. Soll das Rad im dauernden Umlauf bleiben, so ist man gezwungen, ständig auf der Stelle zu treten.

Die Lauftrommeln waren unterschiedlich breit, je nachdem, wie viele Menschen nebeneinander zu gehen hatten, damit eine be-



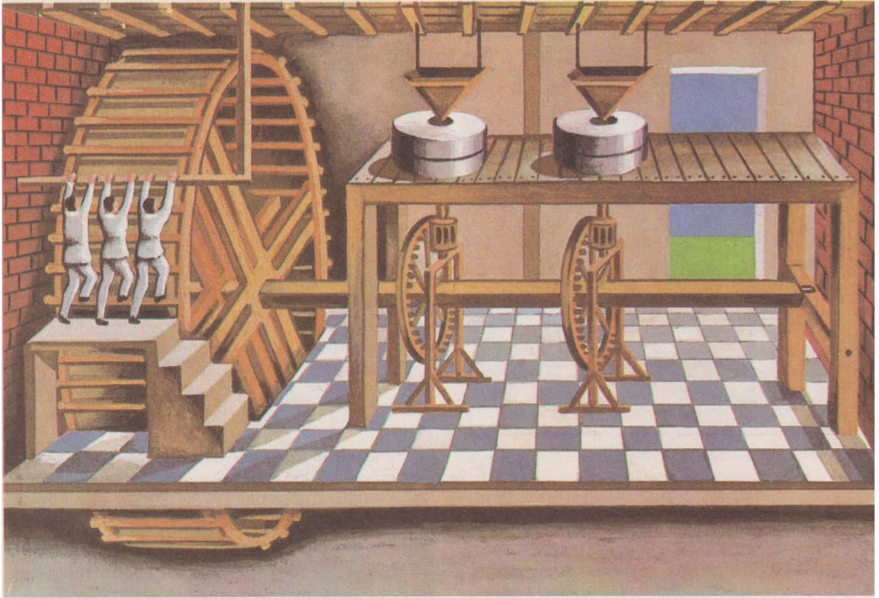
Von zwei Ochs angetriebenes Tretrad

stimmte Maschinenleistung erzielt werden konnte. Entsprechend dem Durchmesser des Rades mußte ein jeder 30 bis 90 Schritte in der Minute laufen. Die Arbeit in den Treträdern war unvorstellbar anstrengend und kam einer Folter gleich. Noch um 1800 – James Watt hatte 25 Jahre zuvor seine erste Dampfmaschine gebaut – waren in mehr als fünfzig englischen Gefängnissen Treträder in Betrieb. Und aus einem französischen Zuchthaus wurde bekannt, daß die zur Tretmühle Verdammten nach fünf bis sechs Monaten an Bluthusten zugrunde gingen.

## Die Tretmühle im Berliner „Ochsenkopf“

Es gab auch Treträder, die nicht von innen getreten wurden, sondern von außen. Hier hatte man die äußere Mantelfläche der Lauftrommel mit einer Anzahl Sprossen oder Stufen versehen. Die Arbeitenden klammerten sich an eine waagerechte Stange, an der sie Halt fanden; zugleich traten sie auf die Sprossen, um diese durch ihr Körpergewicht nach unten zu drücken.

Ein derartiges Tretrad war noch zu Beginn des 19. Jahrhunderts im Berliner städtischen Arbeitshaus in Betrieb. Das düstere Gemäuer stand am Alexanderplatz und wurde im Volksmund der „Ochsenkopf“ oder das „Graue



Eine Tretmühle des 17. Jahrhunderts

Elend“ genannt. Es war ein Alptraum der Berliner Armen. Aufgegriffene Bettler, Landstreicher und Arbeitsscheue wurden dorthin eingeliefert, ebenso aber auch schuldlos in Not geratene Berliner, die obdachlos geworden waren.

„Der Ochsenkopf war mehr gefürchtet“, berichtet ein Chronist jener Zeit, „als ein Zuchthaus oder Gefängnis, denn in ihm wurden die Arbeitsscheuen zur ‚Tretmühle‘ verurteilt – einer schweren, anstrengenden Arbeit, die in stundenlangem Treppensteigen und der Knute des Aufsehers bestand. Durch Treten der Stufen wurde nämlich die Mühle in Bewegung gesetzt, und da Treppensteigen bekanntlich eine anstrengende Arbeit ist, so haben dort wohl viele den Keim zur Schwindsucht bekommen oder befestigt. Es war eine grausame, der Tortur ähnliche Erfindung, die dort in Betrieb und in Anwendung war.“

Die kräftezehrende, eintönige Tretarbeit war eine Marter für die Unglücklichen, die diese Maschinen in Bewegung halten mußten, gleich, ob sie es freiwillig gegen ein karges Entgelt taten oder als Fronarbeiter dazu gezwungen wurden. Zugleich jedoch blieb das

Tretrad über Jahrhunderte hinweg eine notwendige und wichtige Antriebsmaschine, wichtiger noch als Wasserrad und Windmühle. Man konnte es überall und zu jeder Jahreszeit einsetzen, auch dort, wo Wasser- und Windkräfte fehlten oder versagten.

## Die Wasserhebwerke auf dem Königstein

Für den Königsteiner Brunnen wurde eine Antriebsmaschine benötigt, die stetig und zuverlässig arbeiten konnte. Damals vermochte dies nur ein Tretrad. An Antriebskräften sollte es nicht fehlen. Viele, allzu viele Menschen lebten im kursächsischen Land, die sich niemals satt essen konnten. Doch wer sich an dem überreichen Wildbestand des Kurfürsten vergriff, wurde zur Zwangsarbeit verurteilt. Ebenso streng verfuhr man mit allen, die umstürzlerischen Ideen nachgingen.

Nach einjähriger Bauzeit war das Wasserhebwerk fertiggestellt. Das Tretrad hatte den ungewöhnlich großen Durchmesser von 5 Metern. Damit es für vier Menschen eine

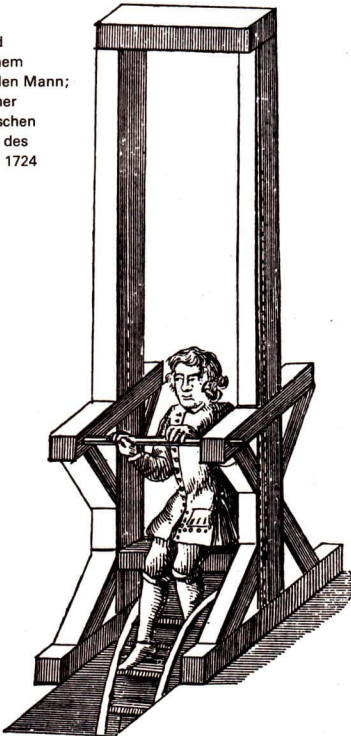


ausreichende Lauffläche bot, hatte man die Trommel 3 Meter breit bemessen.

An einem Spätsommertag des Jahres 1586 stiegen erstmals vier Männer in das Rad, ließen den Kübel in den Brunnen hinab und wanden ihn, endlich mit Wasser gefüllt, empor. Von dieser Stunde an förderte man Tag für Tag 5 400 Liter Wasser aus dem Brunnen. Von der Frühe bis in den späten Abend liefen die Männer im Rad, dann hatten sie die Wassertonnen 36mal heraufgewunden, und jeder von ihnen hatte 28 000 Schritte in der Trommel getan.

Zurückgeführt in ihre düsteren Zellen, fielen sie in einen bleiernen Schlaf, während oben, im Festsaal des Neuen Zeughauses, rauschende Feste stattfanden. Dabei war es Sitte, daß sich die Gäste des Kurfürsten vor und nach dem Essen auf einer Waage wägen ließen. Derjenige, der von den Spanferkeln, Fasanen und gespickten Rehkeulen am meisten verschlungen hatte, wurde zum Helden des Tages gekürt.

Tretrad  
mit einem  
sitzenden Mann;  
aus einer  
technischen  
Schrift des  
Jahres 1724



Die Friedrichsburg, ein Lustschlößchen auf der Festung Königstein

Fast drei Jahrhunderte lang war für den Königsteiner Brunnen das Tretrad in Betrieb. Auch dann noch, als in Europa die Dampfmaschine ihren Siegeszug angetreten hatte und das Maschinenzeitalter eingeleitet worden war.

Erst 1871 entschloß sich die sächsische Regierung, auf ihre Tretradmühle zu verzichten. Das Tretrad im Königsteiner Brunnenhaus, eines der letzten Europas, wurde abgebaut. Mühelos holte von nun an eine kleine Dampfmaschine, eine Dampfwinde, die Wassertonnen herauf. Lediglich ein Heizer und ein Maschinenwärter waren zu ihrer Bedienung nötig.

Nur vier Jahrzehnte blieb die Dampfwinde in Betrieb, denn bereits 1912 verlegte man Starkstromkabel zur Festung, und ein Elektromotor löste sie ab. Nun brauchte man keine Kohle mehr mit Pferdefuhrwerken über den holprigen, steilen Weg auf die Festung zu bringen. Ein Griff zum Schalter genügte, schon summte der Motor und bewegte die hölzerne Welle, welche die mit Wasser gefüllte Tonne heraufwand.

1967 wurde der fast vier Jahrhunderte alte Königsteiner Brunnen stillgelegt. Die historische Festung Königstein ist seitdem an das zentrale Wasserversorgungsnetz angeschlossen. Der Tiefbrunnen wird jedoch ein besonderer Anziehungspunkt für die vielen Ausflügler und Touristen bleiben, die auf den Königstein kommen. Nachdenklich, wenn nicht ehrfürchtig, werfen die Besucher einen Blick in den Brunnen, dessen Geschichte von der Mühsal menschlicher Arbeit in vergangener Zeit erzählt.





## 4. Das Maschinenwunder von Marly

„Das Rad an meines Vaters Mühle brauste und rauschte schon wieder recht lustig, der Schnee tropfelte emsig vom Dache, die Sperlinge zwitscherten und tummelten sich dazwischen ...“ So begann Joseph Freiherr von Eichendorff, der bekannte Dichter der Romantik, seine Novelle *Aus dem Leben eines Taugenichts*. Als er sie 1826 niederschrieb, gehörten Wassermühlen ganz selbstverständlich zum Bild der Landschaft, und das Wasserrad war Symbol alltäglicher Technik und geschäftiger Arbeitswelt. Die Männer, die es verstanden, diese wichtigen Maschinen zu errichten und zu warten, zählten zu den begehrtesten und geachtetsten Handwerkern. Mit der Erfindung des Wasserrades war dem Menschen ein großer Sprung gelungen: Erstmals konnte er eine in der Natur vorhandene Energiequelle – das strömende Wasser, die Wasserkraft – zwingen, für ihn zu arbeiten.

### Der Herrscher Ostroims schmiedet einen ehrgeizigen Kriegsplan

Im Jahre 527 war in Konstantinopel, der Hauptstadt des Byzantinischen Reiches, Kaiser Justinian I. auf den Thron gestiegen. Er hegte den Plan, das einstmals mächtige, doch nun zerfallene Römische Reich wiederzuerichten.

Bald hatte er ein großes Heer ausgerüstet, 10 000 Mann zu Fuß und 5 000 zu Pferd. Er unterstellte es dem Befehl seines fähigsten Feldherrn, der in zahlreichen Schlachten gesiegt hatte, des Generals Belisar. Justinian I. entsandte den General mit dem mächtigen Heer nach Nordafrika und Italien.

Zunächst gelang es dem Feldherrn Belisar, sich der Insel Sizilien zu bemächtigen. Nach hartem Ringen konnte er auch in Italien Fuß fassen. Im Jahre 536 besetzte er Neapel, und schließlich eroberte er Rom.

Seine Soldaten hatten hier kaum Quartier bezogen, als die Stadt von den Truppen des Gotenkönigs Vitiges eingeschlossen wurde. Eine lange und harte Belagerung begann. König Vitiges wußte, daß sich in den Speichern Roms große Getreidevorräte befanden. Um dennoch die Übergabe der Stadt zu erzwingen, ließ er das Wasser aus den Aquädukten, den großen römischen Wasserleitungen, abfließen, ehe sie die Stadt erreichte. Sämtliche Getreidemühlen Roms waren von diesem Wasser betrieben worden. Nun standen die Wasserräder still. Kein Mehl – kein Brot. Eine schwere Hungersnot drohte auszubrechen. Belisar mußte sich umgehend etwas einfallen lassen, wenn er die Belagerung überstehen wollte.

### Der erfinderische General Belisar

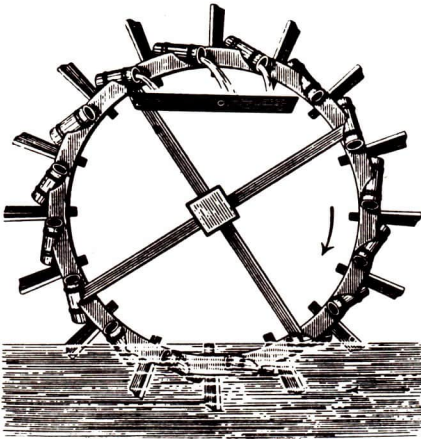
Für General Belisar bedeuteten Wasserräder nichts Neues. Diese Maschinen waren uralte. Anfangs, im alten Ägypten zum Beispiel, stellte man Wasserräder in einen Fluß und verwendete sie zum Wassers schöpfen. An einem derartigen Rad waren Gefäße befestigt, die sich beim Eintauchen mit Wasser füllten. Dann, von dem Rad emporgehoben, entleerten sie das Wasser in hölzerne Rinnen, die zu den Äckern führten. Auf diese Weise konnten große Landflächen bewässert werden.

Später dienten Wasserräder als Antriebsmaschinen, vornehmlich zum Mahlen des Getreides. Bereits im 1. Jahrhundert v. u. Z. muß es sie in Griechenland gegeben haben. Denn der Dichter Antipatros von Sidon, der zu jener Zeit lebte, pries diese Kraftmaschine in einem Gedicht als Erlöserin von körperlich schwerer Arbeit.

Die Funktionsweise auch dieser Maschine war für Belisar kein Geheimnis: Man leitete einen kräftigen Wasserstrom gegen die Schaufeln, und so versetzte das strömende Wasser das Rad in Drehung. Die Welle, auf der das Wasserrad saß, war mechanisch mit dem Mahlwerk verbunden. Doch ohne Wasserkraft konnte selbst die beste Wassermühle nicht arbeiten – wie auch eine Windmühle stehenbleiben mußte, wenn Windstille herrschte.

Nach kurzem Überlegen befahl Belisar, die Mühlen abzumontieren, auf Fuhrwerke zu verladen und zum Ufer des Tiber zu bringen. Dort ließ er sie auf Flöße setzen und im Fluß verankern. Auf dem Tiber schwimmend,





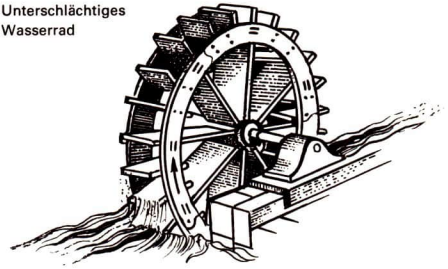
Altertümliches Wasserschöpfrad mit Bechern

wurden die Wasserräder nun von der Flußströmung angetrieben. So vermochte Belisar einer einjährigen Belagerung standzuhalten. Allerdings ging Rom den Byzantinern später dennoch verloren; Justinian I. blieben in Italien nur einige Küstenstädte. Die Schiffsmühle, die Belisar während seines Feldzuges gegen Rom erfunden hatte, sollte viel später eine wichtige wirtschaftliche Aufgabe erfüllen.

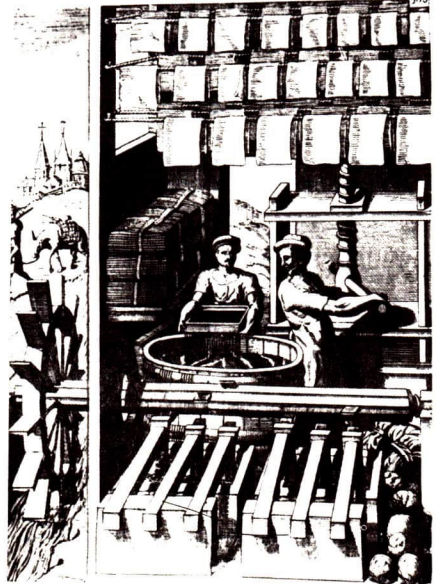
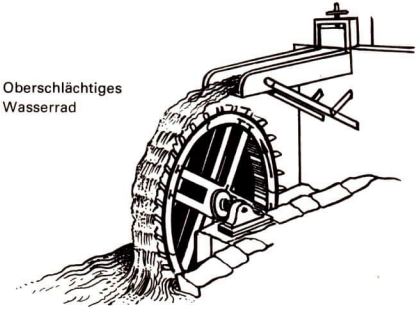
## In Europa fand das Wasserrad seine weiteste Verbreitung

Mit der Weiterentwicklung der Technik und der Produktion von Gütern wurde das Wasserrad – neben Tretrad und Windmühle – die wichtigste Antriebsmaschine. Man verwendete es nicht nur für Wassermühlen, die Mehl produzierten, sondern auch zum Betrieb von Pumpanlagen, Sägegattern sowie Poch- und Hammerwerken. Auch Ölmühlen, Schiebebänke zum Drahtziehen, die Blasebälge in Schmieden und die Aufzüge in Bergwerken wurden durch Wasserräder in Gang gesetzt. Überall dort, wo man Wasser stauen konnte, an Seezuflüssen und an Gebirgsbächen, brausten Wasserräder. Ließ sich das Betriebswasser *über* das Rad leiten, errichtete man oberflächliche Wasserräder. Das Wasser wurde bei dieser Maschinenart von hölzernen Rinnen zum Rad geleitet, fiel aus einer

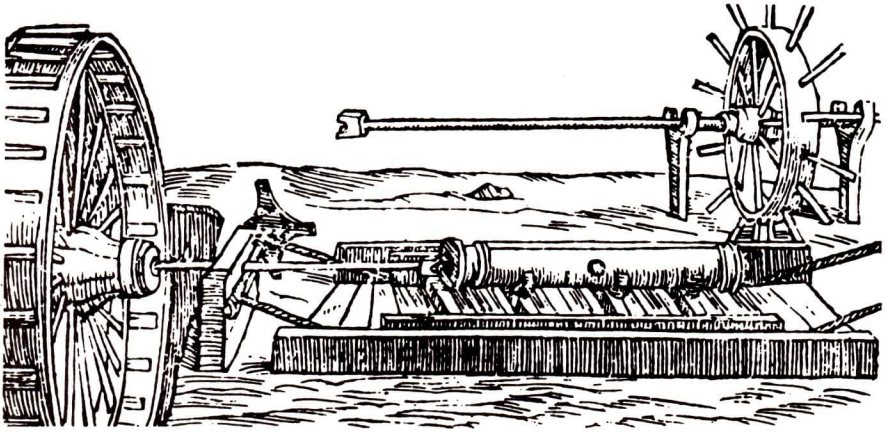
Unterschlächtiges Wasserrad



Oberschlächtiges Wasserrad



Ansicht einer alten Papiermühle



Durchbohren eines Geschützrohres

Höhe bis zu 10 Metern hinab und füllte die Zellen. Das Gewicht des Wassers versetzte das Rad in Drehung. Oberschlächtige Wasserräder erreichten einen Wirkungsgrad bis zu 75 Prozent und waren damit mittelschlächtigen und unterschlächtigen Rädern überlegen. Ob dieser hohe Wirkungsgrad erzielt wurde, hing allerdings von der Güte der Herstellung und der Art des verwendeten Materials – Holz oder Eisen – ab.

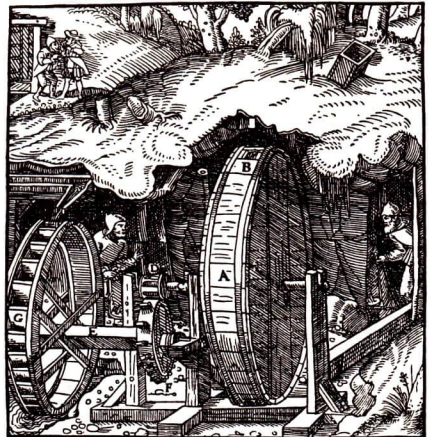
Den niedrigsten Wirkungsgrad hatten unterschlächtige Wasserräder. Er betrug höchstens 35 Prozent. Bei diesen Rädern wurde die kinetische Energie durch die Stoßkraft des Wassers auf die Zellen übertragen.

Die Strömungsenergie, die man dem Rad zuführte, konnte nicht restlos genutzt werden. Ein Anteil an Energie wurde verbraucht, um die Reibung an der Achse des Rades zu überwinden. Ein anderer Teil blieb dem Wasser erhalten, wenn es das Rad verließ, denn das Wasser floß ja weiter, wenn auch mit verminderter Geschwindigkeit. Ein Zeichen dafür, daß es nicht seine gesamte Bewegungsenergie auf die Radzellen übertragen hatte.

Obwohl der Wirkungsgrad eines Wasserrades mit 35 bis 75 Prozent höher ist als zum Beispiel der eines Dieselmotors, blieb die Nutzleistung, die es abgab, gering. Sie überschritt niemals 30 Kilowatt; im Durchschnitt betrug sie 15 bis 25 Kilowatt. Dies lag daran, daß Wasserräder einen sehr großen Durch-

messer hatten und daher nur langsam rotierten. Ihre Drehzahl ließ sich nicht über 10 Umdrehungen in der Minute steigern. Im Gegenteil, die meisten Wasserräder drehten sich noch langsamer. Folglich mußte man für eine bestimmte Arbeit, zum Beispiel dem Ausbohren eines Geschützlaufs, viel Zeit daransetzen.

Man fand einen Ausweg, indem man Zahnradübersetzungen anwendete, um Bohrma-



Wettertrommel mit Wasserradantrieb, eingesetzt im Bergbau des 16. Jahrhunderts



schinen, Sägen, Mühlsteine und anderes anzutreiben. Dies hatte jedoch zusätzliche Reibung zur Folge und verminderte den Wirkungsgrad der gesamten Anlage.

Es gab einen weiteren Nachteil. In heißen Sommermonaten, bei niedrigem Wasserstand, brachte ein Wasserrad nicht seine volle Leistung. Und wenn im Winter das Betriebswasser gefror, lag das Werk still.

Trotzdem wurde der Wasserradantrieb auch noch in neuerer Zeit genutzt, als es bereits Dampfmaschinen und sogar Elektromotoren gab. Vornehmlich in vielen abgelegenen Tälern von Gebirgsflüssen klapperten Wassermühlen noch im 20. Jahrhundert. Denn diese Antriebsmaschine hatte auch einen großen Vorteil: Die sogenannte Wasserkraft, die Energiequelle für Wasserräder, kostete nichts.

## Eine Schiffskatastrophe auf der Elbe

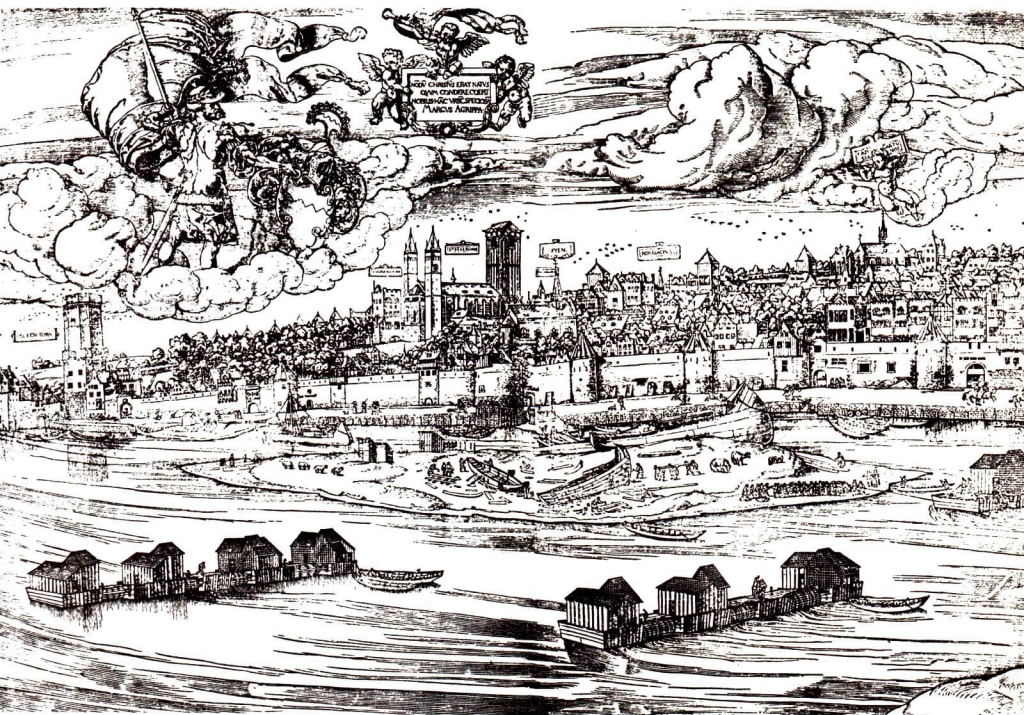
Eine besondere Art der Wassermühle war die von General Belisar erfundene Schiffsmühle; die Römer hatten sie nach Mitteleuropa gebracht. Die Mühle bestand aus einem Haus-

schiff, in dem sich die Arbeiter aufhielten und in dem sich das Mahlwerk befand, sowie einem Wellschiff, auf dem die Welle des sehr breiten unterschlächtigen Schaufelrades auflag. Beide Schiffe waren durch lange Balken, sogenannte Spannbäume, miteinander verbunden. Hauptsächlichlich waren es Getreidemühlen, doch es gab auch Säge- und Papiermühlen, die auf dem Wasser schwammen. Über mehrere Jahrhunderte hinweg wurden auf fast allen großen Flüssen Europas diese Mühlen betrieben. Der Rhein mit seiner kräftigen Strömung trug noch im 19. Jahrhundert sehr viele Schiffsmühlen, die für die Einwohner Kölns und anderer Städte Mehl produzierten. Und auf der Elbe, zwischen Dresden und Wittenberg, waren im Jahre 1721 mehr als 80 derartige Mühlen zu finden. Auch auf der Mulde, die besonders günstige Strömungsverhältnisse aufwies, arbeiteten Schiffsmühlen.

Das Leben auf einer Schiffsmühle war nicht ungefährlich. Das zeigt ein schweres Unglück, das sich 1777 auf der Elbe in der Nähe Magdeburgs zutrug. Durch Eisgang wurde eine Schiffsmühle aus ihrer Verankerung gerissen. Sie trieb auf eine zweite Schiffsmühle zu, die sich ebenfalls losriß. Mit großer Wucht



Alte Schiffsmühle; Darstellung aus dem Jahre 1775

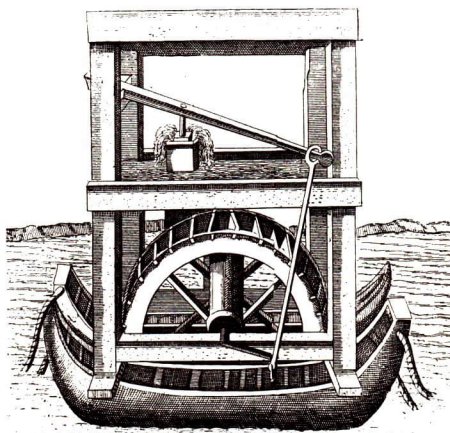


Schiffsmühlen auf dem Rhein

prallten beide Mühlen auf eine beträchtliche Ansammlung von Schiffen. Insgesamt 47 große Elbkähne, 53 Zoll- und Müllerkähne sowie 8 Schiffsmühlen versanken bei diesem Zusammenstoß im eisigen Elbstrom.

## Ein schwächlicher Maschinenriese

Die größte und leistungsfähigste Wasserradanlage, die es je gab, wurde in den Jahren von 1681 bis 1685 in Frankreich errichtet. Zu jener Zeit regierte in diesem Land König Ludwig XIV., ein verschwenderischer und prachtliebender Herrscher. Er hatte in Versailles für sich und seinen Hof ein prunkvolles Schloß bauen lassen, das von herrlichen Gärten und Parkanlagen umgeben war. Der König wollte aber alles noch großartiger haben. Er verlangte Wasserkünste in den Gärten, Spring-



Schiffsmühle um 1720; sie treibt ein Pumpwerk an.



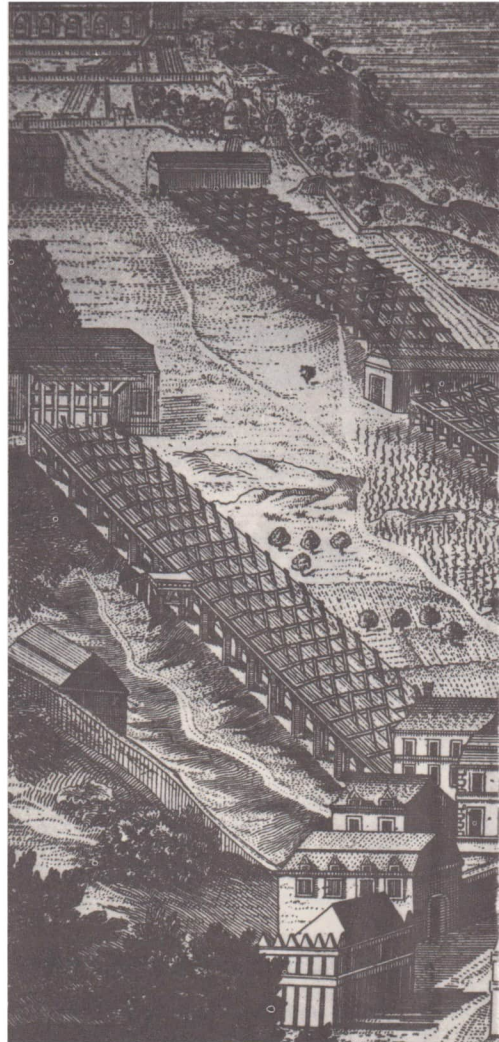
brunnen und hochaufschießende Fontänen, und das in großer Anzahl. Doch für diesen Zweck mußten beträchtliche Mengen an Wasser aus der Seine auf ein hochgelegenes Gelände gepumpt werden. Ludwig XIV. gab dem in Lüttich wirkenden Ingenieur Rennequin Sualem den Auftrag, dieses Problem zu lösen.

Sualem, Sohn eines Zimmermanns, hatte ebenfalls das Handwerk seines Vaters erlernt und sich dann zu einem geschickten Techniker entwickelt. Bereits mit 23 Jahren baute er seine erste Wasserkraftmaschine, die zum Wasserheben diente. Für die Speisung der Wasserkünste in den Versailler Parks entstand nach seinen Plänen eine Anlage von geradezu gigantischen Ausmaßen.

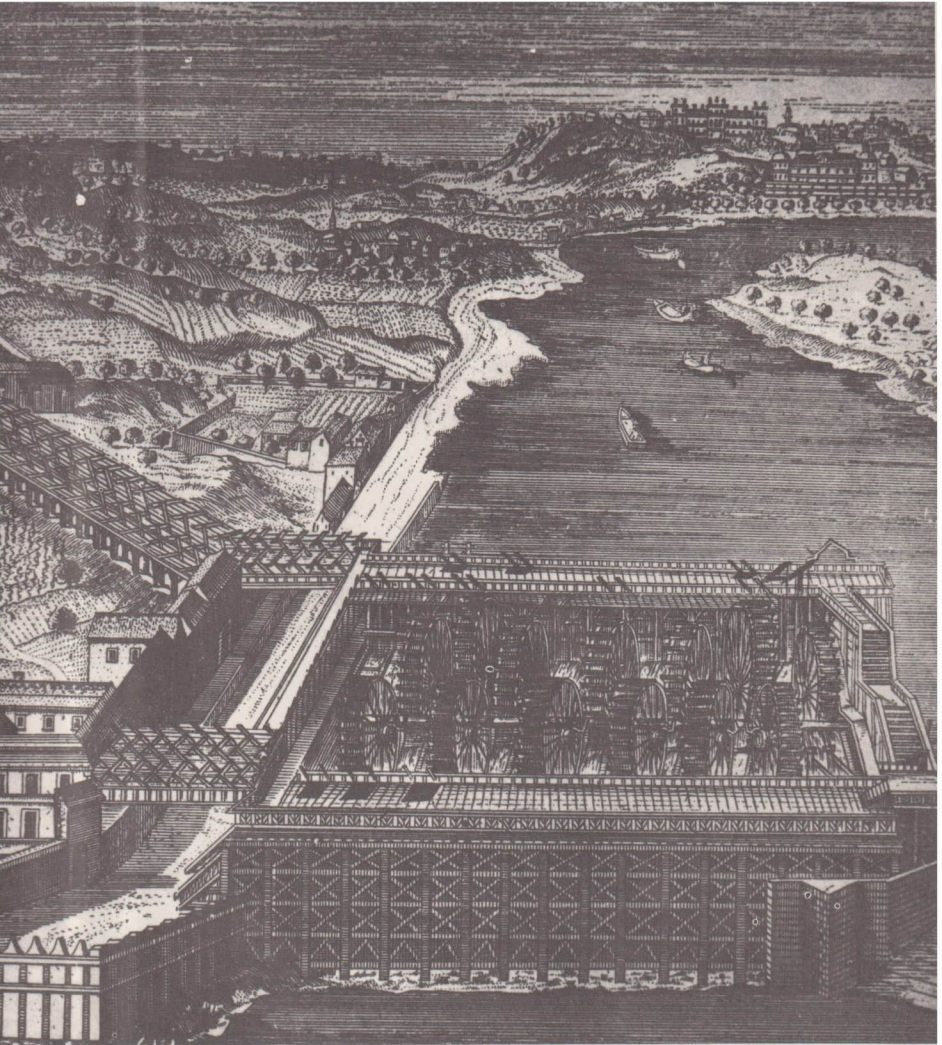
Sualem ließ das Wasserwerk an der Seine nahe der Ortschaft Marly errichten. Zunächst wurde der Flußlauf geteilt; ein Kanal blieb für den Schiffsverkehr frei, der andere Teil wurde aufgestaut. So entstand ein Gefälle von 3 Metern. Hier ließ Sualem 14 Wasserräder, deren Durchmesser je 12 Meter betrug, in die Seine stellen. Von dem herabstürzenden Wasser angetrieben, setzten die riesigen Räder 235 Saug- und Druckpumpen in Bewegung.

Der erste Pumpsatz förderte das Flußwasser zunächst in Behälter, die sich auf einem um 80 Meter erhöhten Gelände befanden. Andere Pumpen drückten das Wasser um weitere 80 Meter in die Höhe. Zwischen den Pumpen und den im Seinetal arbeitenden Wasserrädern bestand eine mechanische Verbindung; diese wurde durch 1200 hölzerne Schwingen und durch eiserne Zugstangen von rund 20 Kilometer Länge hergestellt – eine umständliche, lärmende Maschinerie. Doch sie hob stündlich rund 200 Kubikmeter Wasser aus der Seine auf 160 Meter Höhe, wo ein Aquädukt stand. Dieser über eine Meile lange Aquädukt leitete das Wasser zu den Springbrunnen von Versailles.

Mit dem Bau dieses Wasserwerks waren 1800 Menschen fast sechs Jahre lang beschäftigt. Es wurden dafür 850 Tonnen Kupfer, ebensoviel Blei, rund 17000 Tonnen Eisen und eine Unmenge an Holz benötigt. Das Unternehmen verschlang die gewaltige Summe von 4 Millionen Livres. 132 Jahre hindurch arbeitete das Werk völlig störungsfrei, ein Beweis für den Einfallsreichtum des Technikers Sualem und die bewundernswürdige



Handwerkskunst der Mühlen- und Pumpenbauer. Die Konstruktion stellte ein Glanzstück der damaligen Technik dar, und die Menschen kamen von weit her, um die großartige Maschinenanlage zu bewundern. Dennoch – gemessen an der Bauzeit, den Baukosten und den gewaltigen Ausmaßen



dieses Wasserwerks – war die gewonnene Nutzleistung mehr als dürftig. Die Anlage gab weniger her, als ein durchschnittlicher LKW-Motor leistet, nämlich rund 90 Kilowatt. Damit hatten die Wasserräder von Marly die Leistungsgrenzen dieser Antriebsmaschine offenbart.

Das Wasserhebewerk in Marly



## II. Teil

---

# Das Streben nach der großen Maschine

Im 17. Jahrhundert, da man in England begann, Steinkohle anstelle von Holz als Brennstoff zu verwenden, und der Hunger nach Erzen stetig anwuchs, hatten manche Schächte der schottischen Bergwerke bereits Tiefen von 100 Metern erreicht.

Die Knappen, die in diesen tiefgelegenen Stollen Erz und Kohle abbauten, stießen auf ein Hindernis, das ihnen ihre anstrengende Arbeit noch schwerer machte: das Grundwasser. Die Schächte ersoffen förmlich darin. Die Pumpen für die Wasserhaltung waren schwach und arbeiteten zu langsam. Denn sie konnten lediglich durch Muskelkraft, vereinzelt von Wasserrädern angetrieben werden.





# 1. Einer Kraft auf der Spur

Die Nutzleistung aller zu jener Zeit bekannten Antriebsmaschinen – Tretrad, Göpel, Windmühle, Wasserrad – war nicht mehr zu steigern. Wollte man erheblich leistungsstärkere Antriebe schaffen, mußte man sich gedanklich von der veralteten Technik lösen und ein völlig neues technisch-physikalisches Prinzip entdecken. Dazu bedurfte es eines gewaltigen, schöpferischen Geistes, eines „Riesen an Dennkraft, Leidenschaft und Charakter, an Vielseitigkeit und Gelehrsamkeit“ (Friedrich Engels).

## Künstler und Techniker der Renaissance

Der Louvre in Paris, ehemals ein königlicher Palast, birgt eine der größten und kostbarsten Kunstsammlungen. Unter vielen anderen hängt hier ein weltberühmtes Bild von unschätzbarem Wert, die *Mona Lisa*. Kunstverständige aus allen Kontinenten kommen eigens in den Louvre, um dieses Ölgemälde zu sehen. Es ist das Bildnis einer Florentiner Bürgerin, der schönen Frau des Francesco del Giorondo, eines angesehenen Italieners. Leonardo da Vinci hat es in den Jahren 1503 bis 1506 gemalt. Wie alle seine Frauenbildnisse trägt auch die *Mona Lisa* jenes Lächeln auf den Lippen, das zu allen Zeiten auf den Betrachter einen sonderbaren Zauber ausgeübt hat. Hätte Leonardo nur dieses eine Werk hinterlassen, es hätte ausgereicht, seinen Namen unsterblich zu machen. Doch er ist nicht nur als ein begnadeter Maler in die Geschichte der Kultur eingegangen; er zählt zu den größten und vielseitigsten Genies der italienischen Renaissance.

Das Wort *Renaissance* kommt aus dem Französischen und bedeutet *Wiedergeburt* oder *Wiederaufblühen*. Man versteht unter der Renaissance eine bestimmte Epoche in der kulturellen und weltanschaulichen Entwicklung. Sie nahm im 14. Jahrhundert in Italien ihren Anfang, erfaßte später eine Reihe anderer Länder Europas und endete im 16. Jahrhundert. Diese Epoche war gekennzeichnet durch die Befreiung vom engstirnigen mittelalterlichen Denken und durch einen großen Aufstieg der Künste, der Literatur und der Wissenschaften.

In der Renaissance waren – namentlich in Italien – die Berufe des Bildhauers und Malers, des Architekten und Ingenieurs nicht voneinander getrennt. Es kam vor, daß ein Künstler

seinem Fürsten das Angebot machte oder von ihm den Auftrag erhielt, einen Sumpf trockenzulegen, eine Kirche zu bauen, ein bronzenes Standbild zu gießen oder die Verteidigung einer Stadt vorzubereiten.

In jener Zeit, und zwar 1452, wurde Leonardo da Vinci geboren. Mit 14 Jahren kam er als Lehrling in die Werkstatt eines Malers und Bildhauers. Seine Ausbildung war nicht allein auf diejenigen Kunstfertigkeiten begrenzt, die er zum Zeichnen, Malen und Modellieren in althergebrachter Art benötigte. Vor allem studierte er Geometrie, um seine Bilder perspektivisch richtig, also räumlich möglichst naturgetreu, gestalten zu können.

## „Malen kann ich ebensogut wie irgendein anderer“

Leonardo war erst 20 Jahre alt, als ihn die Malergilde von Florenz aufnahm. Sein Forscherdrang, seine unerschöpfliche Neugier galten zunächst dem Menschen. Mit unermüdlicher Ausdauer studierte er den Gesichtsausdruck, die plötzliche Veränderung des menschlichen Antlitzes bei körperlicher Anstrengung, Schmerz, Erschrecken, Zorn, Freude und anderen Gemütsbewegungen. Meisterhafte Skizzen – Kopfstudien – belegen Leonardos Zeichenkunst.

Ebenso scharf beobachtete er die Haltung des menschlichen Körpers, das Spiel der Glieder und Muskeln, vor allem in der Bewegung. Dies führte ihn dazu, sich eingehend mit der Anatomie zu beschäftigen, mit der Lehre vom inneren Bau des Menschen.

Der Papst belegte jeden mit dem Kirchenbann, der es wagte, eine menschliche Leiche zu zergliedern. Leonardo trotzte diesem Verbot; mit dem Seziermesser legte er das Innere des menschlichen Körpers frei, um die Lage



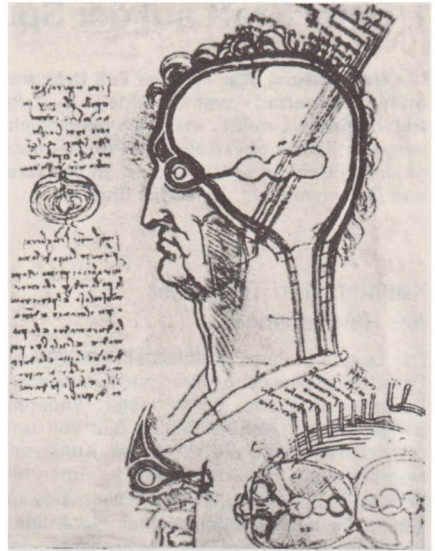
Kopfstudie; Handzeichnung Leonardo da Vincis

der Organe, die Beschaffenheit der Knochen und Muskeln kennenzulernen und genaue Zeichnungen davon anzufertigen.

So untersuchte er auch aufs genaueste die Funktionen der Augen, also den Bau des Auges und den Sehvorgang. Damit wurde sein Interesse für die Optik geweckt. Und dies wiederum half ihm bei bestimmten Fragen, die ihn beim Malen beschäftigten, nämlich Probleme des Helldunkels, des Lichtes und des Schattens auf seinen Bildern. Er erkannte, daß die Natur die wahre Lehrmeisterin des Menschen ist, und begann, die Malerei als eine Wissenschaft zu betrachten.

Es gibt wohl kein Gebiet, mit dem Leonardo da Vinci sich nicht befaßt hätte. Er beobachtete zum Beispiel Vögel im Fluge und fertigte darüber zahlreiche Zeichnungen an. Dabei überlegte er, wie man den Vogelflug nachahmen könne. Er entwarf, seiner Zeit weit vorausdenkend, mehrere Flugapparate und erfand sogar einen Fallschirm. So entwickelte sich Leonardo zu einem meisterhaften Maler; zugleich war er Architekt, Bildhauer, Anatom, Botaniker, Ingenieur, Techniker und Erfinder in einer Person.

Im Jahre 1484, Leonardo war zu dieser Zeit 32 Jahre alt, bewarb er sich bei Lodovico Sforza, dem Herzog von Mailand, um eine Anstellung. Er legte dem Fürsten Zeichnungen einiger seiner Erfindungen vor, darunter auch militärische Einrichtungen und Verteidigungsanlagen, zum Beispiel eine Vorrichtung, mit der man Sturmleitern unvermutet umwerfen könne. Als er seinen Vortrag ge-



Anatomische Studie Leonardo da Vincis zum Sehvorgang

endet hatte, fügte er abschließend hinzu: „Und malen kann ich ebensogut wie irgendein anderer.“

Der Herzog betraute ihn mit dem weiteren Ausbau des Mailänder Doms, der glänzendsten gotischen Kathedrale Italiens. Außerdem leitete Leonardo da Vinci als Ingenieur den Bau eines Kanals. Nebenher fand er in Mailand Zeit, eine Reihe herrlicher Gemälde zu schaffen.

Später wirkte Leonardo lange Zeit in Florenz, dann wiederum in Mailand und schließlich in Rom. Im Jahre 1516 folgte der alt gewordene Meister einer Einladung des Königs Franz I. nach Frankreich, wo er bis zu seinem Tode blieb. Er starb 1519; wie eine Legende erzählt, in den Armen des Königs von Frankreich.

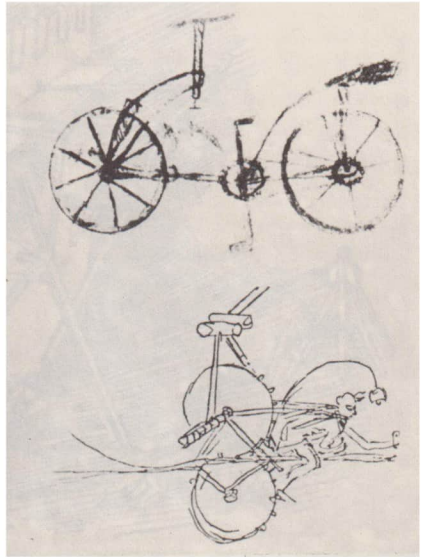
## Ein Mann zeichnete die Zukunft

Man fand in Leonardos Schränken einige tausend Handschriftenblätter. Sie waren bedeckt mit Zeichnungen über Zeichnungen von Maschinen und anderen technischen Einrichtungen. Unter anderen hatte Leonardo eine Zwirnmachine mit mehreren Spindeln er-





Handschriften- und Skizzenblatt Leonardo da Vincis

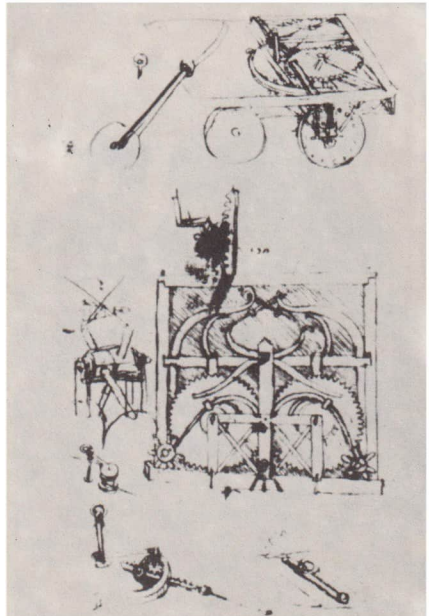


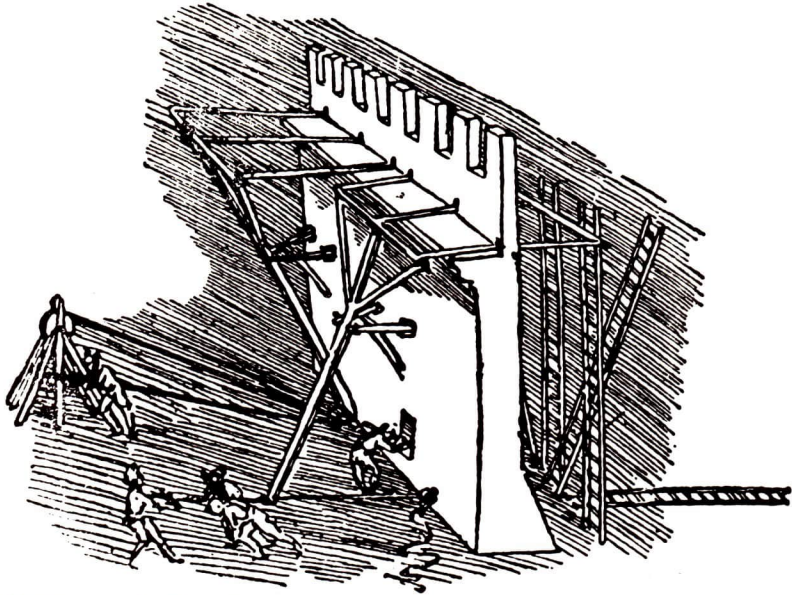
Entwürfe zu einem Fahrrad  
und einem Wagen mit Federwerk

sonnen, ein Walzwerk, eine Drahtziehmaschine, eine Gewindeschneidemaschine, Schleifmaschinen für optische Gläser, Kammerschleusen, Kanalbagger, ein Schaufelradschiff mit Tretvorrichtung, Unterwasserfahrzeuge und Panzerschiffe; sogar Städte mit unterirdischen Straßen hatte er entworfen.

Neben jeder seiner Zeichnungen fand man eine Beschreibung, die in einer zierlichen, doch unlesbaren Handschrift abgefaßt war. Eine Geheimschrift? Später entdeckte man, daß Leonardo seine Entwürfe in Spiegelschrift linkshändig beschrieben hatte.

