

ERFINDER ERFORSCHER ENTDECKER

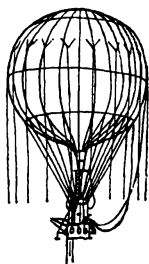
WALTER CONRAD



Walter Conrad

Erfinder • Erforscher • Entdecker

Urania-Verlag
Leipzig Jena Berlin



Bildnachweis

Archiv des Verlages: 28. APN/Nowosti: 8. Zentralbild: 8. Zentrale Bildstelle der Deutschen Reichsbahn: 2. VEB Keramische Werke Hermsdorf: 1. VEB Waggonbau Dessau: 1. VEB Carl Zeiss Jena: 1. Deutsches Museum, München: 1. Siemens-Pressebild: 3. Herbert Görzig, Berlin: 1. Sammlung Hein Wenzel: 1.

Bearbeitung: Ewald Oetzel

1. Auflage 1972. 1.-10. Tausend

Alle Rechte vorbehalten

Copyright 1972

by Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur

VLN 212-475/12/72 · ES 18 A / 20 A

Illustrationen, Einband und Schutzumschlag: Wolfgang Würfel

Typographie: Hans-Jörg Sittauer

Satz und Druck: Buch- und Stahlstichdruck Greiz,

Werk III des VEB Druckwerke Reichenbach,

Werkteil Zeulenroda

Buchbinderische Verarbeitung: VEB Buchbinderei Südwest, Leipzig

Printed in the German Democratic Republic

Inhalt

Vorwort

7

1. Kapitel · Neue Impulse

Kraft aus Feuer und Wasser

10

Mehr Eisen!

23

Transmissionen

27

Die Dampfmaschine auf großer Fahrt

33

2. Kapitel · Neue Fundamente

Licht im Laboratorium

48

Der Weg zum Unteilbaren

58

Elemente in Reih und Glied

64

Die Retorten wachsen

70

Wärme auf der Waage

74

Ein Grundgesetz

79

Elektrizität – von Franklin bis Faraday

84

Elektrotechnik auf dem Vormarsch

94

Erforschte Zusammenhänge

105

3. Kapitel · Neue Wege

Der Draht, der die Meilen kürzte

112

Sprechen statt schreiben

125

Erst waren es nur Formeln	
	136
Motoren für die Straßen	
	146
Vorstoß zu den Wolken	
	158

4. Kapitel · Neue Ideen

An der Wende eines Weltbildes	
	172
Das Elektron taucht auf	
	177
Eine Hand wird durchsichtig	
	185
Strahlendes Salz	
	192
Quanten, Photonen, Energie	
	202
Der Aufbau des Atoms	
	210

5. Kapitel · Neue Horizonte

Naturwissenschaft und Technik heute	
	222
Energie auf weiten Wegen	
	227
Vom Experimentiertisch zum Kernkraftwerk	
	239
Funkwellen an alle	
	253
Die Elektronenröhre macht sich nützlich	
	267
Zwerge werden Riesen	
	276
Maschinen rechnen für uns	
	284
Der Weg in den Weltraum	
	295
Erst am Anfang	
	305

Vorwort

Welche naturwissenschaftlichen Entdeckungen, welche Erfindungen der letzten 200 Jahre haben das Profil von Wissenschaft und Technik in unserer Zeit mitbestimmt? Mit dieser Frage begibt sich Walter Conrad auf einen Streifzug durch die Geschichte der experimentellen Naturwissenschaften – in erster Linie der Physik – und der Technik. Er befaßt sich dabei unter anderem mit Kraft- und Arbeitsmaschinen, mit der Energieübertragung, dem Elektromagnetismus, mit Telegraf und Telefon, Röntgenstrahlen, elektromagnetischen Wellen, Fernsehen, Radar, Elektronik und Rechentchnik, mit der Erforschung des Atoms, der Quantentheorie, der Festkörperphysik und einigen Fragen der Raumfahrttechnik. Darüber hinaus skizziert er auch wichtige Zukunftsaufgaben der jeweiligen Gebiete.

Auf diese Weise behandelt er in technischer Hinsicht wichtige und interessante Entdeckungen und die darauf aufbauenden Erfindungen, beginnend mit der Konstruktion der Dampfmaschine und dem Einsatz der ersten Werkzeug- und Arbeitsmaschinen. Es war nicht die Absicht des Verfassers, eine zusammenhängende Darstellung der Wissenschaftsentwicklung der letzten zwei Jahrhunderte zu geben. Dennoch schien es geboten, dem Leser die Übersicht über die hier behandelten Entwicklungslinien dadurch zu erleichtern, daß an den Anfang oder das Ende der Hauptkapitel einige allgemeine Betrachtungen über den jeweiligen Entwicklungsstand gestellt werden, die es dem Leser ermöglichen, sich in eine komplexe Betrachtung – die Schau des in sich vermaschten und vernetzten Gesamtbildes – zu vertiefen.