Nur wenige seiner in die Zukunft weisenden Ideen hatte er verwirklichen können. Stets von der Gunst eines Fürsten abhängig, mußte er häufig gegen Verständnislosigkeit kämpfen und seine kühnen technischen Pläne begraben. Viele der erdachten Maschinen wurden nie gebaut; man mußte sie, einige hundert Jahre später, neu erfinden. Zu seinen Lebzeiten wurden sie noch nicht gebraucht. Außerdem hätte er die allermeisten Maschinen nicht in Bewegung setzen können, denn ihm standen dafür keine entsprechend starken Antriebsmaschinen zur Verfügung.





Eine Erfindung Leonardos: Wie man Sturmleitern unvermutet umwerfen kann



So befindet sich unter seinen Entwürfen auch der eines Wagens, der „von selbst“, also ohne Zugtiere, fahren sollte. Niemand dachte ernsthaft daran, sich dieses Automobil bauen zu lassen. Es gab ja genug schnelle und kräftige Pferde, die man vor die Wagen spannen konnte. Leonardo da Vinci hatte seinen selbstfahrenden Wagen mit einem robusten Federwerk ausrüsten wollen. Das Fahren mit diesem Wagen wäre wenig vergnüglich gewesen; nach einigen Minuten Fahrzeit hätte man die Feder immer wieder aufs neue spannen müssen.

Federwerke waren ausgezeichnet geeignet, kleine Glockenspiele, automatische Spielzeuge und Uhrwerke in Bewegung zu setzen. Als Antriebsmechanismen für Maschinen und Fahrzeuge hatten sie keine Zukunft. Daß selbst der geniale Leonardo ein Federwerk von riesigen Ausmaßen entwarf, zeigt jedoch, wie hartnäckig er nach einer neuen, starken Energiequelle suchte. Einer Energie, die Pumpen, Maschinen, Wagen und Schiffe anzutreiben vermochte.

Ein Selbstbildnis des Künstlers und Naturforschers Leonardo da Vinci im hohen Alter



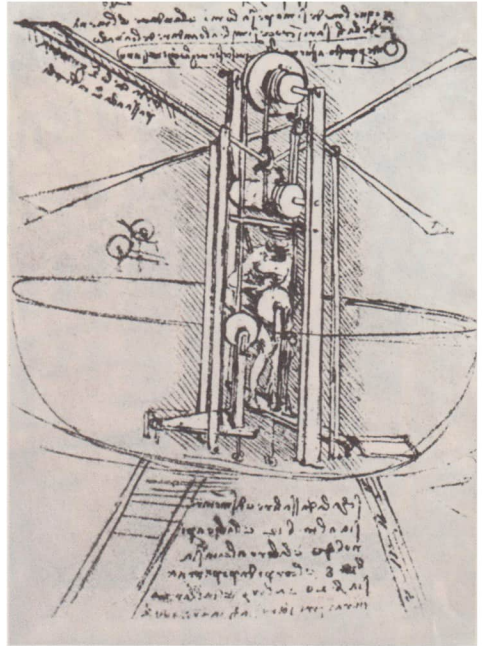
# Das „Geburtsdokument“ der Kolbenmaschine

Leonardo da Vinci war tatsächlich einer mächtigen Kraftquelle auf die Spur gekommen. Sie war seit Menschengedenken bekannt, doch für den Antrieb von Maschinen noch völlig ungenutzt. Gemeint ist das große Arbeitsvermögen des gespannten Wasserdampfes. Die Energie also, mit welcher Dampf aus einem geschlossenen Gefäß ausströmen sucht.

Es gibt nämlich eine berühmt gewordene Federskizze von Leonardos Hand. Sie zeigt den Entwurf eines Zylinders mit einem Kolben für einen interessanten Dampfversuch. Auf einem Gestell steht ein hohes rundes Gefäß, ein Hohlzylinder, in dem sich etwas Wasser befindet. Eine dicke kreisrunde Platte, die genau in den Zylinder eingepaßt sein muß, stellt den Kolben dar.

Ein Seil, das an dem Kolben befestigt ist, führt über zwei feste Rollen; an ihm hängt ein Metallstück als Gegengewicht.

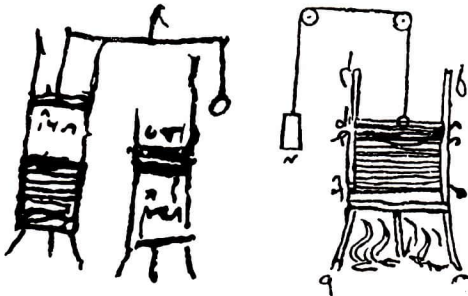
Wir wollen Leonardos Gedankenversuch nachvollziehen: Man entzündet unter dem Zylinder ein Feuer und führt somit dem Wasser Wärmeenergie zu. Die Temperatur des Wassers steigt an, bis der Siedepunkt erreicht ist. Bei normalem Luftdruck beträgt die Siedetemperatur für Wasser 100 Grad Celsius oder 373,15 Kelvin. Die Wärmeenergie, die das Wasser jetzt noch aufnimmt, erhöht nicht mehr dessen Temperatur. Sie überführt vielmehr das Wasser von seinem flüssigen Zustand in den gasförmigen. Es entsteht Wasserdampf, der das Bestreben hat, sich auszu dehnen.



Entwurf zu einem Schlagflügelapparat. Die Erklärungen dazu hat Leonardo da Vinci in Spiegelschrift verfaßt.

Ist die Dampfspannung hinreichend groß, drückt der Dampf den Kolben in die Höhe. Er verrichtet mechanische Arbeit. Es hat bei diesem Dampfversuch eine Energieumwandlung stattgefunden.

Mit dieser Idee war Leonardo da Vinci wiederum seiner Zeit weit voraus. Er hatte Kolben und Zylinder, Wärme und Wasser miteinander in Verbindung gebracht, um den Dampf zur Arbeit zu zwingen. Seiner Zeichnung ist nicht zu entnehmen, wie er sich die Wiederholung des Arbeitsvorganges dachte. Doch mit seinem Entwurf hatte er die Grundkonstruktion für alle künftigen Kolbenmaschinen und -motoren gefunden – und zugleich die Faustregel, nach der diese Maschinen arbeiten: In einem Metallzylinder wird Wärmeenergie in mechanische Bewegung, in kinetische Energie umgewandelt. Noch war es längst nicht soweit, daß diese Idee Früchte tragen konnte. Jahrhunderte sollten noch darüber vergehen.



Entwürfe Leonardo da Vincis zu einem Dampfzylinderversuch





## 2. Die Kraft aus dem Nichts

Die Brunnenbauer und Pumpenmacher von Florenz galten als tüchtige Fachleute, und sie waren stolz darauf, daß ihre Wasserleitungen, die sie in der Stadt eingerichtet hatten, ausgezeichnet funktionierten.

Eines Tages – sie hatten im herzoglichen Palast Saugrohre eingezogen und Wasserpumpen montiert – sollten sie eine schwere Enttäuschung erleben. Ihre Saugpumpen erwiesen sich als unbrauchbar. Das Wasser gelangte nicht in die höher gelegenen Stockwerke des Palastes, selbst wenn man noch so lange pumpte.

### Das geheimnisvolle „horror vacui“

Die florentinischen Brunnenbauer gingen dieser merkwürdigen Erscheinung nach und untersuchten gründlich die Saugrohre des herzoglichen Palastes. Dabei machten sie die Entdeckung, daß die Wassersäule niemals höher als auf 18 Florentiner Ellen anstieg. In dieser Höhe, die etwa 10 Metern entspricht, blieb der Wasserspiegel gleichsam hängen. Obwohl man den darüberliegenden Raum fast luftleer pumpte, also einen stark luftverdünnten Raum schuf, stieg das Wasser nicht nach.

So etwas konnte und durfte nach damaliger Naturauffassung eigentlich gar nicht sein. Seit dem Altertum wurde gelehrt, es existiere das „horror vacui“. Damit war gemeint, die Natur habe einen unüberwindlichen Abscheu vor der Leere. Aus diesem Grunde sei es auch unmöglich, einen leeren Raum, das Vakuum, herzustellen.

Es gab auch gegenteilige Meinungen. Doch die Frage, ob ein Vakuum möglich sei oder nicht, wurde damals im 15. Jahrhundert vor allem auf geistlicher, auf religiöser Grundlage erörtert. Experimente auf diesem Gebiet hatte noch niemand unternommen. Einige Philosophen und Naturforscher meinten, Gott könne in einem leeren Raum ebenso tätig sein wie in einem von Materie erfüllten, denn er sei allmächtig. Und daher dürfe es das Vakuum geben. Viel verbreiteter jedoch war die Ansicht, dem allgegenwärtigen Gott sei es unmöglich, in einem Vakuum zu wirken, und daher ließe er die Leere nicht zu. Dieser Standpunkt wurde von Kirchengelehrten hartnäckig verteidigt.

Im übrigen hätte man einen augenfälligen und überzeugenden Beweis für das Vorhan-

densein des „horror vacui“: Man stellt ein Rohr in einen gefüllten Wassertrog und entfernt mit Hilfe einer Saugpumpe die Luft aus dem Rohr. Das Wasser steigt sofort darin in die Höhe, weil die Natur – und damit Gott – keine Leere zwischen dem Pumpenkolben und dem Wasserspiegel im Rohr gestatte.

Und nun die unerklärliche Tatsache, daß das Wasser im herzoglichen Palast nicht über 18 Florentiner Ellen hinausgelangte. Hatte die Natur nur eine begrenzte Abscheu vor der Leere? Oder reichte etwa die Kraft des Allmächtigen lediglich bis zu einer Höhe von 18 Florentiner Ellen?

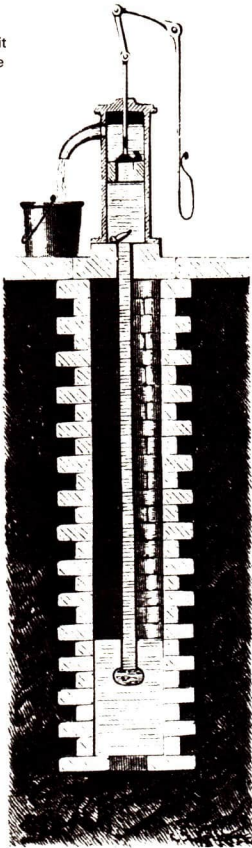
Es gehörten Mut, Scharfsinn und viel Charakterstärke dazu, in jener Zeit die Wahrheit finden zu wollen und die Frage *wissenschaftlich* zu stellen: Aus welchem Grunde steigt Wasser in einem Saugrohr tatsächlich auf nur 10 Meter an?

### Das erste Großexperiment in der Geschichte

Regensburg, die alte Reichs- und Kaiserstadt am Donauström, war 1654 Schauplatz zweier bedeutender Ereignisse. Hierher hatte nach dem 30jährigen Kriege der deutsche Kaiser Ferdinand III. den Reichstag einberufen: die Reichsfürsten und Kurfürsten, die Vertreter der Reichsstädte und nicht zuletzt die der Kirche – Erzbischöfe, Bischöfe. Hier, vor dem Kaiser und den Vertretern des Reichstages, kam es zu einem heute weltbekanntem physikalischen Großversuch.

Vor den Toren Regensburgs, wo ein Fluß namens Regen in sanften Schleifen der Donau entgegenfließt, konnte man an einem Sommertage jenes Jahres ein emsiges Sägen und Hämmern, lautes Reden und Fluchen ver-

Brunnen mit Saugpumpe



nehmen. Herbeigeeilte Bürger beobachteten Handwerker, die auf dem weitläufigen Wiesengelände aus Kiefern Brettern eine Zuschauertribüne zimmerten. Auf ihre Fragen wurde geantwortet, ein Fremder, ein aus Magdeburg Hergereister, wolle hier, am morgigen Nachmittag, eigentümliche Zauberkünste vorführen. Lediglich mittels der Luft. Und dies auf Geheiß des Kaisers. Der gesamte Reichstag müsse sich das Gauklerstück mit ansehen.

So eine Nachricht geht wie ein Lauffeuer herum, und anderentags hatten sich bereits zur Mittagszeit vor der Stadt Scharen neugieriger Bürger versammelt. Sie hielten respektvollen Abstand von der festlich geschmückten, von Kriegsknechten bewachten Tribüne und bededeten das bevorstehende Ereignis. Einige

Burschen stiegen als Späher in den Wipfel einer Eiche.

Gut Unterrichtet verriet, wer dieser Fremde sei, der dem Kaiser seine Kunststücke vorführen wolle. Nämlich ein Herr Guericke, Bürgermeister in Magdeburg. Er halte sich in diplomatischer Mission in Regensburg auf und habe auf seine Reise einige Gerätschaften mitgenommen, zum Beispiel Luftpumpen und anderes Teufelszeug, mit denen er Experimente anstelle.

Es kommt also gar kein Gaukler? Nur ein Bürgermeister? Was könnte der mit Zauberkünsten zu schaffen haben? – Doch die Enttäuschten trösteten sich. Wenn es diesem Guericke gelang, den Kaiser mitsamt dem Reichstag hierher vor die Tore zu locken, dann hatte er bestimmt etwas Sehenswertes zu bieten.

Aus dem Geäst der Eiche kam ein Ruf: „Sie kommen! Sie sind schon auf der Brücke!“

Von der steinernen Donaubrücke her kam ein Trupp Bewaffneter gesprengt, ihnen voraus der Feldhauptmann, in der Faust die kaiserliche Standarte. Dichtauf folgten Herolde zu Pferde; ein großes Reichswappen schmückte ihre Amtstracht.

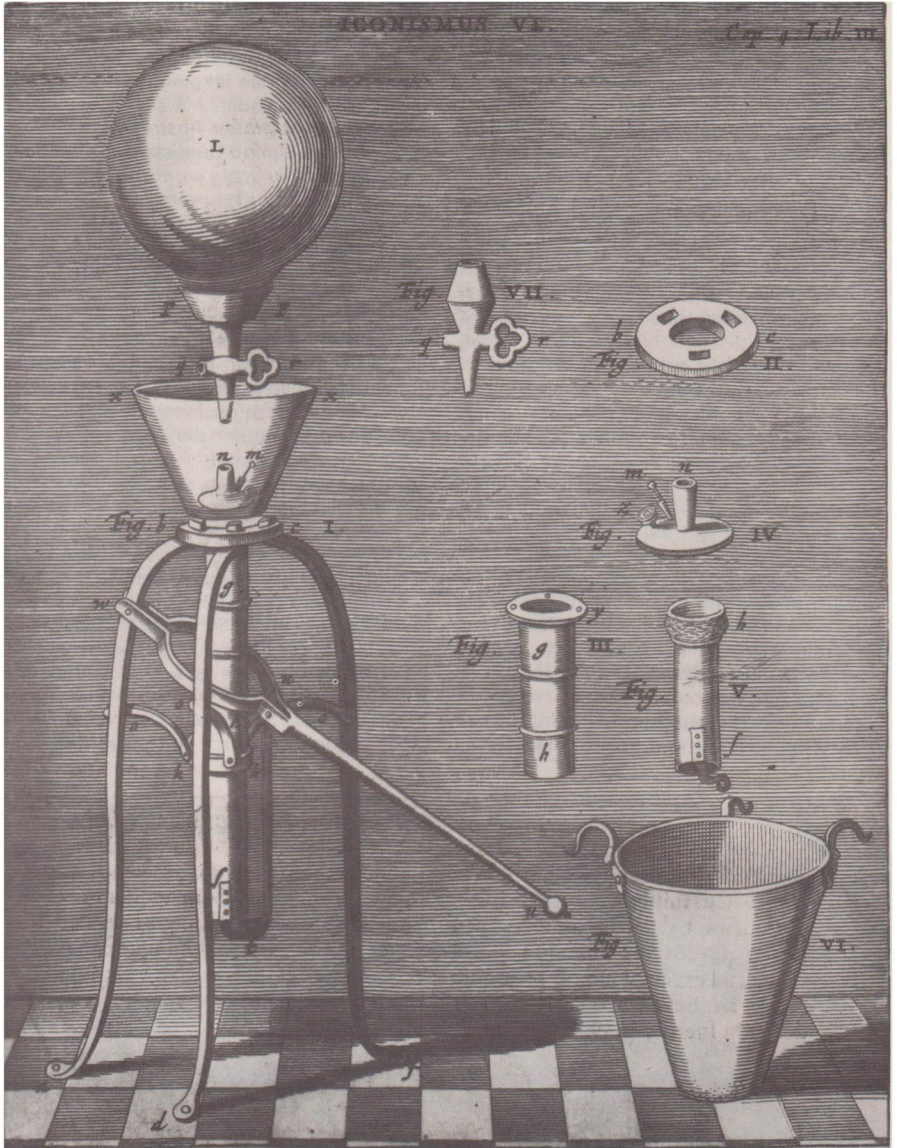
Dann der Kaiser, ein stattlicher Mann im bequemen hirschledernen Wams. Er ritt einen feurigen Rappen und wurde von König Ferdinand IV. begleitet, seinem Sohn und Nachfolger. Mit einigem Abstand kamen die Pagen, die Ritter des kaiserlichen Hofes und der Dienertroß, Prinzen, Feldherren und Generäle, alle in ihren Staatskleidern.

In einem schier unendlichen Zug folgten Fürsten ohne Zahl, teils zu Pferde, teils in Karossen, Würdenträger des Staates und der Kirche. Und ein jeder von ihnen wurde von Rittern, Edelleuten, herausgeputzten Lakaien und Kriegsknechten begleitet.

Am Ende des langen Zuges kam ein Lastkarren, neben dem ein schlichtgekleideter Mann von hohem, schlankem Wuchs ritt. Das mußte dieser Guericke sein. Der Karren war beladen mit Gerätschaften, wie man sie zuvor nie gesehen hatte. Den Schluß bildeten einige Knechte, die sechzehn Pferde schwersten Schlages am Zügel führten.

Es dauerte geraume Zeit, bis alle hohen Herren auf der Tribüne Platz genommen hatten. Inmitten des weiten Geländes stand der Fremde allein vor dem Kaiser und den Fürsten. Stille trat ein. Mit einem Wink forderte





Die von Guericke erfundene Luftpumpe

der Kaiser den Magdeburger auf, mit der Vorführung zu beginnen. Guericke sprach. Seine Stimme war kräftig und bis zu den höchsten Plätzen der Tribüne klar zu vernehmen.

„Kaiserliche Hoheit! Meine Herren Fürsten! Es besteht die unsinnige Meinung, es könne keinen leeren Raum geben. Ich werde das Gegenteil beweisen und ein Vakuum herstellen. Der Glaube an das horror vacui entspricht nicht der wissenschaftlichen Wahrheit.“

Er zeigte auf einen hohen Dreifuß, der mit einem langen Hebel versehen war, und erklärte, dies sei die Luftpumpe, die er erfunden habe und mit deren Hilfe er aus beliebig großen Gefäßen die Luft herausziehen könne. Dann wies Guericke auf zwei große kupferne Halbkugeln, die zu seinen Füßen lagen.

„Diese beiden Halbkugeln haben einen Durchmesser von etwa dreiviertel Magdeburger Ellen. Beide Stücke sind gleich, bis auf den Umstand, daß eine Halbkugel mit einem Ventil versehen ist. Über dieses Ventil ist es möglich, die Luft aus dem Innern der zu einer Kugel zusammengelegten Hälften herauszupumpen und die Außenluft daran zu hindern, in die Kugel einzudringen. Ein Leder-ring, der mit einer Lösung von Wachs und Terpentin getränkt ist, schließt die Berührungsflächen der Halbkugel luftdicht ab. Jede Halbkugel ist mit vier Ringen versehen, durch die starke Tuae gezogen sind. Daran werden nachher Pferdegeschirre befestigt.“

Zwei Diener des Bürgermeisters fügten die Hälften zur Kugel zusammen und verbanden das Ventil mit dem Saugrohr der Luftpumpe. Dann bewegten sie längere Zeit den Pumphebel auf und nieder, bis sich diese Arbeit nur noch unter großer Anstrengung verrichten ließ. Jetzt schloß Guericke das Ventil und wies die Pferdeknechte an, vier Pferde an jede Seite der Kugel zu schirren.

Von der fürstlichen Tribüne blickte man gebannt auf die Kupferkugel hinab, die so harmlos im Grase lag und in deren Innern das geheimnisvolle Vakuum, das gottlose Nichts, herrschen sollte. Manch einer der Kirchenfürsten sah dem Experiment beklommen entgegen. Wie sollte man sich aus der Klemme winden, falls dieser Teufelsknecht tatsächlich einen leeren Raum nachweisen konnte?

„Da sich jetzt im Innern der Kugel ein Vakuum befindet“, erklärte Guericke, „hält der äußere Luftdruck die Hälften zusammen. Die Pferde werden nicht imstande sein, die Halbkugeln zu trennen.“

Die Knechte peitschten auf die Pferde ein; die kräftigen Tiere konnten die Halbkugeln nicht auseinanderreißen. Guericke ließ zehn, dann zwölf Pferde ziehen. Schließlich kämpften an jeder Seite acht Pferde. Die Kugel hielt zusammen, als sei sie aus einem Guß. Die Knechte trieben die Tiere durch Zurufe und Peitschenhiebe zu immer neuer, verzweifelter Anstrengung an. Doch mit einer Kraft, die





keine Grenze zu haben schien, preßte der Luftdruck die Kugelhälften zusammen.

Es war erwiesen: In der Kugel befand sich – nichts.

Endlich befahl der Kaiser, den Versuch zu beenden. Sein Sohn, den ungläubiges Staunen und Wißbegier von der Tribüne getrieben hatten, beugte sich über die Kugel, die nun wieder im Grase lag, und öffnete das Ventil. Laut hörbar zischte Luft in die Kugel hinein. Im selben Augenblick fielen die Hälften auseinander.

Dieser Triumph Otto Guericke's besiegte endlich eine seit Jahrhunderten herrschende Irrlehre. Er überwand einen Irrtum, der die wissenschaftliche Forschung schwer belastet hatte. Was der kühne Physiker gezeigt, sollte nicht allein auf die Physik, sondern auch auf das Denken der Menschen revolutionierend wirken: Es gibt das Vakuum! Der Kaiser, die deutschen Fürsten und das Volk von Regensburg konnten diese Wahrheit bezeugen.



Otto von Guericke (1602 – 1686)

## Werdegang eines Patriziersohnes

Es ist ungewöhnlich, daß ein Bürgermeister und Diplomat physikalische Forschungen betreibt, dabei bahnbrechende Entdeckungen macht und, um diese nachzuweisen, überzeugende Experimente ersinnt. Auf Grund dieser Verdienste wurde Otto Guericke in späteren Jahren vom Kaiser geadelt. Doch zur Welt gekommen ist er als Sohn einer alteingesessenen Patrizierfamilie in Magdeburg. Das war 1602.

In den mittelalterlichen deutschen Städten galten die Patrizier als die wohlhabendsten und angesehensten Bürger. Nur Angehörige des Patrizierstandes konnten hohe Stellen in der Stadtverwaltung und dem Gerichtswesen bekleiden, also Ratsherren, Bürgermeister oder Richter werden.

Für seinen Sohn Otto hatte der Vater eine Ratsherrenlaufbahn vorgesehen. Daher reiste der 15jährige Guericke nach Leipzig, um dort das Jurastudium zu beginnen. Ein Jahr danach brach im benachbarten Königreich Böhmen ein Krieg aus. Niemand ahnte, daß dieser Krieg 30 Jahre andauern und nach und nach alle deutschen Länder mit Brand, Tod und schrecklichen Verwüstungen überziehen würde.

Die besorgten Eltern riefen ihren Sohn aus Leipzig zurück. In Helmstedt und Jena setzte Guericke sein Studium fort. Mit 21 Jahren reiste er nach Holland. Er wollte in der Universitätsstadt Leiden den Festungsbau studieren. In einigen deutschen Ländern wütete bereits der Krieg; daher waren dem künftigen Ratsherrn Kenntnisse im Festungswesen äußerst wichtig.

Sein Studium in Leiden war mit naturwissenschaftlichen und mathematischen Arbeiten verbunden, und hier bereits wurde Guericke's Interesse für physikalische Probleme geweckt. Von da an ließ ihn die Physik sein Leben lang nicht mehr los.

Wie es für Söhne seines Standes üblich war, unternahm der junge Patrizier 1624 Bildungsreisen nach Frankreich und England. So lernte Guericke die damals wissenschaftlich, technisch und wirtschaftlich fortgeschrittensten Länder kennen. Nach seiner Rückkehr wurde er in Magdeburg zum Ratsherrn ernannt.

## Die Zerstörung Magdeburgs

Die Stadt, in deren Verwaltung Otto Guericke jetzt tätig war, hatte zu jener Zeit 36 000 Einwohner und war seit langem ein bedeutender Handelsplatz. Noch war sie von den Schrecken des Krieges, der schon ins zehnte Jahr ging, verschont geblieben. Doch nun erlangte Magdeburg wegen seiner wichtigen Elbebrücken große Bedeutung für die kriegführenden Feldherren. Sowohl Graf von Tilly, der die Truppen des deutschen Kaisers befehligte, als auch der Schwedenkönig Gustav Adolf, der 1630 mit seinen Soldaten auf Usedom gelandet war, wollten Magdeburg in ihren Besitz bringen.

Im März 1631 belagerte Tilly mit einem 25 000 Mann starken Heer die Mauern und Tore Magdeburgs. Den Kaiserlichen standen nur 2000 Bewaffnete gegenüber, die die Stadt zu verteidigen hatten. Eine aussichtslose Lage für die Bürger Magdeburgs.

Am Morgen des 10. Mai, um neun Uhr, hatten sich die vom Nachtdienst übermüdeten Posten gerade in ihre Quartiere begeben – da ließ Tilly das Signal zum Sturm geben. Gewaltsam drangen seine Soldaten in die Stadt ein. Während der blutigen Straßenkämpfe brachen an verschiedenen Stellen der Stadt Feuersbrünste aus, die sich rasch zu einem riesigen Brand vereinigten. Die kaiserlichen Soldaten gingen mit maßloser Grausamkeit vor. Sie mordeten und plünderten, und wer ihrem Gemetzel entging, der wurde ein Opfer der Flammen. Nur wenige Tausend Magdeburger entgingen dem Tode.

Als Tillys Landsknechte die eben noch blühende Stadt in ihrer Gewalt hatten, stand kaum mehr ein Stein auf dem anderen. Unversehrt geblieben war der Dom, ein Wahrzeichen Magdeburgs. Nur wenige Häuser und Fischerkaten waren von dem großen Feuerturm verschont geblieben.

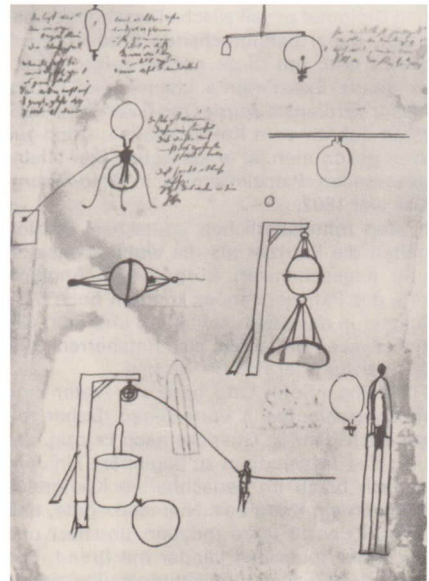
Otto Guericke hatte zur Befestigung seiner Vaterstadt und ihrer Verteidigung bis zum äußersten seine Pflicht getan. Jetzt war auch sein Haus zerstört, seine Habe geraubt. Mit den Familienangehörigen hatte er nur das nackte Leben retten können. Völlig mittellos trat er zunächst in schwedische Dienste und wirkte als Oberingenieur in Erfurt.

Später konnte er sich – wieder als Ratsherr – dem Aufbau seiner Vaterstadt widmen. 1646 wurde er zum Bürgermeister gewählt.

## Die Entdeckung des Luftdrucks

Guericke hatte 1650 eine Luftpumpe erfunden und versuchte zunächst, ein gut gearbeitetes Holzfaß luftleer zu pumpen. Doch durch die Fugen drang Luft laut zischend wieder ins Faß ein. Daraufhin ließ der Forscher eine große Kugel aus Kupferblech anfertigen, in die keine Außenluft gelangen konnte. Als man die Kupferkugel fast luftleer gepumpt hatte, wurde sie – wie Guericke berichtet – „plötzlich mit lautem Knall und zu aller Schrecken so zerdrückt, wie man ein Tuch zwischen den Fingern zusammenballt, oder als ob die Kugel von der äußersten Spitze eines Turms mit heftigem Aufprall herabgeworfen wäre“. Ein verblüffendes Versuchsergebnis. Guericke deutete es richtig: Es war eine Wirkung des Luftdrucks. Allerdings zeigte er sich erstaunt über die Gewalt, die der Luftdruck auszuüben vermochte.

Hier soll der große Physiker einmal selbst zu Wort kommen. In seinen „Neuen Magdeburgischen Versuchen“ hat er niedergeschrieben, was er der Welt damals über die Luft, die jedermann gedankenlos einatmet, Neues mitzuteilen hatte.



Konstruktionszeichnungen aus der Hand Guericckes





Versuch, mittels einer Luftpumpe in einem Faß ein Vakuum zu erzeugen

„Die Luft ist ein körperliches Etwas, die Wärme dehnt sie aus, die Kälte verdichtet sie; sie läßt sich zusammendrücken, doch haben Verdichtung und Verdünnung praktische Grenzen. Die Luft besitzt Gewicht und drückt sich selbst. Sie drückt auf alles.

Sie nimmt Schall und Geruch auf, wie Feuchtigkeit und Dämpfe. Wunderbares verrichtet sie am beseelten Wesen. Die Geschöpfe umgibt, beschützt, befeuchtet und erfrischt sie durch ihre Bewegung. Um ihr Wohlbefinden herbeizuführen, dringt sie in dieselben ein und erhält infolgedessen das Leben, indem sie das Atmen ermöglicht.

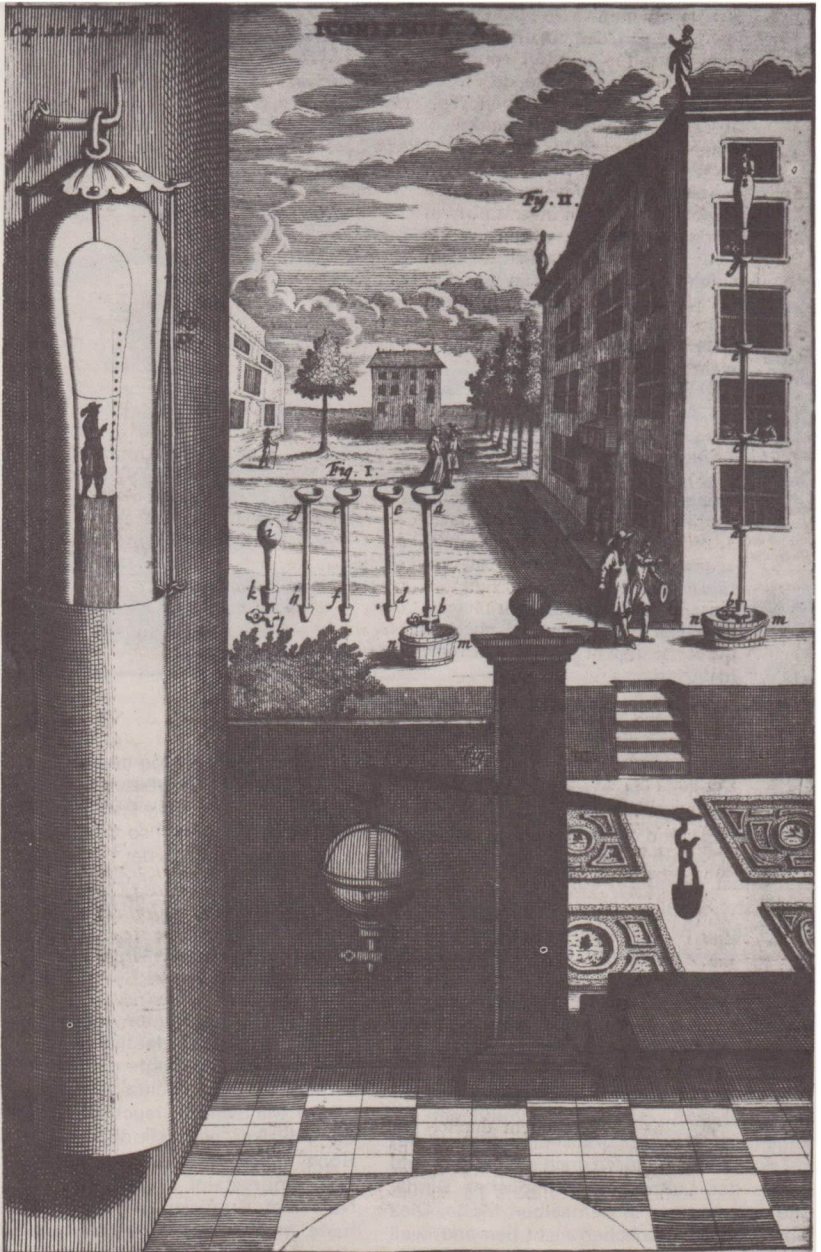
Die Luft besitzt Gewicht. Wenn die Luft kein Gewicht besäße, würde sie davonfliegen. Infolge ihres Gewichts drückt die Luft nicht nur auf sich selbst, sondern auch auf alle auf dem Boden des Luftmeeres befindlichen Dinge, und zwar immer in demselben Maße. Dies wird von uns Menschen nicht bemerkt, weil wir in der Luft selbst leben, welche uns von al-

len Seiten gleichmäßig und sich das Gleichgewicht haltend umgibt und zugleich durchdringt. Wie nämlich die Fische im Wasser keinen Druck verspüren, so fühlen um so weniger die Geschöpfe in der Luft einen solchen. Das Gewicht der Luft an der Erdoberfläche ist gleich dem einer etwa 20 Magdeburger Ellen hohen Wassersäule.“

Was es mit der Wassersäule von 20 Magdeburger Ellen Höhe auf sich hat, soll sogleich geklärt werden.

Guericke hatte an einer Außenwand seines Hauses ein außerordentlich langes Rohr befestigen lassen. Es ragte unten in einen Wasserbehälter und reichte fast bis zum Dach hinauf. Mit dieser Versuchsanordnung wollte der Physiker herausfinden, bis zu welcher Höhe Wasser in einem luftleer gepumpten Rohr emporsteigt.

Nachdem Guericke das Rohr ausgepumpt hatte, maß er eine Wassersäule, die 20 Magdeburger Ellen hoch war. Genau dieser Höhe





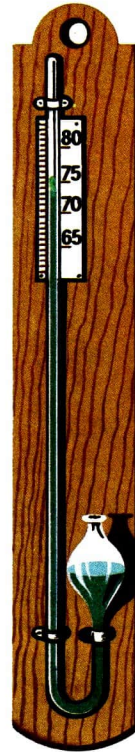
entsprachen die 18 Florentiner Ellen, die den italienischen Pumpenmachern soviel Kopferbrechen bereit hatten. Es handelte sich dabei um annähernd 10 Meter. So hoch steigt Wasser in einem Rohr, das man luftleer gepumpt hat. Nicht aber aus Abscheu vor der Leere. Der scharfsinnige Guericke kam zu dem einzig richtigen Schluß: Das Gewicht der irdischen Luftpölle, der Luftdruck also, treibt das Wasser in einem leergepumpten Rohr empor. Und der Druck, den eine etwa 10 Meter hohe Wassersäule ausübt, hält diesem atmosphärischen Luftdruck die Waage.

Guericke mußte allerdings feststellen, daß sich der Stand des oberen Wasserspiegels im Rohr häufig veränderte. Er beobachtete tägliche Schwankungen, ein anscheinend regelloses Steigen und Sinken. Folglich veränderte sich der Luftdruck. Nach langen Beobachtungen brachte der Forscher diese Erscheinung richtig mit dem Wettergeschehen in Verbindung. Der Luftdruck stieg oder sank je nach der Witterung.

Eine bedeutende Entdeckung. Damit hatte Guericke das Wasserbarometer erfunden, ein Meßgerät, mit dessen Hilfe er Wettervorhersagen machen konnte. So sah er zum Beispiel am 6. Dezember 1660, daß sein Barometer rasch auf einen tiefen Stand sank, und sagte einen schweren Sturm voraus. Nach zwei Stunden war das Unwetter da und richtete in der Umgebung Magdeburgs großes Unheil an.

Ergänzend sei hinzugefügt, daß auch der italienische Physiker Evangelista Torricelli ein Barometer erfand. Er benutzte allerdings Quecksilber als Barometerflüssigkeit, und da Quecksilber 13,6 mal schwerer als Wasser ist, war sein Barometer wesentlich kürzer und somit handlicher. Die Quecksilbersäule, die dem normalen Luftdruck die Waage hält, ist daher nur 76 Zentimeter hoch. In dieser Form war das Meßgerät transportabel und konnte unter anderem als Schiffsbarometer für Wettervorhersagen eingesetzt werden.

Das Wasserbarometer an Otto von Guericke's Haus

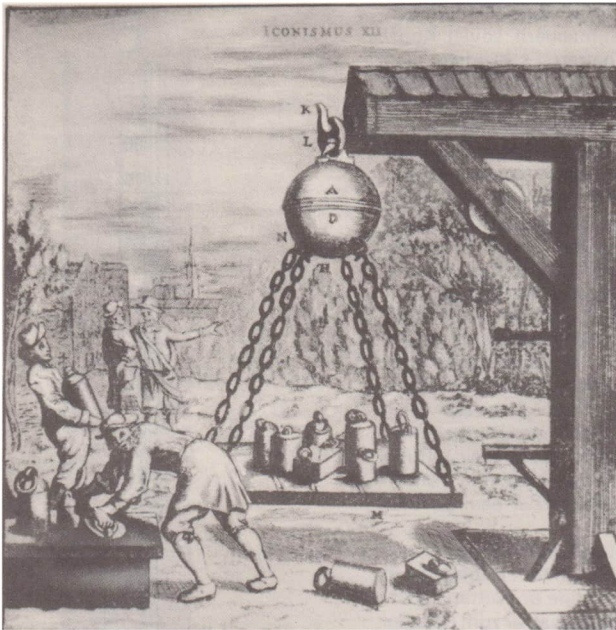


Toricellisches  
Quecksilber-  
barometer

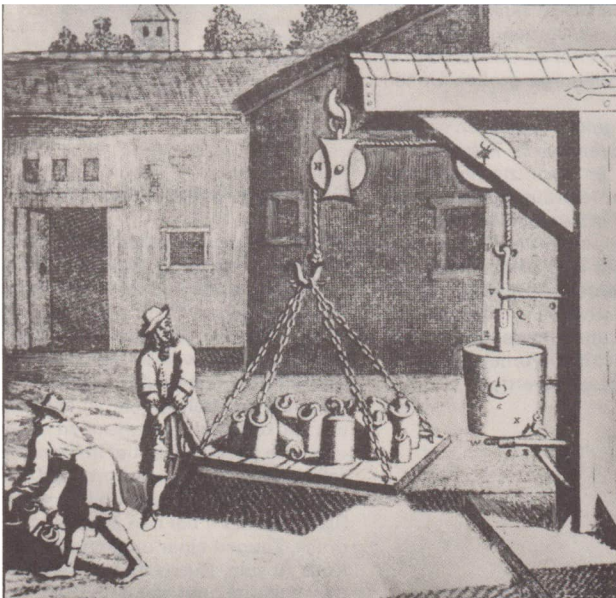
## Die erste Kolbenmaschine

Otto von Guericke hatte dem Reichstag in Regensburg mehrere Versuchsgeräte vorgestellt, um die vielfältigen Wirkungen des Luftdrucks zu zeigen. Doch sein berühmtes Experiment mit den „Magdeburger Halbkugeln“ wurde zu einer wahren Sensation.

Der Physiker hätte auf acht Pferde verzichten und eine der Halbkugeln an dem Stamm eines starken Baumes befestigen können. Aber er wußte auch, daß er tief im Denken verwurzelte Vorurteile besiegen mußte. Die doppelte Anzahl der Pferde war von ihm wohlbedacht. Sie verstärkten bei den Zuschauern den Eindruck, Zeugen einer ungeheuren Gewalt und Kraft zu sein. Durch diesen Versuch wurden das Vakuum und der Luftdruck in großem



Die luftleer gepumpten Magdeburger Halbkugeln tragen eine Platte mit Massestücken.



Der Luftdruck drückt den Kolben im Zylinder nieder und hebt dabei eine mit Massestücken belastete Platte.



Maße volkstümlich. Man glaubte, eine neue Naturkraft sei entdeckt worden.

Auch Guericke selbst war von seinem Experiment tief beeindruckt. Es interessierte ihn brennend, wie groß eigentlich die Kraft sei, mit der die Kugelhälften zusammengedrückt wurden. Er ließ auf seinem Hof ein festes Holzgerüst aufstellen, das die Form eines Galgens hatte und mit einem kräftigen Eisenhaken versehen war. An diesen Haken hängte er seine luftleer gepumpten Halbkugeln, und an die unteren Ösen der Kugel befestigte er vier Ketten, an denen eine starke quadratische Holzplatte hing.

Dann ließ der Physiker so lange eiserne Wägestücke auf die Platte legen, bis deren Gewicht beide Halbkugeln trennte. So ermittelte er den Betrag der Kraft, die auf seine Halbkugeln wirkte: 2 686 Magdeburger Pfund mußten auf die Platte gelegt werden, um die beiden Kugelhälften auseinanderzuziehen.

Heute kann man die Kraft, welche die „Magdeburger Halbkugeln“ zusammenhielt, genau berechnen. Der Durchmesser der Halbkugeln betrug 0,67 Magdeburger Ellen. Das sind 36,85 Zentimeter. Nun läßt sich eine der Kugelhälften ebensogut durch eine kreisförmige Platte ersetzen; die Wirkung des Luftdrucks würde sich dadurch nicht ändern.

Mit welcher Kraft drückt die Luft auf eine solche Platte?

Um dies zu ermitteln, muß man zunächst deren Fläche errechnen. Sie ergibt sich aus dem gegebenen Durchmesser und beträgt 1066 Quadratzentimeter. Auf einen jeden Quadratzentimeter wirkt der normale Luftdruck in Meeresspiegelhöhe mit einer Kraft von 10,13 Newton oder 1,033 Kilopond. Multipliziert man diese Beträge mit 1066, der Anzahl der Quadratzentimeter, so erhält man 10800 Newton beziehungsweise 1 100 Kilopond.

Mit dieser großen Kraft preßte der Luftdruck die „Magdeburger Halbkugeln“ zusammen. Sie würde ausreichen, einen Körper in der Schwebe zu halten, der eine Masse von 1,1 Tonnen hat. Und genau dies konnte der experimentierfreudige Otto von Guericke dann auch beweisen.

Der Forscher ersann für diesen Versuch ein neues Gerät, einen einseitig geschlossenen hohen Zylinder aus Eisen; darin befand sich ein luftdicht beweglicher Kolben, dessen Durchmesser dem der „Magdeburger Halbkugeln“ genau entsprach. Der Zylinder war mit einem Pumpansatz und einem Schließhahn versehen. Er wurde an jenem Holzgerüst festgemacht, das Guericke bereits für den gerade beschriebenen Versuch verwendet hatte.

Die Kolbenstange war mit einem starken Tau verbunden, das oben im Galgenwinkel über zwei Rollen lief. An diesem Seil befestigte der Forscher – wiederum mittels vier Ketten – die quadratische Gewichtsplatte.

„Mit dieser Vorrichtung“, schrieb Guericke, „vermag ein zwölf- oder fünfzehnjähriger Knabe ein noch so schweres Gewicht aufzuheben.“

Zum Beweis ließ er die Holzplatte wiederum mit Wägestücken von 2686 Magdeburger Pfund beschweren. Dann befestigte er an dem Pumpansatz eine kleine Handpumpe, mit deren Hilfe ein Junge allmählich die Luft aus dem Hohlzylinder herauszog. War der Zylinder hinreichend luftverdünnt, schob der äußere Luftdruck den Kolben in den Zylinder hinein und hob das Brett mit den darauf liegenden Wägestücken in die Höhe. So zwang Guericke den atmosphärischen Luftdruck zu einer Arbeitsverrichtung.

Wiederum eine großartige Erfindung. Leonardo da Vinci hatte den Kolben mit einem Zylinder lediglich skizziert. Doch der einfallreiche Physiker Guericke hatte einen Versuchsapparat hergestellt, dessen Kolben Hubarbeit verrichten konnte. Voraussetzung dafür war lediglich, unter dem Kolben ein Vakuum herzustellen. Otto von Guericke tat dies mittels einer Luftpumpe. Es konnte jedoch auch andere Wege geben, ein Vakuum zu erzielen.

Mit diesem Gerät hatte Guericke eine Kolbenmaschine entwickelt, bei welcher der Druck der Luft – eines Gases – Arbeit verrichtet. Es war der erste praktische Schritt in der Technikgeschichte, eine gänzlich neue Antriebsmaschine zu schaffen.





### 3. Das Vakuum und die Kraft des Feuers

Die Sorgen der englischen Grubenbesitzer wuchsen von Tag zu Tag. Man konnte den großen Bedarf an Kohle und Eisen nicht mehr befriedigen. Gerade dort, wo der Berg am ergiebigsten war, in größeren Tiefen, wurde man des Grundwassers nicht mehr Herr. Es gab Gruben, in denen mehr als einhundert Haspelknechte und Hunderte von Pferden eingesetzt werden mußten, nur um das Grundwasser zu fördern.

So standen Techniker und Erfinder vor der schweren Aufgabe, eine Maschine zu schaffen, die „Wasser mit Hilfe der Kraft des Feuers“ zu heben vermochte. Der Weg zu dieser ersehnten Maschine war weit und voller Hindernisse.

#### Denis Papins Kochtopf

Im Schloßpark der hessischen Residenzstadt Kassel trugen livrierte Diener eilig gepolsterte Stühle zu einer schattigen Rasenfläche und stellten sie dort in einem Halbkreis auf. Der hessische Landgraf Karl hatte den Wunsch, mit einigen Beamten seines Hofes einen wissenschaftlichen Vortrag anzuhören und einem Experiment beizuwohnen. Der Vortragende stand schon geraume Zeit mit einem Gehilfen und seinem Versuchsgerät bereit: der 43jährige Denis Papin.

Professor Papin war von Geburt Franzose und wirkte an der Marburger Universität, wohin ihn der Landgraf auf den Lehrstuhl für Mathematik berufen hatte. In jungen Jahren hatte Papin Medizin studiert, doch er interessierte sich mehr für die Technik und die Physik als für den Arztberuf, den er dann auch bald aufgab.

In Paris und London arbeitete er mit so bekannten Physikern wie Christian Huygens und Robert Boyle zusammen. Es gelang ihm, eine verbesserte Luftpumpe zu entwickeln, und dann erfand er einen Druckkochtopf, den nach ihm benannten *Papinschen Topf*. Dieses Gerät wird noch heute verwendet, und als moderner Schnellkochtopf ist es in vielen Haushalten anzutreffen.

In einem gewöhnlichen Kochtopf, aus dem beim Sieden des Wassers der Dampf entweichen kann, läßt sich Wasser nicht über die Temperatur von 100 Grad Celsius hinaus erwärmen. Schließt man jedoch einen Topf luftdicht ab, so steigt infolge der Dampfbildung der Druck im Innern des Gefäßes stark an. Und damit erhöht sich auch die Siedetemperatur des Wassers. Denn die Siedetemperatur einer Flüssigkeit ist abhängig von

dem Druck, der auf ihr lastet. So erklärt sich, weshalb die in einem *Papinschen Topf* zubereiteten Speisen überraschend schnell gar werden.

Die ersten dieser Töpfe, die Denis Papin ausprobierte, hielten dem Dampfdruck nicht stand; sie explodierten, und ihre Bruchstücke flogen ihm und den Gelehrten der Königlichen Wissenschaftlichen Gesellschaft zu London nur so um die Ohren. Daraufhin ließ Papin dickere Töpfe herstellen; den Deckel versah er mit einem Sicherheitsventil, das er erfunden hatte. Wenn jetzt der Dampfdruck ein gewisses Maß überstieg, konnte Dampf durch dieses Ventil entweichen. Von nun an funktionierten seine Dampfdrucktöpfe ausgezeichnet, und Papin wurde als geachteter Wissenschaftler anerkannt.

Der Gelehrte setzte seine Dampfexperimente fort und machte dabei eine erstaunliche Entdeckung: Es kam vor, daß er das Wasser über einige Zeit sieden ließ und viel Dampf aus dem Sicherheitsventil geströmt war. Wenn er dann das Feuer wegnahm und wartete, bis sich der Topf abgekühlt hatte, ließ sich der Deckel von dem erkalteten Topf nur unter großer Kraftanstrengung abheben. Man mußte ihn förmlich gewaltsam abreißen. Es sei denn, man ließ zuvor Luft durch das Sicherheitsventil in den Topf ein.

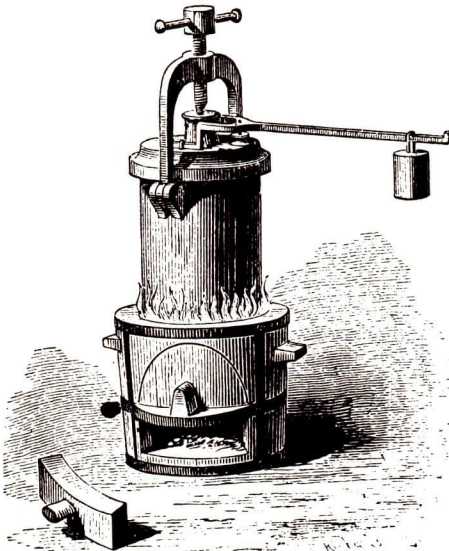
Was gar geschehen?

Der hochgespannte Dampf hatte das Topfinnere völlig ausgefüllt, war dann in großen Mengen entwichen. Während der Topf abgekühlte, kondensierte der Dampf wieder zu Wasser, das aber ein wesentlich kleineres Volumen einnahm. Als Folge entstand im Topfinneren ein Vakuum, ein stark luftverdünnter Raum, und der äußere Luftdruck preßte den Deckel fest.



Denis Papin (1647–1712)

Diese Beobachtung brachte Denis Papin auf die Idee, auf ähnliche Weise in einem Zylinder ein Vakuum unter einem beweglichen Kolben herzustellen. Und diesen Apparat wollte er seinem Landesherrn Karl von Hessen vorführen – in der Hoffnung, Geldmittel für den Bau einer großen und leistungsfähigen „Feuermaschine“ zu erhalten.



Papinscher Topf

## Die Vereinigung von Dampf und Kolben

Der Landgraf von Hessen hatte eine große Leidenschaft für technische Spielereien. Er versprach sich von dem Experiment seines Professors Papin eine amüsante und zugleich geistreiche Abwechslung. Huldvoll ließ er sich begrüßen und besichtigte eingehend das Gerät, welches Papin aufgebaut hatte.

Auf einem eisernen Gestell stand ein schmaler Zylinder aus starkem Eisenblech, der etwa so dick war wie ein Männerarm. In dem Zylinder befand sich ein Kolben, in den eine senkrechte Stange geschraubt war. Über diesem Gerät hingen zwei feste Seilrollen an einem metallenen Galgen. Ein Bottich mit Wasser stand bereit, ebenso ein Kohlebecken. Der Gehilfe Papins fachte die Glut mit einem Blasebalg heftig an.

Der Landgraf und seine Höflinge hatten es sich auf den Stühlen bequem gemacht, und Papin begann mit seinem Vortrag. Er hob einen Eisenkörper von 27 Kilogramm ein wenig vom Boden auf und ließ ihn ins Gras zurückplumpsen.

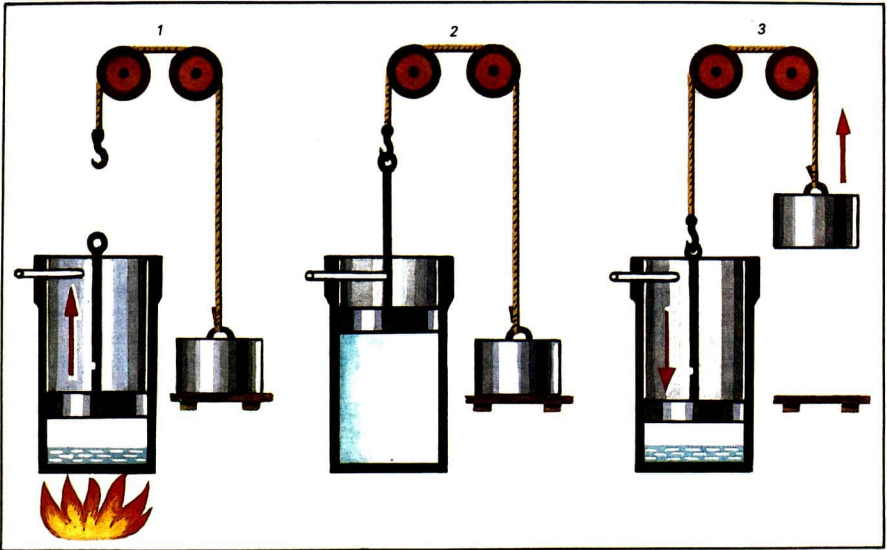
„Dieses Eisenstück wiegt mehr als einen halben Zentner. Ich kann es ohne jede körperliche Anstrengung vom Boden aufheben. Und zwar mit Hilfe dieses Kolben-Apparates.“

Er zog den Kolben aus dem Zylinder heraus und wies darauf hin, daß dieses Gefäß leer sei. Nun goß sein Gehilfe etwas Wasser in den Zylinder. Daraufhin führte Papin den Kolben wieder in den Hohlkörper ein und ließ ihn so weit hinab, bis er auf dem Wasserspiegel lag. Sein Gehilfe stellte das Kohlebecken unter den Zylinder, stieß einen Feuerhaken in die Glut und schürte das Feuer, bis helle Flammen emporschlugen.

„Die Wärme, die wir dem Wasser zuführen, wird dieses erhitzen und zum Sieden bringen. Der Dampf, der dann entsteht, benötigt viel mehr Raum als das Wasser. Wenn er einen ausreichenden Druck angenommen hat, verschafft er sich diesen Raum selbst, indem er den Kolben in die Höhe hebt.“

Man wartete geduldig, bis es in dem Zylindergefäß zu summen begann. Bald darauf schob sich die Kolbenstange allmählich heraus. Mit Hilfe einer Vorrichtung klemmte der Professor sie fest. Damit wolle er verhindern, erklärte er seinen Zuhörern, daß der Kolben zu früh in den Zylinder zurückgleiten könne.





Ein Arbeitshub der Versuchsmaschine von Papin: 1 Der Wasserdampf hebt den Kolben. 2 Der Kolben wird festgeklemmt und der heiße Zylinder mit kaltem Wasser übergossen; dadurch kondensiert der Dampf zu Wasser und hinterläßt ein Vakuum. 3 Die Kraft des Luftdrucks schiebt den Kolben in den Zylinder und hebt dabei ein Massestück.

„Der Hohlzylinder ist nun völlig mit Dampf gefüllt. Ich darf darum bitten, dem folgenden Teil des Experiments besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Denn er wird sehr rasch ablaufen.“

Der Physiker befestigte an der Kolbenstange ein Seil, das er über die beiden Rollen führte. Es reichte gerade bis zur Erde. Dann hakte Papin daran das schwere Eisenstück. Sein Gehilfe zog das Kohlebecken zur Seite und schüttete mit einem Schwunge das Wasser aus dem Bottich gegen den Zylinder, daß es aufzischte.

Jetzt löste Papin die Klemmvorrichtung. Jeder beobachtete überrascht das Eisenstück, das, wie von Geisterhand bewegt, an dem Seil einige Fuß emporschwebte und in dieser Höhe hängen blieb.

Der Landgraf hatte sich vorgebeugt. Er schüttelte ungläubig den Kopf und blickte Denis Papin fragend an.

„Der Vorgang ist abgelaufen wie folgt: Wasserdampf hat den Kolben gehoben und das gesamte Zylindervolumen ausgefüllt. Nachdem wir den heißen Zylinder mit kaltem Wasser gekühlt haben, wandelte sich der Dampf

vollständig in Wasser zurück. Er kondensierte. Und da dieses Wasser wesentlich weniger Raum benötigt als zuvor der Dampf, ist im Zylinder ein Vakuum entstanden.“

Der Landgraf erhob sich. Mit großem Interesse besah er noch einmal Denis Papins Versuchsmaschine.

„Ich verstehe, bester Professor. Als Ihr den Klemmhebel, diesen hier, gelöst habt, hat der äußere Luftdruck auf den Kolben eingewirkt. Unglaublich, lieber Papin, wozu Luft fähig ist.“

Mit einigen freundlichen Komplimenten bedankte sich der Landgraf für das „vortreffliche Amüsement“, das Papin ihm bereitet habe, und wandte sich anderen Zerstreungen zu.

Der kleine Versuchszylinder kann als Urform der Dampfmaschine bezeichnet werden. Gewiß – seine Arbeitsweise war umständlich, ein jeder Arbeitshub benötigte viel Zeitaufwand, und das Maschinchen ging nicht gerade sparsam mit Wärmeenergie um. Doch hier waren erstmals Kolben und Dampf miteinander in Verbindung gebracht worden. Und vor allem: Professor Papin hatte seinem Gerät Wärme-

energie zugeführt, dafür verrichtete diese eine Hubarbeit, gab also mechanische Energie ab. Es war eine funktionierende Wärmekraftmaschine. Was für ein bedeutender wissenschaftlicher und technischer Fortschritt!

## Zerschlagene Träume

Papin rechnete aus, daß eine größere Maschine von 1 200 Millimeter Höhe und mit einem Zylinderdurchmesser von 610 Millimetern sehr große Lasten bewältigen könne. Nach seiner Schätzung würde sie in 1 Minute einen Körper mit einer Masse von 3 600 Kilogramm um 1,2 Meter anheben. Dies bedeutete eine Leistung von fast 1 Pferdestärke oder rund 700 Watt.

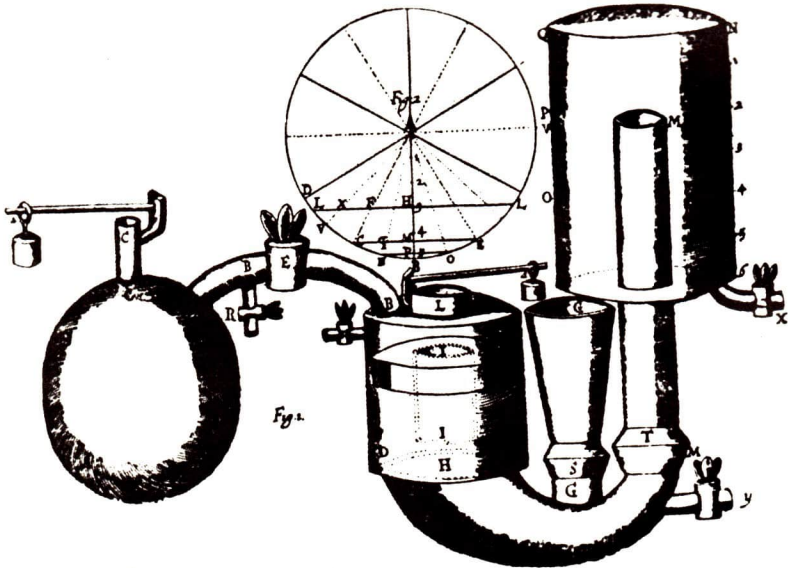
Als Papin seine Pläne dem Landgrafen vorlegte, wollte der Fürst wissen, wozu man denn eine solche Maschine verwenden könne.

„Diese Erfindung kann die menschlichen Kräfte ins Unglaubliche steigern. Mühelos ließe sich das Grubenwasser auspumpen. Eine Waffe wäre ebenfalls möglich, ein Rohr, das mit großer Kraft Bomben wirft. Oder man

könnte mit dieser Maschinenkraft ein Schiff ausrüsten, so daß es mittels eines Schaufelrades gegen den Wind und gegen den Strom fährt.“

Karl von Hessen hatte andere Vorstellungen und Wünsche. Er dachte an die großartigen Wasserkünste, mit denen Frankreichs König Ludwig XIV. in seinem Versailler Schloßpark prahlte. Eine sehr kostspielige Maschinerie war es, die zu Marly Wasser für die vielen Fontänen und Springbrunnen förderte. Etwas Derartiges konnte sich der Fürst eines kleinen deutschen Feudalstaates nicht leisten. Aber vielleicht ließ sich die Erfindung Papins für solche Wasserkünste verwenden.

So erhielt denn der glückliche Papin tatsächlich den Auftrag, seine Maschine bauen zu lassen. Der Professor stellte zunächst mit den bescheidenen Hilfsmitteln seines Laboratoriums ein Modell her. Dann traten allerdings Probleme auf, an die er nicht gedacht hatte. Um seine Konstruktion zu verwirklichen, benötigte Papin einen aus Eisen gegossenen Zylinder, der ausgebohrt und in den der Kolben genauestens eingeschliffen werden mußte. Der Erfinder fand keine Werkstatt und keine Handwerker, die diese Maschinenteile her-

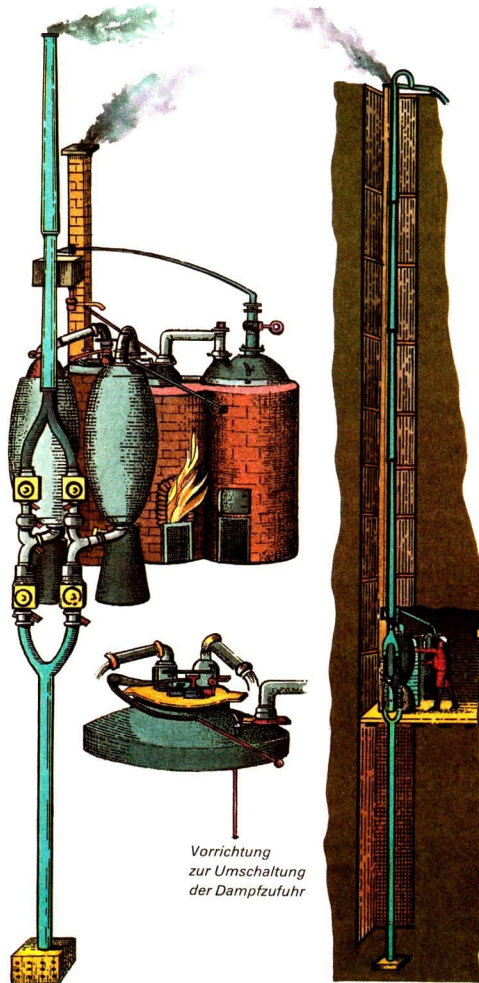


Entwurf Papins zu einer atmosphärischen Dampfpumpe



Die kolbenlose  
Dampfpumpe  
von Thomas Savery  
(siehe Seite 68)

*Gesamtansicht  
der Pumpe*



*Vorrichtung  
zur Umschaltung  
der Dampfzufuhr*

stellen konnten. Die Produktionstechnik jener Zeit war für derartige Präzisionsarbeiten noch nicht genügend fortgeschritten. Es fehlte an Arbeitserfahrung und an geeigneten Arbeitsmaschinen.

Daher richtete Papin an den Landgrafen eine Denkschrift. Darin regte er an, eigens für die Herstellung großer Zylinder und Kolben eine Fabrik zu errichten und darin Mechaniker für diese Arbeiten auszubilden. Wie sich denken

läßt, mußte dieser weitsichtige Plan Papins in dem Ländchen Hessen ein Traum bleiben. Auch seine vielen anderen Vorschläge und Pläne blieben Träume. Daher beschloß Papin, wieder nach England zu gehen. Er hatte einige Jahre zuvor ein kleines Schiff bauen lassen, das von Schaufelrädern angetrieben werden sollte. Dieses Schiff war jetzt Papins kostbarster Besitz. Alle seine Hoffnungen kammerten sich daran. Er war fest davon

überzeugt, in England einen Geldgeber zu finden, um dieses Fahrzeug mit seiner Maschine ausrüsten zu können.

Er befuhr mit seinem Schiff 1707 die Fulda, um es nach England zu überführen. Doch bei Münden geriet er mit einigen Schiffern in Streit, deren Gilde kein fremdes Fahrzeug auf ihren Gewässern duldete. Sie befahlen ihm umzukehren. Da Papin sich widersetzte, zogen die Aufgebrachten sein Schiff gewaltsam aufs Ufer und zertrümmerten es.

Niedergeschlagen und mittellos gelangte Papin nach England. Hier, in dem technisch und wirtschaftlich führenden Lande Europas, hätte man noch vor einigen Jahren seine Erfindung freudig begrüßt. Jetzt hatten andere Techniker dem Bergbau die dringend benötigten Maschinenpumpen geschaffen. Papin war zu spät gekommen.

Er lebte noch einige Jahre in England unter den dürtigsten Verhältnissen. Man kennt einen erschütternden Brief von seiner Hand, in dem er um 15 Pfund Sterling bittet, um ein „bedeutendes Experiment“ durchführen zu können. Das Antwortschreiben, das die Bitte des Physikers ablehnt, ist ebenfalls erhalten geblieben.

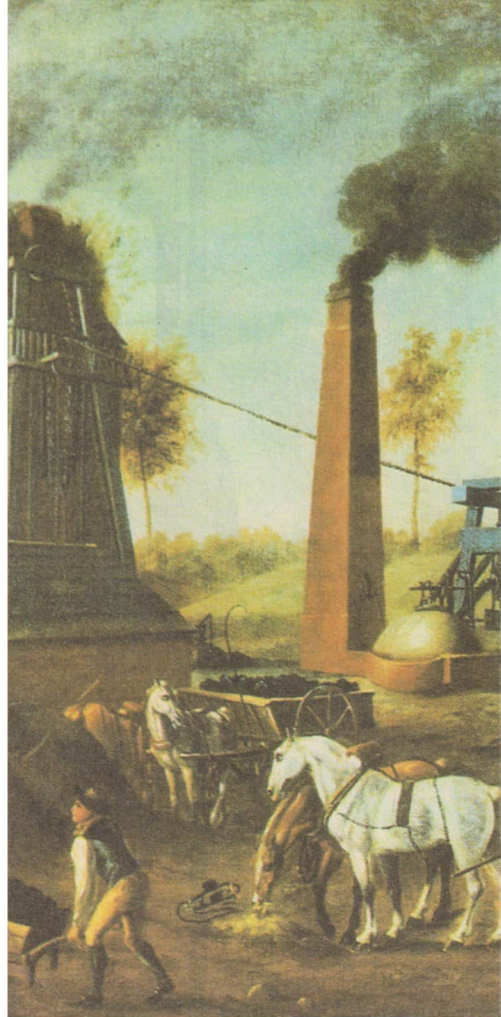
Denis Papin starb 1712, verarmt und vergessen. Weder der Ort noch der Tag seines Todes sind genau bekannt.

## Des Bergmanns Freund

An einem Werktag des Jahres 1706 erschütterte plötzlich eine schwere Explosion die Kohlengruben nahe der englischen Industriestadt Wednesbury. Unter den Bergleuten gab es Verletzte; die meisten von ihnen hatten Verbrühungen davongetragen. Der Grubenbesitzer eilte in den Schacht und mußte entdecken, daß der Dampfkessel der nagelneuen Grubenwasserpumpe zerborsten war.

Diesen Maschinentyp, eine kolbenlose, mit Dampfdruck und Vakuum arbeitende Pumpe, setzte man zu jener Zeit häufig in den Bergwerken ein. Ihr Erfinder, der Marinetechniker und Bergwerksingenieur Thomas Savery, hatte sie *the miner's friend* getauft, auf deutsch *des Bergmanns Freund*. Denn die Pumpe sollte die durch das Wasser gefährdeten Gruben retten und somit auch der Bergleute Arbeit und Brot sichern helfen.

Wie hatte das Unglück geschehen können?



Mittelenglische Kohlengrube mit atmosphärischer Dampfmaschine; um 1725 (siehe Seite 70)

Diese Pumpe, die Thomas Savery 1698 patentiert wurde, verbrauchte zwar Unmengen an Brennstoff, gab jedoch nur eine geringe Leistung ab. Sie vermochte das Grubenwasser aus diesem tiefen Schacht zunächst nicht zu fördern. Daher hatte der Maschinenwärter den Dampfdruck unzulässig erhöht. Nun stieg zwar das Wasser aus der Tiefe herauf, zugleich wuchs die Gefahr einer Explosion. Der





Dampfkessel war nicht mit einem Druckmesser ausgerüstet und konnte nur einem Druck von 3 Atmosphären standhalten, das sind etwa 300 Kilopascal. So kam es, daß er auseinanderflog, die Pumpanlage zertrümmerte und den Schacht verwüstete.

Obwohl sich Saverys Wasserhebemaschine im Bergbau nicht besonders bewährte und den Käufern die versprochene Hilfe nicht ge-

ben konnte, wurde sie allgemein bewundert. Erstmals gab es eine große Maschine, die Wärmeenergie zum Verrichten von Hubarbeit nutzte. Endlich hatte man die Kunst entdeckt, „Wasser durch Feuer zu heben“. Man verwendete diese Konstruktion schließlich zum Wasserpumpen in Schlössern, Gärten und Treibhäusern, wo sie sich gut einsetzen ließ und einigen Nutzen brachte.

## Thomas Newcomen und sein kohlefressendes Ungeheuer

Wer um 1725 auf einer der verschlammten Landstraßen Südenglands zu den Kupfergruben von Cornwall unterwegs war, vernahm bereits von weitem einen anhaltenden Lärm, ein sich regelmäßig wiederholendes Krachen. Das Getöse wurde um so lauter, je näher man dem Bergwerk kam. Um herauszufinden, welche Ursache es hatte, brauchte man nur den Pferdewagen nachzugehen, die, schwer mit Kohle beladen, zu den Gruben fuhren. Dann gelangte man zu einem steinernen, etwa 18 Meter hohen Gebäude, aus dessen Schornstein dicke Rauchwolken quollen. Dicht unter dem Dach des Hauses befand sich ein Mauerdurchbruch, aus dem der auf und ab schwingende Balken eines großen Balanciers ragte. Am Ende dieses Schwinghebels hing eine Kette und daran senkrecht eine eiserne Stange, die in einem Schacht verschwand. Dort unten, in großer Tiefe, bewegte sie eine starke Saugpumpe. Etwa 12- bis 15mal in der Minute wurde die Stange auf und nieder bewegt. Und bei jedem Auf und Ab schlug der Balancier mit Wucht gegen abfedernde Balken; von diesen Stößen wurde das ganze Haus erschüttert.

Kohlenfuhrwerke, die vor diesem Gebäude anhielten, wurden bereits ungeduldig erwartet. Ein Heizer, dem der Schweiß in Bächen über den nackten, rußgeschwärtzten Oberkörper lief, verlangte lauthals nach Kohle. Ein Fuhrmann, der gerade gemächlich seine Pfeife stopfen wollte, stieß einen Kollegen an und grinste.

„Ich hab gehört“, meinte er, „um ein Bergwerk mit so'ner Feuermaschine zu entwässern, braucht man'ne Eisengrube, um sie zu bauen, und dann ein Kohlebergwerk, um sie zu heizen.“

Diese spöttische Redewendung war zu jener Zeit in vieler Munde. Die Maschine war tatsächlich so riesig, daß sie in einem dreistöckigen Gebäude gerade Platz fand, und man benötigte, um sie zu bauen, große Mengen an Eisen. Sie machte einen ohrenbetäubenden Lärm, was bei vielen Menschen die Vorstellung hervorrief, einer gewaltigen Kraft gegenüberzustehen. Und sie fraß Kohle wie ein Nimmersatt.

Doch zugleich war sie die erste brauchbare Kolbenmaschine. Mit ihr hatte man das Pro-

blem der Wasserhaltung im englischen Bergbau endlich gelöst. Sie war allerdings auch zu nichts anderem zu gebrauchen, denn sie konnte lediglich eine Auf- und Abbewegung vollführen, also eine Pumpe antreiben. Einen Mülstein drehen konnte sie nicht. Konstruiert hatte diese „Feuermaschine“ der englische Techniker Thomas Newcomen.

## Ein Werkzeughändler wird Maschinenkonstrukteur

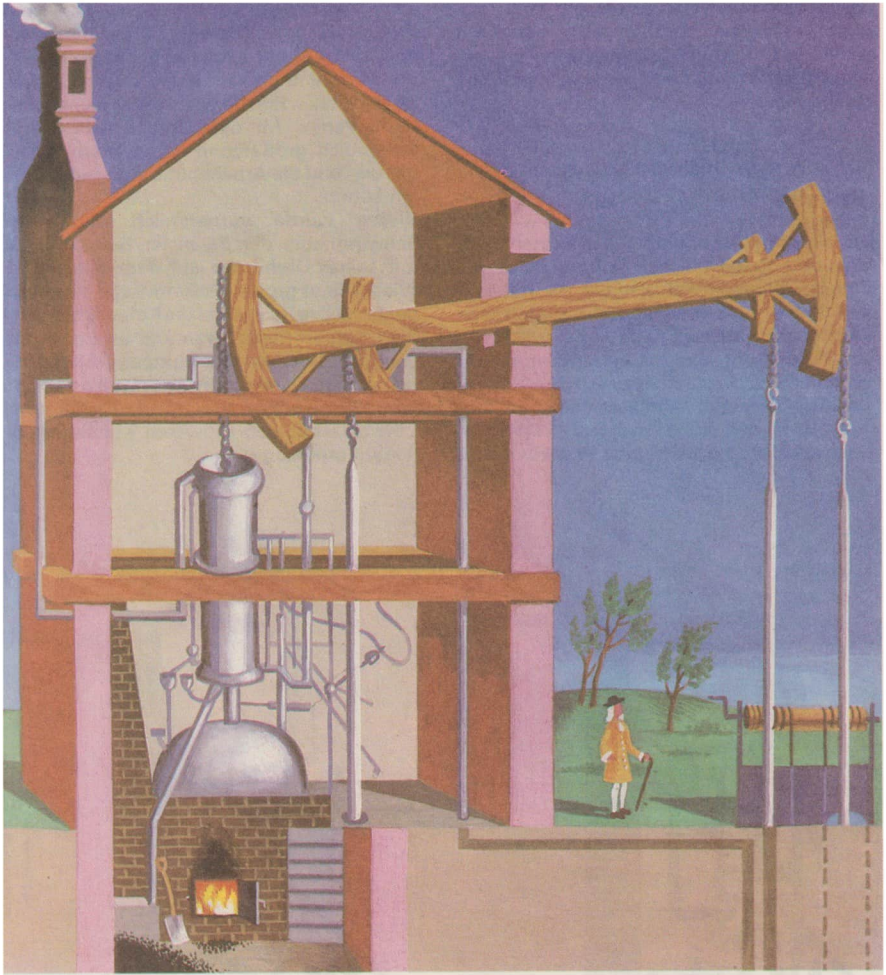
Thomas Newcomen lebte in Dartmouth, einem abgelegenen Hafenstädtchen an der Kanalküste. Er war Schlossermeister und stellte vornehmlich Werkzeuge her. Mit seiner Ware fuhr er von Grube zu Grube, um sie dort an den Mann zu bringen. Daher kannte er die Probleme der Wasserhaltung und die Sorgen der Grubenbesitzer und Bergleute aus eigener Anschauung.

Eines Tages stellte man in der Nähe Dartmouths eine Dampfmaschine von Thomas Savery auf. Newcomen interessierte sich sofort für diese neuartige Maschine, und wenn er abends seine Werkstatt abgeschlossen hatte, wanderte er häufig mit seinem Freund, dem Glasermeister John Cawley, vor die Stadt, um zu beobachten, wie *the miner's friend* arbeitete. Dabei stießen die Freunde auf einige technische Probleme.

Thomas Newcomen wandte sich mit diesen Fragen brieflich an Robert Hooke, einen der bekanntesten Physiker Englands. Vielleicht spielte er damals schon mit dem Gedanken, eine leistungsfähigere Maschine zu konstruieren. Durch den Briefwechsel, der sich zwischen ihm und Robert Hooke ergab, erfuhr der wißbegierige Schlossermeister von den Experimenten Denis Papins und dessen Versuchszyylinder.

Was Newcomen über die Versuche Papins vernahm, regte ihn zum Weiterdenken an. Gemeinsam mit seinem Freund Cawley faßte er den Plan, eine gut funktionierende Wasserhebemaschine für den Bergbau zu entwickeln. Als er 1705 mit den ersten Versuchen begann, war er 42 Jahre alt geworden. Zunächst stellte er in seiner Werkstatt ein Modell der geplanten Maschine her. Die Konstruktion konnte mit einer wesentlichen Verbesserung gegenüber dem Versuchsgerät Papins aufwarten: Der Dampf wurde in einem ge-





Newcomens atmosphärische Maschine

sonderten Kessel erzeugt, von dort sollte er in den Zylinder geleitet werden. Sechs Jahre brauchte Newcomen, um den Bau der Maschine vorzubereiten. Es gab für ein derartiges Vorhaben keinerlei Erfahrungen, daher mußte Newcomen lange suchen, bis er geeignete Arbeiter gefunden hatte. 1711 war es soweit. Cawley streckte ihm die nötigen Gelder für Materialkauf und Löhne vor. Newcomen gelang es, die im Bau befind-

liche Maschine an einen Grubenbesitzer zu verkaufen, und 1712 nahm sie in einem Bergwerk die Arbeit auf. Sie bewährte sich von Anfang an. Bald wurde sie von den englischen Grubenbesitzern lebhaft begehrt, und Newcomen bekam alle Hände voll zu tun. Seine „Feuermaschine“ wies zwar auch noch Mängel auf, doch ließ sie sich zuverlässig für die Wasserhaltung im Bergbau einsetzen. Die Besitzer der Berg-

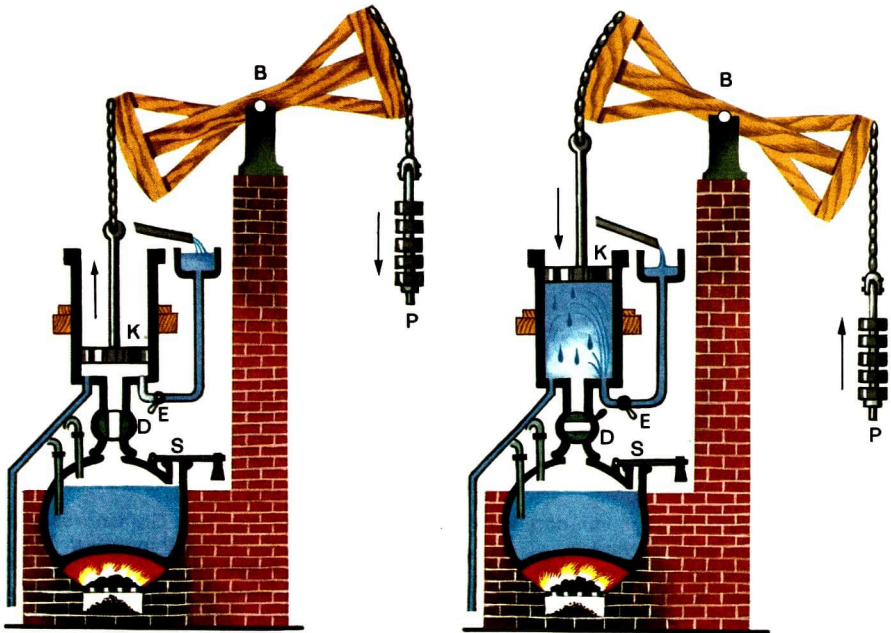
werke waren froh, daß sie endlich die Pferdegöpel abschaffen konnten. Die neue Maschine arbeitete viel billiger, denn sie war ziemlich einfach zu bedienen und ersetzte bis zu 50 Pferde.

## Newcomen läßt die Atmosphäre arbeiten

Die Maschine Newcomens hatte einen einfachen und übersichtlichen Aufbau. Der kugelförmige Dampfkessel war bis zur Hälfte in dem Mauerwerk des Heizofens eingelassen. Vom oberen Mittelpunkt des Kessels führte ein dickes Rohr, das mit einem Dampfahn versehen war, in einen eisernen Zylinder von geradezu riesigen Abmessungen. Er maß 4 Meter in der Höhe und fast 1 Meter im Durchmesser. In ihm befand sich ein mittels

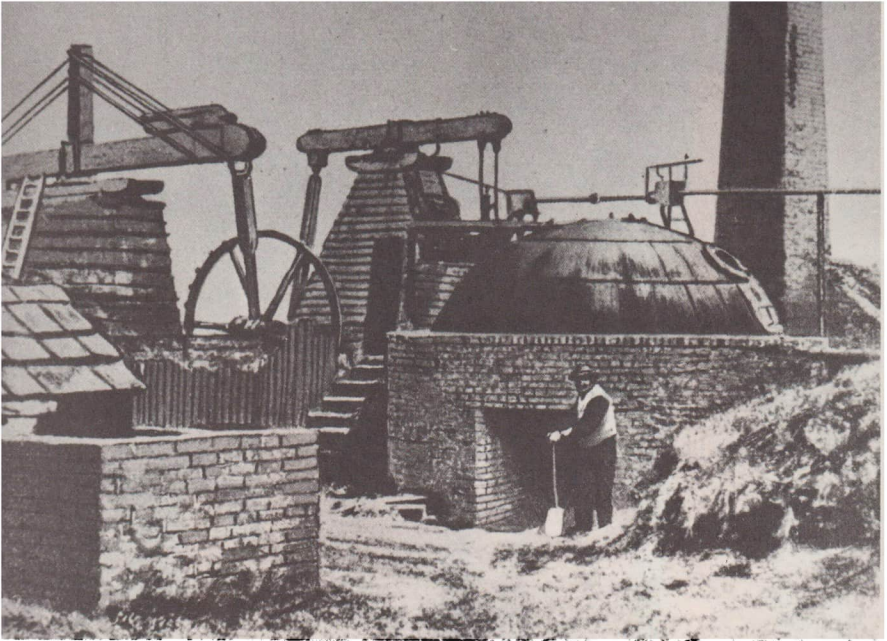
eines Lederringes gut abgedichteter, beweglicher Kolben, an dem eine Kolbenstange von mehr als 4 Meter Länge befestigt war. Die Maschine funktionierte im Grunde nach dem gleichen Prinzip wie der Versuchskolben Denis Papins. Mit dem Unterschied, daß sie wesentlich größer und damit leistungsfähiger war und die Arbeitshübe stetig wiederholen konnte.

Dieses wurde vornehmlich durch den Schwinghebel, den Balancier, bewirkt. Er lag mit seiner Drehachse auf dem Mauerwerk. Wie an einer großen Balkenwaage hing an einer Seite des Balanciers die Kolbenstange mit dem Kolben daran, während an der entgegengesetzten Seite das Pumpengestänge befestigt war. Dieses wurde zusätzlich mit einigen Eisenstücken beschwert, damit deren Gewichtskraft den schweren Kolben im Zylinder emporzog.



Die Arbeitsweise der atmosphärischen Maschine: Zu Beginn des Arbeitstaktes ist der Dampfahn D geöffnet. Am Balancier B hängt das Pumpengestänge P; dessen Gewicht zieht den Kolben K hoch. Gleichzeitig strömt Dampf in den Zylinder ein. Das Sicherheitsventil S soll einen Überdruck im Zylinder verhindern. – Der Dampfahn D ist geschlossen. Der Einspritzhahn E wird geöffnet, kaltes Wasser strömt ein. Da der Dampf kondensiert, entsteht ein Vakuum, und der Luftdruck schiebt den Kolben in den Zylinder. Er hebt dabei das Pumpengestänge.





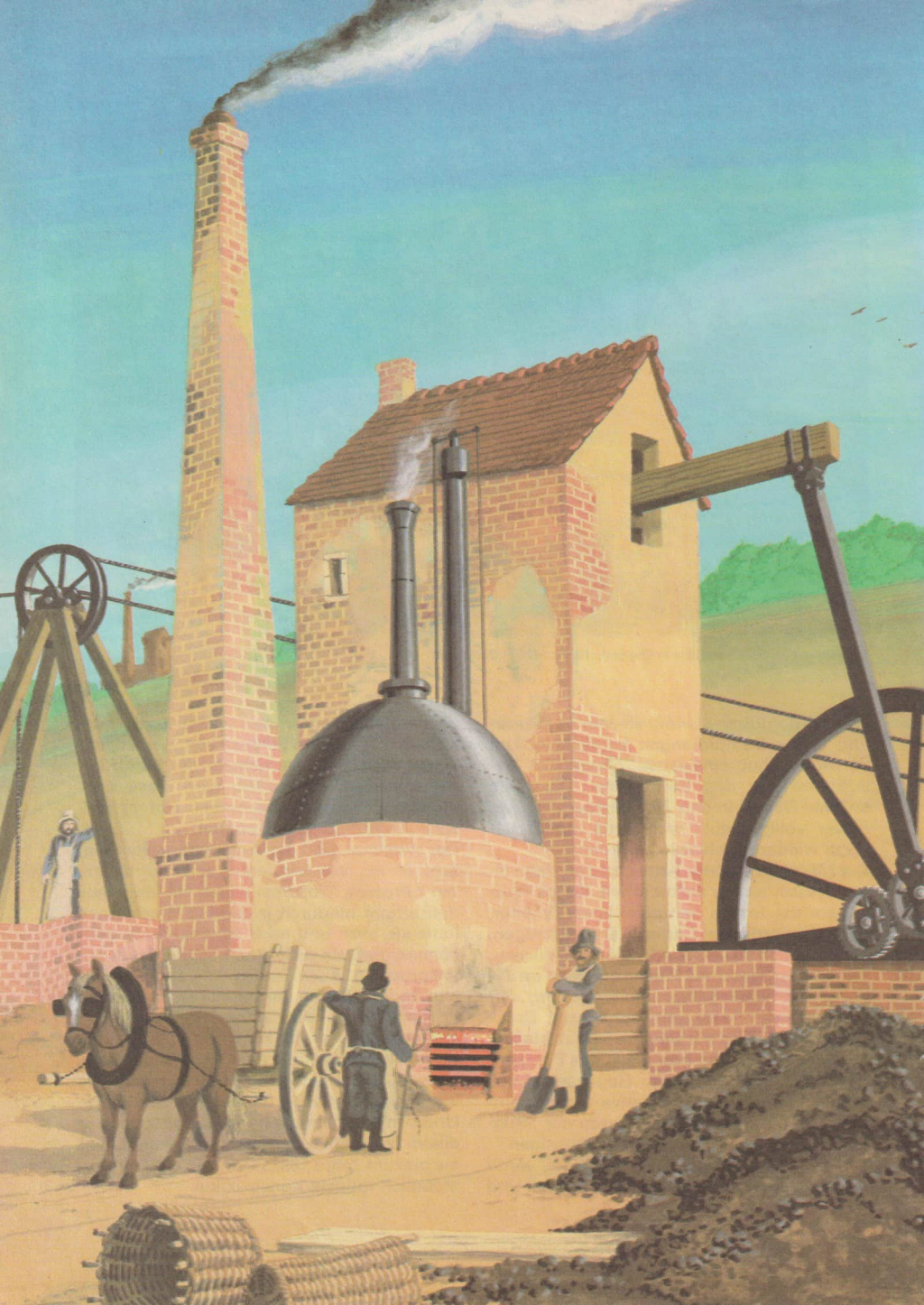
Eine atmosphärische Maschine in England, die bis 1886 in Betrieb war

Im Kessel mußten ständig siedendes Wasser und große Dampfmen gen bereit sein. Um den Arbeitshub einzuleiten, öffnete der Maschinenwärter den Dampfahn. Daraufhin strömte Dampf in den Zylinderraum ein, bis dieser völlig gefüllt war. Jetzt mußte der Hahn wieder geschlossen werden.

Der Maschinenwärter hatte nun den Hahn einer Wasserleitung aufzudrehen. Kaltes Wasser spritzte in den dampfgefüllten Zylinder, dadurch wurde dem Dampf Wärme entzogen, er kühlte sich ab und kondensierte zu Wasser. Wie bei der Maschine Papins entstand im Zylinder ein stark luftverdünnter Raum. Der weitaus mächtigere atmosphärische Druck schob den Kolben mit sehr großer Kraft in den Zylinder zurück und hob dabei das Pumpengestänge, das an der Gegenseite des Schwinghebels hing, um etwa 4 Meter empor. Um die gleiche Höhe wurde der Saugkolben der Schachtpumpe heraufgezogen. Die Maschine Newcomens benötigte, wenn sie stetig arbeiten sollte, sehr viel Dampf. Und

dies lediglich, um immer wieder unter dem Kolben ein Vakuum herzustellen. Den eigentlichen Arbeitshub verrichtete der Luftdruck, die Atmosphäre. Deshalb wird diese Konstruktion Thomas Newcomens *atmosphärische Dampfmaschine* genannt.

Der Wirkungsgrad der atmosphärischen Maschinen lag, wie wir bereits erfahren haben, bei 1 Prozent. Trotzdem waren sie über viele Jahrzehnte hindurch in Betrieb. Newcomen hatte sie nach und nach so weit verbessern können, daß sie nicht mehr soviel Raum beanspruchten. Auch für das umständliche Öffnen und Schließen der Ventile erfand er eine Vorrichtung, die dies automatisch besorgte. Eine besonders gut konstruierte Maschine dieser Art arbeitete in einem Londoner Wasserwerk. Sie konnte in einer Stunde mehr als 3 Kubikmeter Wasser 38 Meter hoch fördern. Und von einer atmosphärischen Maschine in einem englischen Bergwerk ist bekannt, daß sie bis zum Jahre 1886 in Betrieb war; eine erstaunlich robuste Konstruktion.





## 4. Die Verwirklichung eines Menschheitstraumes

In einer Schilderung des Bergbaubetriebes, die 1778 erschien, ist zu lesen:

„Durch Newcomens Maschine wurde es uns möglich, unsere Schächte doppelt so tief wie früher abzuteufen. Doch der Nutzen wird indes durch den ungeheuren Brennstoffverbrauch bedeutend vermindert, denn jede Feuermaschine von einiger Größe verbraucht jährlich Kohle für 3000 Pfund Sterling, eine Summe, die so groß ist, daß die Anwendung beinahe nicht mehr lohnt.“

Es sollte einem sparsamen schottischen Mechaniker vorbehalten bleiben, die Ursachen dieser Verschwendung zu entdecken und sie zu beseitigen.

### Eine Denkschrift in der Westminster-Abtei

In London, der Hauptstadt Großbritanniens, steht nahe der Themse, dem Parlamentsgebäude genau gegenüber, eine berühmte und altherwürdige Kathedrale, die Westminster-Abtei. Könige und Königinnen, so Elisabeth I. und deren politische Gegenspielerin Maria Stuart, wurden in dieser Kirche beigesetzt. Hier findet man Grabstätten, Denkmale und Gedenktafeln, die an die namhaftesten Persönlichkeiten Englands erinnern, an Staatsmänner, große Dichter, Musiker und Schauspieler. Auch dem deutschen Komponisten Georg Friedrich Händel, der viele Jahre seines Lebens in London wirkte, wurde in der Westminster-Abtei ein Grabmal errichtet. In einem Seitenschiff dieser Kathedrale steht ein Denkmal mit einer bedeutsamen Inschrift. Ins Deutsche übersetzt lautet sie:

JAMES WATT

welcher die Kraft eines schöpferischen,  
in wissenschaftlichen Forschungen  
früh geübten Geistes  
auf die Verbesserung  
der Dampfmaschine wandte,

dadurch die Hilfsquellen seines Landes erweiterte,  
die Kraft des Menschen vermehrte

und so emporstieg zu einer hervorragenden Stellung  
unter den berühmtesten Männern der Wissenschaft  
und den wahren Wohltätern der Welt.

Als James Watt 1819 hochbetagt im Alter von 83 Jahren starb, da endete ein Leben, das überreich an beispiellosen Erfolgen gewesen war. Seiner erfinderischen Leistungen wegen erhoben ihn die Engländer zu einer Art Natio-

nalheros. Sie erwiesen ihm die seltene Ehre, in der Westminster-Abtei sein Standbild aufzustellen. Nicht weniger großartig ist das Denkmal, das die Welt der Technik ihm gesetzt hat; nach seinem Namen benannte sie die gesetzliche Einheit der Leistung *Watt*.

### Ein Junge mit goldenen Händen

James Watt war am 19. Januar 1736 in der kleinen schottischen Hafenstadt Greenock zur Welt gekommen. Sein Vater, ein Schiffbauer und Zimmermann, tischlerte nebenher Särge und verkaufte sie. Was er mit seiner Arbeit verdiente, das reichte der Familie Watt gerade zum Leben.

Der kleine James war schwächlich und litt häufig unter Kopfschmerzen. Daher konnte er zunächst nicht in die Schule gehen. Seine Eltern gaben ihm Unterricht; die Mutter brachte ihm das Lesen bei und der Vater das Schreiben und Rechnen. Lesen gehörte bald zu James' Lieblingsbeschäftigungen. Eifrig studierte er alles, was er an Büchern und anderen Schriften aufzutreiben vermochte. Später, als er die Schule besuchen durfte, war er im Fach Mathematik nach kurzer Zeit der Beste.

In der Werkstatt des Vaters erhielt der Junge einen Arbeitsplatz, einen Schraubstock und Werkzeug. Hier konnte er nach Belieben feilen, sägen und basteln oder – was er am liebsten tat – nautische Geräte ausbessern. – „Der Junge hat goldene Hände“, staunten selbst die erfahrensten Gesellen, wenn sie ihm bei der Arbeit zusahen. So geschickt und umsichtig stellte er sich an.

Die Eltern schickten den Sohn in seinem vierzehnten Lebensjahr zu einer Verwandter nach Glasgow. Er sollte sich dort etwas erholen und seine Gesundheit stärken. Eines Tages traf bei den Eltern in Greenrock ein Brief ein, der von der erregten Gastgeberin James Watts geschrieben war.

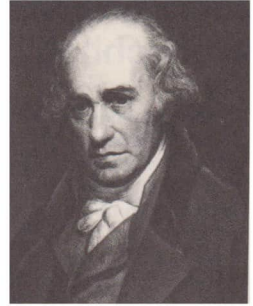
„Ich kann die Aufregung nicht länger ertragen, in der er mich hält, und bin durch Mangel an Schlaf ganz erschöpft. Jeden Abend, ehe wir zur Ruhe gehen, fängt er eine Unterhaltung mit mir an und erzählt irgendeine packende Geschichte. Mag sie nun scherz- oder ernsthaft sein, immer weiß er unser Interesse so zu fesseln, daß die ganze Familie ihm mit angehaltenem Atem zuhört und Stunde auf Stunde unbeachtet verstreichen läßt.“

Damals kannte man eben weder Radio noch Fernseher, und so erzählte man sich zur Unterhaltung Geschichten. Das Talent, packend erzählen zu können, hat Watt übrigens bis ins hohe Alter bewahrt. Der schottische Schriftsteller und Dichter Sir Walter Scott, mit dem Watt persönlich bekannt war, hat dies stets neidlos bewundert.

## Der Universitätsmechaniker

Um einen Beruf zu erlernen, reiste James Watt nach London und ging bei einem Feinmechaniker in die Lehre. Er war 21 Jahre alt, als er in der schottischen Hafenstadt Glasgow eine Anstellung als Universitätsmechaniker annahm. In einem Kellerraum der Universität wurde ihm seine Werkstatt eingerichtet. Er hatte die Aufgabe, die vielen Geräte der physikalischen und technischen Labors in Stand zu halten oder auszubessern, was er stets äußerst gewissenhaft und gründlich tat. Er gab sich nie mit Halbheiten zufrieden. Wenn er zum Beispiel einen Schiffskompaß zu reparieren hatte, besorgte er sich aus der Universitätsbibliothek alle Bücher über Schiffskompass und studierte sie. Ebenso verfuhr er, wenn Modelle von Winden, Hebelgeräten oder Flaschenzügen auf seinen Tisch kamen. Auf diese Weise eignete er sich in kurzer Zeit ein umfangreiches physikalisches und technisches Wissen an. Und als ihm einmal ein deutsches Buch über Maschinenkunde interessierte, erlernte er die deutsche Sprache, um es lesen zu können. James Watt hatte an der Universität sehr bald

James Watt  
(1736–1819)



an Ansehen gewonnen, und es kam gar nicht selten vor, daß Studenten und Professoren in den Keller hinunterstiegen, um sich mit ihrem klugen Mechaniker über technische und naturwissenschaftliche Fragen zu beraten.

Es wird erzählt, und in sehr alten Physikbüchern kann man es sogar nachlesen, daß eine alltägliche Beobachtung den jungen Universitätsmechaniker angeregt habe, die Dampfmaschine zu erfinden. Er saß in seiner Kellerwerkstatt und war derart in die Reparatur eines Meßgerätes vertieft, daß er vergaß, sich zur gewohnten Stunde seinen Tee zuzubereiten. Das Teewasser kochte, der Kesseldeckel klapperte. Zuerst ließ sich Watt davon nicht stören. Doch als der Deckel so heftig zu springen begann, daß er vom Kessel zu fallen drohte, blickte der junge Mann endlich auf. Welche ungeahnten Kräfte doch der Dampf hervorbringen kann, überlegte James Watt überrascht. Wie der Dampf mit dem Eisendeckel spielt! Könnte man ihn nicht so gefügig machen, daß er nützliche Arbeit verrichtet?

Von Stunde an beschäftigte ihn nur noch dieses Problem. Er dachte darüber umfassend nach und machte verschiedene Entwürfe. Schließlich hatte er, nur weil in seiner Werkstatt der Teekessel gescheppert hatte, die Dampfmaschine erfunden.

Viele historische Persönlichkeiten sind von Legenden umwoben. So ist es auch in diesem Falle, denn die Kolbenmaschine brauchte Watt nicht mehr zu erfinden, die war bereits vorhanden. Auch die Spannkraft des Dampfes war seit sehr langer Zeit bekannt.

Die wahre Geschichte der Wattschen Dampfmaschine ist von dem zähen Fleiß des Erfinders, seinem hartnäckigen Forschen und seinem Genie geprägt.



## Ein defektes Maschinenmodell zwingt James Watt zum Nachdenken

James Watt lernte 1759 John Robison kennen, der damals an der Glasgower Universität studierte. Es entwickelte sich eine herzliche Freundschaft. Oft saßen die beiden abends in der kleinen Werkstatt zusammen und diskutierten über technische Fragen sowie physikalische Experimente.