Der Autor hat eine Fülle von Material aus verschiedenen Gebieten zusammengetragen. Vor allem aus Platzgründen mußte jedoch darauf verzichtet werden, so überragende theoretische Errungenschaften unseres Jahrhunderts wie die Gravitationstheorie Einsteins, die Quantenmechanik und deren weitreichende Konsequenzen oder die grundsätzliche Bedeutung der Entdeckungen auf dem Gebiet der Erforschung der Elementarteilchen zu interpretieren. Diese Einschränkung war auch notwendig, um die vielschichtigen Problemkreise, die sich ja in einer derartigen Darstellung auch noch zeitlich überlagern müssen, in einigen überschaubaren Kapiteln zu erfassen.

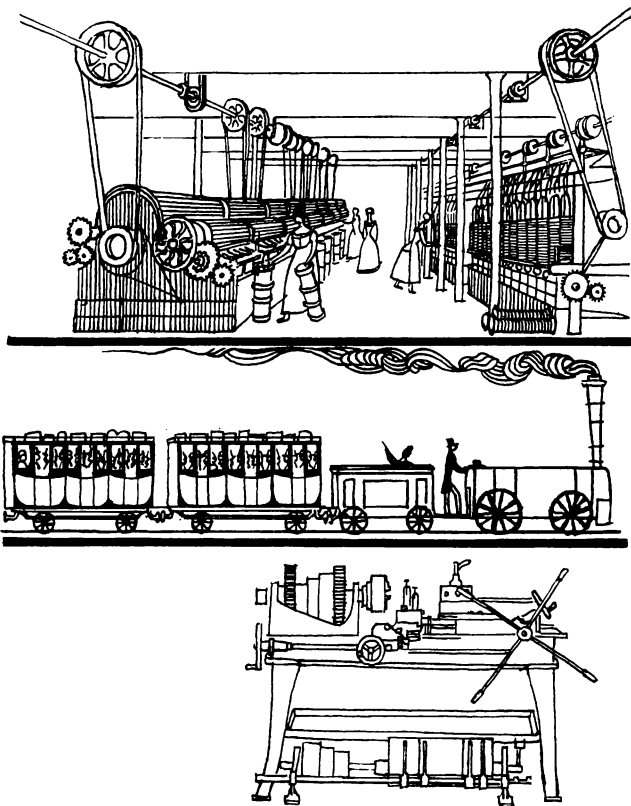
Es kam dem Autor darauf an, die zunehmenden Wechselwirkungen von wissenschaftlicher Forschung und materiellem Produktionsprozeß, von Wissenschaft und Technik zu zeigen. Die Naturwissenschaft erschließt immer neue Bereiche. Sie erforscht immer tiefer die der Produk-

tion zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten der Natur. Und während die Produktion auf diese Weise ständig »wissenschaftlicher« wird, orientiert sich die Wissenschaft zugleich stärker auf die Bedürfnisse der Produktion. Dabei wird deutlich, wie wenig bereits seit dem 18. Jahrhundert »jedwede Erfindung einer Einzelperson gehört«. Denn so sagt Karl Marx: »Allgemeine Arbeit ist jede wissenschaftliche Arbeit, jede Entdeckung, jede Erfindung. Sie ist teils durch die Kooperation der Zeitgenossen, teils durch die Ausnutzung der Vorgänger bedingt.«

Die grundlegende treibende Kraft dieser Entwicklung aber sind die Volksmassen, je näher wir der Gegenwart kommen, um so mehr speziell die Arbeiterklasse und ihre Verbündeten. Ihre Tätigkeit als Produzenten der materiellen Güter schafft die Voraussetzungen für die Entwicklung der Wissenschaften, verwirklicht ihre Ergebnisse in der Praxis und stellt der Forschung neue Aufgaben.