John Robison erlangte später als Professor der Physik in Edinburgh einen bedeutenden Ruf. In seinen Aufzeichnungen, die er im Alter machte, erinnerte er sich auch an seine Zeit mit James Watt.

„Ich war eitel genug zu glauben, daß ich es im Studium der Mathematik und Mechanik weit gebracht hatte, und war schmerzlich berührt zu sehen, daß Watt viel mehr wußte als ich. Aber seine Freude an solchen Dingen ließ ihn ein Geplauder darüber mit jedem genießen. Ich verbrachte viele müßige Stunden bei ihm und war ihm gewiß oft lästig.“

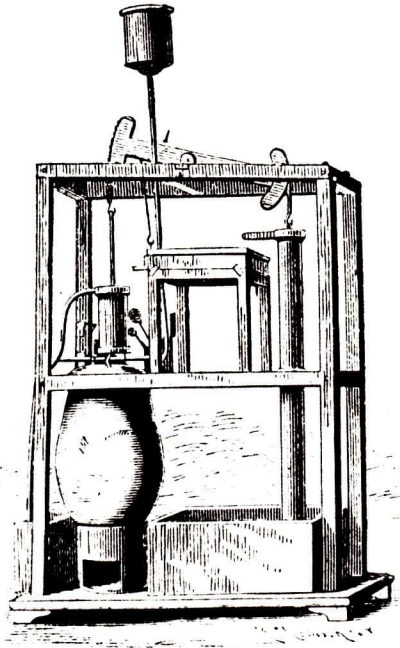
Und an anderer Stelle schrieb der Gelehrte über Watt:

„Ich habe viel von der Welt gesehen und muß bekennen, daß mir niemals eine zweite Person vorgekommen ist, deren Überlegenheit alle anerkannten und der sie dennoch aufrichtig zugetan waren.“

John Robison war es, der den jungen Mechaniker anregte, sich mit dem Wasserdampf zu befassen, was Watt bis dahin nicht getan hatte. Der Student schlug ihm nämlich vor, einen durch Dampfkraft angetriebenen Wagen zu bauen. James Watt fertigte aus Weißblech ein Modell an, das jedoch nicht funktionieren wollte.

Zu jener Zeit wurde auf einer Kohlengrube in der Nähe von Glasgow eine atmosphärische Dampfmaschine in Betrieb genommen. Damals traf man sie noch selten an; in Schottland war diese erst die zweite. James Watt interessierte sich brennend für deren Funktionsweise, aber er sah keine Möglichkeit, die Maschine zu besichtigen.

Ihm fiel ein, daß das physikalische Laboratorium seiner Universität ein Modell der Newcomen-Maschine besaß. Man hatte es zur Reparatur in eine Londoner Werkstatt geschickt. Watt ließ das Modell zurückfordern, und eines Tages landete das defekte Maschinchen auf seiner Werkbank.



Das Modell der atmosphärischen Maschine, durch das James Watt angeregt wurde, die Dampfmaschine zu konstruieren

James Watt ließ alles andere stehn und liegen und besah das Modell. Die Ausmaße des Zylinders waren klein: 15 Zentimeter in der Höhe und nur 5 Zentimeter im Durchmesser. Dem gegenüber war der Dampferzeuger so groß wie ein Teekessel.

Dem geschickten Mechaniker bereitete es wenig Mühe, das Modell wieder in Gang zu setzen. Dabei untersuchte er – wie gewohnt bei solchen Reparaturen – gründlich die Arbeitsweise der Maschine. Ihm fiel auf, daß sich in dem Kessel reichlich Dampf bildete; viel mehr, als der kleine Zylinder aufnehmen konnte. Trotzdem arbeitete die Maschine nur zögernd, bewegte mit sehr schwachen Arbeitshüben den Balancier. Ihre Leistung war also gering.

Watt stand vor einem Rätsel. Die Maschine verbrauchte eine Unmenge Brennstoff, und das Wasser im Kessel siedete ununterbrochen. Ständig wurde viel mehr Dampf erzeugt, als anscheinend notwendig war. Sobald der Dampf jedoch in den kleinen Zylinder

eingeströmt war, schien ein großer Teil davon auf geheimnisvolle Weise zu verschwinden. Irgendwo, so vermutete Watt, mußte die Newcomen-Maschine einen entscheidenden Fehler haben, der die Verschwendung von Brennstoff und Dampf verursachte.

James Watt war ein sehr sparsamer Mensch. Vielleicht war er sogar, wie man es den Schotten gern nachsagt, ein wenig geizig. Er überlegte jedesmal lange, ob er einen Penny ausgeben sollte oder lieber behalten. Das ist verständlich; er mußte ja mit seinem Geld förmlich knausern, denn seine Einkünfte waren nur bescheiden. So ist es kein Wunder, daß er sich mit dieser sinnlosen Verschleuderung der Energie nicht abfinden konnte und ihm die kleine Maschine keine Ruhe ließ.

Sparsamkeit und Gründlichkeit gehörten zu den hervorstechendsten Charaktereigenschaften des großen Erfinders und bestimmten stets seine schöpferische Arbeit. Selbst später, als er ein großes Vermögen besaß und sein Geld in großzügiger Weise hätte ausgeben können, blieb er sehr haushälterisch.

Auch bei seinen Erfindungen ging er immer vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus. Sein Grundsatz lautete: „Um eine Sache richtig zu machen, muß man herausfinden, was man dafür *nicht* braucht.“

## Ein Irrtum führt zu bedeutenden Entdeckungen

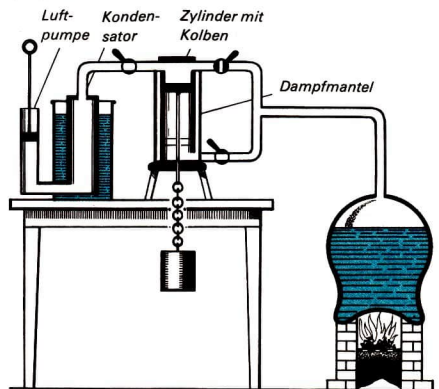
Wie gewöhnlich in derartigen Fällen, beschaffte sich Watt einige Bücher und beriet sich mit Professoren und Studenten, vornehmlich mit seinem Freund John Robison. Zunächst vermutete Watt, die aus Bronze bestehende Zylinderwandung sei die Ursache für den übermäßigen Dampfverbrauch. Bronze zählt zu den guten Wärmeleitern; es nimmt Wärme rasch auf und gibt sie ebenso schnell wieder ab. Daher, so überlegte Watt, strahlt der Zylinder zuviel von der Wärme, die mit dem Dampf in sein Inneres gelangte, in die umgebende Luft. Bei jedem Dampfeintritt werde die Zylinderwandung zeitweilig von der Wärme gleichsam durchflossen, wie Wasser durch ein Sieb rinnt. Ist diese Überlegung richtig, muß man den Zylinder aus einem wärmedämmenden Material, einem schlechten Wärmeleiter, herstellen.

Kurz entschlossen baute Watt ein neues, verbessertes Modell. Den Zylinder stellte er aus Holz her, das er zuvor mit Öl getränkt und in einem Ofen gut getrocknet hatte. Er hoffte, damit die Leistung gesteigert zu haben, und probierte die Maschine aus. Enttäuscht mußte er feststellen, daß seine Maschine nicht viel besser arbeitete als die andere.

Nun begann James Watt mit Dampf zu experimentieren. In einer Reihe systematisch angelegter Versuche wollte er die Eigenschaften dieses rätselhaften Mediums herausfinden. Er untersuchte die Druckverhältnisse des Dampfes und fand heraus, wie sich der Wasserdampf überhitzen ließ. Dabei gewann er hochgespannte Dämpfe, die dem Druck der Luft weit überlegen waren.

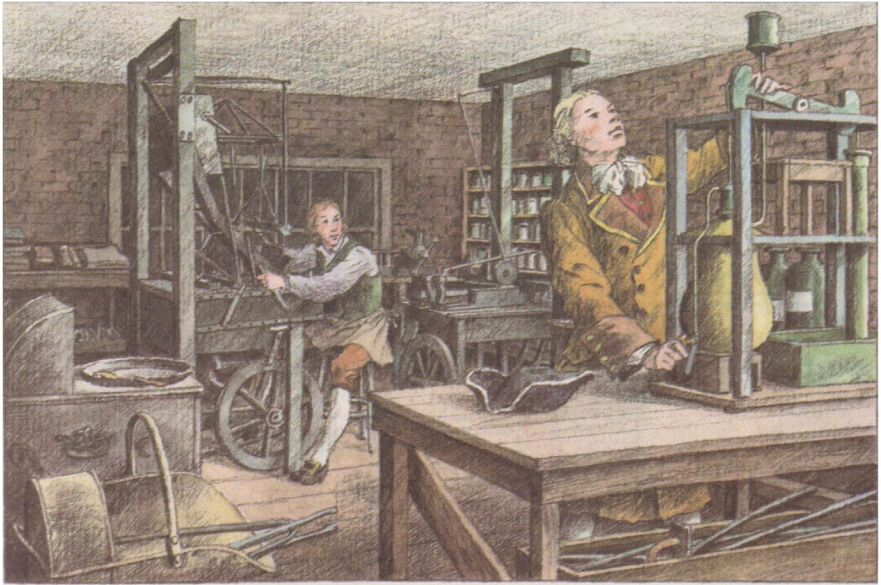
Weiterhin stellte der Forscher fest, daß sich der durch Sieden entwickelte Wasserdampf um ein Vielfaches ausdehnen kann. Er ließ eine geringe Dampfmenge in einen kleinen Versuchszylinder strömen und gegen einen beweglichen Kolben wirken: Der Dampf dehnte sich aus und schob den Kolben durch die gesamte Länge des Zylinders; er verrichtete mechanische Arbeit. Bei seiner Ausdehnung, so entdeckte Watt, kühlte sich der Dampf ab, und zugleich fiel sein Druck.

Aus diesen Beobachtungen zog James Watt den scharfsinnigen Schluß, daß Wasserdampf eine um so größere Arbeit verrichten und somit Energie abgeben könne, je höher seine Anfangstemperatur und sein Anfangsdruck seien, mit denen er in einen Zylinder einströmt.



James Watts Modell einer Dampfmaschine mit getrenntem Kondensator; 1765





Alle diese Entdeckungen hatten für den künftigen Erfinder eine grundlegende Bedeutung, als er später seine Kolbendampfmaschine entwickelte. Jetzt beobachtete er noch einmal mit aller Gründlichkeit die Arbeitsweise der atmosphärischen Maschine Newcomens. Schließlich konnte er John Robison mitteilen, er sei den Ursachen für die hohen Dampfverluste auf die Spur gekommen.

## Eine Jahrhundertentdeckung

Die beiden Männer trafen sich in der Werkstatt, und auf dem Tisch stand das Modell der Newcomen-Maschine. Watt hatte es in Gang gesetzt.

„Wenn die Maschine in Betrieb gehalten werden soll“, sagte er, „muß man vor jedem Arbeitshub kaltes Wasser in den Zylinder spritzen. So wird der Dampf schnell abgekühlt, damit er kondensiert und ein Vakuum schafft. Aber man macht dabei etwas völlig Unsinniges.“

Robison schaute nachdenklich auf das Modell, auf den Balancier, der auf- und abschwang, als zauderte er, und auf die Hände seines Freundes, der abwechselnd den

Dampf- und den Wasserhahn öffnete und schloß.

„Etwas Unsinniges, meinst du? Ich kann es mir nicht denken.“

„Wenn in den erkalteten Zylinder heißer Frischdampf einströmt“, erklärte Watt, „dann kondensiert sofort eine erhebliche Menge davon und schlägt sich als Wasser an der Zylinderwandung nieder. Der einströmende Dampf muß vor jedem Arbeitshub den Zylinder aufheizen, bis der Zylindermantel von neuem die Temperatur des Dampfes angenommen hat. Dazu wird sehr viel Dampf und demzufolge auch viel Brennstoff gebraucht. Und das macht die Maschine so verschwenderisch.“

„Das ist einleuchtend. Aber gibt es einen Ausweg?“

„Ich sehe einen, indem man den Zylinder stets auf der Temperatur des Dampfes hält. Das bedeutet: Der Dampf darf nicht im Zylinder kondensieren, wir müssen ihn außerhalb des Zylinders abkühlen. Wir müssen Zylinder und Kondensation trennen.“

Während James Watt das Modell reinigte und in einen Schrank stellte, ging Robison in der Werkstatt auf und ab und dachte über die Worte seines Freundes nach.





Boulton für seine Erfindung zu interessieren. Dies geschah etwa 1775. Er war an diesem entscheidenden Wendepunkt seines Lebens 39 Jahre alt und unvermögend. In den zurückliegenden fünf Jahren hatte er alle Ersparnisse für seine Experimente und den Bau der Versuchsmaschinen ausgegeben. Während dieser Zeit schlug sich James Watt mit seiner Familie recht und schlecht durchs Leben, indem er gelegentlich als Geometer arbeitete und Landvermessungen übernahm. Seine Stellung als Universitätsmechaniker hatte er längst aufgegeben, damit er sich ganz der geplanten Dampfmaschine widmen konnte. Seine tapfere Ehefrau, die redlich alle Entbehrungen mit ihm geteilt und ihn zu seinen Plänen stets ermutigt hatte, starb 1774. Der unglückliche James Watt mußte in das rauhe bergige Nordschottland ziehen, um begonnene Vermessungsarbeiten am Kaledonischen Kanal zu beenden. Er arbeitete bei Sturm und bei Dauerregen, der ihn „durchnäßte, wie Wasser es nur tun kann“. Es war wohl die traurigste Zeit seines Lebens. Von Schottland aus reiste er nun zu Boulton

nach Soho in Mittelengland. Hier gründeten er und der Fabrikant die Firma *Boulton & Watt*, die später in ganz Europa Ansehen und Berühmtheit erlangen sollte.

Matthew Boulton besaß in Soho eine Metallwarenfabrik und ließ für den Bau der Maschine eine große Werkstatt bereitstellen. Er beschäftigte in seinem Werk geschulte Feinschmiede, welche die Gußteile für die Dampfmaschine mit der nötigen Präzision bearbeiten konnten. Allerdings traten dabei anfangs einige Schwierigkeiten auf. Besonders große Probleme gab es bei der Herstellung des großen Dampfzylinders.

Da kam Hilfe aus einer Eisengießerei in Bersham. Ihrem Besitzer, John Wilkinson, einem hervorragenden Fachmann, war es gelungen, einen Zylinder großen Durchmessers zu gießen sowie ihn dann nach einer neuen Arbeitsmethode gleichmäßig und glatt auszu bohren. Nun stand dem Bau Wattscher Dampfmaschinen im großen Umfang nichts mehr im Wege.

Der tüchtige Eisengießer Wilkinson gab kurzerhand bei *Boulton & Watt* eine Dampfma-



Die Dampfmaschinenfabrik von Boulton & Watt

schine in Auftrag, weil er einen Antrieb für die Gebläse in seiner Gießerei benötigte. Es war die erste Dampfmaschine, die von der Firma auf Bestellung gebaut werden konnte. Nach dem man sie 1776 aufgestellt hatte, übertraf sie bereits beim Probelauf alle Erwartungen. Sie war leistungsfähiger und verbrauchte nur den vierten Teil der Brennstoffmenge im Vergleich zur Maschine Newcomens.

Außerlich erinnerte sie allerdings sehr an ihre atmosphärische Schwester. Sie hatte etwa die gleichen Ausmaße, war mit einem Balancier ausgestattet und wirkte daher ungefügtig. Doch in ihrer Arbeitsweise unterschieden sich die beiden Maschinen grundlegend voneinander.

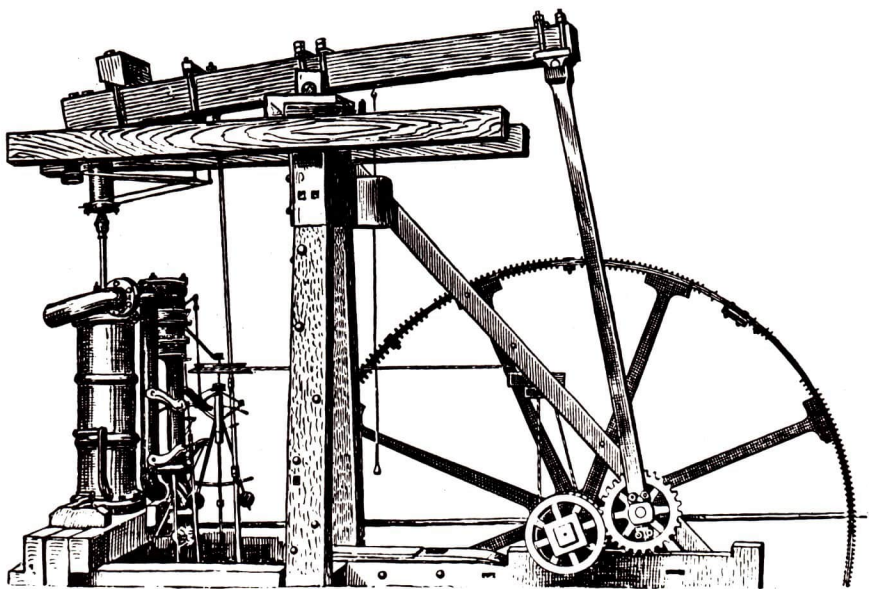
Wie geplant, hatte James Watt Zylinder und Kondensation getrennt, so daß der Zylinder seine hohe Innentemperatur stets beibehielt. Außerdem hatte er den Zylinder oben durch eine Platte geschlossen; die Kolbenstange ließ er durch eine luftdichte Stopfbuchse auf- und abgleiten.

Von dem Dampf, der sich im Kessel bildete, wurde eine bestimmte Menge durch ein Rohr in den oberen Teil des Zylinders geleitet. Er

strömte ein, und indem er sich ausdehnte und entspannte, übertrug er seine Energie auf den Kolben und drückte ihn nach unten. Die Kolbenstange war durch eine Kette mit dem Balancier verbunden. An der Gegenseite hing ein Gestänge, das durch die Dampfkraft bei jedem Arbeitshub gehoben wurde und somit eine Wasserpumpe oder ein Gebläse antreiben konnte.

Nach diesem Vorgang strömte der entspannte Dampf durch eine zweite Rohrleitung in ein gekühltes Vakuumgefäß, wo er zu Wasser kondensierte. Das Gestänge, beschwert von Eisenstücken, sank hinab, und infolge der Hebelwirkung zog dabei der Balancier den Kolben im Zylinder empor. Darauf folgte der nächste Arbeitshub. Das Öffnen und Schließen der Dampfventile besorgte ein einfacher Mechanismus.

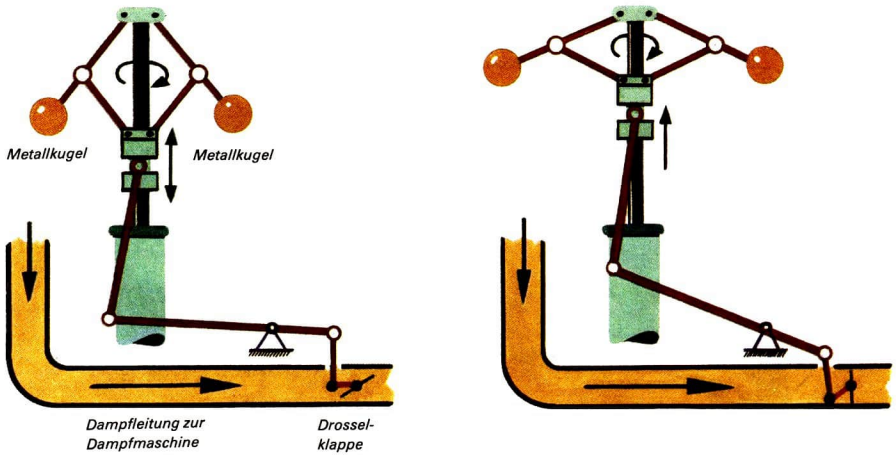
Die Arbeitsweise dieser noch unkomplizierten Dampfmaschine ließ lediglich eine Auf- und Abbewegung zu. Daher konnte man sie nur für Gebläseanlagen in großen Schmieden und Gießereien oder für Wasserpumpen in Bergwerken und zur Wasserversorgung in den größeren Städten einsetzen.



Wattsche Dampfmaschine mit dem Planetengetriebe







Der von James Watt erfundene Fliehkraftregler, der die Dampfzufuhr bei zunehmender oder abnehmender Belastung der Maschine automatisch steuert. Je schneller sich die beiden Metallkugeln drehen, desto größere Fliehkkräfte treten auf, und um so mehr streben die Kugeln nach außen. Die sich schließende Drosselklappe verringert dabei die Dampfzufuhr. – Fliehkraftregler links mit verminderter, rechts bei vermehrter Drehzahl.

ren Seite gegen den Kolben drückte. Dieses Hin und Her des Kolbens mußte Watt in eine Drehbewegung umwandeln. Eine Pleuelstange mit Kurbel hätte sich am einfachsten für diesen Zweck angeboten. Aber ein englischer Knopffabrikant besaß das Patentrecht über diese alte technische Einrichtung. Watt zeigte keine Lust, diesem listigen Mann über Jahre für jede Dampfmaschine, die er baute, Patentgebühren zu zahlen. Deshalb erfand er eine andere Kraftübertragung, das Planetengetriebe; es bestand aus zwei kräftigen Zahnradern.

Es gab ein weiteres Problem, das James Watt beim Bau dieser Maschine lösen mußte. Jedesmal, wenn ein Kolben bei seinem andauernden Hin und Her seine Bewegungsrichtung ändert, steht er kurzzeitig völlig still. In diesem Augenblick bildet die Kurbel mit der Pleuelstange eine Gerade, und der Kolben befindet sich in der sogenannten Totpunktstellung. Damit der Kolben die toten Punkte überwinden konnte, setzte Watt auf die Laufwelle seiner Maschine ein eisernes Schwungrad. Dieses mächtige Rad wurde von der Dampfmaschine in sehr schneller Drehung gehalten. Auf Grund seiner Masse und damit seiner großen Trägheit besaß es dabei genügend kinetische Energie, um dem Kolben spielend über die Totpunkte hinwegzuhelfen.

Es sorgte zugleich für einen gleichmäßigen Lauf der Maschine und fing außerdem kleine Belastungsänderungen auf.

Die Drehzahl der Maschinenwelle mußte jedoch auch dann konstant bleiben, wenn sich die Belastung im großen Maße veränderte. Hatte die Dampfmaschine sämtliche Spinnmaschinen und Webstühle anzutreiben, brauchte sie eine entsprechend große Energiezufuhr, also viel Dampf. Bei kleiner Belastung dagegen war die Dampfzufuhr zu drosseln. Und dies hatte automatisch zu geschehen. Die Maschine mußte sich sozusagen selbst regulieren.

Zu diesem Zweck baute Watt in die Dampfleitung einen Zentrifugalregler ein, den er erdacht hatte. Wenn die Maschine bei abnehmender Belastung schneller zu laufen begann, drosselte dieses Gerät die Dampfzufuhr, und bei zunehmender Belastung, wenn die Maschine langsamer wurde, sorgte der Fliehkraftregler dafür, daß mehr Dampf in den Zylinder strömte.

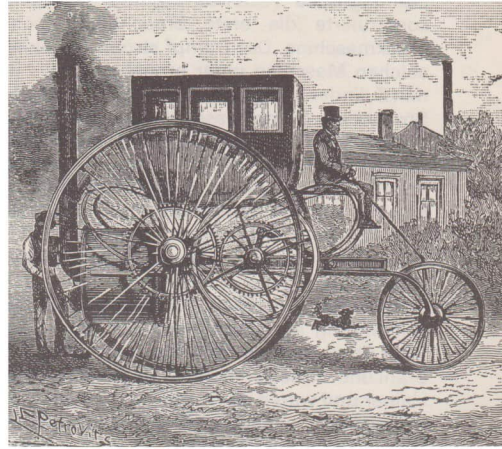
Die erste doppelwirkende Dampfmaschine, die 1782 bei *Boulton & Watt* gebaut worden war, nahm im gleichen Jahr in einer Kornmühle ihren Betrieb auf. In der Folgezeit wurden Hunderte Dampfmaschinen von Soho aus in die Industriestädte Englands und des europäischen Festlandes verschickt.



## Siegeslauf und Abgesang

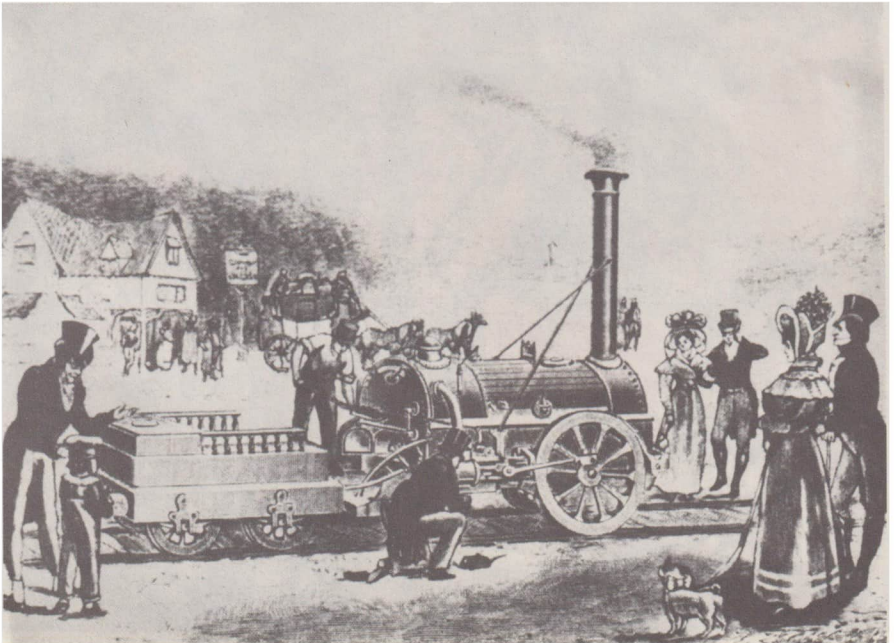
Der technische Fortschritt dieser Wattschen Dampfmaschine gegenüber den atmosphärischen Maschinen war gewaltig. England erhielt dadurch für das ganze 19. Jahrhundert einen mächtigen industriellen Vorsprung, denn es konnte seine Bodenschätze mit Hilfe dieser neuen Antriebsmaschine in größerem Umfange verwerten, als dies andere Völker vermochten, und entwickelte sich zur „Werkstatt der Welt“.

Im Jahre 1800 war James Watts Patent erloschen. Sofort wurden andere Firmen gegründet, die nun ebenfalls Dampfmaschinen bauten. Watt hatte seine Maschinen nur unter niedrigem Dampfdruck arbeiten lassen, er ging aus Vorsicht niemals über 150 Kilopascal (etwa 1,5 Atmosphären) hinaus. Aus diesem Grunde erreichte seine Maschine lediglich den vierfachen Wirkungsgrad der atmosphärischen Maschine, nämlich 4 Prozent. Nun durften sich viele Techniker damit befassen, die Dampfmaschine zu verfeinern, um sie leistungsfähiger zu machen.



Richard Trevithicks Dampfmaschine aus dem Jahre 1801

Dampflokomotive aus der Anfangszeit des Eisenbahnwesens



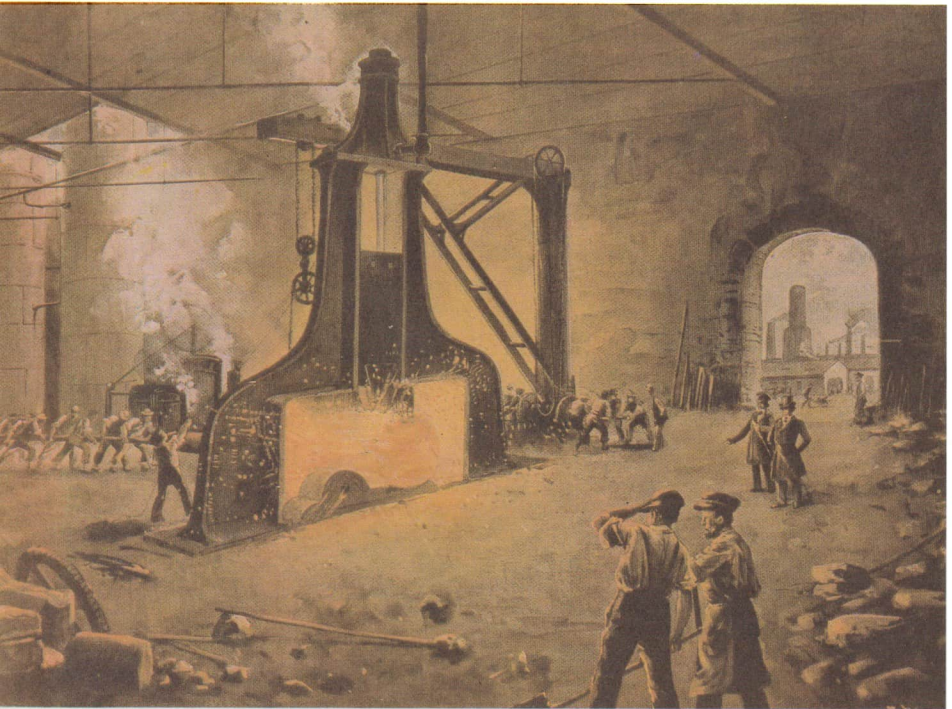
Der englische Techniker Richard Trevithick konstruierte die erste brauchbare Hochdruckmaschine. Der Dampf strömt bei einer solchen Maschine unter erhöhtem Druck in den Zylinder und gibt daher mehr Energie ab. Sowohl der Dampfkessel als auch der Zylinder können hier wesentlich kleiner gehalten sein als bei der Maschine Watts, und so baute Trevithick diese kleine Antriebsmaschine in eine Kutsche ein. Er fuhr mit seinem Dampfwagen – dem ersten Automobil – von Plymouth nach London, wo sein Gefährt großes Aufsehen erregte.

Erhöhte Dampfdrücke verlangten eine stabile Ausführung aller Maschinenteile. Man ging über, Dampfmaschinen insgesamt aus Stahl und Gußeisen herzustellen; sie wurden kleiner und waren nicht mehr von einem Maschinenhaus abhängig. Durch außerordentlich hohe Dampfdrücke und Dampftemperaturen bis zu 350 Grad Celsius steigerte man

im Laufe der Zeit die Leistung der Dampfmaschinen auf 4000 bis 8000 Kilowatt und erzielte einen Wirkungsgrad von 12 bis 14 Prozent.

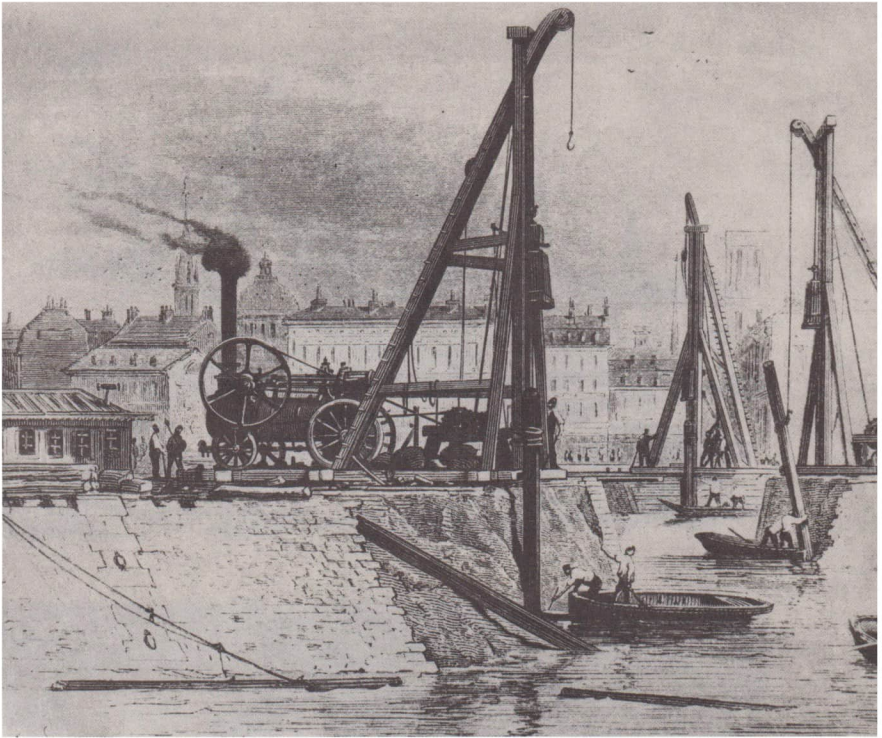
Im Laufe des 19. Jahrhunderts erlangte die Dampfmaschine eine immer größere Bedeutung für die Industrie und den Verkehr. Ihre gewaltigen Kräfte und die Vielfalt, mit der sie sich einsetzen ließ, wurden allgemein bewundert. In einem naturwissenschaftlichen Werk, das 1860 erschien, schildert ein deutscher Ingenieur recht anschaulich die Wertschätzung, die sie genoß.

„Die Dampfmaschine, dieses aus eisernen Gliedern so sinnreich zusammengefügte Wesen, ist während der letzten hundert Jahre zu einem Diener des Menschen geworden, wie er sich keinen stärkeren und willigeren wünschen kann. Erst dieser Diener hat den Menschen zum Herrn über den leblosen Stoff gemacht. Überall kann er gebraucht werden, wo



Der erste in England gebaute und dort eingesetzte Dampfhammer





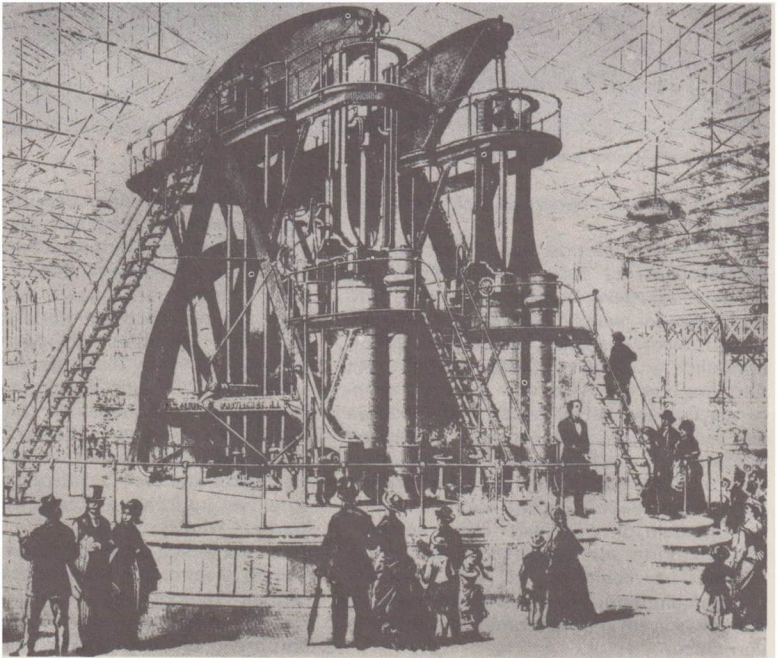
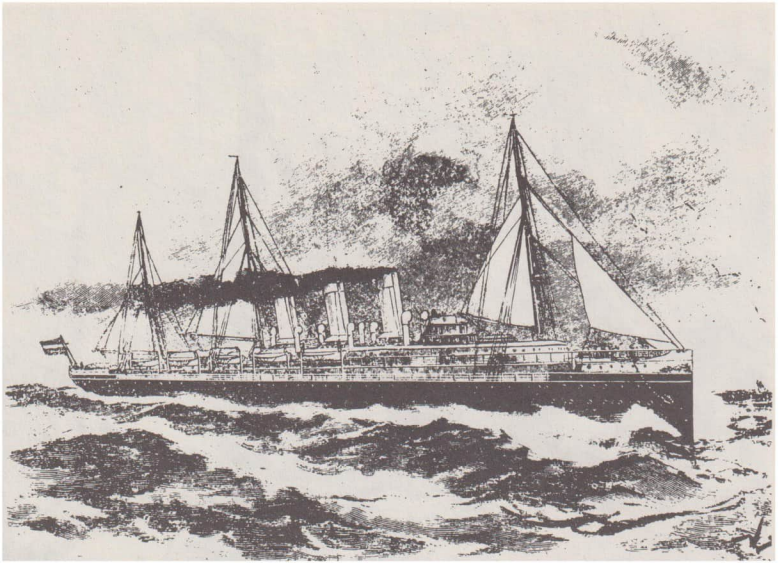
Dampftriebene Ramme beim Hafenaub

die Kraft des Menschenarmes nicht mehr ausreicht.

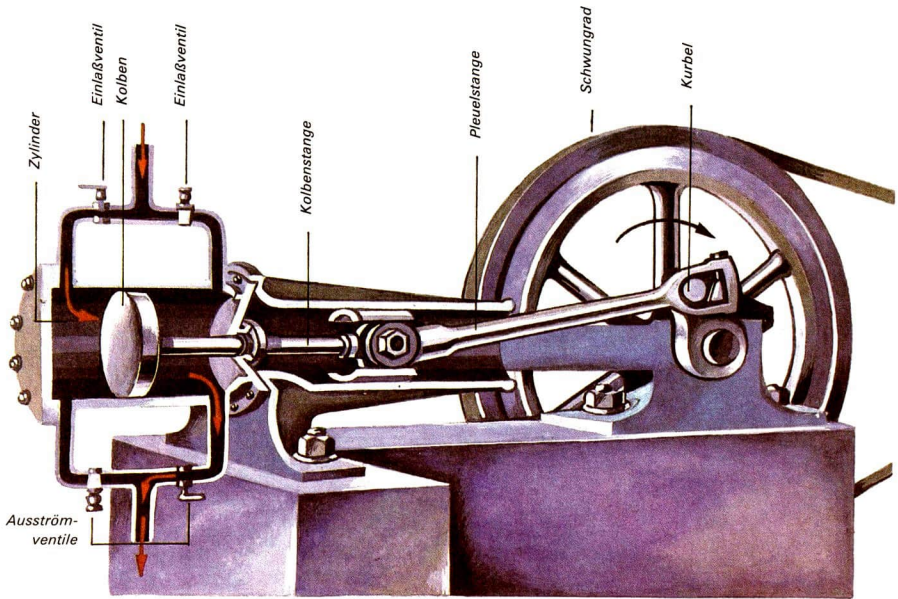
Aus jeder Tiefe hebt die Dampfmaschine die Bodenschätze zu Tage, die der Fleiß des Bergmannes gewonnen hat; die unterirdischen Wasser, welche diesen von der Arbeit zu vertreiben versuchen, werden von ihr unermüdlich an die Oberfläche gefördert. Mit zentnerschweren Hämmern führt sie dröhnende Schläge auf glühende Metallmassen und zwingt diese, zwischen rasch laufenden Walzen die verschiedensten Formen anzunehmen. Tritt man in einen Saal der großen Spinn- und Webereien und sieht Tausende von Spindeln, die die feinsten Fäden spinnen, und Hunderte von Weberschiffchen emsig hin und her schnurren, so wird man mit Staunen die Dampfmaschine betrachten, die mit gewaltigem Arme so zahlreiche Arbeiten verrichtet.

Doch auch den geistigen Bedürfnissen ist die Dampfmaschine dienstbar. Sie macht es möglich, daß eine einzige Buchpresse in einer Stunde zwanzigttausend Bogen druckt. Und soll ich noch daran erinnern, wie die Dampfmaschine täglich einen Verkehr unter den Menschen vermittelt, von dessen Ausdehnung die früheren Zeiten gar keine Ahnung hatten. Mit Wind und Wellen kämpfend verfolgt das Dampfboot seinen Weg von einem Kontinent zum anderen. Mit der Schnelligkeit des Vogelfluges durchheilt der Dampfwagen die Länder und rückt Städte einander vor die Tore, welche früher durch ganze Tagereisen getrennt waren.

Eine beständige, aber friedliche Völkerwanderung ist durch die Dampfschiffe und Eisenbahnen hervorgerufen worden. Die Menschen kommen untereinander in vielfachere Berührung, und die Produkte des Bodens und







Schnitt durch eine Dampfmaschine moderner Bauart

Gewerbefleißes wie die Erzeugnisse geistiger Tätigkeit werden im regsten Wechselverkehr ausgetauscht.“

Aus diesen Worten spricht die Begeisterung des Ingenieurs, welcher das Zeitalter der Dampfmaschine und einen ungestümen technischen Fortschritt miterlebt. Ob er gehnt haben mag, daß der Siegeslauf der Dampfmaschine in wenigen Jahrzehnten beendet sein würde?

Der große Nachteil, den die Dampfmaschine gegenwärtig gegenüber anderen Wärmekraftmaschinen hat, sind die hohen Wärmeverluste, die hier auftreten. Dies ist in der Gesamtkonstruktion der Maschine begründet. Von der zugeführten Wärmeenergie strahlt 15 Prozent bereits der Kessel ab, und 5 Prozent gehen dem Dampf in den Rohrleitungen auf dem Wege zum Zylinder verlustig. Mit

den Rauchgasen fliegen 15 Prozent der Energie durch den Schornstein davon, und der Kondensator schluckt sogar den großen Anteil von 40 Prozent.

Auch die Maschine selbst strahlt Wärme ab, und zwar 10 Prozent. Lediglich 15 Prozent mechanische Arbeit werden auf die beweglichen Maschinenteile übertragen. Davon sind 3 Prozent für die Überwindung der Reibung nötig. Es verbleibt eine durchschnittliche Nutzarbeit von 12 Prozent.

Diese hohen Energieverluste machten die Dampfmaschine unwirtschaftlich und beendeten ihren Siegeslauf. Heute ist sie ein interessantes technisches Denkmal, und bald werden auch die letzten Exemplare, die hier und da noch anzutreffen sind oder als Lokomotiven Dienst tun, in technische Museen überführt. Doch sie war die erste leistungsfähige Wärmekraftmaschine, auf die sich der Mensch bei seiner Arbeit stützen konnte. Ohne ihre Hilfe hätten Erfinder und Techniker nicht unsere modernen, wesentlich leistungsfähigeren Antriebsmaschinen schaffen können.

Schnelldampfer „Auguste Viktoria“ im Atlantik  
(Bild links oben)

Riesendampfmaschine auf einer technischen Ausstellung in Philadelphia (USA) gegen Ende des 19. Jahrhunderts (Bild links unten)

## III. Teil

---

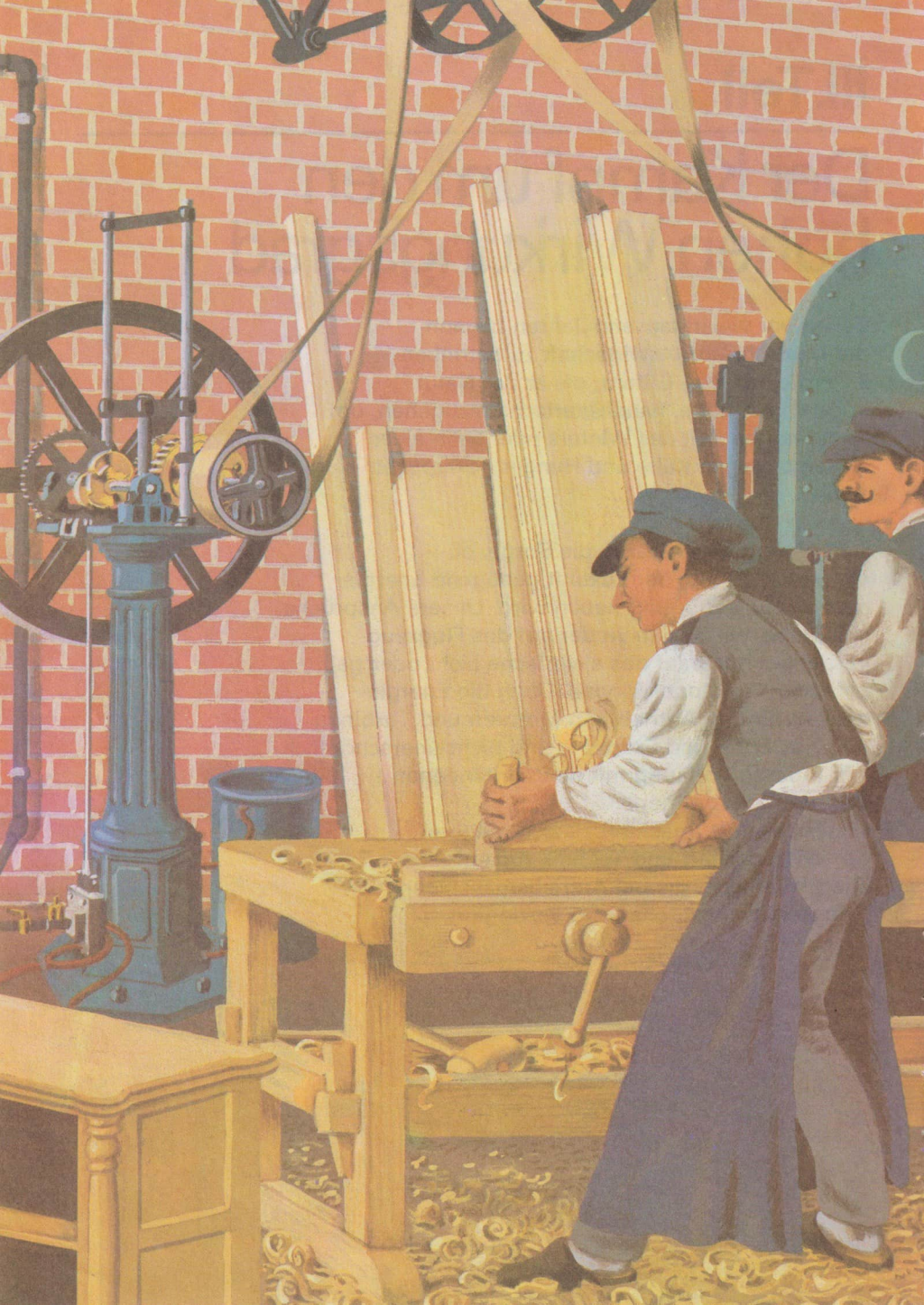
# Der Kampf um den hohen Wirkungsgrad

Schon vor vielen tausend Jahren begann der Mensch, Vorratswirtschaft zu betreiben. Er lernte, mit den Gütern, die er der Natur abgerungen hatte, haushälterisch umzugehen, um in der harten Zeit des Winters oder nach einer Mißernte gegen Kälte und Hunger gewappnet zu sein.

Uns bewegt gegenwärtig die Sorge, ob die Menschheit in der Zukunft genügend Energiequellen zur Verfügung haben wird. Unsere Ansprüche sind hoch, wir wollen weder auf das Flugzeug verzichten noch auf das elektrische Licht oder gar auf unser Auto oder Moped. Doch die Energiequellen für den Antrieb von Motoren und Turbinen – Kohle, Erdöl und Erdgas – sind nicht unerschöpflich. Wir müssen vorläufig mit den vorhandenen Vorräten auskommen.

Weil das so ist, machten es sich Männer der Wissenschaft und Technik zur Aufgabe, Energieverluste, die bei Antriebsmaschinen auftreten, weitestgehend zu verringern.





# 1. Männer und Motoren

In den europäischen Industrieländern gerieten um 1850 kleinere Handwerksbetriebe in arge Bedrängnis. Dem Zwang des technischen Fortschritts folgend, hätten sie moderne Arbeitsmaschinen – zum Beispiel Drehbänke, Bohr-, Fräs- und Sägemaschinen – anschaffen müssen. Doch man fand kein geeignetes Antriebsmittel. Die Dampfmaschine zeigte sich für solche Werkstätten ungeeignet; ihre Anlagen waren zu riesig und ihr Wirkungsgrad zu gering. Um einsatzbereit zu sein, mußte sie ständig unter Dampf gehalten werden. Somit verbrauchte sie stets Brennstoff und Energie, ob die Arbeitsmaschinen liefen oder nicht. Was man jetzt benötigte, das war eine preiswerte Antriebsmaschine, die sich in kleinen Werkstätten unterbringen ließ und die man nach Bedarf an- und abstellen konnte.

## William Murdocks „Gasometer“

Die Dampfmaschinenfabrik *Boulton & Watt* wurde um 1790 von William Murdock geleitet, einem Mann von klarem, gesundem Menschenverstand, der technische Vorgänge scharf beobachtete, stets mit dem Ziel, praktische Neuerungen zu ersinnen und einzuführen. Durch zähen Fleiß hatte er sich vom Metallarbeiter zum Werkmeister und schließlich zum Ingenieur hinaufgearbeitet. Murdock zählte zu den hervorragendsten Technikern, die in diesem weltbekannten Werk tätig waren. Mit zahlreichen Erfindungen hatte er dazu beigetragen, die Dampfmaschine zu verbessern und deren Produktion zu vereinfachen.

Eines Abends – so heißt es – wollte William Murdock zu einem Essen ausgehen und suchte nach seiner Laterne, die er gewohnheitsgemäß vor sich her trug, wenn er durch das unbeleuchtete Soho gehen mußte. Nicht etwa aus Furcht; die kannte der breitschultrige, bärenstarke Ingenieur nicht. Aber er hatte keine Lust, in den stockfinsternen Gassen gegen eine Hauswand zu prallen oder in den Rinnstein zu stolpern und seinen Anzug zu besudeln.