Der Verlag

1. Kapitel • Neue Impulse



Kraft aus Feuer und Wasser

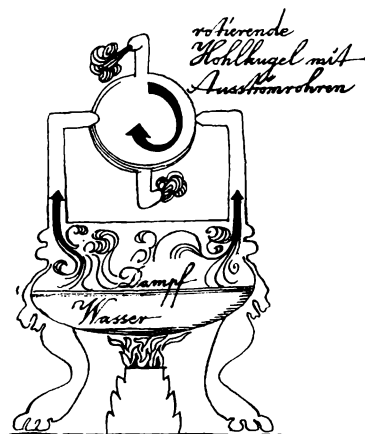
»Feuerkraftmaschine für Hüttenwerke« stand auf den Plänen, die der russische Techniker Iwan Iwanowitsch Polesunow (1729 bis 1766) im Frühjahr 1763 vorlegte. Feuer und Wasser sollten, im Dampf zusammenwirkend, Antriebskraft für die Blasebälge von Hochöfen liefern und die von Jahreszeit und Witterung abhängigen Wasserräder ersetzen.

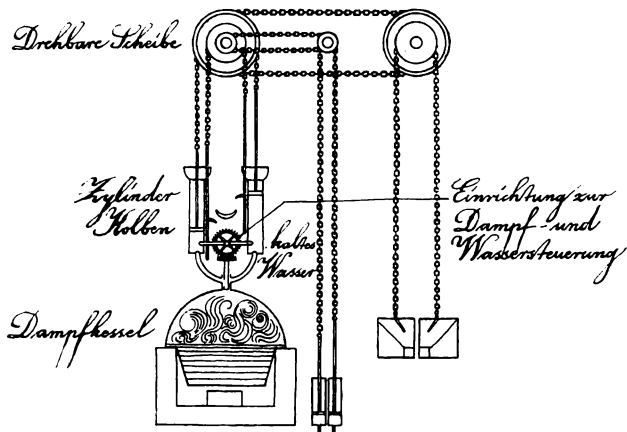
Seit dem Altertum war die Kraft des Dampfes bekannt. Sie hatte Herons Äolipile, eine Dampfreaktionskugel, rotieren lassen (Heron von Alexandria, um 100 v. u. Z.), Tempeltüren geöffnet und zu mancherlei Spielereien herhalten müssen.

Polesunow wollte den Dampf nützliche Arbeit verrichten lassen. Doch der Weg von seinen Plänen bis zu ihrer Verwirklichung war weit. Die exakte Fertigung der Einzelteile stieß auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten; denn einen Maschinenbau, gewohnt, auf Hundertstel eines Millimeters genau zu arbeiten, gab es noch nicht. Außerdem war der Erfinder auf sich allein gestellt. Kaum jemand verstand ihn, niemand unterstützte ihn.

Daher vergingen Jahre, ehe die Maschine fertiggestellt werden konnte. Im August 1766 wurde sie in Betrieb genommen. Dampf drückte einen der beiden Kolben in die Höhe. Dann wurde kaltes Wasser in den Zylinder gespritzt, so daß der Dampf kondensierte. Nun

Heron's Äolipile





Schema der Wärmekraftmaschine von Polzunow

preßte der atmosphärische Druck den einen Kolben nach unten, während der andere Kolben durch den einströmenden Dampf nach oben gedrückt wurde. Dann gelangte das Spritzwasser in den zweiten Zylinder, und das Spiel begann von neuem. Beide Kolben waren mit einer drehbaren Scheibe verbunden, von der aus die Kraft auf die Gebläseinrichtungen der Hochöfen übertragen wurde.

Jedoch Polzunow erlebte die Inbetriebnahme seiner Maschine nicht mehr; er starb wenige Monate vorher. Seine Apparatur arbeitete, wie ihr Erfinder es erwartet hatte. Im frühen Winter 1766 jedoch wurde der Kessel undicht. Niemand machte sich die Mühe, ihn zu reparieren. Im wirtschaftlich zurückgebliebenen Zarenreich fehlte zu dieser Zeit noch das Bedürfnis nach einer derartigen Kraftquelle. Polzunows Dampfmaschine stand für immer still und wurde später verschrottet.

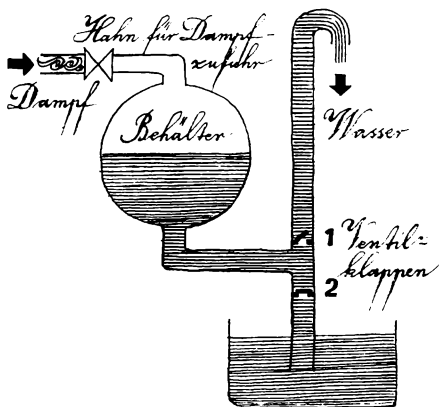
Wasser, das zu ungleichmäßig strömte, um als Kraftquelle zu dienen, hatte Polzunows Erfindertätigkeit angeregt. Englische Techniker hatten andere Gründe, sich der Kraft des Dampfes zuzuwenden. Vor allem drängte die aufkommende kapitalistische Industrie in diese Richtung.