Murdock konnte die verflixte Lampe nicht finden, doch beim Suchen war ihm eine Schweinsblase in die Hände geraten. Kurz entschlossen begab er sich in den Hof der Fabrik. Dort hatte man für den Betrieb der Dampfmaschinen Kohle zu hohen Bergen aufgeschüttet, aus denen brennbare Gase aufstiegen. Murdock hatte das bereits mehrfach beobachtet; denn es war vorgekommen, daß sich die Gase selbst entzündeten.

Murdock füllte die Schweinsblase mit dem

Gas, das zwischen den Kohlen hervorpufft, steckte das Mundstück seiner Tabakspfeife oben hinein, band es fest und entzündete das ausströmende Gas. So machte er sich auf den Weg zu seinen Gastgebern, die über diese neue „Laterne“ nicht wenig staunten. Wahrscheinlich ist diese hübsche Geschichte erfunden. Doch Tatsache ist, daß der tüchtige Ingenieur und Erfinder erstmals ein Brenngas aus Steinkohle in größerem Umfang gewann und für Beleuchtungszwecke nutzte.

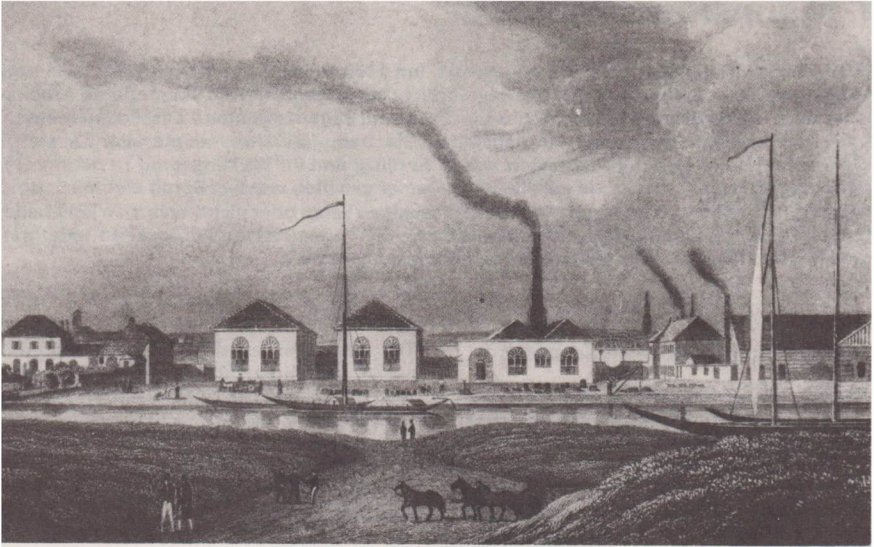


William Murdock  
(1754–1839)

## Eine neue Energiequelle ist entdeckt

Jahrtausendlang hatten sich die Menschen mit dem Licht von Kienspan, Fackel, Kerze oder Öllampe begnügen müssen. Am Ende des 18. Jahrhunderts wurde ein völlig neuer Brennstoff entdeckt, der sich vorzüglich zum Beleuchten, Kochen und Heizen eignete: das Steinkohlengas. Der flämische Apotheker





Eine alte Gasanstalt, erbaut um 1820

Minckelaers, der in Löwen lebte und gern experimentierte, hatte es bereits 1783 erzeugt, indem er Steinkohle unter Luftabschluß erhitzte. Mit diesem Gas erleuchtete er versuchsweise sein Laboratorium.

In Frankreich begann 1797 der Ingenieur Philipp Lebon mit Experimenten, aus Holz ein brennbares Gas zu gewinnen. Auch er wollte das Gas für Beleuchtungszwecke, darüber hinaus als Heizgas und Energiequelle für Kolbenmaschinen nutzen. Obwohl die Versuche erfolgreich verliefen, gelang es ihm nicht, seine weitreichenden Pläne zu verwirklichen. William Murdock stellte dieses Gas seit 1792 gemeinsam mit dem Erfinder Samuel Clegg her und stattete einige Werkräume der Dampfmaschinenfabrik mit einer Gasbeleuchtung aus. Im Jahre 1802 – anlässlich einer Friedensfeier – ließ Murdock die gesamte Straßenfront der Fabrik durch Gaslicht strahlend beleuchten.

Anfangs fürchteten sich viele vor dem Gebrauch des Leuchtgases. Man glaubte, ein mit Gas gefüllter Gasometer sei gefährlicher als ein Keller voller Schießpulver; wenn aus einer undichten Stelle des Gasometers Gas austrete und Feuer finge, würde die ganze Stadt in die Luft fliegen.

Um diese Befürchtung ein für allemal zu zerstreuen, lud Samuel Clegg die Londoner Stadtväter und einige namhafte Gelehrte zu einer Besichtigung ein. Nachdem er den Herren ein fürstliches Frühstück vorgesetzt hatte, führte er sie in das Gebäude, in dem der große Gasbehälter stand. Es gelang ihm, die Eingangstür unbemerkt zu verschließen. Dann packte er eine Spitzhacke, schlug ein Loch in den Gasometer und hielt an das auströmende Gas ein brennendes Zündholz. Tödlich erschrocken wandten sich seine Besucher zur Flucht. Doch da sie den Ausgang versperrt fanden, blieb ihnen keine andere Wahl, als die ruhig brennende Gasflamme zu beobachten. Sie atmeten erleichtert auf; Clegg hatte sie überzeugt.

Daraufhin wurde in London 1812 erstmals die Gasbeleuchtung eingeführt. Anfangs hat man das Gas in tragbaren eisernen Tanks an die Verbraucher verkauft. Wenig später lernten die Pariser auf die gleiche Weise das Gaslicht kennen. Und 1826 wurde auch in Berlin nach englischem Vorbild das erste Gaswerk errichtet, die *Englische Gasbeleuchtungs-Anstalt*.

So fand das Leuchtgas allmählich Eingang in die Wohnungen. Als man es in allen größeren

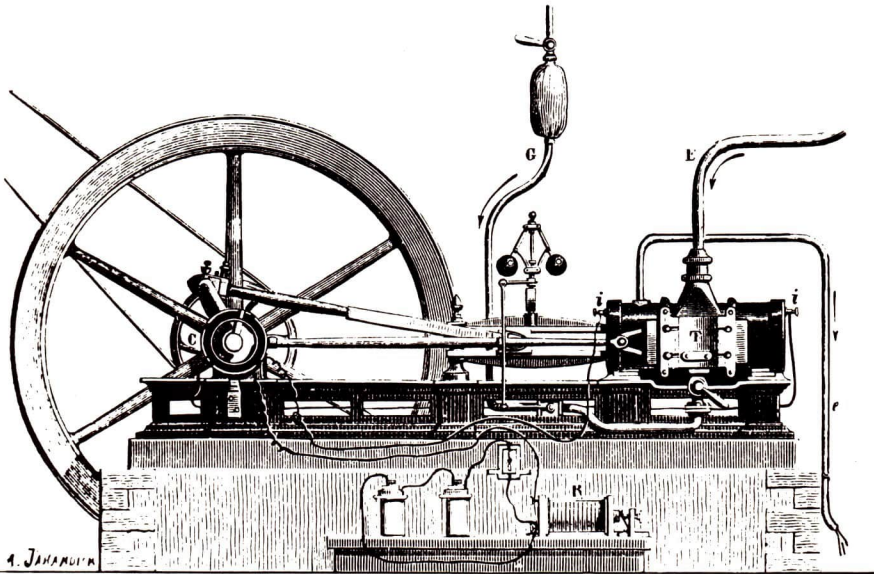
Städten zur Straßenbeleuchtung verwendete, fand es schnell weite Verbreitung und wurde in ausgedehnten Werkanlagen Tag und Nacht in riesigen Mengen erzeugt. Mit diesem Gas stand eine neue Energiequelle zur Verfügung, und der Gedanke lag nahe, jetzt eine Maschine zu entwickeln, die sich mit Leuchtgas betreiben ließe. Ein Kolbenmotor von geringen Ausmaßen, der auch für kleine Handwerksbetriebe erschwinglich war und der wesentlich energiesparender arbeiten konnte als die Dampfmaschine.

### Lenoirs „Gasvertilger“

Auch der französische Mechanikermeister Étienne Lenoir machte sich kritische Gedanken über die Dampfmaschine. Er entdeckte die Hauptursache ihrer Nachteile: Die Wärmeenergie, die von der Kohle abgegeben wurde, ließ sich nicht *unmittelbar* in mechanische Arbeit umwandeln. Der Dampf spielte die Rolle eines Zwischenträgers, er transportierte die Wärme von dem Kessel in den Zylinder. Wesentlich einfacher und wirtschaftlicher könnte eine Kolbenmaschine arbeiten,

wenn man den Brennstoff nicht unter einem Dampfkessel, sondern direkt im Arbeitszylinder verbrannte. Für diesen Zweck eignete sich das Leuchtgas vorzüglich, denn es war sehr leicht entflammbar und verbrannte rasch. In einem Zylinder würde es sich beim Verbrennen stark ausdehnen und mit großer Kraft auf den Kolben wirken. Allerdings – darüber war sich Lenoir klar – mußte er mit dem Leuchtgas auch Luft in den Zylinder einströmen lassen, weil zu jeder Verbrennung Sauerstoff erforderlich ist.

Ein noch wichtigeres Problem hatte Lenoir zu lösen. Das Leuchtgas verbrannte in einem abgeschlossenen Zylinder mit hoher Temperatur. Schon nach wenigen Arbeitshüben würden sich Zylinder und Kolben stark erhitzt haben. Bei einem solchen Vorgang dehnen sich Metalle aus, sie verformen sich. Der Kolben würde sich im Zylinder „festfressen“. Es war somit nötig, die Wärmeenergie, die sich auf die Maschinenteile übertrug, auf irgendeine Weise abzuführen. Nach einigem Überlegen entschloß sich Lenoir, den Zylinder mit einem Wassermantel zu umgeben. Er konstruierte einen doppelwandigen Zylinder;



Die von dem Franzosen Étienne Lenoir konstruierte Gasmaschine



durch den so entstandenen Hohlraum sollte ständig Kühlwasser strömen.

Étienne Lenoir wagte sich an den Bau der Maschine. Im Jahre 1860 gelang es ihm, seinen ersten Gasmotor in Gang zu setzen. Er war im Grunde ebenso aufgebaut wie die doppeltwirkende Dampfmaschine: Er hatte einen Zylinder mit zwei Einlaß- und zwei Auslaßventilen, einen Kolben mit der Kolbenstange, daran beweglich befestigt die Pleuelstange und schließlich die Kurbel mit dem Schwungrad auf einer Antriebswelle.

Die Funktionsweise war unkompliziert: Wenn sich der Kolben nach rechts bewegte, wurde das linke Einlaßventil geöffnet. Der Unterdruck, der hinter dem Kolben entstand, saugte ein Gemisch von Leuchtgas und Luft ein. Befand sich der Kolben etwa in der Mitte des Zylinders, schloß sich das Einlaßventil, und ein elektrischer Funke zündete das Gas-Luft-Gemisch. Es verbrannte, dehnte sich aus und trieb den Kolben mit einem Druck von etwa 500 Kilopascal bis zum Hubende.

Nun bewegte sich der Kolben in die entgegengesetzte Richtung. Das linke Auslaßventil öffnete sich, und der Kolben schob die Verbrennungsrückstände hinaus. Gleichzeitig öffnete sich das rechte Einlaßventil, und der Kolben saugte jetzt von der anderen Zylinderseite das Gas-Luft-Gemisch an. Es wurde wiederum bei Mittelstellung des Kolbens gezündet. So wiederholte sich ein Arbeitshub nach dem anderen in schneller Folge. Für einen gleichmäßigen Lauf sorgte das Schwungrad.

Bei diesem Gasmotor wurde die Wärmeenergie direkt im Zylinder freigesetzt und dann in mechanische Energie umgewandelt. Insofern ist der Motor Lenoirs als ein Vorläufer unserer modernen Verbrennungsmotoren anzusehen.

Der Erfinder war davon überzeugt, eine leistungsstarke und energiesparende Antriebsmaschine geschaffen zu haben. Er verkündete, sein Motor werde, von nur einem halben Kubikmeter Leuchtgas gespeist, eine Stunde lang eine Leistung von einer Pferdestärke (736 Watt) abgeben. Es stellte sich jedoch heraus, daß der Motor, um diese Arbeit abzugeben, 3 Kubikmeter Leuchtgas „vertilgte“. Mit dem sparsamen Brennstoffverbrauch war es also nichts.

Auch ansonsten hatte diese Gasmaschine ihre Tücken. Carl Benz, der Konstrukteur des

ersten Kraftwagens, beurteilte sie in seinen Lebenserinnerungen auf recht humorvolle Weise.

„Sie war ein Erstling, die die löbliche Eigenschaft hatte, bei guter Laune zehn Minuten lang zu funktionieren und zu arbeiten, aber ein Ölschlemmer und Schmiermaterialverbraucher, daß man sie scherzweise einen ‚rotierenden Öilkumpen‘ nannte.“

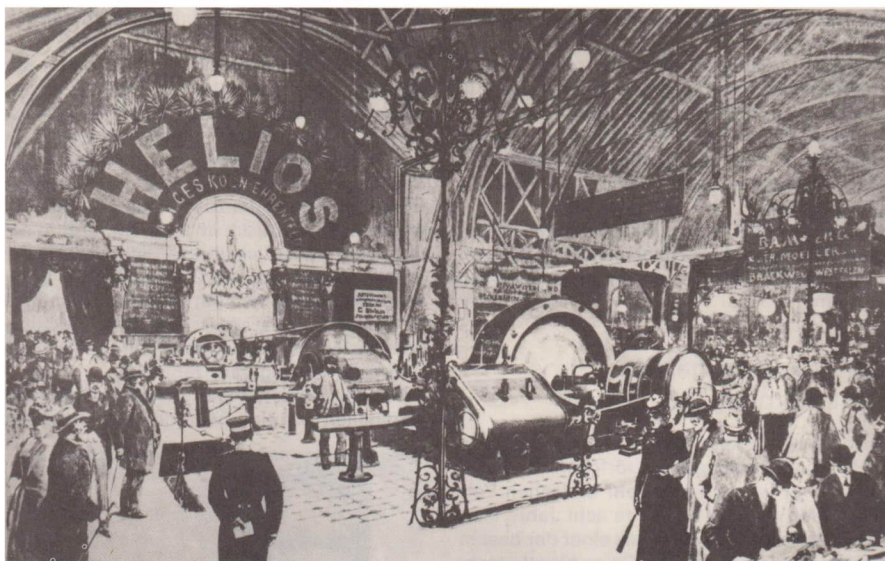
Es war tatsächlich so, dieser Motor brauchte zwar keinen Heizer, doch dafür jemanden, der mit einer großen Ölkanne dabeistand, um ihn ständig zu schmieren. Trotz dieser Nachteile lief die Gasmaschine, nachdem Lenoir sie verbessert hatte, betriebssicher und wurde gern gekauft. Allerdings vermochte sie es nicht, die Dampfmaschine zu entthronen.

## Ein lärmender Sieger

Auf der Weltausstellung in Paris im Jahre 1867 wurde das Neueste ausgestellt und vorgeführt, was man auf dem Gebiet der Technik geschaffen hatte, darunter eine Reihe französischer Gasmotoren, die ebenso funktionierten wie die Konstruktion Lenoirs.

Unliebsames Aufsehen erregte eine kleine deutsche Kraftmaschine, die etwa eine halbe Pferdestärke (368 Watt) leistete, doch dabei einen Lärm vollführte, wie man ihn nicht einmal einer Tausendpferdigen verziehen hätte. Die Ausstellungshalle war von einem ohrenbetäubenden Knattern erfüllt. Die übrigen Aussteller von Maschinen warteten sehnsüchtig darauf, daß das tosende Ding endlich einen Defekt habe und verstumme. Doch die kleine Maschine stampfte unermüdlich.

Ausgerechnet sie erhielt am Ende der Ausstellung die höchste Auszeichnung, eine goldene Medaille. Die Preiskommission hatte nämlich erkannt, daß diese Gasmaschine mit der Dampfmaschine ernsthaft in Wettbewerb treten konnte. Denn sie war im Gasverbrauch überraschend sparsam. Benötigten die Maschinen Lenoirs nach wie vor 3 Kubikmeter Leuchtgas, so verbrauchte diese kleine Lärmerin, um die gleiche mechanische Arbeit abzugeben, lediglich 0,8 Kubikmeter. Das bedeutete eine sensationelle Erhöhung des Wirkungsgrades bei Gasmaschinen von 4 auf 15 Prozent; diese Maschine überstieg damit sogar den Wirkungsgrad der Dampfmaschine.

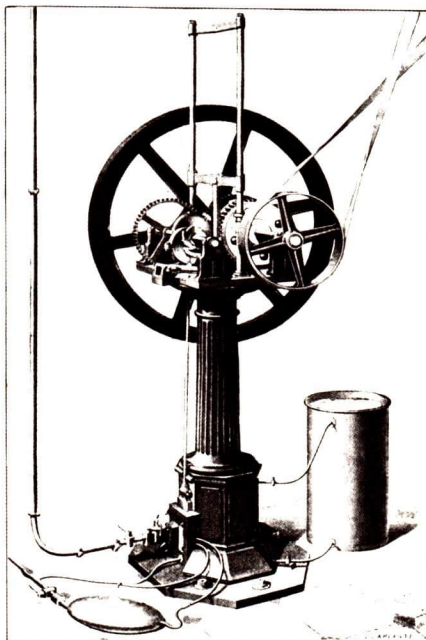


Blick in eine technische Ausstellung des vorigen Jahrhunderts, auf der Motoren unterschiedlicher Konstruktion vorgeführt wurden

Augenfällig an dieser Maschine waren das eiserne Schwungrad und ein schmaler stehender Zylinder, der oben offen war und in dem sich ein Kolben auf und ab bewegte.

Der Kolben saugte bei seiner Aufwärtsbewegung etwas Leuchtgas und Luft an. Das Gemisch wurde durch ein Gasflämmchen gezündet, es verbrannte, und der Kolben flog in die Höhe. Damit er nicht aus dem Zylinder hinausfliegen konnte, hatte der Erfinder eine obere Hubbegrenzung eingebaut, gegen die der Kolben mit großer Wucht aufprallte: die Ursache des starken Lärms. Und da die Maschine 60 bis 80 Umdrehungen in der Minute vollführte, kann man sich ihr lautes Geknatter gut vorstellen.

Der untere Teil des Zylinders wurde von einem Wassermantel umströmt; dadurch kühlten sich die Verbrennungsgase sehr rasch ab. Es entstand im Zylinder ein Unterdruck, und der äußere Luftdruck preßte jetzt den Kolben kräftig nach unten. Das war der eigentliche Arbeitshub, der auf die Antriebswelle übertragen wurde. Es handelte sich also um eine atmosphärische Gasmachine, die in ihrer



Der atmosphärische Gasmotor von Nikolaus Otto



Arbeitsweise der Maschine Newcomens gleich.

Dieser „Flugkolbenmotor“, wie man ihn auch nannte, fand rasch Verbreitung, vor allem in Werkstätten und Handwerksbetrieben. War er doch der erste wirtschaftlich arbeitende Kleinmotor. Den Lärm nahmen die Mechaniker-, Schlosser- und Tischlermeister dafür gern in Kauf.

Konstruiert und gebaut hatten den Motor der deutsche Techniker Nikolaus Otto aus Köln und dessen Partner, der Ingenieur Eugen Langen.

## Ein Handlungsgehilfe baut Motoren

Nikolaus Otto kam 1832 in Holzhausen zur Welt, einem abgelegenen Dörfchen im Lande Nassau. Er wuchs unter sehr einfachen Verhältnissen auf und besuchte acht Jahre lang die Dorfschule, aus der er als einer der besten Schüler entlassen wurde. Da er für alle technischen Dinge ein großes Interesse zeigte, schickte ihn seine Mutter für einige Jahre auf die Realschule in Langenschwalbach, einem Badestädtchen im Taunus.

Es war geplant, daß er später an einer technischen Hochschule studieren solle. Doch im Frühjahr 1848 konnte die verwitwete Mutter das Schulgeld für ihren Sohn nicht mehr aufbringen. Der junge Mann sah sich gezwungen, seine Berufswünsche vorerst aufzugeben, und erlernte einen kaufmännischen Beruf.

Nachdem er seine Lehre beendet hatte, trat er 1853 als „Handlungskommis“ in den Dienst eines Kölner Kolonialwarenkaufmanns. Doch nach wie vor fesselte ihn die Technik weit mehr als die Apfelsinen, Bananen und Datteln, mit denen er die Umgebung Kölns bereiste und die er feilbot. An seinen Feierabenden studierte er technische Bücher und eignete sich so ein Fachwissen an, das andere auf einer technischen Hochschule erlangten.

Mit 30 Jahren gab er seinen Beruf auf und beschäftigte sich fortan mit dem Gasmotor Lenoirs, von dem er in einer Zeitung gelesen hatte. Er nahm sich vor, derartige Motoren selbst zu bauen, sie zu verbessern. Von einem Kölner Mechaniker ließ er sich ein Modell der Lenoirschen Maschine anfertigen und begann damit zu experimentieren. Eines Tages

machte er dabei eine interessante Entdeckung.

Otto wollte – wie bereits häufig getan – den kleinen Versuchsmotor in Gang setzen. Nachdem er das Leuchtgas-Luft-Gemisch in den Zylinder gesaugt hatte – er mußte dazu das Schwungrad drehen, um auf diese Weise den Kolben zu bewegen –, vergaß er, die elektrische Zündung einzuschalten. Er ließ das angesaugte Gemisch im Zylinder, drehte das Schwungrad zurück und verdichtete dadurch unbewußt das Gas. Als Otto die Zündung einschaltete, setzte sich der Kolben viel heftiger in Bewegung als sonst: An Stelle der üblichen zwei oder drei Umdrehungen führte das Schwungrad ungefähr zehn aus.

So war Nikolaus Otto bei seinen unablässigen Versuchen auf eine bedeutende Entdeckung



Nikolaus Otto  
(1832–1891)

gestoßen: Verbrennungsgase geben einen höheren Energiebetrag ab – und verrichten auch mehr mechanische Arbeit –, wenn man das Gas-Luft-Gemisch vor dem Zünden verdichtet, also komprimiert.

Wollte Otto diese Entdeckung ausnutzen, mußte er einen gänzlich neuartigen Motor konstruieren. Er hatte auch bereits eine genaue Vorstellung, nach welchen Grundsätzen der Motor arbeiten mußte. Doch es gelang ihm noch nicht, eine brauchbare praktische Lösung zu finden, und er konstruierte zunächst seine atmosphärische Maschine. In dem vermögenden Ingenieur Eugen Langen, der gern die Entwicklung vielversprechender neuer Erfindungen förderte, fand er nicht nur einen Geldgeber, sondern auch einen erfahrenen Fachmann und Konstrukteur.

Der atmosphärische Gasmotor war derart gefragt, daß Otto und Langen jenseits des

Rheins, in der Köln gegenüberliegenden Ortschaft Deutz, ein größeres Werk eröffnen mußten, die *Gasmotoren-Fabrik Deutz*. Innerhalb von zehn Jahren konnte diese Firma mehr als 5 000 Gasmotoren herstellen und in alle Industrieländer Europas verkaufen.

## „Ottos neuer Motor“

Nikolaus Otto gab sich mit diesem Erfolg nicht zufrieden. In jeder freien Stunde saß er im Konstruktionsbüro und skizzierte den neuen Motor, *seinen* Motor, der vollkommener und wirtschaftlicher arbeiten sollte als alle bisher bekannten Antriebsmaschinen. Bereits einige Jahre zuvor hatte er sich in Köln einen vierzylindrigen Motor bauen lassen und damit experimentiert. Aber die Explosionen in den Zylindern waren derartig heftig gewesen, daß er die Versuche vorläufig aufgab. Jetzt, nachdem sich ein gewisser Erfolg eingestellt hatte und ihm genügend Geld zur Verfügung stand, kehrte er zu seinen Forschungen zurück.

Was in dem Zylinder des geplanten Motors zu geschehen hatte, das war dem Konstrukteur völlig klar. Der technische Ablauf ließ sich in vier Phasen einteilen:

1. Der Kolben saugt das Gas-Luft-Gemisch in den Zylinder.

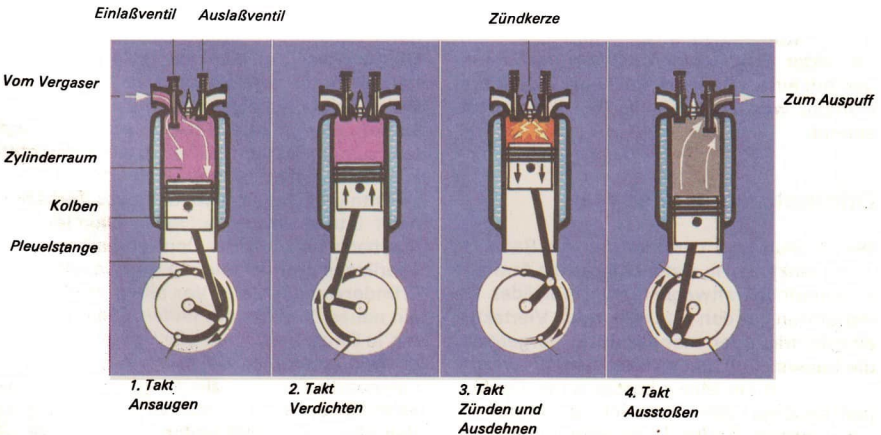
2. Das Einlaßventil, durch welches das Gemisch in den Zylinder gelangte, wird automatisch geschlossen. Der Kolben bewegt sich jetzt entgegengesetzt und komprimiert das Gemisch.

3. Wenn der Kolben die Totpunktstellung überwunden hat, wird das komprimierte Gemisch elektrisch gezündet und verbrannt. Das Gas dehnt sich mit großer Kraft aus und treibt den Kolben zurück. Während dieser Phase läuft der Arbeitshub ab: Wärmeenergie wird in mechanische Energie umgewandelt, die Bewegung wird mittels Pleuel und Kurbel auf die Antriebswelle und das Schwungrad übertragen.

4. Das Auslaßventil öffnet sich. Der Kolben wird durch die Drehung des Schwungrades wieder zurückbewegt und schiebt dabei die Verbrennungsrückstände hinaus. Sobald dies geschehen ist, öffnet sich das Einlaßventil, und der Kolben saugt aufs neue Gas-Luft-Gemisch an.

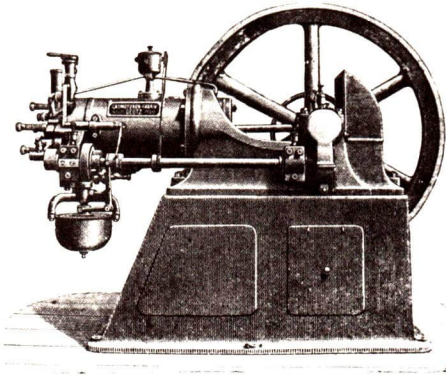
Diese vier Phasen – wir nennen sie Takte – sollten sich ohne menschliches Zutun in der gleichen Reihenfolge ununterbrochen wiederholen. Der erste Takt heißt *Ansaugen*, der zweite *Verdichten*. Der dritte Takt – der Arbeitstakt – wird *Zünden und Ausdehnen* genannt und der vierte *Ausstoßen*.

Es leuchtet ein, daß diese Funktionsweise, bei der in Bruchteilen einer Sekunde komplizierte



Die Arbeitsweise eines Viertaktmotors





„Ottos neuer Motor“, der erste brauchbare Viertaktmotor

technische Vorgänge ablaufen sollen, einen wohlgedachten Aufbau des Motors und äußerste Präzisionsarbeit verlangen. Nach langer und gründlicher Vorarbeit brachte die *Gasmotoren-Fabrik Deutz* bereits am Ende des Jahres 1876 die ersten Viertaktmotoren auf den Markt. Auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878 erregte diese Maschine, die man „Ottos neuer Motor“ nannte, großes Aufsehen. Die Fachwelt war erstaunt über den hohen Wirkungsgrad von rund 20 Prozent und begeistert von der großen Leistungsfähigkeit dieses Motors. Bisher waren Verbrennungsmotoren nicht über 3 Pferdestärken (2,2 Kilowatt) hinausgekommen. Mit dem Viertakter Ottos stiegen die Motorenleistungen mit einem Schlag auf 80 bis 100 Pferdestärken, was etwa 60 bis 75 Kilowatt entspricht.

## Ottomotoren in aller Welt

Wenn heute von Ottomotoren die Rede ist, dann denkt man in erster Linie an die Antriebe für Personenkraftwagen und Motorräder. Ottomotoren werden als Zwei- oder Viertakter, einzylindrig oder mehrzylindrig hergestellt; die Bauweise richtet sich danach, für welche Fahrzeugart der Motor bestimmt ist. Ein Moped benötigt einen schwächeren Motor als ein schweres Kraftrad, ein geräumiges Taxi einen stärkeren als ein Kleinwagen. Denn bei voller Leistung soll jeder Motor möglichst

sparsam im Kraftstoffverbrauch sein. Ottomotoren sind sämtlich Hochleistungsmotoren, die den Fahrzeugen hohe Geschwindigkeiten erteilen können und deren Wirkungsgrad bis zu 34 Prozent erreicht. Auf allen Straßen der Welt brummen und dröhnen sie in ungezählten Kraftfahrzeugen.

Drei Männer haben an der Entwicklung dieser Motoren besonders verdienstvoll mitgewirkt: die deutschen Techniker und Ingenieure Gottlieb Daimler, Wilhelm Maybach und Carl Benz.

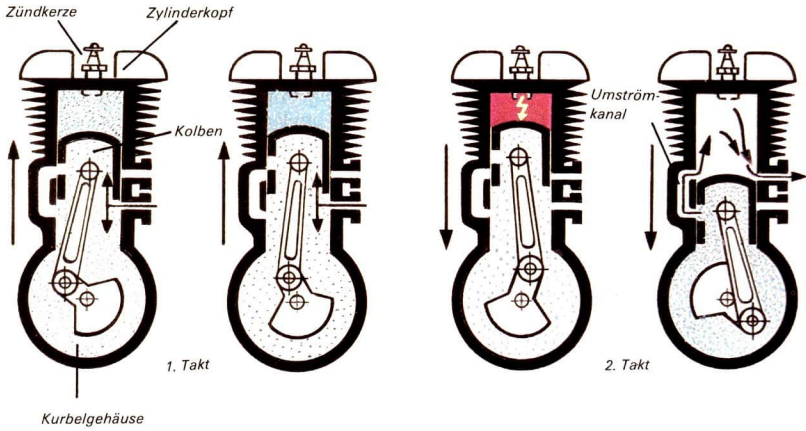
Am 13. August 1883 lief in dem Gartenhaus einer Canstatter Villa ein Motor an, der wesentlich kleiner und leichter war als alle zu jener Zeit bekannten Antriebsmaschinen. Nach den ersten zögernden Kolbenhüben erreichte das Schwungrad des laut aufknatternden Motors eine ungewöhnlich hohe Drehzahl. Gottlieb Daimler und Wilhelm Maybach, erfreut über den Erfolg ihrer Konstruktion, ermittelten 800 bis 900 Umdrehungen in der Minute. Sie hatten mit diesem leichten Viertaktmotor einen Schnellläufer geschaffen, der sich für den Antrieb von Straßen- und Wasserfahrzeugen eignete.

Daimler und Maybach waren zuvor bei der *Gasmotoren-Fabrik Deutz* in leitenden Stellungen tätig gewesen. An der Vervollkommnung des Viertakt-Gasmotors von Nikolaus Otto hatten sie maßgeblichen Anteil.

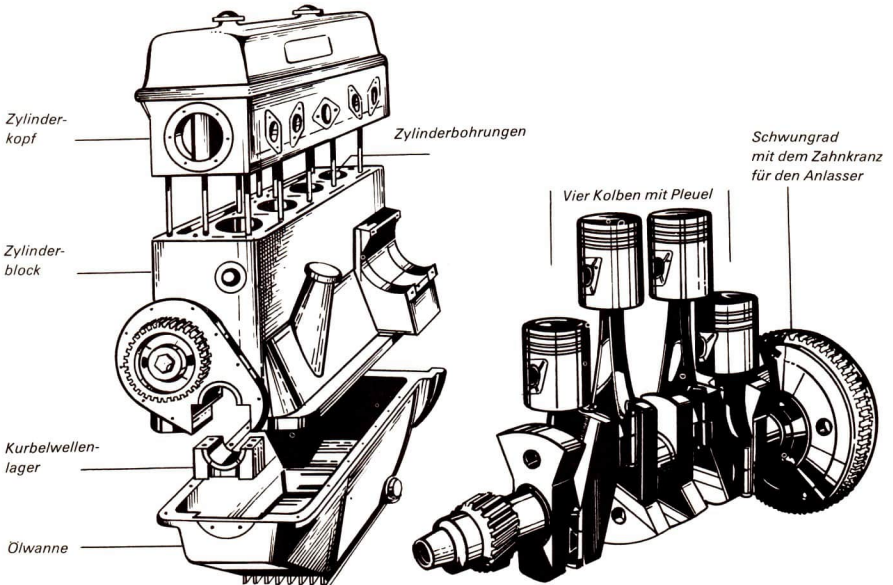
Otto und Langen ließen in ihrem Werk nur ortsfeste Gasmotoren herstellen, die stets von der Energiequelle Leuchtgas – und damit von einer Gasleitung – abhängig waren. Gottlieb Daimler war auf die Idee gekommen, den Viertaktmotor vom Gaswerk zu trennen und ihn mit einer Art eigenem „Gaswerk“ auszustatten. Es war sein Ziel, den schweren und langsamen Gasmotor Ottos zu einem leichten Hochleistungsmotor zu verfeinern.

Da Otto und Langen sich für dieses Vorhaben nicht interessierten, schiedens Daimler und Maybach 1882 aus der Deutzer Gasmotoren-Fabrik aus und richteten in Bad Canstatt ihre Erfinderwerkstatt ein. Vor allem mußten sie ein neues Zündsystem finden. Die Gasmotoren in Deutz hatten nur 200 Umdrehungen in der Minute erreicht. Die durch einen Schieber gesteuerte Flammzündung und auch die elektrische Zündung versagten, wenn man den Motor schneller laufen lassen wollte.

Daimler erprobte mit Erfolg ein neues System, die Glührohrzündung: Ein Eisenrohr-



Die Arbeitsweise eines Zweitaktmotors. Das Ansaugen, Verdichten und Verbrennen des Gas-Luft-Gemisches sowie das Ausströmen der Verbrennungsgase erfolgt bei diesem Motor in zwei Takten. Beim ersten Takt bewegt sich der Pleuellager des Pleuelschubschiebers in Richtung Zylinderkopf. Dabei wird das Gemisch im Zylinder stark verdichtet; zugleich saugt der Pleuellager des Pleuelschubschiebers frisches Gemisch in das Kurbelgehäuse. – Der zweite Takt beginnt mit dem Zünden des komprimierten Gemisches. Dieses verbrennt, dehnt sich aus und drückt den Pleuellager des Pleuelschubschiebers nach unten in Richtung Kurbelgehäuse. Das angesaugte Gemisch wird dabei vorverdichtet, gelangt durch den Umströmkanal in den Zylinder und spült die Verbrennungsgase aus.



Aufbau eines Vierzylinder-Viertakt-Ottomotors. Kurbelwelle mit den Pleueln ist aus dem Zylinderblock herausgenommen



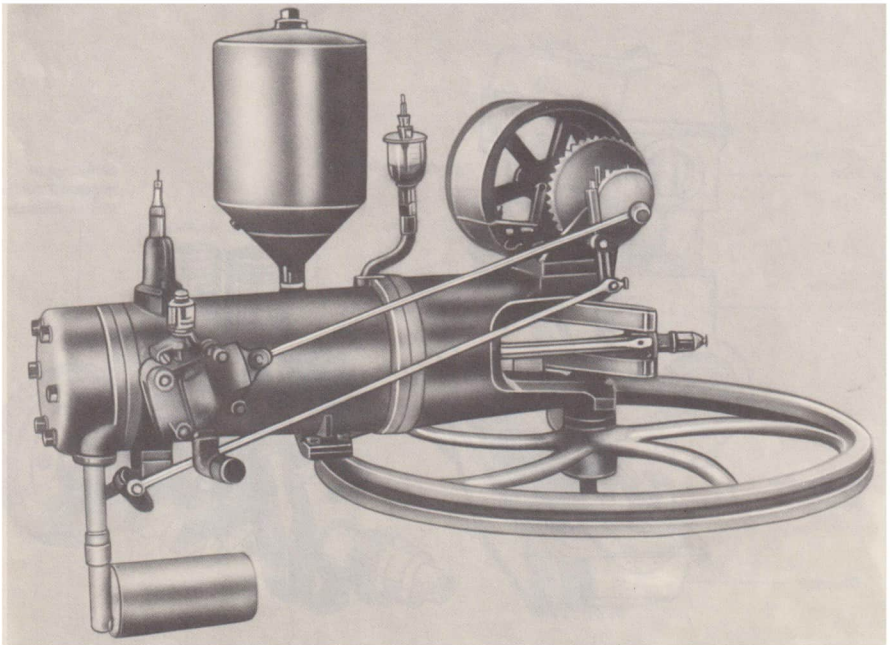


Gottlieb Daimlers Petroleum-Reitwagen aus dem Jahre 1885

chen, das in den Zylinder hineinragte, wurde von einer Flamme bis zur Rotglut erhitzt. Daran entzündete sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Augenblick der höchsten Verdichtung. Anstelle von Leuchtgas verwendeten die beiden Erfinder anfangs Petroleum als Energiequelle, später Benzin.

Im Jahre 1885 baute Gottlieb Daimler einen *Petroleum-Reitwagen*, wie er sein Gefährt benannte. Es war der erste „Feuerstuhl“ der Welt. Einen stabilen Rahmen und die Räder ließ Daimler aus Eichenholz anfertigen. Den Einzylinder-Viertaktmotor mußte er mit einer Handkurbel anwerfen. Der Motor machte 600 Umdrehungen in der Minute und leistete eine halbe Pferdestärke (368 Watt). Die Kraftübertragung auf das Hinterrad erfolgte durch Riementrieb.

Das Gefährt hatte zwei Gänge. Wollte Daimler die Geschwindigkeit von 6 auf 12 Kilometer in der Stunde steigern, hielt er seinen Reitwagen an und legte von Hand den Treibriemen



Der erste von Carl Friedrich Benz im Jahre 1885 konstruierte Automotor

von der großen Riemenscheibe auf die kleinere. Die erste Überlandfahrt, zu der er am 10. November 1885 startete, führte über eine 3 Kilometer lange Strecke und verlief ohne jegliche Panne.

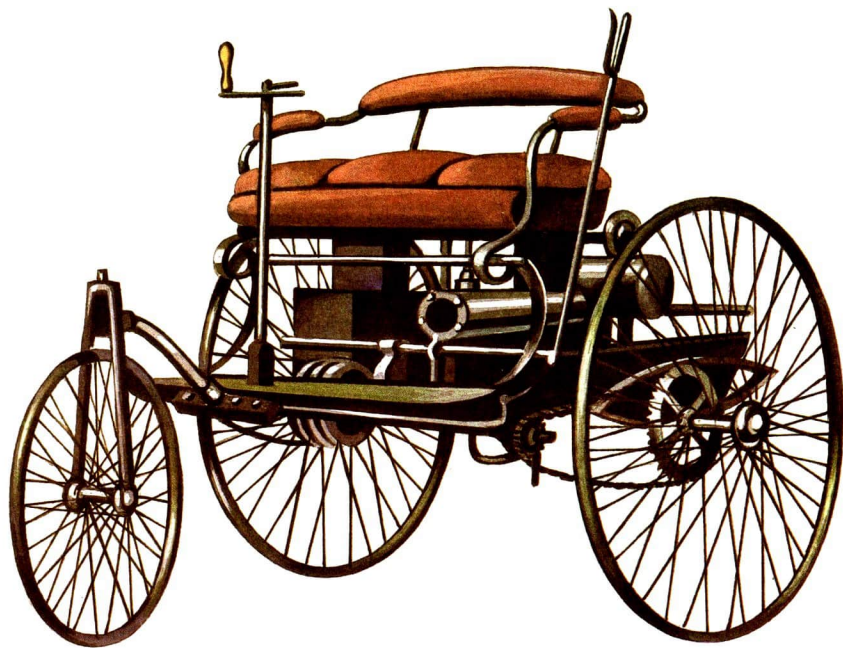
Ein Jahr darauf, 1886, baute Daimler einen Viertaktmotor von 1,5 Pferdestärken (1,1 Kilowatt) in eine handelsübliche Pferdekutsche ein und fuhr damit zur großen Verwunderung der Bürger und Gassenjungen durch Bad Canstatt spazieren: Man sah dort zum ersten Mal einen Wagen, der sich ohne Pferde fortbewegte.

Zur gleichen Zeit hatte in Mannheim der Motorenkonstrukteur Carl Benz ein dreirädriges Automobil fertiggestellt. Er fuhr damit, ebenfalls von allen Leuten angestaunt, am Ufer des Neckars entlang. Wie sein Fahrzeug beschaffen war, das schilderte sehr anschaulich eine Mannheimer Zeitung.

„Am hinteren Ende des Fahrwerks liegt ein Gasmotor von  $\frac{3}{4}$  PS. Neben demselben be-

findet sich ein Kupfergefäß zur Aufnahme des Benzins, etwa 4 Liter enthaltend, das auf 10 Stunden vorhält. Von hier aus tritt das Benzin tropfenweise in ein anderes Gefäß, in welchem es sich in Gas verwandelt, das wiederum durch den Zutritt atmosphärischer Luft in explosionsfähiges Gas umgewandelt wird. Der Gasmotor wirkt durch Übersetzung auf das Fahrwerk und setzt es in Bewegung. Die Schnelligkeit ist 16 Kilometer in der Stunde, die Herr Benz auf 24 zu steigern gedenkt. Die Handhabung des Fahrzeugs geschieht durch einen einfachen Hebel vom Sitz aus. Mit einem einzigen Ruck wird das Fahrzeug angehalten, und zwar auf eine Entfernung von drei Meter.“

Mit den Fahrzeugen von Daimler und Benz war der Weg gewiesen, auf dem sich durch weitere unermüdliche Erfindertätigkeit der Motorfahrzeugbau entwickeln konnte. Der Straßenverkehr erfuhr innerhalb weniger Jahrzehnte eine ungeahnte Umwälzung.



Der erste von Benz 1885 erbaute Motorwagen



## Reise in den Tod

Am 29. September 1913 befand sich der englische Personendampfer *Dresden* auf hoher See. Er hatte in Antwerpen abgelegt und fuhr zur englischen Südostküste. Nachdem er im Hafen von Harwich festgemacht hatte und die Passagiere von Bord gegangen waren, erstattete der verstörte Obersteward dem 3. Offizier Meldung über einen rätselhaften Vorfall. Die Stewards hatten in der unverschlossenen Kabine eines Passagiers das Bett unberührt und das gesamte Gepäck aufgefunden. Der Passagier könne folglich das Schiff noch nicht verlassen haben, doch sei er nirgends aufzufinden. Die Stewards und die Mannschaft haben sämtliche Decks von oben bis unten durchsucht. Der Name des Passagiers: Rudolf Diesel.

Ein Schreiben, das der Offizier in einem Kabinenfach entdeckte und in dem man den vermißten Passagier zur Einweihung einer neuen großen Dieselmotorenfabrik nach Ipswich eingeladen hatte, beseitigte die letzten Zweifel. Der Verschwundene war kein Geringerer als der deutsche Ingenieur und Motorenkonstrukteur Dr. Rudolf Diesel, Schöpfer des vollkommensten Verbrennungsmotors, den die Welt bis dahin kannte.

Wie weitere Untersuchungen ergaben, war Diesel durch üble Machenschaften und Intrigen um sein gesamtes Vermögen und die Früchte seiner Lebensarbeit betrogen worden. Vor dem Ruin stehend, war er in der Nacht vom 29. auf den 30. September von der Reling in die Nordsee gesprungen und hatte seinem Leben ein Ende bereitet. Alle, die ihn gekannt hatten und sein Werk bewunderten, nahmen diese Nachricht mit Bestürzung auf.

## Eine Randnotiz im Studienheft

Rudolf Diesel wurde 1858 geboren. Schon als Knabe fühlte er sich von der Technik geradezu magnetisch angezogen. Da er mit seinen Eltern in Paris lebte, besuchte er 1867 die große Weltausstellung, wo man kaum von etwas anderem als von Elektrizität, Dampfomnibussen und Kraftmaschinen redete und wo Nikolaus Ottos atmosphärischer Gasmotor vorgestellt wurde. Dieses Erlebnis beeindruckte den

Rudolf Diesel  
(1858–1913)



Jungen derart, daß ihn künftig Technik und Naturwissenschaft völlig gefangennahmen. Im Jahre 1878 – er studierte an der Münchener Technischen Hochschule Maschinenbau – hörte er bei dem berühmten Professor Carl von Linde, dem Erfinder der Kältemaschinen, Vorlesungen über Thermodynamik. Das ist eine Lehre, die unter anderem auch die Zusammenhänge von Druck, Volumen und Temperatur bei Gasen untersucht.

Der Professor sprach über die Dampfmaschine, die von vielen noch immer als die Königin der Antriebsmaschinen angesehen wurde, und erklärte vor den aufhorchenden Studenten, sie sei ein verschwenderisches Ungetüm, da sie nur etwa 10 Prozent der Verbrennungswärme in Nutzarbeit umwandle.

Auf Diesel machten die Worte des Professors einen tiefen Eindruck, und „... da schrieb ich an den Rand meines Kollegienheftes: ‚Studieren, ob es nicht möglich ist, die Isotherme praktisch zu verwirklichen.‘“ So heißt es in Diesels Erinnerungen. Mit anderen Worten ausgedrückt, wollte er eine Antriebsmaschine schaffen, bei der keinerlei Wärmeenergie nutzlos abgegeben wird, ein Ziel, das nicht zu verwirklichen ist. Doch mit dieser Notiz begann Diesels Forschungsarbeit. Sie sollte sein ganzes Leben ausfüllen und zu einer der bedeutendsten Erfindungen unserer Zeit führen, dem Dieselmotor.

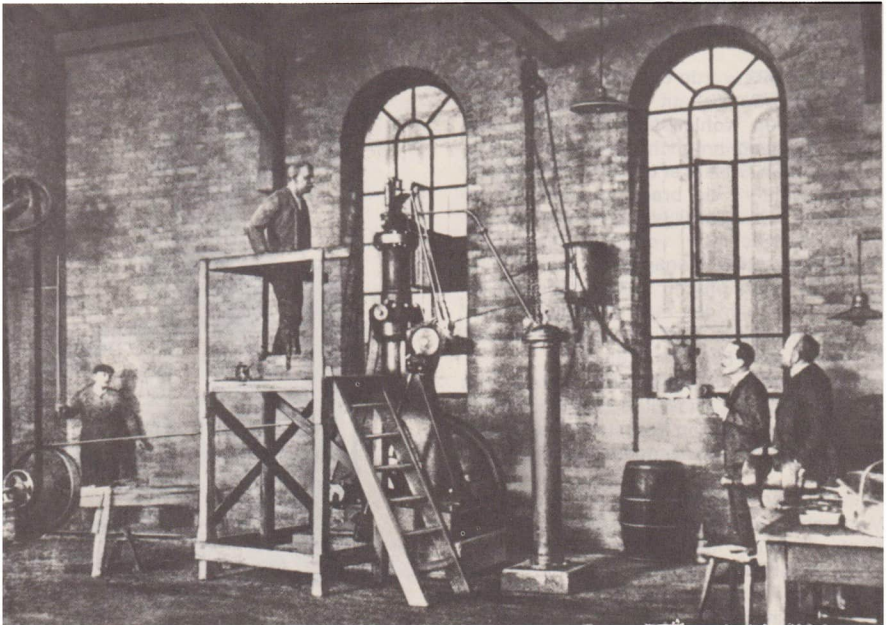
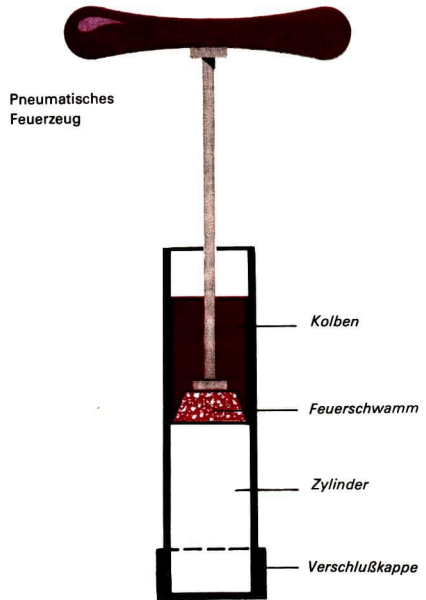
Rudolf Diesel hatte 1892 diesen Motor so weit durchdacht, daß er sein erstes Patent beantragte. Ein Jahr darauf erregte in der Fachwelt eine Broschüre Aufsehen, die seiner Feder entstammte. Sie trug den Titel *Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Kraftmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren*.

In der Firma *Krupp* in Essen und der *Maschinenfabrik Augsburg* fand Diesel interessierte Geldgeber für seine Konstruktionsversuche. Bei der Augsburger Maschinenfabrik wurde eine Versuchswerkstatt eingerichtet. Für Diesel und seine Mitarbeiter begann eine zähe Kleinarbeit.

## Das pneumatische Feuerzeug

Mit 16 Jahren hatte Rudolf Diesel eine Gewerbeschule besucht; dort war der Klasse während einer Physikstunde ein pneumatisches Feuerzeug vorgeführt worden, ein Gerät, das man zum Feuermachen verwendete. Es bestand aus einem handlichen Hohlzylinder, in dem sich ein luftdicht schließender Kolben befand. An dessen Unterseite war ein Stückchen Zündschwamm befestigt. Stößt man den Kolben sehr schnell in den Zylinder hinein und zieht ihn ebenso rasch heraus, so hat sich das Schwämmchen entzündet und glimmt.

Welche Ursache hat diese Erscheinung?



Rudolf Diesels Versuchswerkstatt in der Maschinenfabrik Augsburg; 1893



Wie wir wissen, gibt ein Gas bei seiner Ausdehnung Wärme ab und nimmt eine niedrigere Temperatur an. Wird hingegen ein Gas auf einen viel kleineren Teil seines Volumens zusammengedrückt, so erhöht sich seine Temperatur, und zugleich steigt sein Druck. Ist der Temperaturanstieg hinreichend groß, kann die so erhitzte Luft einen Brennstoff zünden.

Dieses Experiment hatte auf den jungen Diesel einen unauslöschlichen Eindruck gemacht. In gleicher Weise sollte auch in seinem Motor der Zündvorgang ablaufen. Der Kolben müßte Luft ansaugen und diese dann auf den zehnten oder gar zwanzigsten Teil ihres Volumens zusammendrücken. Mit Hilfe einer kräftigen Druckpumpe könnte etwas Brennstoff eingespritzt werden, der sich an der sehr heißen Luft selbst entzündet. Keine Fremdzündung also, wie das bei anderen Verbrennungsmotoren durch einen elektrischen Funken der Fall war, sondern reine Selbstzündung. Diesel versprach sich von seiner Konstruktion einen hohen Wirkungsgrad.

## Der „Motor der Zukunft“

Im Jahre 1893 wurde der erste einzylindrige Versuchsmotor gebaut. Zuerst verwendete Diesel feinen Kohlenstaub als Brennstoff. Doch es gelang ihm nicht, den Staub im Motor zu zünden. Sosehr er und seine Mitarbeiter sich abmühten, sie brachten nicht die gewünschte hohe Verdichtung im Zylinder zustande. An Stelle der vorgesehenen 250 Atmosphären (24,5 Megapascal) wurden nur bis zu 34 Atmosphären (3,3 Megapascal) erreicht, und auch das nur mit großer Mühe. Immerhin erhitzte sich die Luft bei diesem Druck auf etwa 800 Grad Celsius.

Als sich erwies, daß mit Kohlenstaub nichts zu erreichen war, entschloß sich Rudolf Diesel dazu, mit flüssigen Kraftstoffen zu experimentieren. Dabei verwendete er auch einmal Benzin.

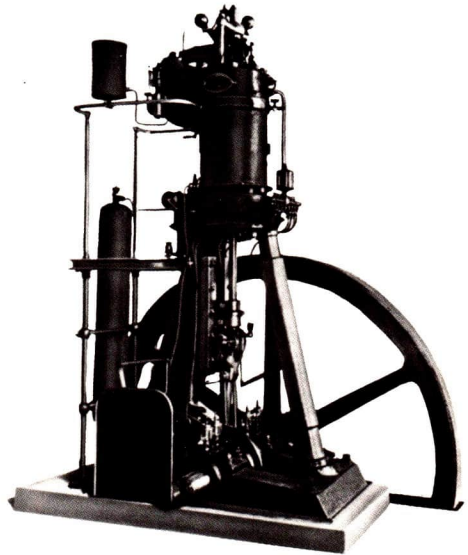
Es gab einen Donnerschlag, ein Ventil samt Manometer schoß den Forschern über die Köpfe. Zylinder und Kolben blieben zum Glück unversehrt. Diesel hatte immerhin den Beweis, daß eine Verbrennung durch Selbstzündung tatsächlich möglich ist. Zugleich hatte sich bei diesem mißglückten Versuch

offenbart, daß bestimmte Teile des Motors eine stabilere Bauweise erforderten.

Der Forscher setzte nun seine Arbeit verbissen fort, und am 17. Februar 1894, nach einer Kette von Fehlschlägen, vollbrachte sein Motor die ersten Umdrehungen aus eigener Kraft. Allmählich wurde der Motor immer produktionsreifer. Im Sommer 1898 – auf einer Ausstellung von Kraftmaschinen in München – liefen bereits einige Dieselmotoren vor Besuchern aus aller Welt.

Rudolf Diesel hatte eine großartige technische Leistung vollbracht. Sein Motor, der mit einer Verdichtung von rund 30 Atmosphären (2,9 Megapascal) arbeitete, verbrauchte je Stunde und Pferdestärke nur 258 Gramm billigen Brennstoffs. Kein anderer Motor nutzte die ihm zugeführte Energie in so hohem Maße. Schon Diesels erster Motor hatte einen Wirkungsgrad von 24 Prozent – zu jener Zeit eine Sensation.

Diesel war davon überzeugt, daß er mit der weiteren Vervollkommnung seines Motors den Brennstoffverbrauch noch mehr verringern konnte. Seine Prophezeiung traf ein; unsere modernen Dieselmotoren können mit dem höchsten Wirkungsgrad für Kolbenmotoren aufwarten: 35 bis 40 Prozent!



Der erste Diesel-Motor; erbaut 1897

Die Nachricht von diesem fabelhaften Motor verbreitete sich wie ein Lauffeuer. Ingenieure und Wissenschaftler kamen nach Augsburg und drängten sich in der kleinen Versuchswerkstatt, um das technische Wunderwerk vorgeführt zu bekommen. Unter ihnen befand sich auch Moritz Schröter, ein namhafter Professor, der über Diesels Motor ein wissenschaftliches Gutachten abzufassen hatte. Er konnte sich davon überzeugen, daß Leistung und Wirtschaftlichkeit von keiner anderen Wärmekraftmaschine erreicht werden konnte. Bei einer anderen Gelegenheit, während eines Festessens, hob er sein Glas und rief: „Ich bin stolz darauf, als wissenschaftlicher Taufpate des Motors erwählt worden zu sein, und gebe ihm hiermit den menscheitsbeglückenden Namen ‚Motor der Zukunft‘!“ Niemand ahnte in dieser glücklichen Stunde des Triumphs, welch tragische Wendung das Leben des gefeierten Rudolf Diesel einmal nehmen würde.

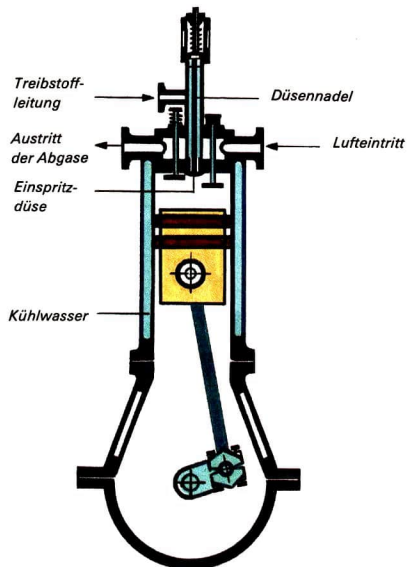
## Ein notwendiger Vergleich

Diesel- und Ottomotor können gleichberechtigt nebeneinander bestehen. Im Wirkungsgrad und sparsamen Kraftstoffverbrauch ist der Dieselmotor dem Ottomotor überlegen. Dafür liegen seine Herstellungskosten höher, weil die Einspritzpumpe mit hoher Präzision gefertigt werden muß und der gesamte Motorblock eine stabilere Bauart verlangt als der Ottomotor. Denn der Dieselmotor muß einem Verdichtungsdruck bis zu 4,5 Megapascal standhalten.

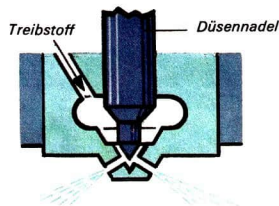
Wegen ihrer robusteren Ausführung sind Dieselmotoren schwerer als Ottomotoren gleicher Leistung.

Die Vor- und Nachteile beider Motorarten bestimmen ihren Einsatz. Der leichtere Ottomotor wird für kleinere Kraftfahrzeuge und Boote sowie leichte Flugzeuge verwendet. Infolge der geringeren Leistungen bei Personenkraftwagen und Motorrädern ist der Mehrverbrauch an Kraftstoff zu vertreten. Bei Flugzeugen mit Kolbenmotoren – zum Beispiel Arbeits- und Sportflugzeugen – spielt gerade das möglichst geringe Gewicht des Motors eine ausschlaggebende Rolle für die Flugfähigkeit.

Für Maschinen und Fahrzeuge, die größere Leistungen aufbringen müssen, ist der Die-



Die Hauptteile eines Dieselmotors

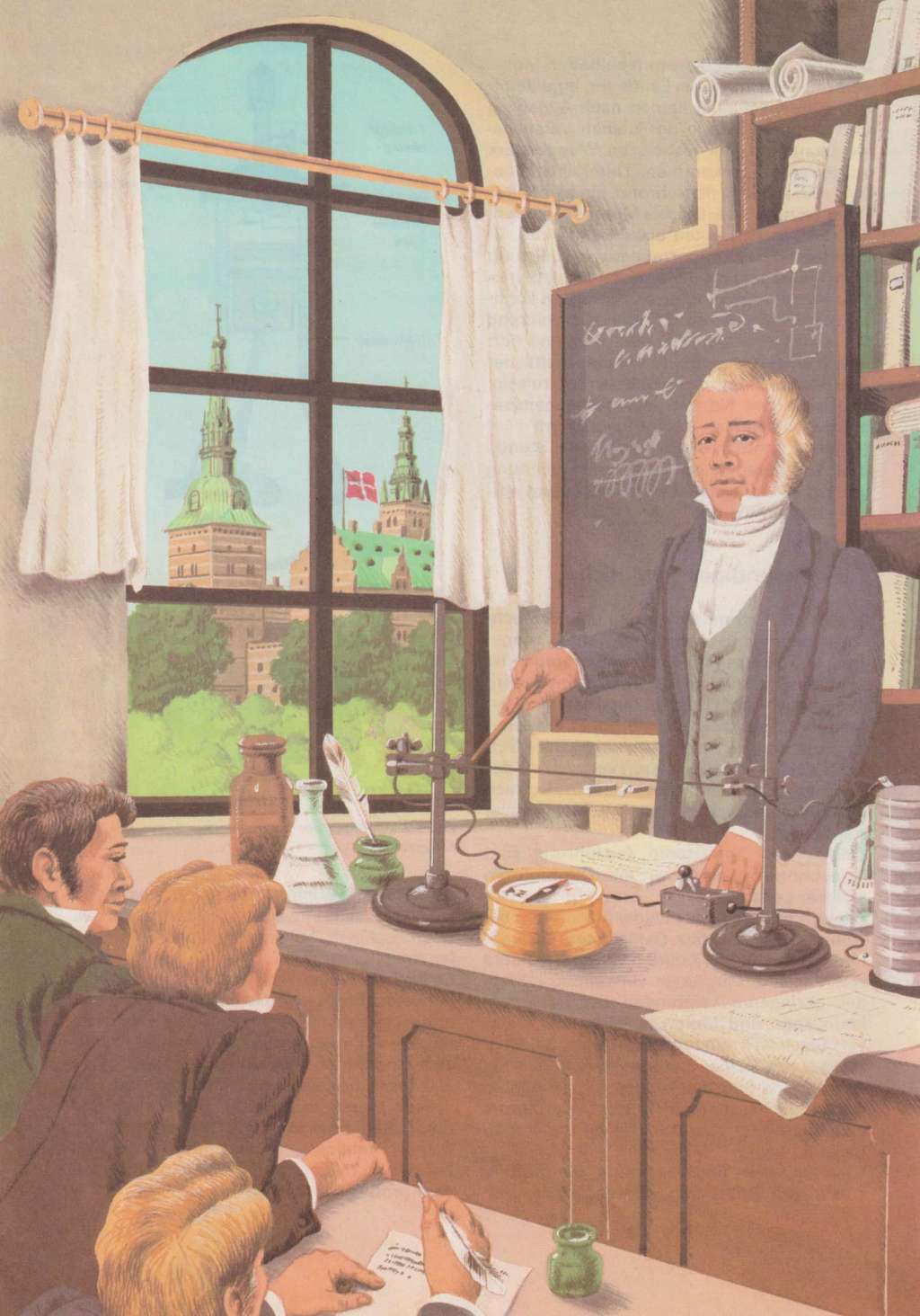


Eine Pumpe fördert den Treibstoff unter hohem Druck zur Einspritzdüse

selmotor bei weitem vorteilhafter. Das gilt für schwere Lastkraftwagen, Traktoren, Panzer, Baumaschinen, Lokomotiven und Schiffe aller Art.

Es war ein weiter Weg von dem ersten Kolbenversuchsapparat Denis Papins und der atmosphärischen Dampfmaschine Newcomens mit ihrem geringen Wirkungsgrad bis zum modernen Hochleistungsdieselmotor. 200 Jahre hartnäckigen Schaffens und Forschens waren dazu nötig, und neben den namhaften Erfindern und Wissenschaftlern hatten zahllose unbekannte Techniker, Handwerksmeister und Facharbeiter zu diesem großen Werk beigetragen.





## 2. Der unsichtbare Energiestrom

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gelangen in Europa zwei wichtige Entdeckungen: die des Elektromagnetismus und die der elektromagnetischen Induktion.

Beide Entdeckungen waren von grundlegender Bedeutung für die Zukunft, in der weitblickende Physiker und Techniker die Elektroindustrie entwickelten und außerdem planten, elektrische Energie in großem Maße zu erzeugen.

### Ein Teufelskreis ist zu durchbrechen

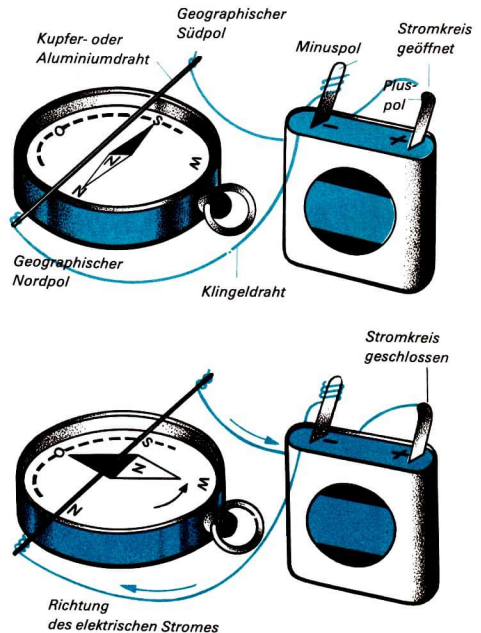
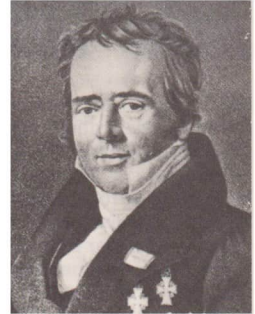
Der dänische Physiker Hans Christian Oersted wollte seinen Studenten die Wärmewirkung des elektrischen Stromes zeigen und schloß deshalb einen Leitungsdraht an die Pole einer galvanischen Batterie. Er betätigte den Stromkreisschalter und beobachtete dabei, daß eine Magnetnadel, die zufällig auf dem Experimentiertisch stand, heftig ausschlug. Dies geschah am 21. Juli 1820.

Oersted deutete die Ursache dieser Erscheinung: Wird ein Leiter von Strom durchflossen, so baut sich ein magnetisches Feld auf. Elektrische Energie des fließenden Stromes wandelt sich in Energie des magnetischen Feldes um, und diese hatte bei der Magnetnadel eine mechanische Bewegung hervorgerufen. Die Entdeckung führte zur Erfindung des Elektromagneten und brachte schließlich auch den Elektromotor hervor.

Etwa zehn Jahre später gelang es dem englischen Physiker Michael Faraday, den von Oersted beobachteten Vorgang umzukehren. Er erzeugte durch eine magnetische Feldstärkenänderung eine elektrische Spannung in einem Leiter. Am einfachsten ließ sich dies mit einem Stabmagneten und einer Drahtspule erzielen: Bewegte Faraday den Magnetstab in der Spule hin und her, zeigte ein angeschlossenes Meßgerät elektrische Spannung wechselnder Stärke und Richtung an. Mechanische Energie wurde auf diesem Weg in elektrische Energie umgewandelt.

Das bedeutende Experiment Hans Christian Oersteds läßt sich mit einfachen Mitteln wiederholen: Bei geöffnetem Stromkreis weist die Magnetnadel in die Richtung der geographischen Pole Nord und Süd. Wird der Stromkreis geschlossen, so baut der elektrische Strom ein Magnetfeld auf, welches die Magnetnadel aus der Nord-Süd-Richtung ablenkt.

Hans Christian Oersted  
(1777 – 1851)







Michael Faraday  
(1791–1867)

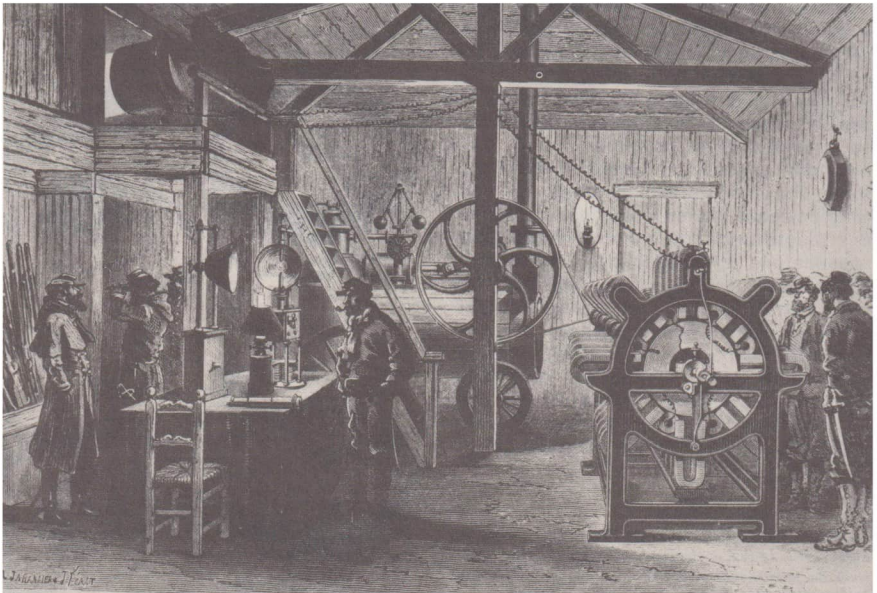
Die Stärke des elektrischen Stromes, den Michael Faraday durch die Bewegung eines Magneten in einer Spule erzeugte, war äußerst schwach. Doch nun, nach der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion, ließen sich erstmals Maschinen für die Gewinnung elektrischer Energie herstellen.

Diese ersten Stromerzeuger – sie entstanden um 1850 – zeigten jedoch große Mängel. Trotz aller Mühe der Konstrukteure blieben

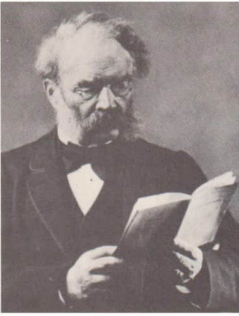
ihre Leistungen bescheiden. Man nannte sie „magnet-elektrische Maschinen“, und sie arbeiteten wie unsere Fahrraddynamos: Ein System von Leiterspulen rotierte in einem Magnetfeld, und dies möglichst schnell. Denn je mehr mechanische Energie man aufwandte, desto mehr elektrische Energie gab der Stromerzeuger ab.

In Berlin stellte die junge elektrotechnische Fabrik von *Siemens & Halske* derartige Maschinen her und pries ein Produkt in einem Katalog: „Die beschriebene Maschine liefert, von einer Manneskraft betrieben, einen Strom von der elektromotorischen Kraft von acht Bunsen-Elementen. Sie eignet sich daher für physikalische Laboratorien als Ersatz einer galvanischen Batterie für die Mehrzahl der Experimente. Von zwei bis vier Mann betrieben, reicht sie hin, um elektrisches Bogenlicht zu erzeugen.“

Der Ingenieur und Erfinder Werner von Siemens, der die Firma 1847 gemeinsam mit dem Mechaniker Johann Georg Halske gegründet hatte, war ein Mann der Forschung und der Praxis. Auch ihm gelang es zunächst



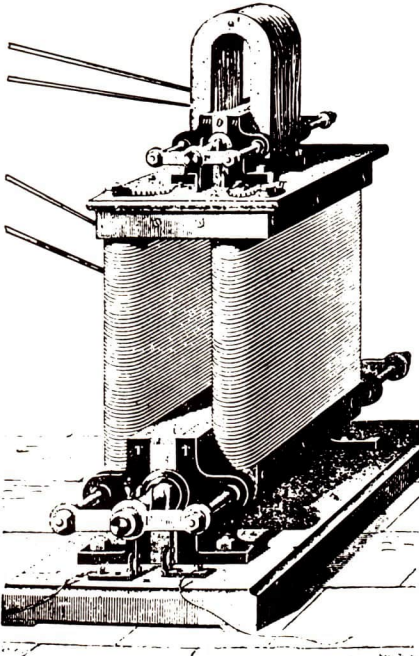
Eine magnetelektrische Maschine, von Dampfkraft angetrieben, versorgte bei der Belagerung von Paris im Jahre 1871 Scheinwerfer mit elektrischem Strom.



Werner von Siemens  
(1816–1892)

nicht, leistungsfähigere Stromerzeuger zu konstruieren. Die Ursache kannte er: Um elektrische Energie von hoher Spannung und großer Stromstärke gewinnen zu können, brauchte man ein sehr starkes Magnetfeld, in dem ein Anker mit Spulen von Tausenden Windungen bei hohen Drehzahlen rotieren mußte.

Doch woher sollte Siemens dieses Magnetfeld bekommen? Er konnte die magnetelek-



trischen Maschinen lediglich mit Stahlmagneten bestücken. Mochte er noch so viele, noch so stark magnetisierte Stähle verwenden – das Magnetfeld blieb stets innerhalb schwacher Grenzen. Und die Kraft dieser Magnete ließ überdies schnell nach.

Siemens wußte, daß auch der englische Physikprofessor H. Wilde mit Stromerzeugern experimentierte. Wilde war auf den Gedanken gekommen, das Magnetfeld durch Elektromagnete zu gewinnen. Gegenüber einem Stahlmagneten hat ein Elektromagnet große Vorteile, denn er kann eine wesentlich größere magnetische Feldstärke entwickeln, die sich überdies regulieren läßt. Allerdings muß ein Elektromagnet mit Strom gespeist werden, und dazu verwendete Wilde entweder eine galvanische Batterie oder eine kleine Erregermaschine mit Stahlmagnet, der seine magnetische Kraft bald verlor.

Ein wahrer Teufelskreis!

## Der Dynamo – Symbol des elektrotechnischen Zeitalters

Werner von Siemens ließ in seiner Firma vornehmlich Telegrafengeräte bauen, doch hatte er hochfliegende Pläne mit der Elektrizität. Er dachte an leistungsfähige Elektromotoren, welche die Dampfmaschine ablösen sollten, an elektrisch betriebene öffentliche Verkehrsmittel, an Elektrolokomotiven, aber auch an ein elektrisches Beleuchtungssystem für Fabriken, Wohnhäuser und Straßen. Gewaltige schöpferische Aufgaben lagen vor ihm. Sie ließen sich jedoch nur verwirklichen, wenn es ihm gelang, elektrische Energie in jeder gewünschten Menge zu erzeugen.

In der Welt der Technik gilt der 17. Januar 1867 als der Geburtstag der Starkstromtechnik. An diesem Tag erschien im Monatsbericht der Berliner Akademie der Wissenschaften eine knappe Darlegung, die Siemens verfaßt hatte: *Über die Wandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne permanente Magnete.*

Zum Beweis seiner Theorie führte Siemens der Akademie eine kleine kastenförmige Ver-

Der erste von dem englischen Professor Henry Wilde konstruierte Stromerzeuger mit fremderregenden Magneten: Der kleine Stromerzeuger versorgt die Elektromagneten der großen Maschine mit elektrischem Strom.





Die Versuchs-Dynamomaschine, die Werner von Siemens 1867 der Berliner Akademie der Wissenschaften vorführte

suchsmaschine vor, einen Stromerzeuger, der mit Elektromagneten ausgestattet war. Doch Siemens hatte keine Stromquelle mitgebracht, lediglich ein Meßgerät, dessen Drahtzuleitungen er an die Versuchsmaschine anschloß. Als der Erfinder mittels einer Handkurbel den Anker in Drehung versetzte, zeigte das Meßgerät einen stetig zunehmenden Zeigerausschlag an.

Siemens hatte entdeckt, daß in jedem Elektromagneten auch nach dem Abschalten des Stromes ein geringer Restmagnetismus zurückbleibt. Der genügt, um bei Drehung des Ankers einen kleinen Strom zu erzeugen. Sind die Elektromagnete an die Ankerwicklung gelegt, so dient der Ankerstrom dazu, das Magnetfeld ständig zu verstärken, bis die magnetische Sättigung des Eisens erreicht und die Maschine somit ihre Höchstleistung erzielt hat.

Werner von Siemens ging sofort dazu über, große und leistungsfähige Stromerzeuger, die nach diesem Prinzip arbeiteten, zu entwickeln. Er gab dieser Maschine den Namen *Dynamo*, was *Macht* oder *Kraft* bedeutet. Bereits zehn Jahre nach dieser großen Entdeckung wurden in der elektrotechnischen Fabrik *Siemens & Halske* wöchentlich 25 Dynamomaschinen gebaut.

## Und wieder: die Grenzen der Kolbendampfmaschine

Der weltbekannte und erfolgreiche Erfinder Thomas Alva Edison, ein Bürger der USA, richtete 1882 in New York das erste öffentliche Elektrokraftwerk der Welt ein. Einige von Edison konstruierte Dynamomaschinen von je 220 Kilowatt, die für die damalige Zeit riesig anmuteten und deshalb den Elefantennamen *Jumbo* erhielten, erzeugten Gleichstrom von 110 Volt Spannung für Beleuchtungszwecke. Angetrieben wurden sie von Dampfmaschinen.

Die ersten europäischen Kraftwerke entstanden in Berlin. Zunächst wurde 1884 im Keller eines Mietshauses in der Friedrichstraße – unmittelbar an der Straße Unter den Linden – eine kleine Kraftstation eröffnet. *Siemens & Halske* hatte sieben Dynamomaschinen geliefert, deren Leistung insgesamt etwa 100 Kilowatt betrug und die von vier Dampfmaschinen angetrieben wurden. Mit der hier erzeugten elektrischen Energie versorgte man die Glühlampen in einem Restaurant und einigen umliegenden Häusern.

Das erste Wärmekraftwerk Europas nahm – ebenfalls in Berlin – 1885 seinen Betrieb auf. Es war mit zwölf Dynamos ausgestattet,

deren Antrieb sechs Dampfmaschinen von je 150 Pferdestärken (110,4 Kilowatt) dienen. Auch dieses Kraftwerk erzeugte Gleichstrom für die elektrische Beleuchtung.

Der „Elektrizitätshunger“ wuchs recht bald ins unersättliche. Alles wollte man elektrisch betreiben, die Arbeitsmaschinen in den Produktionsstätten, Krane und Aufzüge, Straßenbahnen und Lokomotiven. Auch in die Haushalte zogen elektrische Geräte ein, man konnte elektrisch bügeln und kochen. Sobald man aber die Kraftwerke vergrößerte, machten sich die altbekannten Mängel der Dampfmaschine wieder bemerkbar: Ihr Wirkungsgrad war zu gering, die Maschinenfundamente wurden von dem unaufhörlichen Stampfen stark beansprucht, und die niedrige Drehzahl schloß es aus, einfache, schnell laufende Dynamomaschinen einzusetzen.

Der größte Nachteil der Dampfmaschine für den Dynamoantrieb war der aller Kolbenkraftmaschinen: Die hin- und hergehende Bewegung muß zunächst über Pleuelstange und Kurbelwelle in eine Drehbewegung

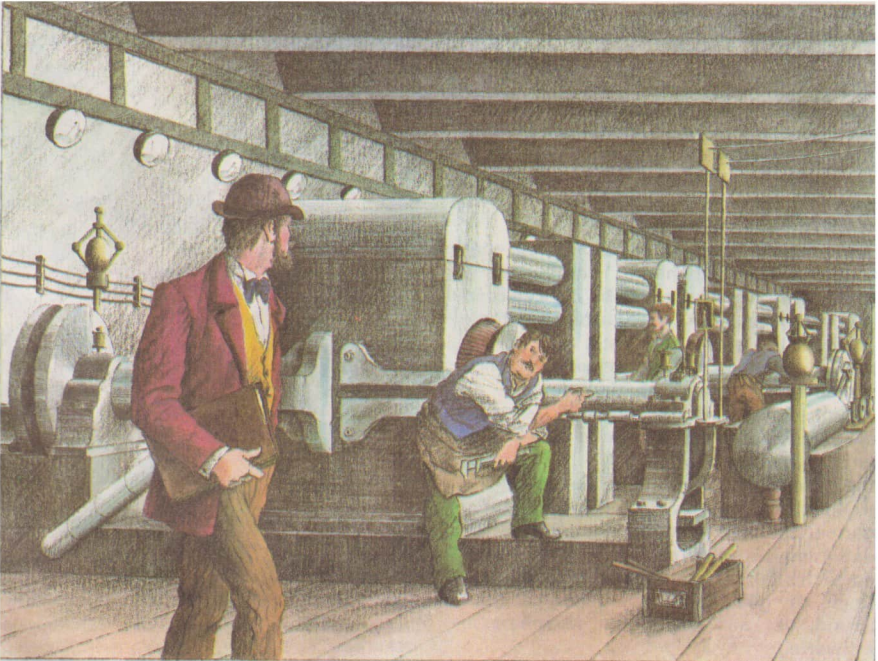
umgewandelt werden. Erstens führt dies zu größeren Reibungsverlusten, zweitens gelangt die Drehzahl nicht über eine gewisse Grenze hinaus. Für den Antrieb von Dynamomaschinen ist dieser Umstand besonders nachteilig.

Aus diesen Gründen mußte die Dampfmaschine auch in den Wärmekraftwerken durch einen wirtschaftlicheren Antrieb abgelöst werden, durch eine Wärmekraftmaschine, welche die Drehbewegung ohne den Umweg über Kurbel und Schwungrad hervorbringt.

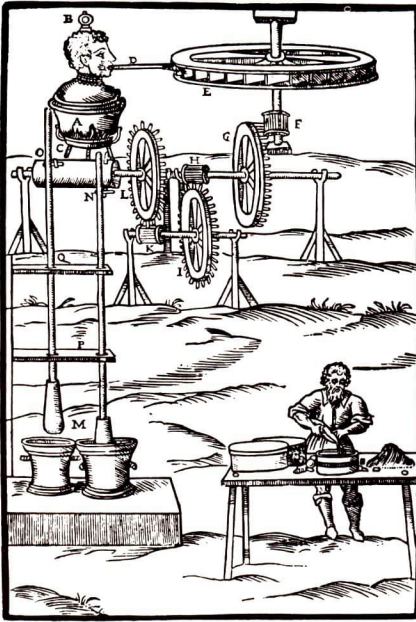
## Die Explosion eines Dynamoläufers

Mit dem Entwurf zu einer kolbenlosen Wärmekraftmaschine trat 1629 Giovanni Branca auf, ein einfallreicher italienischer Architekt. Aus dem Munde eines Püsterichs – eines

Das erste Elektrokraftwerk der Welt, von Thomas Alva Edison 1882 in New York eingerichtet







Entwurf zu einer Dampfturbine, erdacht von dem Italiener Giovanni Branca im Jahre 1629

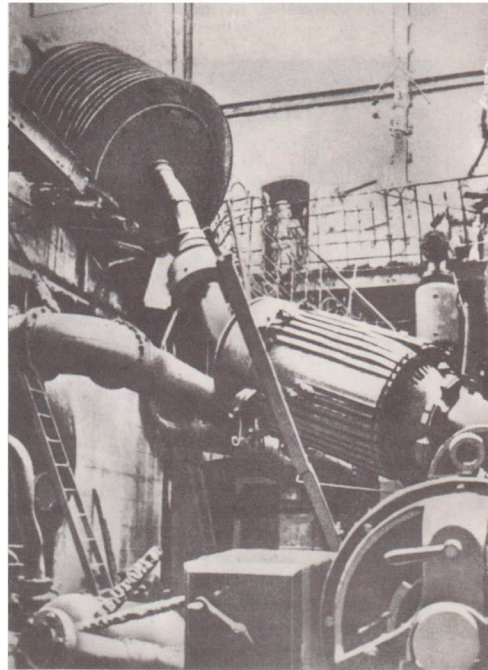
Dampfkessels, der die Form eines Menschenkopfes hatte – trat ein scharfer Dampfstrahl aus, traf gegen ein Schaufelrad und trieb es an. Diese Kraftmaschine sollte mit einem Pochwerk gekoppelt werden, das in zwei Mörsern Farbe zerstampft.

Nach diesem Prinzip ist es möglich, die energiereiche Dampfspannung unmittelbar in Drehbewegung umzuwandeln. Zur Zeit Brancas waren solche Dampfturbinen Utopie. Doch im 19. Jahrhundert hatte man gelernt, in neuzeitlichen Röhrenkesseln hochgespannten Wasserdampf zu erzeugen. So nimmt es nicht wunder, daß viele Techniker die Idee Brancas aufgriffen und eine Dampfturbine schaffen wollten.

Die ersten Turbinenmodelle, die damals entstanden, hatten sehr große Laufraddurchmesser und dennoch derart hohe Drehzahlen, daß man sie nirgends verwenden konnte. Folglich blieb es bei Versuchskonstruktionen. Doch es gab noch einen gewichtigeren Grund, der den Bau dieser Maschine erschwerte.

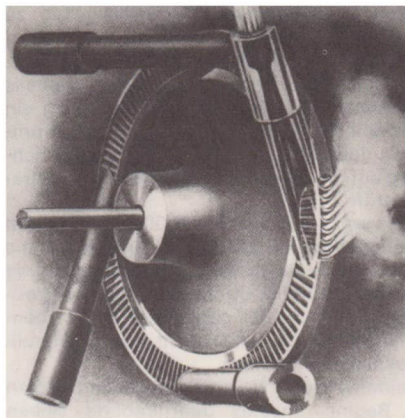
Eine leistungsfähige Dampfturbine ist ein Meisterstück modernster Technik. Die Turbinenschaufeln müssen aus hochwertigen Stählen bestehen und mit äußerster Genauigkeit gefertigt sein. Gleiche Präzision ist für alle anderen rotierenden Teile zwingend notwendig, also für jedes Turbinenlaufrad und die mächtige Maschinenwelle, die direkt an den Läufer des Dynamos gekoppelt ist. Das erfordert besonders feine Meßmethoden in der Fertigung. Diesen hohen Entwicklungsstand hatte der Maschinenbau in jener Zeit noch nicht erreicht.

Da Turbinenräder und Dynamoläufer, beide von doppelter Manneshöhe, außerordentlich rasch rotieren – 25 bis 30 Umdrehungen in je-der Sekunde –, haben sie enorme Fliehkräfte auszuhalten, die sie auseinanderzureißen drohen. Welche Energien hierbei zu bändigen sind, macht eine Katastrophe deutlich, die sich 1923 in einem italienischen Kraftwerk ereignete.



Die Explosionskatastrophe eines Dynamoläufers; sie trug sich 1923 in Italien zu

Eine Endkappe des Dynamoläufers riß sich infolge der Fliehkraft los. Die Trümmer schossen mit der Wucht von Geschossen gegen das Ständergehäuse, zerschmetterten es, kippten es beiseite. Der explodierte Läufer riß die Maschinenwelle aus den Gleitlagern, flog mitsamt dem Dutzend mannshoher Turbinenräder wie ein Spielzeug durch die Halle und stürzte in den Keller des Kraftwerks, wo die zu einem Fragezeichen verbogene Maschinenwelle die Pumpanlage verwüstete. Sicherheit gegenüber derartigen Katastrophen verleiht nur eines: Turbinen und Dynamos müssen von hervorragenden Fachleuten auf das gewissenhafteste ausgewuchtet sein und völlig „rund“ laufen. Diese Maschinen sind trotz ihrer Größe Höchstleistungen an Präzisionsarbeit.



Lavaldüsen

## 30 000 Umdrehungen in jeder Minute

Um 1880 erfand der schwedische Techniker Carl Gustaf de Laval eine Milchzentrifuge, ein Gerät, das durch sehr rasche Rotation eines Behälters das Fett von der Milch trennt. Da de Laval nach einem maschinellen Antrieb für seine Zentrifuge suchte, kam er auf den Gedanken, eine Dampfturbine zu konstruieren. Er konnte sie 1883 fertigstellen. Sie machte 7 000 Umdrehungen in der Minute und war für den Antrieb der Zentrifuge bestens geeignet.

Nun wollte de Laval eine allgemein einsetzbare Dampfturbine schaffen. Nach mehreren Versuchsmaschinen, mit denen der Erfinder experimentierte, baute er seine erste „Aktionsmaschine“, die er 1895 in Chicago der Öffentlichkeit vorführte.

Die Turbine hatte nur ein Laufrad. De Laval hatte untersucht, wie sich der Dampf am günstigsten auf die stählernen Turbinenschaufeln lenken ließ, und vier Dampfkanäle bis dicht an die Schaufeln herangeführt. Diese Kanäle verengten sich vor der Austrittsöffnung zu Düsen.

Der hochgespannte Dampf mußte die Düsen durchströmen, ehe er durch die trichterförmig erweiterte Öffnung austrat. Dabei dehnte er sich stark aus und kühlte sich infolgedessen auch ab. Als Ausgleich für diese Abgabe von Spannungs- und Wärmeenergie gewann er die hohe Geschwindigkeit von mehr als

1 000 Metern in der Sekunde. Somit verlieh die *Lavaldüse* dem Dampf eine große kinetische Energie.

Der Dampf traf mit dieser großen Geschwindigkeit auf die Schaufeln, gab an sie seine Energie ab und verlieh dem Laufrad eine Drehzahl von 30 000 Umdrehungen in der Minute. Jede Schaufel des Laufrades drehte sich mit der für die damalige Zeit phantastischen Umlaufgeschwindigkeit von 500 Metern in der Sekunde. Könnte man das Rad auf eine geradlinige Schiene setzen, so legte es – bei Vernachlässigung von Reibung und Luftwiderstand – in jeder Minute 30 Kilometer zurück; es würde in 6 Minuten von Berlin nach Leipzig gelangen.

Diese Lavalturbine hatte allerdings nur eine Leistung von 5 Pferdestärken (3,7 Kilowatt) und blieb damit der Dampfmaschine noch weit unterlegen. Um die gewaltige Umlaufzahl auf eine für den Antrieb von Arbeitsmaschinen oder Dynamos praktisch verwendbare herabzusetzen, benutzte de Laval ein Zahnradgetriebe. Zeigte diese Maschine auch noch große Mängel, so gebührt Carl Gustaf de Laval doch das Verdienst, die erste brauchbare Dampfturbine entwickelt und die nach ihm benannte *Lavaldüse* erfunden zu haben.

Einigen hervorragenden Technikern gelang es, die Dampfturbine im Verlaufe der weiteren Entwicklung zu einer Hochleistungswärmeleistungsmaschine zu verfeinern, die den Dampf äußerst wirtschaftlich ausnutzt und



deren Wirkungsgrad gegenwärtig bis zu 40 Prozent beträgt. Bei modernen Dampfturbinen ist eine größere Anzahl von Laufrädern auf der Maschinenwelle vereinigt. Jeweils zwischen zwei Laufrädern befindet sich ein starres Leitrad, welches den Dampf so umlenkt, daß er in der richtigen Strömungsrichtung auf die Schaufeln des folgenden Laufrades trifft.

Kaum war die Schwelle des 20. Jahrhunderts überschritten, da mußte die Dampfmaschine ihren Platz in den Kraftwerken fast vollständig der Dampfturbine überlassen. Welche großartigen Vorteile sie gegenüber der Kolbendampfmaschine hat, macht ein anschauliches Beispiel deutlich.

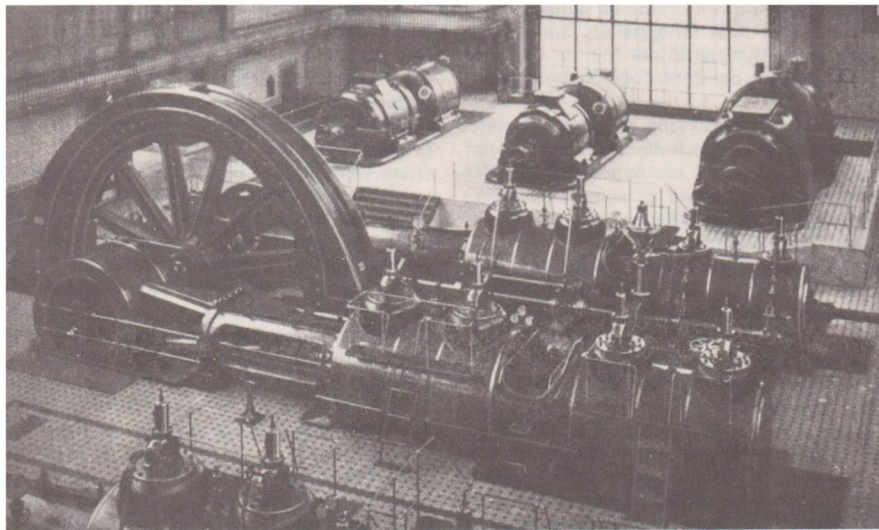
In einem Berliner Wärmekraftwerk arbeiteten zu Beginn unseres Jahrhunderts sieben mächtige Kolbendampfmaschinen – einstmals viel bewunderte Erzeugnisse einer weltbekannten Maschinenfabrik. Um 1920 wurde zunächst eine von ihnen durch Turbinen ersetzt. Auf dem Platz, den zuvor die riesige Dampfmaschine beansprucht hatte, konnten bequem drei Turbinenaggregate aufgestellt werden. Während die verbliebenen sechs Dampfmaschinen unter dem Getöse und Gezappel ihrer Pleuelstangen insgesamt

13 000 Kilowatt leisteten, vollbrachten die leise summenden drei Turbinen eine Gesamtleistung von 15 000 Kilowatt. Dies ist nicht nur ein Beweis für die höhere Leistungsfähigkeit der Dampfturbine, sondern auch für die wirtschaftlichere Raumnutzung gegenüber der Kolbendampfmaschine.

## Ein gelungener Großversuch

Auf einer internationalen elektrotechnischen Ausstellung, die 1891 in Frankfurt am Main stattfand, zeigte man den Besuchern etwas Erstaunliches. Abends, bei Eintritt der Dunkelheit, flammten 1 000 Glühlampen auf und beleuchteten einen künstlichen Wasserfall, den eine Kreiselpumpe ständig mit Wasser speiste. Die Pumpe wurde nicht von einer Dampfmaschine angetrieben, sondern von einem Elektromotor.

Die Besucher waren nicht sosehr erstaunt über die vielen Glühlampen und den lautlos arbeitenden Motor. So etwas kannte man ja bereits seit einigen Jahren. Sensationell an diesem Schauspiel war, daß die dafür nötige elektrische Energie an einem 175 Kilometer weit entfernten Ort erzeugt wurde.



Blick in den Maschinensaal eines Berliner Kraftwerkes im Jahre 1920. Drei Dampfturbinen sind an die Stelle einer Kolbendampfmaschine getreten und erbringen insgesamt eine wesentlich höhere Leistung.

Dort, in Lauffen am Neckar, hatte man ein kleines Wasserkraftwerk errichtet. Ein Wechselstromgenerator mit einer Leistung von 220 Kilowatt lieferte einen Strom von niedriger Spannung, aber großer Stromstärke. Mit Hilfe eines Transformators gewann man daraus eine Hochspannung von 15 000 Volt, ein Vorgang, bei dem die Stromstärke beträchtlich herabgesetzt wird. Daher genügte eine Kupferleitung von nur 4 Millimeter Durchmesser; sie wurde über 300 Masten geführt und leitete den Strom von Lauffen zum Frankfurter Ausstellungsgelände. Hier gelangte er wiederum in einen Transformator, der seine Spannung auf 100 Volt herabsetzte.

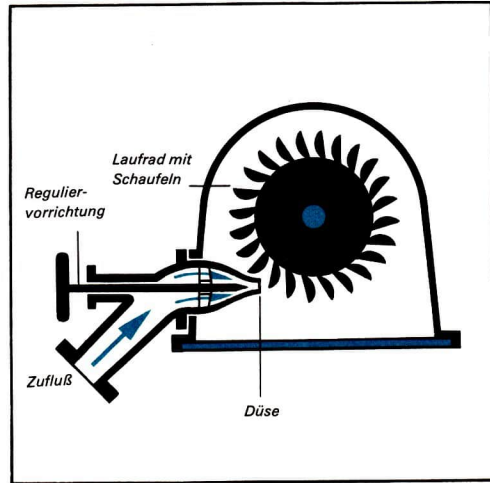
Das Ganze war ein überzeugendes Großexperiment, durch das alle Welt erfuhr, wie man elektrische Energie über weite Strecken transportieren konnte. Eine ähnliche Fernleitung für Dampfkraft wäre völlig unmöglich gewesen.

Wie Fachleute errechneten, lag der Gesamtwirkungsgrad dieser Anlage – gemessen zwischen Erzeuger und Verbraucher – bei 74 Prozent. Einen derart hohen Wirkungsgrad hatte man zuvor für unmöglich gehalten. Er konnte erzielt werden, weil energiebewußte Fachleute für das Lauffener Kraftwerk eine neue Antriebsart verwendeten: eine Wasserturbine, welche die kinetische Energie des Neckarfalles zum Antrieb des Wechselstromgenerators nutzte. – Den Ausstellungsbesuchern wurde an dem künstlichen Wasserfall augenfällig gezeigt, daß es gelungen war, die Wasserkraft des Neckars nach Frankfurt am Main zu übertragen.

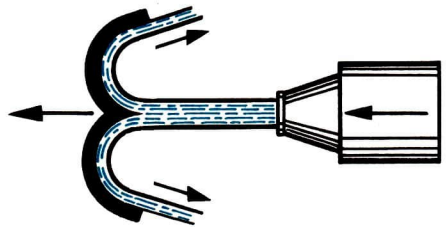
Die Idee zu dem geschilderten Großversuch war von dem deutschen Ingenieur Oskar von Miller ausgegangen, einem Pionier der Elektrifizierung. Von Miller begründete später das Deutsche Museum in München und ist der Erbauer des weltbekannten Walchensee-Kraftwerks in den Bayrischen Alpen.

## „Weiße Kohle“ treibt Turbinen

Wasserturbinen sind gegenwärtig die wirtschaftlichsten Antriebsmaschinen; man verwendet sie für die Erzeugung elektrischer Energie. Allerdings sind sie nur dort einsetzbar, wo in ausreichendem Maße „weiße Kohle“ vorhanden ist. Gemeint ist die sogenannte



Schnitt durch eine Pelton-turbine



Die Schaufeln der Pelton-turbine haben die Form von Doppellöffeln.

Wasserkraft, die mechanische Energie, welche in großen Wasserfällen und Flußläufen mit starker Strömung auftritt oder dem Wasser eines Stausees innewohnt.

Drei Konstrukteure haben sich um die Entwicklung der Wasserturbinen besonders verdient gemacht. Der nordamerikanische Techniker Lester Allen Pelton, der in jungen Jahren Goldgräber in Kalifornien war und 1884 eine nach ihm benannte Freistrahlturbine schuf. Der Engländer James Francis, ein Kanal- und Hafenbauingenieur, der häufig den Strömungsdruck an Wehren und Kanälen untersuchte und eine Überdruckturbine erfand. Und schließlich Viktor Kaplan, ein österreichischer Ingenieur, der die Propellerturbine mit flügel förmigen, verstellbaren Schaufeln konstruierte.



Peltonturbinen werden dort aufgestellt, wo das Wasser eine große Gefällhöhe hat. Sie erreichen den hohen Wirkungsgrad von 90 Prozent. Das liegt vornehmlich an der Form der Schaufeln.

Denken wir uns ein Laufrad, das mit ebenen Schaufeln besetzt ist und gegen die wir einen kräftigen Wasserstrahl richten. Der Strahl gibt einen Teil seiner Energie auf die Schaufeln ab, und das Rad dreht sich. Doch es bleibt sehr viel Energie ungenutzt, weil der Wasserstrahl von den ebenen Schaufeln reflektiert wird und in viele Tropfen zersprüht.