Seit Menschengedenken hatte fast ausschließlich Holz als Brennstoff gedient. Da es in den vergangenen Jahrhunderten in immer größerem Maße im Bauwesen, auf Werften und für hundert andere Zwecke be-

nötigt wurde, litt besonders England seit dem Ende des 16. Jahrhunderts an zunehmender Holzknappheit. Das Aufkommen der kapitalistischen Produktionsweise führte zu einer regelrechten »Brennstoffkrise«, die den Übergang von einer auf Holz und Wasserkraft basierenden Technik zu einer auf der Nutzung des Energieträgers Kohle beruhenden Technik erzwang. Steinkohle war seit langem bekannt, hatte aber nur selten als Brennstoff gedient. Jetzt griff man immer häufiger auf sie zurück.

Infolgedessen nahm die Zahl der Bergwerke zu, in denen die Flöze in immer größeren Tiefen abgebaut werden mußten. Ständig jedoch sickerte Wasser in die Grubenbaue; es mußte unablässig gehoben werden. Das besorgten Pumpen, die von Pferdegepöln betrieben wurden – eine Methode, die weder einfach noch billig war; gab es doch Bergwerke, die Hunderte von Pferden für die Wasserhebung einsetzten. Kein Wunder, daß man sich nach einem wirkungsvolleren Pumpenantrieb umsah.

Der Name »Des Bergmannes Freund«, unter dem Thomas Savery



Prinzip von Saverys Dampfmaschine

Takt 1: Dampfzufuhr geöffnet, Dampf drückt Wasser aus Behälter, Klappe 1 öffnet sich, Klappe 2 schließt sich

Takt 2: Behälter leer, Dampfzufuhr geschlossen. Behälter wird abgekühlt, es entsteht ein luftverdünnter Raum. Klappe 1 schließt sich, Klappe 2 öffnet sich. Wasser wird angesaugt und füllt den Behälter

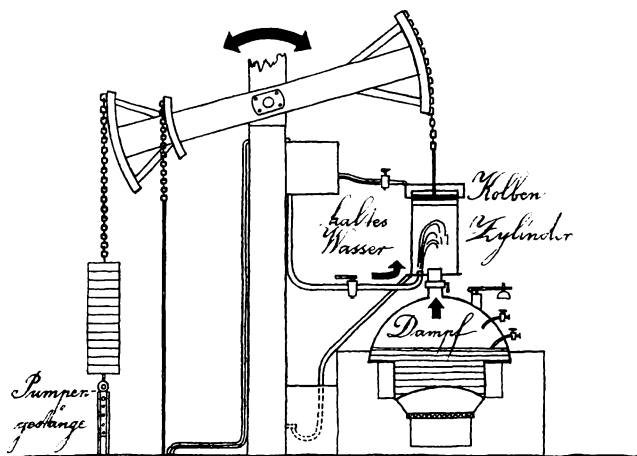
Dann wieder Takt 1 usw.

(1650 bis 1715) seine 1698 patentierte Dampfmaschine der Öffentlichkeit vorstellte, war daher nicht ungeschickt gewählt.

Saverys Maschine war eine Kombination von Dampfkessel und Druck- und Saugpumpe. »Wenn«, so schrieb der im Geiste der jungen Bourgeoisie denkende Erfinder, »bereits heute derartig große Mengen von Blei, Zinn und Kohlen Jahr für Jahr exportiert werden, trotz der großen Kosten und der großen Anstrengungen, denen sich die Bergarbeiter . . . unterziehen müssen, um das Wasser zu entfernen, um wieviel mehr wird dann exportiert werden können, wenn diese Kosten durch die Verwendung einer Maschine außerordentlich verringert werden?«

Saverys kolbenlose Maschine jedoch rechtfertigte solche optimistischen Prognosen nicht. Ihre Betriebssicherheit war gering. Da ein und dasselbe Gefäß abwechselnd erwärmt und abgekühlt werden mußte, verbrauchte sie sehr viel Brennstoff. Wegen des verhältnismäßig hohen Dampfdrucks wurden Kessel und Leitungen oft undicht. Außerdem arbeitete sie sehr langsam. Für Bergwerke war sie daher kaum geeignet. Nur auf einigen Gütern stellte man sie zur Wasserversorgung auf.