Um dies zu verhindern, ist das Laufrad der Peltonturbinen mit Schaufeln besetzt, welche die Form von Doppellöffeln haben. Ein oder mehrere Wasserstrahlen treten aus Düsen aus und treffen gegen die scharfen Mittelkanten der muldenförmigen Doppelschaukeln. Die Wasserstrahlen teilen sich dabei und kehren ihre Bewegungsrichtungen um, ohne zu zerreißen. Jede Schaufel ist so konstruiert, daß das Wasser sie mit der Geschwindigkeit von annähernd Null verläßt; somit hat der Strahl fast seine gesamte kinetische Energie auf die Schaufeln übertragen.

Die Leistung der Peltonturbinen läßt sich regulieren, indem man mit Hilfe von Düsenreglern die ausströmende Wassermenge je nach Bedarf vergrößert oder verkleinert. Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus der Düse tritt, ist von der Fallhöhe abhängig. Fällt es zum Beispiel aus 1 700 Meter Höhe, wie bei dem Schweizer Wasserkraftwerk bei Fully, dann erreicht es eine Geschwindigkeit von über 600 Kilometern in der Stunde.

Peltonturbinen sind für Gefällhöhen bis zu 1 750 Metern gebaut worden. Stehen jedoch nur geringe Wasserhöhen zur Verfügung, wie zum Beispiel am Fuße einer Talsperre, würde eine Freistrahlturbine keine hohe Drehzahl erreichen und daher unwirtschaftlich arbeiten. Hier ist es günstiger, an Stelle der kinetischen Energie die potentielle Energie des gestauten Wassers zu nutzen und den starken Druck der Wassermassen wirken zu lassen. Dies geschieht bei der 1849 erfundenen Francisturbine, die auch Spiral- oder Überdruckturbine genannt wird.

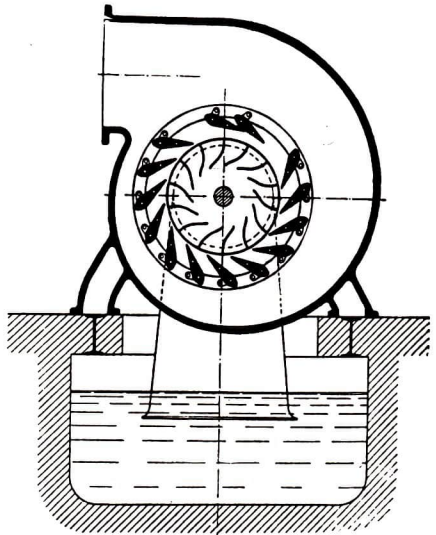
Ein Spiralgehäuse aus Gußeisen, Stahlblech oder Beton versetzt das Wasser in eine drehende Bewegung. Da sich der Querschnitt des Gehäuses verengt und sich zugleich der Drehradius der Spirale verkleinert, nimmt die

Strömungsgeschwindigkeit des Wassers zu, was seine kinetische Energie erhöht.

Nun gelangt das Wasser in einen fest stehenden Leitschaufelapparat und trifft dann auf das Turbinenrad. Die Schaufeln dieses Rades sind so gekrümmt, daß sie sich nach der Mitte hin verengen. Wenn das Wasser durch die sich verengenden Schaufelkanäle strömt, beschleunigt es sich dabei; es tritt parallel zur Laufradachse in einen Wasserabfluß aus.

Die Schaufeln des Leitrades lassen sich mit Hilfe eines Motors verstellen. Dadurch können die Kanäle des Leitrades verengt oder erweitert werden, je nachdem, welche Wassermenge auf das Laufrad geleitet und wie groß die Leistung der Turbinen sein soll. – Francisturbinen werden für Gefällhöhen von 0,5 bis 375 Metern eingesetzt. Der Wirkungsgrad beträgt ebenfalls 90 Prozent.

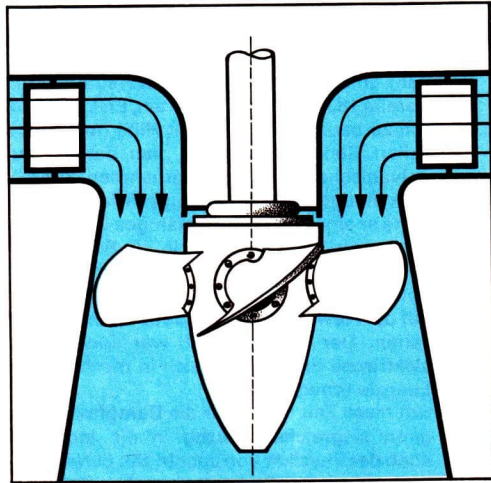
Zu Beginn unseres Jahrhunderts war man bestrebt, bei kleineren Abmessungen der Maschinen eine höhere Drehzahl zu erreichen. Diesem Ziel wurde die von Kaplan konstruierte Propellerturbine gerecht. Sie entstand 1917 und hat seitdem in allen Ländern eine große Verbreitung gefunden. Ihre einfache Bauart und die hohe Ausnutzung der Wasserkraft machten sie den anderen Turbinenarten überlegen.



Schnitt durch eine Francisturbine

Die Kaplan turbine hat eine senkrechte Welle, die in einer stromlinienförmig zugespitzten Nabe endet. Dort sind einige Schaufeln angebracht, deren Profil dem von Tragflügeln gleicht. Daher sieht das Laufrad der Kaplan turbine einer großen Schiffsschraube ähnlich, nur wirkt sie genau umgekehrt. Die Schiffsschraube wird durch Maschinenkraft in Drehung versetzt und ruft eine Bewegung des Schiffes hervor. Bei der Kaplan turbine dagegen wird das Laufrad durch die Bewegung des Wassers in Drehung versetzt.

Auch die Kaplan turbine ist mit einem System von Leitschaufeln versehen. Sowohl die Leitschaufeln als auch die Propellerflügel können entsprechend der zur Verfügung stehenden Wassermasse verstellt werden. Die größte Fallhöhe für Propellerturbinen liegt bei etwa 33 Metern.



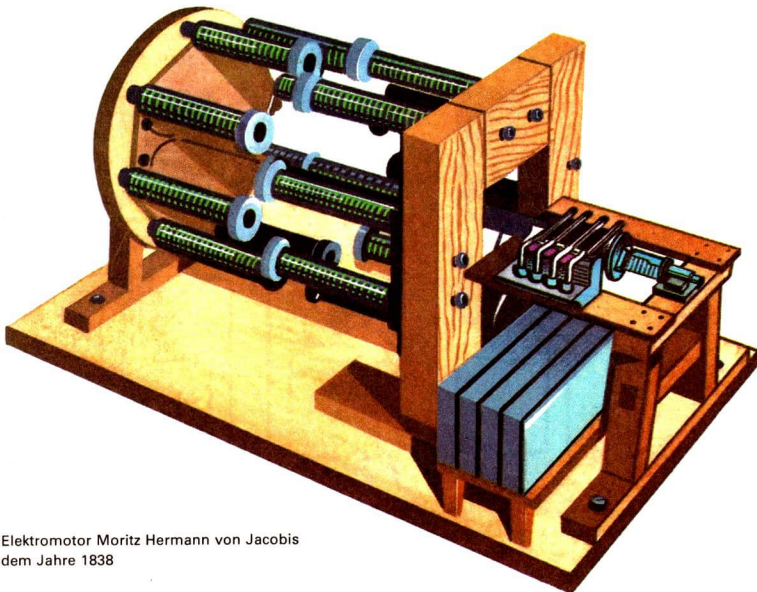
Schematische Darstellung einer Kaplan turbine

## Es begann mit einer Fahrt auf der Newa

An manchen Sommertagen des Jahres 1838 bot sich Petersburger Bürgern, die am Newaufer spazierengingen, ein seltsames Schauspiel. Sie beobachteten ein mit Men-

schen vollbesetztes Boot – 14 Personen zählte man –, das geschwind gegen Strömung und Wind fuhr. Doch das Boot hatte weder Segel, noch wurde es gerudert. Es fuhr offenbar „von selbst“.

Dieses technische Experiment – um ein sol-



Der Elektromotor Moritz Hermann von Jacobis aus dem Jahre 1838



ches handelte es sich nämlich – war eine Idee des Professors Moritz Hermann von Jacobi, eines deutschen Physikers, der seit einem Jahr an der Petersburger Universität lehrte. Bereits 1834 hatte er begonnen, Elektromotoren zu bauen. Er wollte mit Hilfe des elektrischen Gleichstroms, den man damals nur galvanischen Batterien entnehmen konnte, eine stetige Drehbewegung gewinnen. 1838 hatte er einen so leistungsfähigen Elektromotor entwickelt, daß er ihn in ein Boot setzen konnte, die Motorwelle mit einem leichten Schiffspropeller koppelte und Spazierfahrten auf der Newa unternahm. Jedermann konnte sehen: Der Elektroantrieb war verwirklicht, elektrische Energie ließ sich in mechanische Energie umwandeln.

Um diese Zeit hielt zwar die Dampfmaschine ihren siegreichen Einzug in die Industrie, doch der Physiker von Jacobi sah bereits voraus, daß sie ihre Stellung einmal einem anderen Motor werde überlassen müssen. Er wies auf die unbestreitbaren Vorteile des neuen Antriebs 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.“

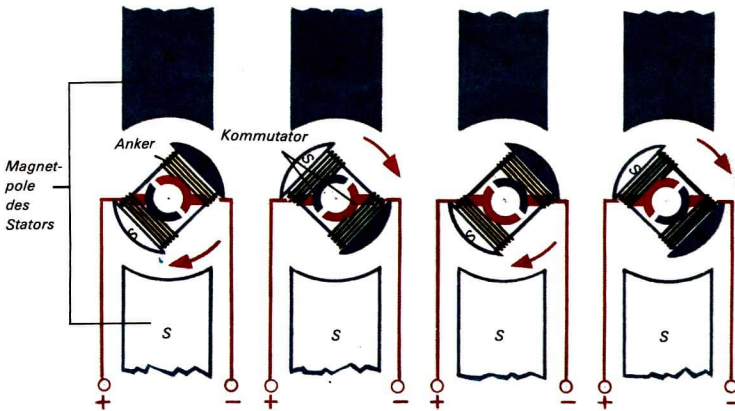
Zu jener Zeit, als diese Zeilen geschrieben wurden, kannte man noch keine leistungsfähigen

Stromquellen und konnte daher von Jacobis großartige Erfindung nicht nutzen. Doch nachdem Werner von Siemens das dynamoelektrische Prinzip entdeckt hatte und dem Bau leistungsfähiger Generatoren nichts mehr im Wege stand, setzte eine rasche Entwicklung des Elektromotors ein. Anfangs baute man nur Gleichstrommotoren, doch als man zur Wechselstromerzeugung überging, wurden von vielen Technikern auch Wechselstrommotoren entwickelt.

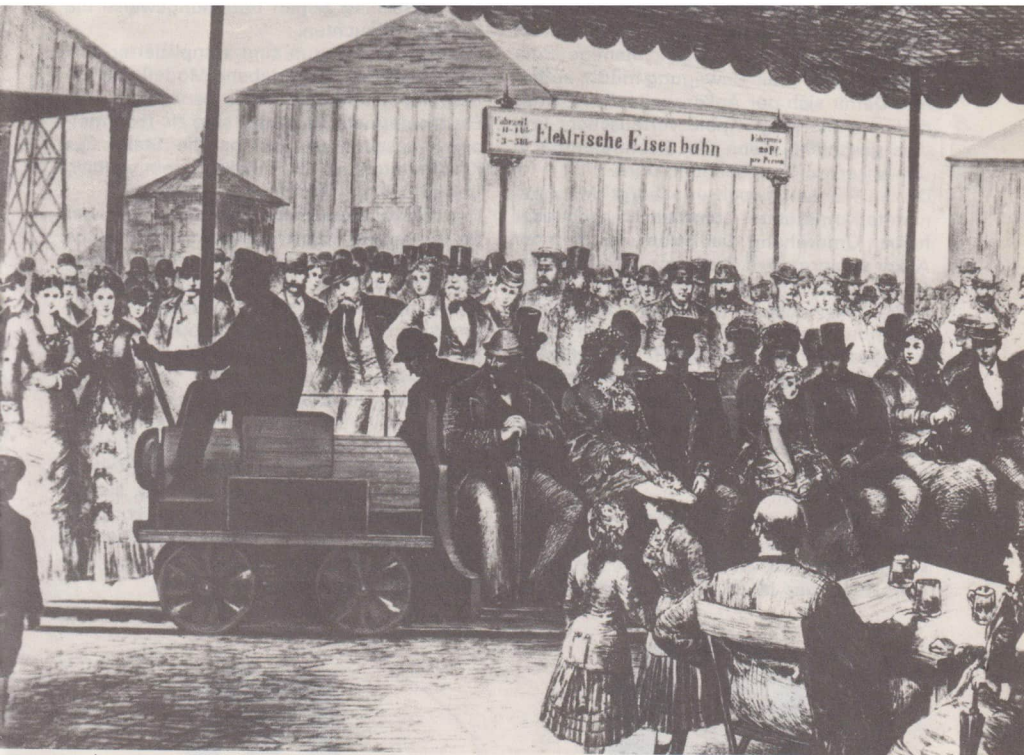
Mit diesen Motoren und der allgemeinen Elektrifizierung begann eine gewaltige Umstellung in der Produktion und im Verkehrswesen. Werner von Siemens führte 1879 die erste Elektrolokomotive vor und baute in Berlin-Lichterfelde die erste elektrische Straßenbahnlinie der Welt, die 1881 ihren Betrieb aufnahm. Elektromotoren für jeden erdenklichen Zweck wurden entwickelt; sie verdrängten, wie Professor von Jacobi es vorausgesehen hatte, die Dampfmaschine aus den Produktionsstätten vollständig.

## Magnetfeld und Doppel-T-Anker

Seitdem die Energieversorgung auf Wechselstrom umgestellt wurde, hat der Gleichstrommotor seine große Bedeutung, die er in der Vergangenheit hatte, verloren. Doch sein einfacher Aufbau eignet sich sehr gut, das



Der elektrische Strom, der die Ankerspule durchfließt, wechselt nach jeder halben Ankerdrehung seine Richtung. Infolgedessen werden zugleich die Magnetpole des Ankers gewechselt. Diesen Richtungs- und Polwechsel besorgt der Kommutator.



Erste elektrische Eisenbahn, erbaut von der Firma Siemens & Halske im Jahre 1879 in Berlin

Arbeitsprinzip eines Elektromotors zu erklären. Zum anderen gibt es noch heute einige wichtige Anwendungsgebiete für den Gleichstrommotor: Er wird bei Straßenbahnen eingesetzt, auf Schiffen dienen zahlreiche Gleichstrommotoren zum Betrieb der Pumpen, des Ruders, der Spillanlagen sowie des Ladegeschirrs. Die Anlasser für Automotoren sind ebenfalls Gleichstrommotoren, da sie aus der Batterie nur mit dieser Stromart gespeist werden können.

Wie jeder Elektromotor hat auch der Gleichstrommotor einen unbeweglichen Teil, Ständer oder Stator genannt, und einen beweglichen, einen sich drehenden Teil, der Läufer, Rotor oder Anker heißt. Auf dem Bild von Seite 122 ist das Modell eines Gleichstrommotors dargestellt. Hier besteht der Ständer aus einem Hufeisenmagneten, der mit zwei

Polschuh versehen ist. Zwischen den beiden Magnetpolen dreht sich der Anker, sobald der Stromkreis geschlossen wird. Der Rotor, in diesem Falle ein Doppel-T-Anker, besteht aus einem Eisenkern, der mit zahlreichen Windungen isolierten Drahtes, der Ankerwicklung, umwunden ist.

Der Anker ist nichts anderes als ein rotierender Elektromagnet. Wird nämlich die Ankerwicklung von elektrischem Strom durchflossen, baut sich ein Magnetfeld auf, das auch den Eisenkern magnetisiert. Somit entstehen an diesem Kern zwei ungleichnamige Magnetpole.

Nehmen wir an, der Nordpol des Ankers liegt dem Nordpol des Stators gegenüber und auf der anderen Seite der Südpol des Ankers dem Südpol des Stators. In diesem Falle vollführt der Anker eine halbe Drehung, da sich gleich-



namige Pole abstoßen, die ungleichnamigen sich dagegen anziehen. Nach dieser halben Drehung liegen sich ungleichnamige Pole gegenüber, und die Bewegung müßte aufhören. Damit sich der Anker weiterdreht, muß man nur die Magnetpole vertauschen, und dies geschieht, wenn die Stromrichtung in der Ankerwicklung geändert wird.

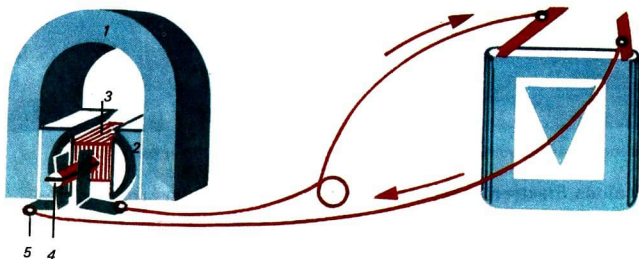
Diesen Richtungswechsel besorgt der sogenannte Kommutator automatisch nach jeder halben Umdrehung. Der Strom, mit dem der Anker versorgt wird, fließt von einem Pol der Spannungsquelle über zwei Schleifkontakte in die Ankerwicklung und dann zum anderen Spannungspol zurück. Durch diesen regelmäßigen Richtungswechsel des Gleichstroms dreht sich der Anker ununterbrochen, denn nach jeder halben Drehung stehen sich wieder gleichnamige Pole gegenüber und stoßen einander ab. Für einen ruhigen und gleichmäßigen Lauf sorgt die Trägheit des eisernen Ankerkerns.

Jeder Gleichstrommotor kann, wenn ihm mechanische Energie zugeführt und sein Anker gedreht wird, elektrische Energie erzeugen. Auch dies ist an dem einfachen Moto-

nen Ausschlag zeigen beziehungsweise die Lampe aufleuchten.

Gleichstrommotoren sind komplizierter aufgebaut als das beschriebene Modell. Zur Erzeugung des Magnetfeldes verwendet man Elektromagnete. Die Anker sind als Trommelanker ausgebildet, und an die Stelle des Kommutators ist ein Kollektor – ein vielfach unterbrochener Kupferring – getreten.

Der Masseneinsatz von Elektromotoren war für die rasche Industrialisierung einer Reihe von Ländern von entscheidendem Einfluß. Dies ist durch die vielen Vorteile dieser Antriebsmaschine zu erklären. Elektromotoren benötigen bei hoher Leistung nur einen sehr geringen Platz und sind einfach zu bedienen. Sie arbeiten fast wartungsfrei, verursachen weder Lärm noch Schmutz und sind sparsam im Energieverbrauch, da man sie je nach Bedarf ein- und ausschalten kann. Die erforderliche Elektroenergie wird an zentraler Stelle in Großkraftwerken dort erzeugt, wo ausreichende Wasserkräfte oder Kohlevorkommen zur Verfügung stehen. Über Kabelleitungen gelangt die elektrische Energie auf bequeme Weise zum Verbraucher.



Ein einfacher Gleichstrommotor: 1 Hufeisenmagnet, 2 Polschuhe, 3 Doppel-T-Anker, 4 Kommutator, 5 Schleifkontakte

renmodell leicht nachzuweisen. Man legt an Stelle der Spannungsquelle ein Meßgerät oder ein Elektrogerät, beispielsweise eine kleine Glühlampe, an die Schleifkontakte, versetzt den Anker in Rotation. Ist die Drehzahl hinreichend hoch, wird das Meßgerät ei-

Und nicht zuletzt: Elektromotoren lassen sich je nach Verwendungszweck in beliebiger Leistung auslegen, so klein, daß sie in einem Rasierapparat Platz finden, und so groß und leistungsstark, daß eine Elektrolokomotive einen schwer beladenen Güterzug fortbewegen kann.



Die erste elektrische Straßenbahn nahm 1881 in Berlin ihren Betrieb auf.





# 3. Mit der Rakete in den Weltraum

Von jeher träumte der Mensch davon, sich von der Erde lösen zu können. Er wünschte sich Flügel, um pfeilschnell wie ein Vogel durch den Himmel zu fliegen. Und er trachtete sogar danach, in den Weltraum vorzustoßen, zum Mond und zu den Planeten. Über eine sehr lange Zeit verwies man diese Wünsche in das Reich der Utopie. Erst in unserem Jahrhundert gelang es, sie zu verwirklichen, und dies mit Hilfe von Motoren und modernen Strahlantrieben.

## Die Erfüllung eines Traumes

Der 17. Dezember des Jahres 1903 ist ein bedeutender Tag für die Menschheit. In den stillen, einsamen Dünen von Kitty Hawk, die an der Ostküste von Nordkarolina liegen, dröhnt plötzlich ein Motor auf, Propeller wirbeln Sand empor, und mit Vollgas schießt ein mächtiger Doppeldecker in den eisigen Wind, löst sich von der Erde und fliegt 12 Sekunden lang frei durch die Luft. Der erste Motorflug der Geschichte ist geglückt. Zwei Nordamerikaner hatten diese flugtüchtige Maschine konstruiert und gebaut, die Brüder Orville und Wilbur Wright. Noch am gleichen Tage startet Wilbur zu einem Flug, der ihn in 3 Meter Höhe über eine Strecke von 225 Metern trägt. Der uralte Traum des Menschen – fliegen zu können – sollte sich jetzt erfüllen.

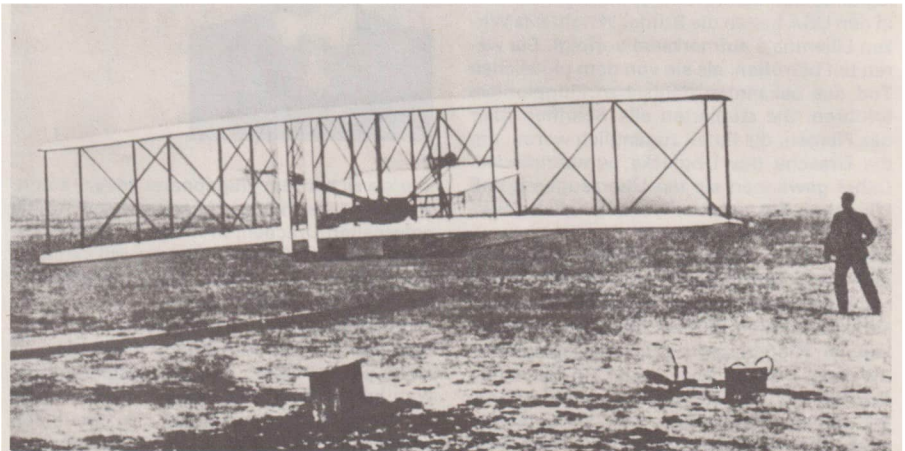
Ein Jahrzehnt vor diesem bedeutenden Ereignis hatte der deutsche Flugpionier Otto Lilienthal motorlose Gleitflugzeuge gebaut und erfolgreich erprobt. Mit einem Doppeldecker erreichte er in den Rhinower Bergen bei Ra-



Orville Wright  
(1871 – 1948)



Wilbur Wright  
(1867 – 1912)



Der erste Motorflug in der Geschichte; er dauerte 12 Sekunden.





Otto Lilienthal im Gleitflug mit seinem Doppeldecker in den Rhinower Bergen

thenow Flugstrecken bis zu 350 Metern. Wie so viele Pioniere der Luftfahrt mußte auch er seine kühnen Versuche mit dem Leben bezahlen: Am 9. August 1896 wurde sein Flugzeug überraschend von einer Bö erfasst. Lilienthal unterlief ein Steuerfehler; aus 20 Meter Höhe stürzte sein Flugzeug ab. Am Tag darauf erlag er seinen schweren Verletzungen.

In den USA hatten die Brüder Wright das Wirken Lilienthals aufmerksam verfolgt. Sie waren tief betroffen, als sie von dem plötzlichen Tod des bekannten deutschen Flugpioniers erfuhren. Sie studierten alle Schriften über das Fliegen, die ihnen zugänglich waren, um die Ursache des Unglücks herauszufinden. Dabei gewannen sie die Überzeugung, daß Lilienthals Steuertechnik unzulänglich gewesen sein mußte.

Die Brüder – beide Mechaniker – besaßen eine kleine Fahrradfabrik und kannten sich in technischen Dingen aus. In aller Stille bauten sie in den Jahren 1900 bis 1902 in ihrem abgelegenen Fliegerlager ihre ersten Segelgleiter, die sie als Doppeldecker auslegten. Sie hatten den Gleitflug der Bussarde und anderer Segler genau beobachtet und konstruierten schließlich nach dem Vorbild der Natur eine Quersteuerung für ihre Flugzeuge.



Otto Lilienthal  
(1848–1896)

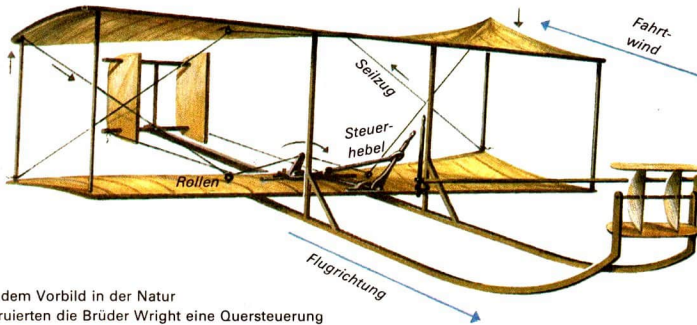
Ehe sie sich ihrem Flugapparat anvertrauten, erprobten sie ihn bei scharfem Seewind als gefesselten Drachen. In mehr als 1000 Gleitflügen lernten sie die Steuerung und damit ihr Flugzeug zu beherrschen. Erst danach bauten sie ihr erstes Motorflugzeug.

Problematisch war es, einen Motor aufzutreiben, wie ihn sich die Brüder wünschten. Er sollte eine Leistung von mindestens 6 Kilowatt haben, doch seine Masse durfte 110 Kilogramm nicht übersteigen. Da sie einen solchen Motor nirgends kaufen konnten, konstruierten und bauten sie ihn selbst.

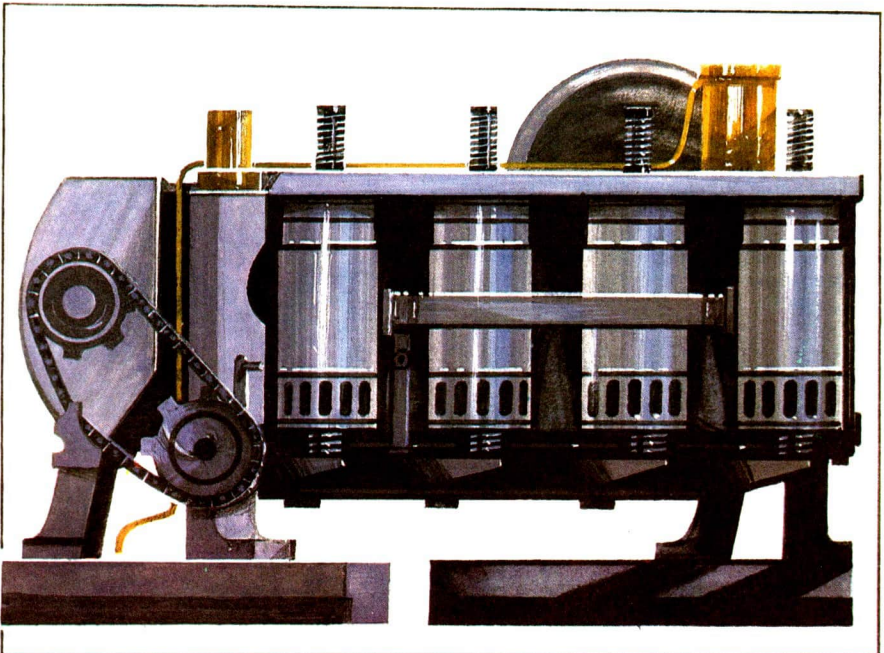
Er leistete beim Probelauf sogar weit mehr als erwartet: fast 9 Kilowatt. Sie montierten ihn in ihr Flugzeug ein und ließen ihn mit Hilfe von Fahrradketten zwei Luftschauben antreiben.

Später bauten Orville und Wilbur Wright verbesserte Doppeldecker, die sie mit stärkeren

Motoren ausrüsteten. Bereits zwei Jahre nach ihrem ersten Motorflug legten sie eine Flugstrecke von 45 Kilometern in 38 Minuten zurück. Sie erreichten damit die damals sensationelle Durchschnittsgeschwindigkeit von 70 Kilometern in der Stunde. Das Fliegen war nun Wirklichkeit geworden.



Nach dem Vorbild in der Natur konstruierten die Brüder Wright eine Quersteuerung für ihren Doppeldecker.



Der erste brauchbare Flugmotor, konstruiert und gebaut von den Brüdern Wright



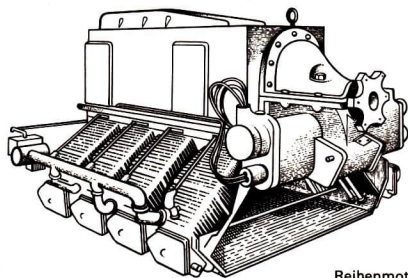
## Motoren erobern den Luftraum

Die Brüder Wright hielten anfangs ihre Flüge und ihr erfolgreiches Flugzeug streng geheim. So kam es, daß europäische Aviatiker das Motorflugzeug noch einmal erfanden und ihre unterschiedlichen Konstruktionen mit mehr oder weniger Erfolg erprobten.

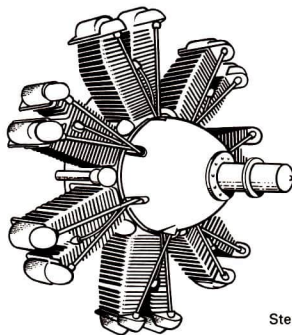
Damals sah man das Fliegen als eine Art Rummelplatzsensation an, bestenfalls als einen halbrecherischen Sport. Einen planmäßigen Luftverkehr, wie er heute selbstverständlich ist, konnte sich niemand vorstellen. Doch mit der Zeit wuchs die Betriebssicherheit der Flugzeuge, vor allem die Leistung und Zuverlässigkeit der Motoren. Und in den folgenden Jahrzehnten konstruierte man immer verfeinere Ottomotoren für den Flugbetrieb, Motoren mit hoher Drehzahl, sehr großer Leistung und geringem Gewicht. Dies vornehmlich mit dem Ziel, die Geschwindigkeit des Propellerflugzeugs zu steigern.

Im Kampf um den Geschwindigkeitsrekord erzielte 1934 der italienische Flieger Francesco Agello 709,2 Kilometer in der Stunde, und im April 1939 stellte der deutsche Testpilot Fritz Wendel mit einem Jagdflugzeug vom Typ *Me 209* den absoluten Weltrekord für Flugzeuge mit Kolbenriebwerken auf. Die Maschine war allerdings mit einem eigens für diesen Rekordversuch hochgezüchteten Daimler-Benz-Motor von 740 Kilowatt ausgerüstet. Flugkapitän Wendel erzielte mit diesem Flugzeug eine Höchstgeschwindigkeit von 755,1 Kilometern in der Stunde. Die Geschwindigkeitsgrenze für Propellerflugzeuge war erreicht.

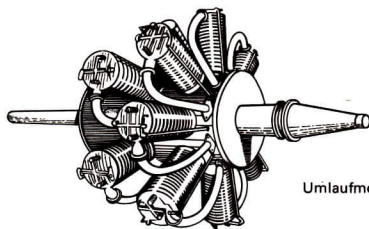
Flugmotoren für Kolbenriebwerke:



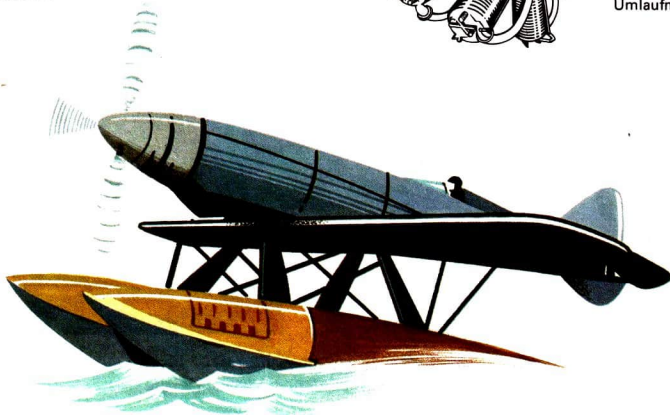
Reihenmotor



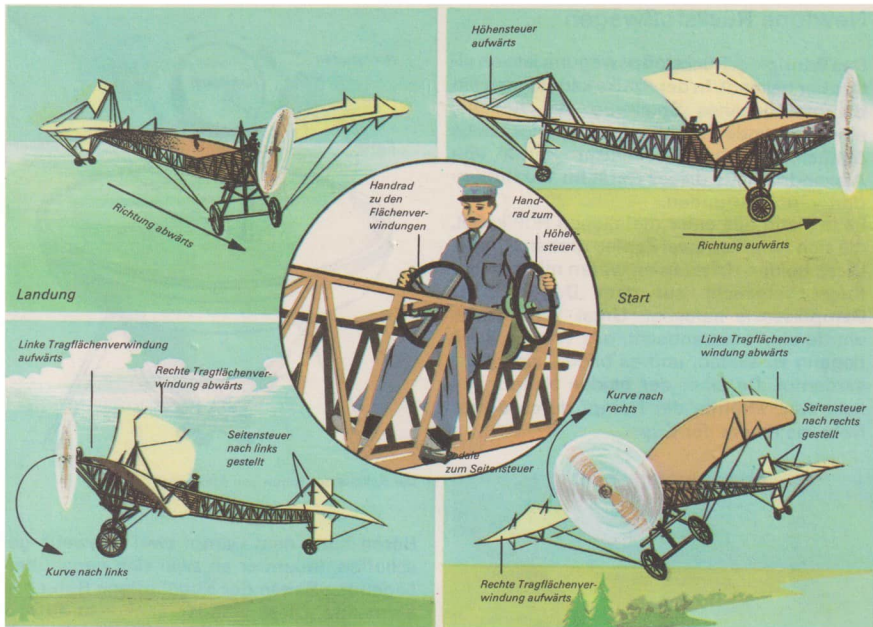
Sternmotor



Umlaufmotor



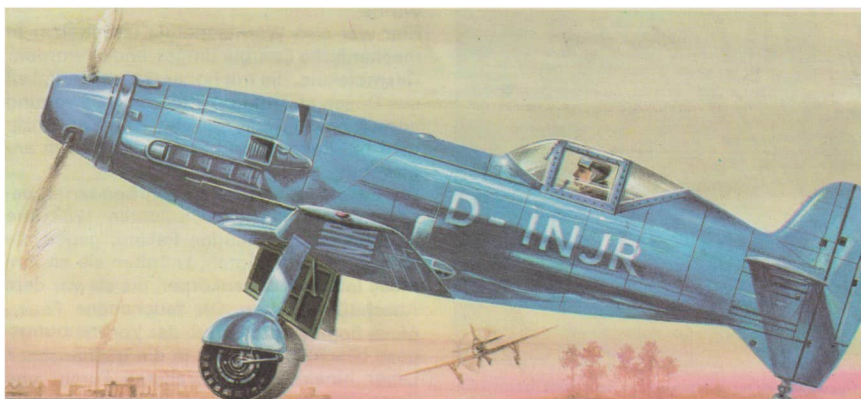
Das italienische Wasserflugzeug *Macchi-Castoldi 72*, mit dem Francesco Agello 1934 einen Geschwindigkeitsrekord erzielte



Wollte man noch höhere Geschwindigkeiten erreichen, mußte man sich von dem bewährten Propellertriebwerk – dem Kolbenmotor – trennen und völlig neue, noch wenig erforschte Antriebssysteme entwickeln. Gemeint sind die Strahlantriebe; der Einsatz des *Rückstoßes* als Antriebskraft.

Flugtechnik aus der Anfangszeit der Fliegerei; nach einer zeitgenössischen Darstellung

Das deutsche Jagdflugzeug *Me 209*, schnellstes Flugzeug mit Kolbentriebwerk; 1939

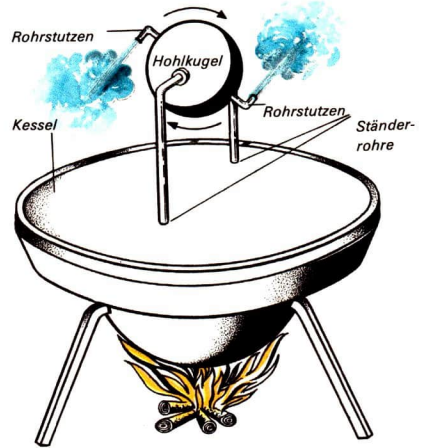




## Newtons Rückstoßwagen

Das Prinzip der Rückstoßbewegung ist von alters her bekannt. In der Antike kannte man ein dampfbetriebenes Spielzeug, die Äolipile, eine rotierende Dampfkugel. Der griechische Mathematiker und Techniker Heron von Alexandria hatte dieses Gerät im 1. Jahrhundert v. u. Z. erfunden.

Es bestand aus einer metallenen Hohlkugel, die sich zwischen zwei Zapfen drehte. Diese beiden Haltezapfen waren mitsamt der Kugel senkrecht auf dem Deckel eines Dampfkessels befestigt. Unter dem Kessel wurde ein Feuer entfacht, das Wasser darin begann zu sieden, und es bildete sich Wasserdampf. Da einer der beiden Haltezapfen hohl war, strömte der Dampf durch dieses Rohr ins Innere der Kugel.



Die Äolipile des Heron von Alexandria



Chinesische Krieger verteidigen ihre Hauptstadt mit dem Einsatz von Raketenpfeilen.

Heron hatte dem Dampf zwei Auswege geschaffen, indem er an zwei sich gegenüberliegenden Seiten der Kugel offene Röhrrchen anbrachte. Diese standen senkrecht auf der Kugeloberfläche und waren nach entgegengesetzten Richtungen hin im rechten Winkel gebogen.

Aus diesen Röhrrchen zischte mit hoher Geschwindigkeit der Dampf hinaus und drückte dabei auf die Rohrwände, die den Rohröffnungen gegenüberlagen. Als Folge dieser Rückstoßkraft begann sich die Kugel zu drehen, wobei sie schneller und immer schneller wurde.

Hier war also Wärmeenergie unmittelbar in mechanische Energie umgewandelt worden: Gasmoleküle, die mit hoher Geschwindigkeit aus Düsen strömten, hatten eine Bewegung hervorgerufen. Das gleiche Antriebsprinzip wird bei Raketen und Strahltriebwerken angewandt.

Die Rakete ist seit vielen Jahrhunderten bekannt. Als chinesische Soldaten 1232 ihre Hauptstadt, das heutige Peking, gegen die Mongolen verteidigten, knüpften sie an ihre Pfeile leichte Raketenkörper, die sie vor dem Abschuss zündeten. Die fauchenden Feuerpfeile flogen, vom Schub der Verbrennungsgase beschleunigt, weit in die gegnerischen Lager hinein und verbreiteten Furcht und Schrecken.

Von China aus gelangte die Rakete über Indien und Arabien nach Europa. Hier wurde sie für Feuerwerke verwendet und bereits im 19. Jahrhundert in einigen Armeen als Kriegswaffe eingesetzt.

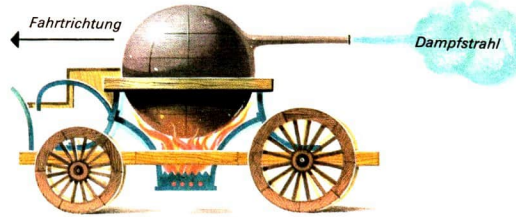
Auch bei einer Rakete wird durch Verbrennung fester oder flüssiger Treibstoffe Wärmeenergie unmittelbar in kinetische Energie umgewandelt. Die Verbrennungsgase treten mit sehr hoher Geschwindigkeit aus einer Düse; dadurch entsteht ein starker Schub, der den Raketenkörper vorantreibt – entgegengesetzt zur Richtung des Antriebsstrahls. Das wußten bereits die alten Chinesen, sie wußten es aus Erfahrung. Doch welche physikalische Ursache macht die Rückstoßbewegung möglich? Eine wissenschaftliche Antwort auf diese Frage gab im 17. Jahrhundert Isaac Newton, ein vielseitiger Gelehrter.

Newton wirkte damals an der Universität von Cambridge. Er war Mathematiker, vor allem jedoch ein bedeutender Physiker und Astronom. Unter anderem befaßte er sich mit der Optik, entdeckte dabei die Spektralfarben und stellte sich das Licht als einen Strom schnell fließender Teilchen vor. Zur genaueren Himmelsbeobachtung konstruierte er das Spiegelteleskop.

Zu Newtons größten Leistungen zählt die Entdeckung des Gravitationsgesetzes, mit dem er die Bewegung der Himmelskörper erklären konnte. Besonders stark beschäftigte ihn die Mechanik, der gesetzmäßige Zusammenhang, welcher zwischen der Bewegung von Körpern, deren Masse und den Kräften besteht. Die von ihm gefundenen Naturgesetze bestimmten über drei Jahrhunderte hinweg das gesamte physikalische Denken der Menschen. Man nennt ihn deshalb den „Vater der klassischen Physik“.

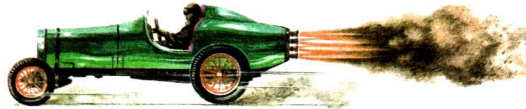
Newton entdeckte auch, daß eine Kraft nie für sich allein auftritt. Bei jeder Kraftwirkung ist eine Gegenwirkung vorhanden. Er faßte diese Gedanken in dem nach ihm benannten 3. Newtonschen Prinzip zusammen: Zu jeder Aktion gehört eine Reaktion; jede Kraftwirkung hat immer eine gleich große Kraftwirkung in entgegengesetzter Richtung zur Folge.

Feuert man zum Beispiel einen Karabiner ab, so verläßt das Geschoß mit kleiner Masse und sehr hoher Geschwindigkeit den Lauf. Als Gegenwirkung schlägt die Waffe, die eine wesentlich größere Masse hat, mit geringer



Entwurf zu einem dampfbetriebenen Rückstoßfahrzeug

Geschwindigkeit zurück. Es entsteht ein Rückstoß, den der Schütze auffängt. Wir kennen den Entwurf zu einem dampfbetriebenen Fahrzeug, der Isaac Newton zugeschrieben wird und bei dem der Rückstoß eines Dampfstrahls zur Fortbewegung genutzt werden sollte: Auf einem Fahrgestell befindet sich ein kugelförmiger Dampfkessel mit einem nach hinten gerichteten, sich verengenden Rohr, einer Düse. Unter dem Kessel sollte, um Dampf zu erzeugen, ein Feuer entfacht werden.



Um 1928 erprobte man in Berlin Rennwagen mit Raketenantrieb.

In einem allseitig geschlossenen Behälter wirkt der Druck eines erhitzten Gases auf alle Wände gleichmäßig. Die dabei auftretenden Kräfte heben sich auf. Bei diesem Dampfwagen jedoch drückt sich der Dampf, ehe er aus der Düse strömt, von der Kesselwandung ab. So entsteht – wie bei einer Rakete – eine Schubkraft, die den Wagen voranbewegt. Das 3. Newtonsche Prinzip ist ebenso im luft-erfüllten irdischen Raum wirksam wie im luftleeren. Ein Raumfahrer, der schwerelos im Weltraum schwebt, könnte sich in Bewegung



Auch auf diese Weise wird ein Rückstoß erzeugt: Das Mädchen springt vom Boot ab; das Boot bewegt sich dabei in die entgegengesetzte Richtung.



setzen, indem er einen Körper von sich fort-schleudert. Möglich wäre auch ein Gasstrahl, der aus einem Preßluftbehälter austritt. Die Gasmoleküle haben zwar nur eine geringe Masse, doch wenn sie mit hoher Geschwindigkeit aus einer Düse strömen, werden sie mit Sicherheit die erheblich größere Masse des Raumfahrers beschleunigen.

## Einstmals unvorstellbar: Flugzeuge ohne Luftschaube

Die Idee, propellerlose Flugzeuge zu konstruieren, wurde bereits im Jahre 1920 in deutschen Luftfahrtzeitschriften lebhaft erörtert. Wissenschaftler und Techniker überlegten, ob der Ottomotor durch Gasturbinen zu ersetzen sei und ob sich Flugzeuge durch die Rückstoßkraft eines austretenden Gasstrahles antreiben ließen. Doch zu jener Zeit bestand in der Flugzeugindustrie kein zwingendes Bedürfnis, Strahltriebwerke zu entwickeln. Denn die Leistung der Propellertriebwerke konnte durch weitere Verfeinerung des Ottomotors vorläufig noch gesteigert werden.

Es gab einen weiteren Grund, diese zukunftsweisenden Pläne zurückzustellen. Die Flugzeugtechniker sahen richtig voraus, daß bei einem funktionstüchtigen Strahltriebwerk außerordentlich hohe Temperaturen auftreten würden. Darüber hinaus waren unvor-aussahbar große Kräfte zu beherrschen. Hier fehlte es noch an Erfahrungen und Erkenntnissen auf vielen Gebieten. So mußte man zum Beispiel zunächst Metalle erproben, die derartigen Belastungen im Dauerbetrieb standhalten konnten.

Doch in den dreißiger Jahren unseres Jahr-hunderts kamen alle Flugzeugkonstruktoren zu der Überzeugung, daß sich die Flug-

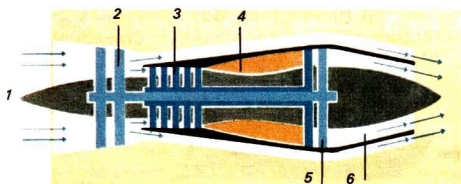
geschwindigkeiten der Propellermaschinen nicht mehr wesentlich steigern ließen. Ein Luftfahrtwissenschaftler machte eine inter-essante Rechnung auf: Angenommen, eine Maschine hat beim Reiseflug eine Leistung von 4 000 Pferdestärken (etwa 3 000 Kilowatt), und es soll ihre Geschwindigkeit um lediglich 150 Kilometer in der Stunde erhöht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müßte die Ma-schine die zehnfache Leistung, 40 000 Pferde-stärken, aufbringen – und dies bei gleichblei-bender Startmasse. Eine Aufgabe, die kein Flugzeugkonstrukteur lösen kann, denn jede Erhöhung der Leistung setzt ein größeres Gewicht der Kolbenmotoren voraus.

Nur wenige Menschen – weitblickende Flug-techniker, die in den führenden Flugzeugwer-ken ständig an neuen Konstruktionen arbeite-ten – sahen das Strahlflugzeug voraus. An-sonsten konnte sich kaum jemand ein Flug-zeug vorstellen, das keinen Propeller hatte. Die dröhnende Luftschaube galt als das Sinn-bild des Motorfluges schlechthin.

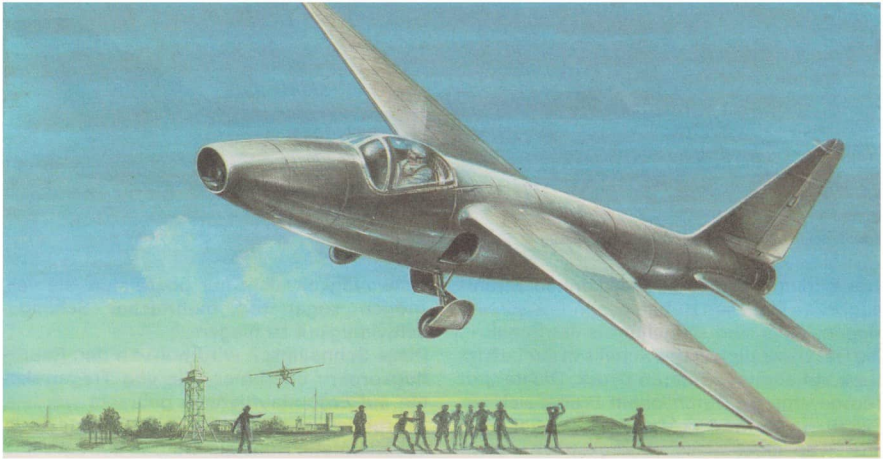
Den Flugzeugkonstruktoren war klar, daß der Aufbau eines Strahltriebwerkes wesent-lich einfacher und übersichtlicher sein würde als der eines Kolbenmotors. Hier die Faustregel, nach der ein solches Triebwerk arbeiten muß: Durch eine Einlaufdüse strömt angesaugte Luft ein, die von einem Kompressor verdichtet wird und sich dabei erhitzt. In ring-förmig angeordneten Brennkammern wird der Treibstoff verbrannt. Die Verbrennungs-gase mischen sich mit der stark verdichteten Luft und strömen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 500 Metern in der Sekunde aus der Schubdüse.

Bevor dieser Gasstrahl austritt, treibt er eine Turbine an, die mit den Schaufelrädern des Kompressors auf der gleichen Welle sitzt. So wird der Kompressor in sehr schnelle Drehung versetzt.

An der Konstruktion und der Erprobung von Strahltriebwerken wurde um 1936 in mehre-ren Ländern gleichzeitig gearbeitet, in Eng-land, Frankreich, der Sowjetunion und den USA. Doch das erste Strahlflugzeug der Erde stieg in der Nähe der alten Hansestadt Ro-stock auf, von einem Flugplatz der Heinkel-Flugzeugwerke. Die Maschine wurde von dem Testpiloten E. Warlitz geführt, der sie nach erfolgreichem Flug glücklich landete. Das geschah am 27. August 1939, wenige Tage bevor die faschistischen Machthaber im



Schema eines Strahltriebwerkes: 1 Lufteintritt, 2 Niederdruck-verdichter, 3 Hochdruckverdichter, 4 Brennkammer, 5 Turbine, 6 Schubdüse



Das erste Strahlflugzeug der Erde, die He 178 aus dem Jahre 1939

damaligen Deutschland den zweiten Weltkrieg entfesselten.

Diesem Flug waren mehrere Jahre schwieriger Arbeiten vorausgegangen. Im Juli 1939 zeigte sich das Triebwerk in der Bodenerprobung so weit ausgereift, daß man es im Flug testen konnte. Es wurde unter dem Rumpf eines Propellerflugzeuges vom Typ He 118 befestigt. Nachdem die Maschine aufgestiegen war, schaltete man das Strahltriebwerk ein, und sprunghaft erhöhte sich die Flugeschwindigkeit.

Nun baute man das Triebwerk in ein Flugzeug ein, das einige Konstrukteure eigens für diesen Zweck entworfen hatten. So entstand das Strahlflugzeug He 178. Die Maschine, ein Einsitzer, hatte eine Spannweite von 7,2 Metern und eine Länge von etwa 7,5 Metern.

Die Turbine war im Rumpf untergebracht, hinter dem Flugzeugführersitz. An der Rumpfnase befand sich die Einlaufdüse für die Luft. Diese wurde unter der Kabine hindurch zum Triebwerk geleitet. Aus der Schubdüse am Heck des Rumpfes traten die Verbrennungsgase ins Freie.

Dieses erste Strahlflugzeug erreichte bereits eine Höchstgeschwindigkeit von 700 Kilometern in der Stunde. Es leitete eine neue Epoche in der Geschichte der Luftfahrt ein.

## Flugzeuge – schneller als der Schall

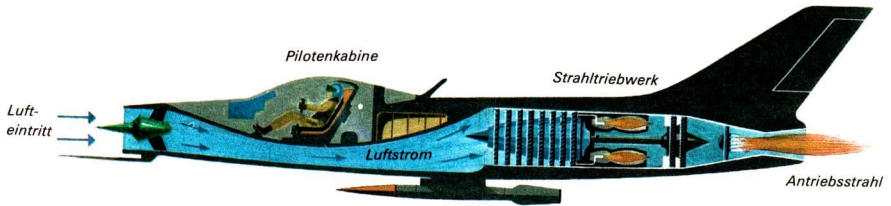
Strahltriebwerke sind heute im Flugwesen vorherrschend; die meisten Verkehrs- und Militärflugzeuge in aller Welt sind mit ihnen ausgerüstet. Es hat sich längst erwiesen, daß Strahlflugzeuge den Propellermaschinen überlegen sind. Dies hat mehrere Gründe.

Bei einem Kolbenmotor spielen sich die vier Takte Ansaugen, Verdichten, Verbrennen und Ausströmen zeitlich nacheinander in einem Raum – dem Zylinder – ab. Bei einem Strahltriebwerk dagegen laufen diese Vorgänge gleichzeitig ab, doch räumlich voneinander getrennt. Der heiße Antriebsstrahl, der den Schub erzeugt, wandelt in der Gasturbine Wärmeenergie unmittelbar in Drehbewegung um. Daraus folgt, daß ein Strahltriebwerk stetiger arbeitet als zum Beispiel ein Viertakt-Ottomotor.

Strahltriebwerke haben ein wesentlich geringeres Gewicht als Kolbentriebwerke entsprechender Leistung, und mit ihrer Hilfe können Leistungen vom zehnfachen Wert der Propellertriebwerke erreicht werden. Das ermöglichte den Bau großräumiger Flugzeuge, die hohe Fluggeschwindigkeiten erzielen.

Das Triebwerk eines Strahlflugzeugs hat gerade in großen Höhen seinen höchsten Wirkungsgrad, wo die Luftdichte immer mehr abnimmt und wo daher eine Luftschaube





Schnitt durch ein strahlgetriebenes Jagdflugzeug

ihre Wirkung verliert. Daher können Strahlflugzeuge in diesen Höhen besonders schnell fliegen. Viele sind schneller als der Schall. Die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft ist stark abhängig von deren Druck, Dichte und Temperatur. Im Durchschnitt breitet sich ein Schall in Luft mit 333 Metern in der Sekunde aus, was einer Geschwindigkeit von etwa 1200 Kilometern in der Stunde entspricht. Strahlflugzeuge können diese hohe Ge-

schwindigkeit nicht nur überbieten, sie vermögen sogar mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit zu fliegen.

Diese Schnelligkeit wird nur von den Raumflugkörpern überboten, die von Trägerraketen auf Erdumlaufbahnen gebracht werden. Umrundet zum Beispiel ein Erdsatellit in 100 Kilometer Höhe die Erde, so beträgt seine Bahngeschwindigkeit rund 28 000 Kilometer in der Stunde.



## Durch einen Kanonenschuß zum Mond

In Paris erschien 1865 ein Zukunftsroman, welcher der Feder des französischen Schriftstellers Jules Verne entstammte und der den Buchhändlern förmlich aus den Händen gerissen wurde. Der Roman trägt den Titel *Von der Erde zum Mond* und erzählt von einer phantastischen Unternehmung.

Drei mutige Amerikaner wollen sich auf den Mond schießen lassen. Dazu soll ein in die Erde versenktes eisernes Kanonenrohr von 275 Meter Länge dienen. Das „Raumfahrzeug“, ein Hohlgeschöß von 3 Meter Durchmesser, besteht aus Aluminium von 30 Zentimeter Dicke. Die Mondreisenden begeben sich mit Meßinstrumenten, einer großen Menge Proviant und einigen lebenden Tieren in das komfortabel eingerichtete Geschöß. Ein Kran läßt die Aluminiumkapsel in die Tiefe des Kanonenschlundes hinab – auf eine Ladung von 400 000 Pfund Schießbaumwolle. Zur vorgesehenen Zeit zündet ein elektrischer Funke diesen gewaltigen Treibsatz.

„Da! Ein entsetzlicher Knall! Ohrenbetäubender als das Krachen des Donners! Schlimmer noch als das Getöse eines vulkanischen Ausbruchs! Eine ungeheure Flammengarbe schoß zum Himmel, und die Erde

erbehte. Wohl niemand konnte das Geschoß erkennen, das inmitten von Flammen und Dämpfen in die Lüfte stieg.“

So beschreibt Jules Verne den ersten Start von Menschen zum Mond. Der Schriftsteller hatte sich einige naturwissenschaftliche Kenntnisse angeeignet und sah in seinen utopischen Romanen manche technische Entwicklung voraus, zum Beispiel das U-Boot, das Luftfahrzeug und den Fernsehapparat. Doch ob er tatsächlich glaubte, daß seine Mondreisenden die Strapazen eines solchen Starts überleben würden?

Das Geschoß sollte nämlich mit einer Geschwindigkeit von 16 Kilometern in der Sekunde aus der Kanone fliegen und dann vom Luftwiderstand auf 11 Kilometer in der Sekunde abgebremst werden.

Dabei wäre die Aluminiumkapsel infolge der Luftreibung wie eine Sternschnuppe verglüht. Die drei Mondreisenden allerdings hätten bereits beim Abschuß ihr Leben eingebüßt. Unter einem gewaltigen Andruck wären sie augenblicklich plattgedrückt worden. Allein der Zylinderhut, den einer der Männer trug, hätte das Gewicht eines Güterwagens angenommen, sein Gehirn das einer Lokomotive.

Man kann also niemals durch einen Kanonenschuß auf den Mond gelangen. Dennoch haben fast alle Pioniere der Raumfahrt diesen Roman begeistert gelesen, auch Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski. Er hatte in seiner Kindheit das Gehör verloren. Als Jüngling saß er daher täglich in Moskaus Bibliotheken, um zu lesen, der einzige Weg für ihn, sich Wissen anzueignen. Eines Tages fiel ihm Vernes Buch *Von der Erde zum Mond* in die Hände; er verschlang es geradezu. Die phantastischen Gedanken des Schriftstellers beflügelten seine Phantasie: Irgendwann in der Zukunft werden Menschen zu den Sternen reisen. Auf welchem Wege aber wird man dieses Ziel erreichen? – Und der spätere amerikanische Raketenpionier Robert Goddard ließ sich als Dreizehnjähriger ebenso von diesem Roman fesseln wie der deutsche Raumfahrtwissenschaftler Hermann Oberth.

## Die erste flog 12 Meter hoch

Anfang der zwanziger Jahre verfaßte der junge Wissenschaftler Hermann Oberth in seinem Heidelberger Studentenquartier eine Dissertation, eine Doktorarbeit, die 1923 als Buch erschien und weltweit Aufsehen erregte. Ihr Titel lautet *Die Rakete zu den Planetenräumen* und beginnt mit dem Satz: „Beim heutigen Stand der Wissenschaft und der Technik ist der Bau von Maschinen möglich, die höher steigen können, als die Erdatmosphäre reicht.“



Hermann Julius  
Oberth (geb. 1894)

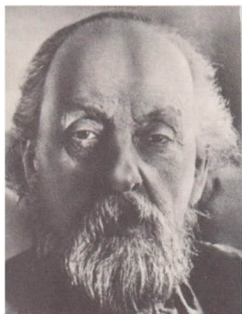
Oberth führte in seinem Buch überzeugend aus, daß der Flug von der Erde in den Weltraum nur mit Raketen möglich sei. Denn die Anwendung des 3. Newtonschen Prinzips – die Rückstoßwirkung ausströmender Verbrennungsgase – erlaube Flüge sowohl innerhalb der irdischen Lufthülle als auch im luftleeren Raum.

Diese Erkenntnisse waren nicht ganz neu. Bereits zwei Jahrzehnte zuvor hatte sie auch der russische Lehrer und Raketenforscher Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski in mehreren Schriften dargelegt. Allerdings wußte Oberth von diesem Gelehrten, der im fernen Kaluga in aller Stille wirkte, zunächst nichts. Ziolkowski hatte im zaristischen Rußland unter den ungünstigsten Bedingungen forschen müssen. Kaum jemand nahm seine Ideen ernst; er galt als ein Wirkkopf und Phantast, wenn er von der Erforschung des Weltraumes sprach und Raketen entwarf. Erst nach dem Sturz des Zarenreiches wurde Ziolkowski als Wissenschaftler anerkannt und zum Mitglied der Moskauer Akademie gewählt.

Als Hermann Oberth mit dem Werk Ziolkows-



kis in Berührung kam, schrieb er ihm einen Brief nach Kaluga: „Ich wäre sicher mit meinen eigenen Arbeiten heute sehr viel weiter und hätte mir viel vergebliche Mühe erspart, wenn ich Ihre ausgezeichneten Arbeiten gekannt hätte. Sie haben das Licht entzündet, und wir werden arbeiten, bis sich der erhabenste Traum der Menschheit erfüllt haben wird.“

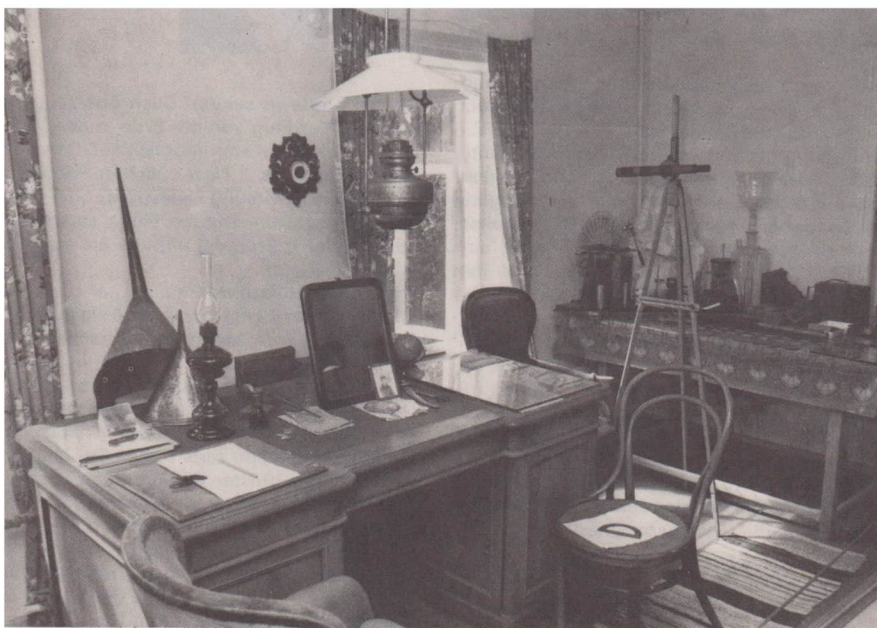


Konstantin  
Eduardowitsch  
Ziolkowski  
(1857–1935)

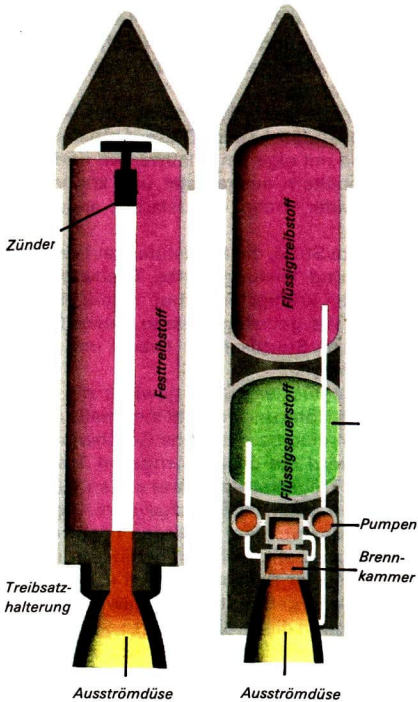
Beide Wissenschaftler waren zu der Überzeugung gelangt, daß Feststoffraketen zu leistungsschwach sind, um das Schwerefeld der Erde zu verlassen. Sie schlugen Trägerraketen mit Flüssigkeitstriebwerken vor. Allerdings müßten diese neben dem Brennstoff auch den zur Verbrennung notwendigen Sauerstoff in flüssiger Form mitführen.

Versuche mit Flüssigkeitsraketen unternahm erstmals der nordamerikanische Physiker Robert Goddard, der sich seit 1912 mit dem Raketenantrieb beschäftigt und 1919 die Schrift *Ein Verfahren zum Erreichen extremer Höhen* veröffentlicht hatte. Seine erste, 3,3 Meter lange Versuchsrakete stieg am 16. März 1926 auf; es war der Start der ersten Flüssigkeitsrakete der Erde. Sie erreichte 12 Meter Höhe und legte in 2,5 Sekunden eine Strecke von 60 Metern zurück. Doch ein Jahrzehnt später erzielte Goddard mit einer 4,5 Meter langen Rakete eine Höhe von 2 285 Metern.

Das Triebwerk einer Flüssigkeitsrakete besteht aus einer Brennkammer mit der Schubdüse und befindet sich am Heck. Treibstoff-



Das Arbeitszimmer des Raumfahrtwissenschaftlers Ziolkowski in Kaluga. An diesem schlichten Schreibtisch entwickelte er seine bahnbrechenden Theorien.



Schema einer Rakete mit festem Treibstoff

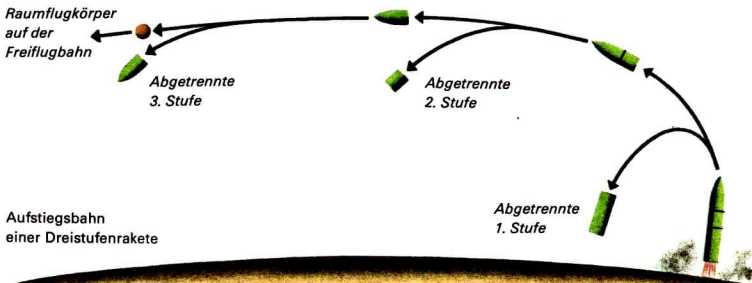
Schema einer Rakete mit flüssigem Treibstoff

pumpen fördern den Flüssigtreibstoff sowie den flüssigen Sauerstoffträger in die Brennkammer, wo beide Treibstoffbestandteile unter sehr hoher Temperatur verbrennen. Die Verbrennungsgase, die sich mit großer Kraft entspannen, strömen durch die Düse und erzeugen dabei einen starken Schub.

## Der Weg in den Weltraum

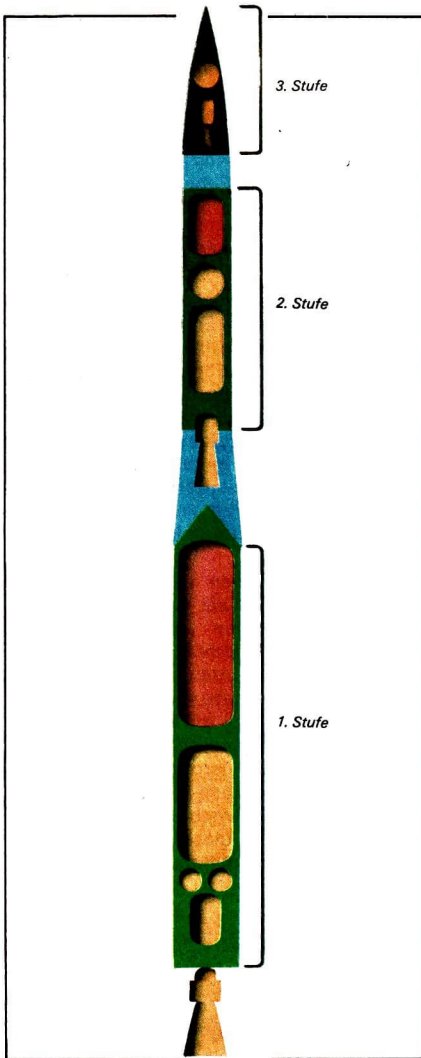
Trägerraketen sind gegenwärtig die größten und leistungsstärksten strahlgetriebenen Flugkörper. Mit ihrer Hilfe werden Nutzlasten in den Weltraum befördert. Dabei kann es sich um einen Wettersatelliten handeln, der auf eine Erdumlaufbahn gelangen soll, um eine Planetensonde, die auf eine Freiflugbahn – etwa zum Mars – gebracht werden muß, oder um ein mit Wissenschaftlern bemanntes Raumfahrzeug, das an einem vorausberechneten Zeitpunkt ein Raumlaboratorium zu erreichen hat.

Trägerraketen können derartige Aufgaben nur erfüllen, wenn sie unvorstellbar hohe Endgeschwindigkeiten erreichen, in manchen Fällen 10,6 Kilometer in der Sekunde, also rund 38 000 Kilometer in der Stunde. Die Raketen benötigen dazu sehr viel Energie und somit entsprechend große Treibstoffmengen. Wollte man diese vielen Tonnen flüssigen Brenn- und Sauerstoffs in *einer* Raketenstufe unterbringen, so hätten allein die enorm großen Tanks ein erhebliches Leergewicht. Die Rakete könnte diese überflüssige Last nicht in den Weltraum tragen, denn sie würde



Aufstiegsbahn einer Dreistufenrakete





Trägerrakete mit Reihenanordnung von drei Antriebsstufen

die erforderliche Endgeschwindigkeit niemals erreichen.

Das alles hatten bereits die Raketenforscher Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski und Hermann Oberth errechnet. Doch beide fanden – unabhängig voneinander – einen Ausweg. Sie schlugen vor, für den Flug in den

Kosmos eine Mehrstufenrakete einzusetzen. Ihre Überlegungen erwiesen sich als richtig; Mehrstufenraketen eröffneten den Weg in den Weltraum.

Eine Trägerrakete kann zwei, drei oder vier Raketenstufen haben. Diese Antriebseinheiten sind mit eigenen Triebwerken und Treibstoffbehältern ausgerüstet und können hintereinander oder bündelartig angeordnet sein.

Die erste Stufe, die Startstufe, hat besonders große und leistungsstarke Triebwerke. Sie muß den kräftigsten Schub erzeugen, denn sie hat die gewaltige Masse dieser Großrakete vom Starttisch zu heben und zu beschleunigen.

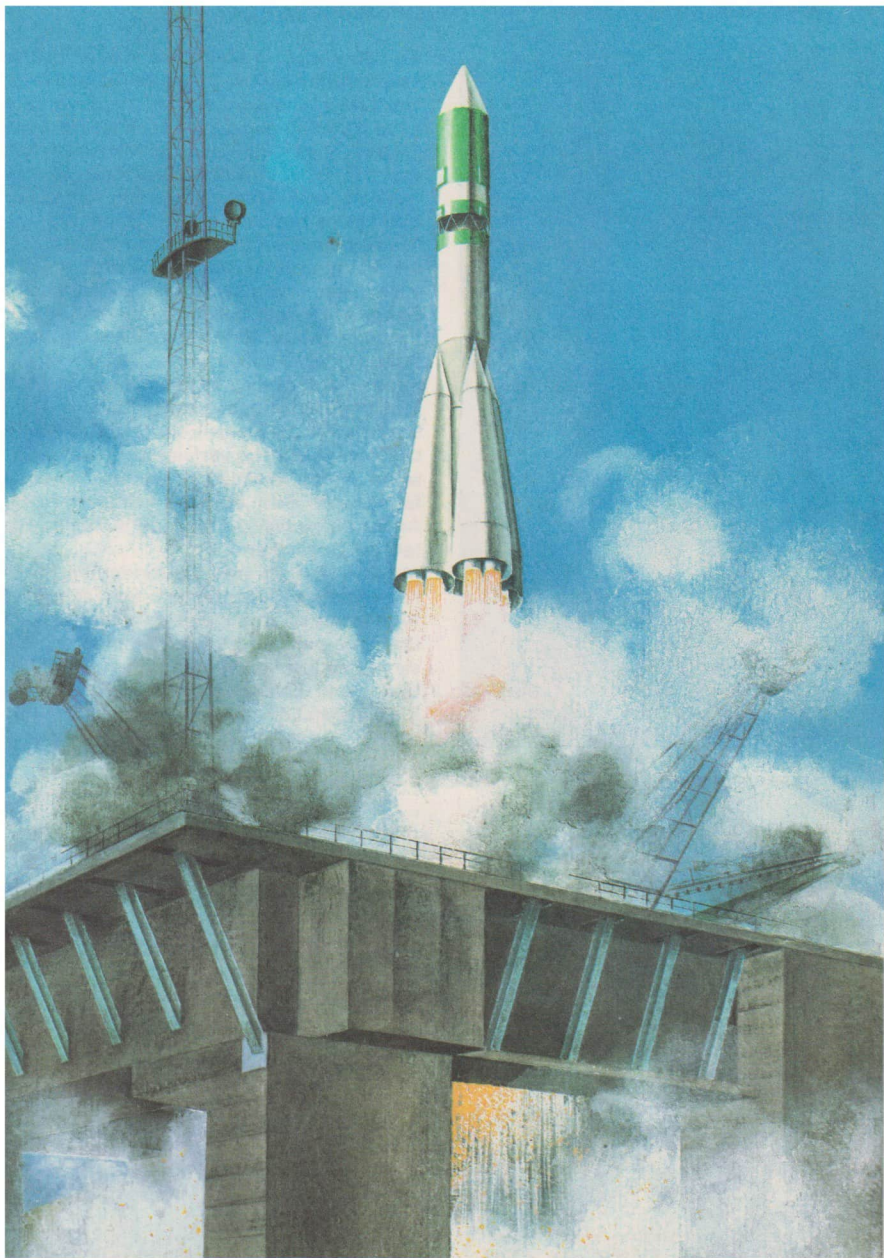
Nach geglücktem Start gewinnt die Rakete rasch an Höhe und erreicht innerhalb weniger Minuten eine beträchtliche Geschwindigkeit. Dabei wird die große Menge an Treibstoff, den die Trägerrakete in ihrer ersten Stufe mitführen mußte, völlig aufgezehrt. Die Startstufe mitsamt ihrem schweren Triebwerk und den massigen Treibstoffbehältern ist nun überflüssiger Ballast; sie wird von der übrigen Rakete getrennt und abgeworfen.

Nun beginnt die zweite Stufe zu arbeiten. Ihre Startgeschwindigkeit entspricht der Endgeschwindigkeit der Startstufe. Sie ist in ihren Abmessungen wesentlich kleiner, und da sie eine viel geringere Masse anzutreiben hat, kann sie die verbliebenen Stufen sowie die Nutzlast mit geringerer Treibstoffmenge im gleichen Maße weiterbeschleunigen.

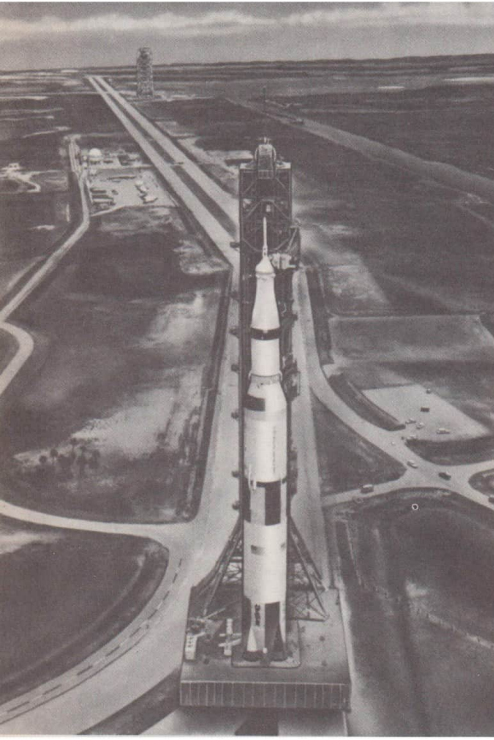
Nach dem Abwurf der zweiten Stufe übernimmt die dritte Stufe den weiteren Antrieb. Handelt es sich zum Beispiel um eine dreistufige Trägerrakete, so ist diese dritte Stufe zugleich die Endstufe. Sie beschleunigt die noch verbliebene Masse der Rakete und die Nutzlast auf die hohe Endgeschwindigkeit; der Raumflugkörper gelangt auf eine Erdumlaufbahn oder fliegt sogar zum Mond oder zu einem Planeten.

Die „Reise zu den Planetenräumen“, von der sowohl phantasiebegabte Schriftsteller als auch ernsthafte Forscher einst nur träumen konnten, ist heute Wirklichkeit geworden und gehört zu unserem Alltag.

Mehrstufenrakete mit gebündelten Triebwerken, wenige Sekunden nach dem Abheben vom Starttisch







## Der weite Weg

Als 585 v. u. Z. in Kleinasien Waffen gegeneinander klirrten und Thales von Milet die von ihm errechnete Sonnenfinsternis erwartete, hätte niemand geglaubt – auch dieser weise Gelehrte nicht –, daß dereinst Menschen fern von der Erde in einem Raumlaboratorium wohnen und arbeiten werden, ihre Forschungsinstrumente auf die Sonne richten, um zu neuen wichtigen Erkenntnissen über die Natur unseres Zentralgestirns, unseres wichtigsten Energiespenders, zu gelangen. Es war ein langer und hindernisreicher Weg aus jener fernen Vergangenheit bis in unser technisch hochentwickeltes Zeitalter. Beigetragen zu dieser einst unvorstellbaren Entwicklung haben nicht zuletzt die Antriebsmaschinen, die der Mensch sich schuf, die er im Laufe der Zeit stetig verfeinerte und die er für seine Zwecke einzusetzen verstand – angefangen von dem schlichten Wasserrad der Antike bis zu den mächtigen Raumfahrttraktoren der Gegenwart.

Mitunter mögen uns die modernen, hochkomplizierten Schöpfungen der Technik als Wunderwerke erscheinen – sie sind es nicht. Ehe sie verwirklicht werden konnten, mußten sie in den Köpfen von Menschen entstehen. Und damit belegen sie lediglich, zu welcher großartigen Leistungen der Mensch befähigt ist.

# Anhang

## Wer ist wer?

**Agello, Francesco**, geb. 1902, tödlich abgestürzt 1942 in Mailand, italienischer Rekordflieger

**Benz, Carl Friedrich**, geb. 1844 in Karlsruhe, gest. 1929 in Ladenburg, deutscher Ingenieur und Kraftfahrzeugtechniker

**Boulton, Matthew**, geb. 1728, gest. 1809, englischer Maschinenkonstrukteur, Teilhaber der Dampfmaschinenfabrik Boulton & Watt

**Boyle, Robert**, geb. 1627 in Lismore (Irland), gest. 1691 in London, bedeutender englischer Physiker und Chemiker, Mitglied der Royal Society

**Branca, Giovanni**, geb. 1571, gest. 1640, italienischer Wissenschaftler und Architekt

**Bunsen, Robert Wilhelm**, geb. 1811 in Göttingen, gest. 1899 in Heidelberg, deutscher Chemiker und Physiker

**Celsius, Anders**, geb. 1701 und gest. 1744 in Uppsala, schwedischer Astronom und Physiker, schlug 1742 die nach ihm benannte hundertellige Temperaturskala vor

**Copernicus, Nicolaus**, geb. 1473 in Toruń, gest. 1543 in Frombork, polnischer Domherr, Arzt und Astronom

**Daimler, Gottlieb**, geb. 1834 in Schorndorf (Württemberg), gest. 1900 in Bad Canstatt, deutscher Ingenieur und Motorenkonstrukteur

**Diesel, Rudolf**, geb. 1858 in Paris, ertrunken 1913 im Kanal, deutscher Ingenieur und Erfinder des nach ihm benannten Verbrennungsmotors ohne Fremdzündung

**Edison, Thomas Alva**, geb. 1847 in Milan (Ohio), gest. 1931 in West Orange (New Jersey), nordamerikanischer Techniker und vielseitiger Erfinder

**Fahrenheit, Gabriel Daniel**, geb. 1686 in Danzig (Gdańsk), gest. 1736 im Haag, deutscher Physiker, schuf erstmals zuverlässige Thermometer und führte die nach ihm benannte Temperaturskala ein

**Faraday, Michael**, geb. 1791 in Newington Butts bei London, gest. 1867 in Hampton Court bei Richmond, bedeutender englischer Physiker und Chemiker, Entdecker wichtiger Naturgesetze, namentlich auf dem Gebiet des elektrischen und magnetischen Feldes

**Francis, James Bicheno**, geb. 1815, gest. 1892, englischer Ingenieur und Konstrukteur von Wasserturbinen

**Fraunhofer, Joseph von**, geb. 1787 in Straubing (Bayern), gest. 1826 in München, deutscher Physiker, Ingenieur und Erfinder

**Galilei, Galileo**, geb. 1564 in Pisa, gest. 1642 in Arcetri bei Flo-

renz, bedeutender italienischer Naturforscher und Physiker, Verfechter des kopernikanischen Weltbildes, Begründer der Experimentalphysik

**Goddard, Robert Hutchkins**, geb. 1892 in Worcester (Massachusetts), gest. 1945, nordamerikanischer Physiker und Raketen-techniker

**Guericke, Otto von**, geb. 1602 in Magdeburg, gest. 1686 in Hamburg, deutscher Physiker, Ratsherr und später Bürgermeister in Magdeburg

**Halske, Georg**, geb. 1814, gest. 1890, deutscher Techniker und Mitbegründer der Telegrafenanstalt Siemens & Halske in Berlin

**Heron von Alexandria**, lebte wahrscheinlich um 100 v. u. Z., griechischer Mathematiker, Techniker und Geodät (Landmesser), konstruierte Automaten und erfand den Heronsball sowie die Äolipile

**Hooke, Robert**, geb. 1635 in Freshwater (Insel Wight), gest. 1703 in London, englischer Mathematiker und Physiker, fand das nach ihm benannte Gesetz der elastischen Dehnung und konstruierte zahlreiche Meßinstrumente

**Huygens, Christian**, geb. 1629 und gest. 1692 im Haag, niederländischer Mathematiker, Physiker und Astronom

**Jacobi, Moritz Hermann von**, geb. 1801 in Potsdam, gest. 1875 in Petersburg (heute Leningrad), deutsch-russischer Physiker und Techniker

**Joule, James Prescott**, geb. 1818 in Salford bei Manchester, gest. 1889 in Sale bei London, bedeutender englischer Physiker, Entdecker wichtiger Naturgesetze

**Kaplan, Viktor**, geb. 1876, gest. 1934, österreichischer Ingenieur und Erfinder der nach ihm benannten Propellerturbine

**Kelvin of Largs, Lord** (vorher William Thomson), geb. 1824 in Belfast, gest. 1907 in Netherhall (Schottland), englischer Physiker, führte die nach ihm benannte thermodynamische Temperaturskala ein

**Kepler, Johannes**, geb. 1571 in Weil der Stadt, gest. 1630 in Regensburg, deutscher Astronom und Mathematiker, vervollkommnete das kopernikanische Weltsystem und stellte die nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegungen auf

**Kirchhoff, Gustav Robert**, geb. 1824 in Königsberg, gest. 1887 in Berlin, deutscher Physiker und Hochschullehrer

**Langen, Eugen**, geb. 1833, gest. 1895, deutscher Techniker und Konstrukteur von Gasmotoren

**Laval, Carl Gustaf de**, geb. 1845 in Orsa, gest. 1913 in Stockholm, schwedischer Techniker und Konstrukteur von Dampfturbinen

**Lebon, Philippe**, geb. 1769, gest. 1804, französischer Ingenieur, untersuchte die Gasgewinnung aus Holz

**Lenoir, Jean Joseph Étienne**, geb. 1822, gest. 1900, französischer Techniker und Konstrukteur von Gasmaschinen



Leonardo da Vinci, geb. 1452 in Anchiano bei Vinci, gest. 1519 auf Schloß Cloux bei Amboise, italienischer Maler, Bildhauer, Architekt, Mathematiker, Techniker und Erfinder

Lilienthal, Otto, geb. 1848 in Anklam, gestorben (abgestürzt) 1896 in Berlin, deutscher Ingenieur und bedeutender Flugpionier

Linde, Carl von, geb. 1842 in Berndorf (Oberfranken), gest. 1934 in München, deutscher Techniker und Hochschullehrer

Maybach, Wilhelm, geb. 1846 in Heilbronn, gest. 1926 in Stuttgart-Canstatt, deutscher Ingenieur und bedeutender Kraftfahrzeugtechniker, entwarf den ersten, um 1900 gebauten Mercedeswagen

Mayer, Julius Robert von, geb. 1814 und gest. 1878 in Heilbronn, deutscher Arzt und Physiker

Miller, Oskar von, geb. 1855 und gest. 1934 in München, deutscher Ingenieur und Pionier der Elektroenergiewirtschaft

Murdock, William, geb. 1754 in Auchinleck (Ayrshire), gest. 1839 in London (Soho), englischer Techniker, Maschinenkonstrukteur und Erfinder, Mitarbeiter von James Watt

Newcomen, Thomas, geb. 1663 in Dartmouth, gest. 1729 in London, englischer Techniker und Erfinder der atmosphärischen Kolbendampfmaschine

Newton, Isaac, geb. 1643 in Woolsthorpe bei Grantham, gest. 1727 in Kensington, bedeutender englischer Mathematiker, Physiker und Astronom, wurde 1703 Präsident der Royal Society

Oberth, Hermann Julius, geb. 1894 in Hermannstadt (Rumänien), deutscher Pionier der Raketentechnik und Raumfahrt, Verfasser theoretischer Schriften über die Raumfahrt

Oersted, Hans Christian, geb. 1777 in Rudkjöbing, gest. 1851 in Kopenhagen, dänischer Physiker und Chemiker

Otto, Nikolaus August, geb. 1832 in Holzhausen (Nassau), gest. 1899 in Köln, deutscher Ingenieur und Konstrukteur von Motoren

Papin, Denis, geb. 1647 in Blois, gest. wahrscheinlich 1712 in England, französischer Physiker und Erfinder

Pelton, Lester Allen, geb. 1829, gest. 1908, nordamerikanischer Techniker und Erfinder der nach ihm benannten Freistrahlturbine

Ptolemäus, Claudius, geb. um 90, gest. um 160, lebte in Alexandria, bedeutender Astronom der Antike

Ramsay, William Sir, geb. 1852 in Glasgow, gest. 1916 in High Wycombe bei Buckingham, englischer Chemiker und Hochschullehrer, entdeckte die in der Luft enthaltenen Edelgase, Nobelpreisträger 1904

Robison, John, geb. 1733, gest. 1805, Jugendfreund von James Watt, 1770 Direktor der russischen Nautischen Akademie in Kronstadt, wirkte später als Professor der Physik an der Universität zu Edinburgh

Savery, Thomas, geb. um 1650, gest. 1715, englischer Techniker, Erfinder einer kolbenlosen Dampfpumpe

Siemens, Werner von, geb. 1816 in Lenthe bei Hannover, gest. 1892 in Berlin, deutscher Ingenieur und Unternehmer, hat sich durch viele bahnbrechende Erfindungen und Entdeckungen um die Entwicklung der Elektrotechnik verdient gemacht

Sualem, Rennequin, geb. 1645, gest. 1708, französischer Techniker und Konstrukteur von Wasserhebwerken

Thales von Milet, geb. um 625 v. u. Z., gest. um 545 v. u. Z., bedeutender griechischer Mathematiker, Astronom und Philosoph

Torricelli, Evangelista, geb. 1608 in Modigliana (Toskana), gest. 1647 in Florenz, italienischer Physiker und Mathematiker, Erfinder des Quecksilberbarometers

Trevithick, Richard, geb. 1771 in Illogan (Cornwall), gest. 1833 in Dartford, englischer Ingenieur, konstruierte die erste Hochdruckdampfmaschine, den ersten Dampfwagen und die erste Schienenlokomotive

Tyndall, John, geb. 1820 in Leighlin-Bridge (Irland), gest. 1893 in Hind Head bei Haslemere, vielseitiger irischer Physiker

Verne, Jules, geb. 1828 in Nantes, gest. 1905 in Amiens, französischer Schriftsteller, Begründer des utopisch-wissenschaftlichen Romans

Watt, James, geb. 1736 in Greenock (Clyde), gest. 1819 in Haithfield bei Birmingham, bedeutender englischer Techniker und Erfinder, Schöpfer der Kolbendampfmaschine

Wendel, Fritz, deutscher Flugkapitän und Testpilot, stellte 1939 in Augsburg einen Geschwindigkeitsweltrekord auf

Wilde, Henry, geb. 1833, gest. 1919, englischer Professor der Physik, konstruierte erstmals Stromerzeuger mit fremd-erregten Elektromagneten

Wilkinson, John, geb. 1728, gest. 1808, englischer Techniker, Fabrikant von Gußwaren und Schmiedeeisen, Inhaber mehrerer Patente, unter anderem erfand er ein Verfahren zum Ausbohren von Geschützrohren und großen Dampfzylindern

Wright, Orville, geb. 1871 und gest. 1948 in Dayton (Ohio)  
Wright, Wilbur, geb. 1867 in Millville (Indiana), gest. 1912 in Dayton (Ohio), nordamerikanische Flugzeugtechniker und Pioniere des Motorfluges

Ziolkowski, Konstantin Eduardowitsch, geb. 1857 in Ishewskoje (Gouvernement Rjasan), gest. 1935 in Kaluga, Mathematiker, Erfinder sowie Luft- und Raumfahrtforscher, Begründer des wissenschaftlichen Raumfahrtgedankens

# Personen- und Sachregister

- Agello 128  
Alyattes 7/8  
Anker 120 f.  
Äolipile 130  
Atmosphärische Maschine 73, 77/78, 96–98  
August I. 29
- Barometer 57/58  
Belisar 35/36, 38  
Benz 96, 100, 103  
Bergbau 43, 63, 68/69, 70–72, 75  
Bergmanns Freund, des 68/69  
Boulton 80/81  
Branca 113 f.  
Bunsen 11/12
- Clegg 94  
Copernikus 8
- Daimler 100, 102/103  
Dampf 49, 73, 78, 130  
Dampflokomotive 27, 85, 89  
Dampfmaschine 38, 65, 76, 80–89, 96, 112, 113, 116, 120  
Dampfturbine 27, 114–116  
Diesel 104–107  
Dieselmotor 27, 104, 106/107  
Dynamo 111–113
- Edison 112  
Elektromagnetismus 109, 111, 112  
Elektromotor 33, 38, 109, 111, 119–123  
Energie 13–15, 20 f., 38, 91, 95, 109, 110, 117, 118, 122, 137  
Energieumwandlung 21, 23/24, 25, 27, 49, 65/66, 109, 130  
Erdgas 15  
Erdöl 15
- Faraday 109/110  
Federwerk 48  
Ferdinand III. 51 f.  
Flugzeug 107, 125–129  
Francis 117 f.  
Francisturbine 118  
Fraunhofer, von 10
- Galilei 9  
Gasanstalt 93–95  
Gasmotor 95–100  
Gleichstrommotor 120–122  
Goddard 135, 136  
Guericke, von 52 f.
- Halske 110  
Helium 12/13  
Heron von Alexandria 130  
horror vacui 51, 54  
Huygens 9, 63
- Induktion, elektromagnetische 109
- Jacobi, von 120 f.  
Joule 23 f.  
Justinian 35, 36
- Kalorie 23  
Kaplan 117 f.  
Kaplanturbine 119  
Kepler 9  
Kilopondmeter 23  
Kirchhoff 11/12  
Kolbenmaschine 49, 59–61, 64/65, 72/73, 113  
Kolbenmotor 49, 95, 128  
Kohle 15  
Königstein, Festung 29 f.  
Kyaxares 7
- Langen 98, 100  
Laval, de 115  
Lavaldüse 115  
Lebon 94  
Lenoir 95/96  
Leonardo da Vinci 45 f.  
Leuchtgas 93–95  
Lilienthal 125 f.  
Linde, von 104  
Locer 12  
Ludwig XIV. 39/40, 66  
Luft 57  
Luftdruck 56–61, 63, 73, 97
- Magdeburger Halbkugeln 54, 59–61  
Marly, Wasserhebewerk von 40/41  
Maybach 100  
Mayer, von 20 f.  
Miller, von 117  
Murdock 93/94
- Newcomen 27, 70–73, 98, 107  
Newton 9, 131
- Oberth 135/136, 138  
Oersted 109  
Otto 98–100, 104  
Ottomotor 99/100, 107, 129, 132, 133
- Papin 63 f., 70/107  
Papinscher Topf 63  
Patrizier 55  
Pelton 117 f.  
Peltonturbine 117/118  
Perpetuum mobile 17, 19, 20  
Planetengetriebe 84  
Pneumatisches Feuerzeug 105/106  
Propellertriebwerk 126–129, 132  
Ptolemäus 8  
Pyramiden von Gizeh 29
- Rakete 130/131, 134–138  
Renaissance 45  
Robison 77, 79/80  
Rotor 121  
Rückstoß 128, 130–132
- Saugpumpe 52  
Savery 68/69, 70  
Schiffsmühle 38/39  
Schnellkochtopf 63  
Schwungrad 84, 97, 98, 113



Siemens, von 110–112, 120  
Siemens & Halske 110, 112  
Sonne 7 f., 13–15  
Sonnenfinsternis 8  
Spektrum 9 f.  
Stator 121  
Strahltriebwerk 132–134  
Stufenrakete 137/138  
Sualem 40  
  
Thales von Milet 8, 140  
Tilly 56  
Torricelli 59  
Totpunktstellung 84  
Trägerrakete 134, 137/138  
Tretad 30–33, 45  
Trevithick 86  
Tyndall 22  
  
Vakuum 51, 55, 63, 64, 65  
Verbrennungsmotor 96, 104, 106  
Verne 134 f.  
Versailles 40  
Viertakt-Ottomotor 99  
Vitiges 35

Wärmeäquivalent, mechanisches 23–25  
Wärmekraftmaschine 26/27, 66, 83, 89  
Wärmekraftwerk 116  
Warlitz 132  
Wasserkraftwerk 21, 117  
Wasserkreislauf 13  
Wasserrad 35–41, 45, 140  
Watt 75 f.  
Wendel 128  
Westminster-Abtei 75  
Wilde 111  
Wind 13/14  
Windmotor 14  
Windmühle 13, 14, 45  
Wirkungsgrad 25–27, 37, 73, 89, 91, 93, 96, 100,  
106, 107, 113, 116, 117, 118, 133  
Wright 125 f., 128  
  
Zentrifugalregler 84  
Ziolkowski 135 f., 138

#### BILDNACHWEIS

ADN/Zentralbild (5)  
Archiv (73)  
BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft (1)  
Deutsche Fotothek (8)  
Deutsche Staatsbibliothek (4)  
Karger-Decker (2)  
Kulturhistorisches Museum Magdeburg (3)  
Wanke (1)

ISBN 3-358-00885-1



3. Auflage 1986

© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1984

Lizenz-Nr. 304-270/680/86-(55)

Satz: Ostsee-Druck Rostock

Reproduktionen: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

Karl-Marx-Werk Pößneck V 15/30

LSV 7820

Für Leser von 12 Jahren an

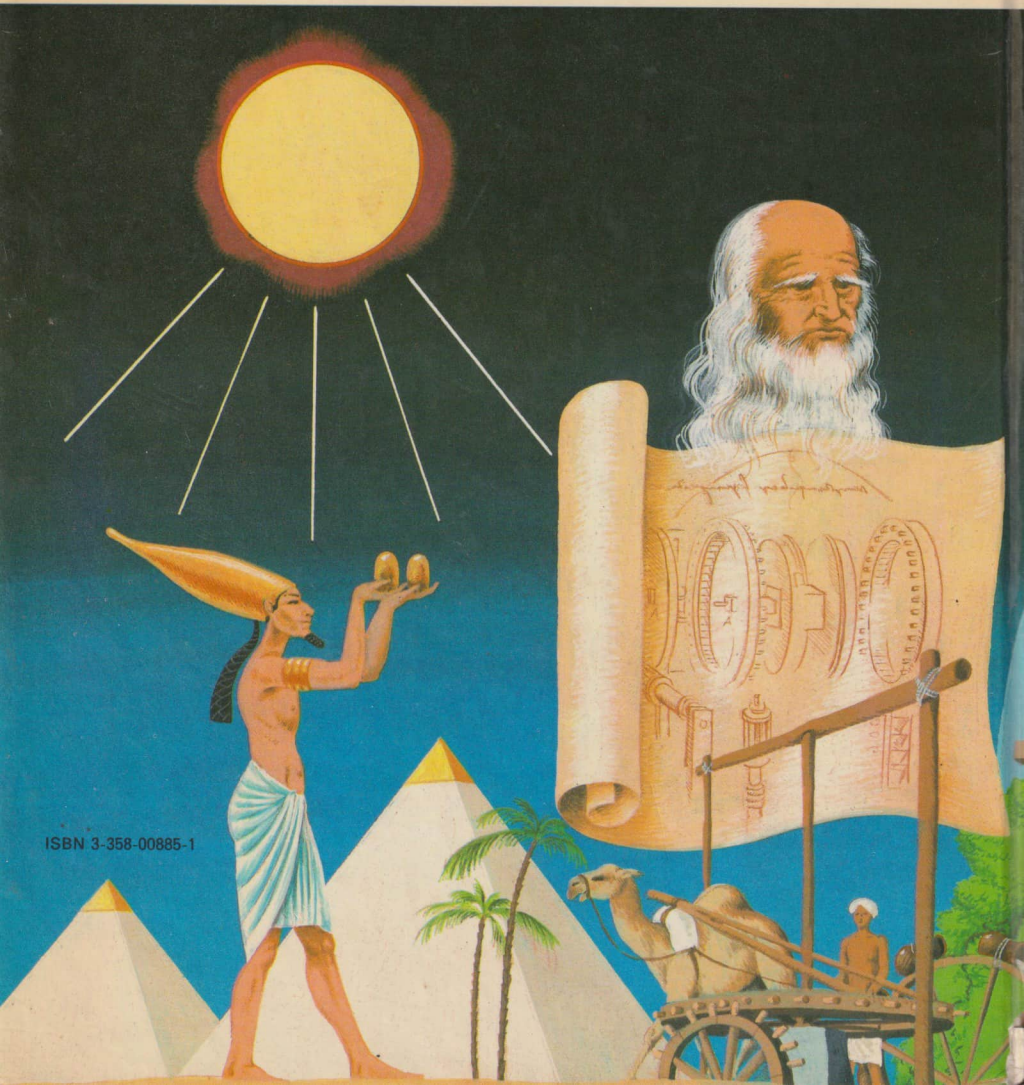
Bestell-Nr. 631 195 5

01950



Die Geschichte der Antriebsmaschinen begann vor einigen tausend Jahren und ist reich an Merkwürdigkeiten und Abenteuern. Mit ihr sind die Namen wagemutiger und ideenreicher Männer verbunden: Leonardo da Vinci, Otto von Guericke, James Watt, Robert Mayer, Rudolf Diesel... Der Autor (Bild links) erzählt von Forschern, die ihr Leben der Wissenschaft und Technik verschrieben hatten, Enttäuschungen hinnehmen mußten oder zu triumphalen Erfolgen gelangten.

DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN



ISBN 3-358-00885-1