Zuverlässiger lief die Dampfmaschine, die der englische Schmiedemeister Thomas Newcomen (1663 bis 1729) im ersten Jahrzehnt des



Prinzip von Newcomens Dampfmaschine

18. Jahrhunderts konstruierte. Der Dampf schob, unterstützt vom Gewicht des niedergehenden Pumpengestänges, einen Kolben im Zylinder hoch. Anschließend wurde die Dampfzufuhr unterbrochen und kaltes Wasser in den Zylinder gespritzt. Der Dampf kondensierte. Unter dem Kolben entstand ein luftverdünnter Raum, in den die Außenluft den Kolben zurückdrückte. Dabei wurde der Pumpenkolben nach oben gezogen und leistete Arbeit. Dieses Spiel wiederholte sich mehrmals in jeder Minute.

Newcomens Maschine war wie die Polsunows eine *atmosphärische Dampfmaschine*: Die eigentliche Arbeit wurde vom Luftdruck verrichtet, dem Dampf kam nur eine Hilfsfunktion zu. Die Maschine war klobig, ihr Brennstoffverbrauch gewaltig – wenn auch ungefähr dreimal geringer als der einer gleich leistungsfähigen Saverymaschine. Man spottete, wer eine Newcomenmaschine benutzen wolle, brauche eine Erzgrube für das Baumaterial und ein Kohlenbergwerk für die Feuerung.

Aber die Vakuumdampfmaschine funktionierte! Von 1712 ab zog sie in Bergwerke ein, wo Kohle in beliebigen Mengen und ohne langen Transportweg zur Verfügung stand. Die Hähne für die Dampfzufuhr und die Kaltwassereinspritzung mußten anfangs bei jedem Arbeitstakt von Hand geöffnet und geschlossen werden. Nach 1718 verband man sie so mit dem auf- und niedergehenden Balancier, daß sich die Maschine selbst steuerte.

Fünzig und mehr Pferde ersetzte schließlich eine Newcomenmaschine. Noch 1830 arbeiteten Maschinen dieses Typs, mit minderwertiger Abfallkohle gespeist, in Gruben.

Konnte die »Feuermaschine« aber nur Wasser pumpen? Sollte sich ihre imponierende Stärke nicht einsetzen lassen, um Räder zu drehen und Maschinen zu treiben?

Eine revolutionäre Veränderung der Produktionsweise bahnte sich an. Insbesondere in England hatten sich seit dem 16. Jahrhundert Manufakturen und die kapitalistische Kooperation entwickelt. Durch die Zerlegung des Arbeitsprozesses in Teilarbeiten konnte die Fertigkeit des Arbeiters um ein Mehrfaches wachsen und damit auch die Anzahl der Produkte, die der Unternehmer – bei gleichem Lohn insgesamt, bei sinkendem Lohn pro Erzeugnis – mit steigendem Profit absetzen konnte.

Das neue System bewährte sich. Es wurde ausgedehnt und verfeinert. Die Arbeiter erlangten mit der Zeit eine große Geschicklichkeit, weil sie sich nur noch auf wenige Handgriffe zu konzentrieren hatten. Zerlegung des Arbeitsprozesses und Spezialisierung der Arbeit gingen Hand in Hand. Die Intensität der Arbeit wurde größer.

In den Manufakturen übertraf die Arbeitsproduktivität die der Handwerksbetriebe sehr bald um ein Vielfaches. So produzierten z. B. zehn in einer Manufaktur zusammenwirkende Arbeiter nahezu 50 000 Nadeln am Tage, was der Leistung von etwa 250 »für sich« arbeitenden Nadelmachern, die jeden Arbeitsgang selbst ausführten, entsprach.

Obwohl die Produktion vielerorts und in mannigfachen Zweigen erweitert wurde, reichte sie nicht aus, den im 18. Jahrhundert rasch zunehmenden Bedarf an Waren für den inneren und äußeren Markt zu decken.

Wenn sich auch die Manufakturen in Arbeitsweise, Größe und Arbeitsorganisation von den Werkstätten früherer Jahrzehnte unterschieden, ihre Grundlage war nach wie vor eine handwerksmäßige Produktion. Sie hing von der Geschicklichkeit, der Kraft und der Ausdauer des Arbeiters ab, der ja nur über zwei Hände verfügte, die *ein* Werkzeug führen konnten.

Außer diesen Werkzeugen und einfachen Vorrichtungen gab es nur wenige technische Hilfsmittel. Lediglich vereinzelt tauchten Maschinen auf, die die Arbeit erleichterten. Energiequelle, Antriebsmotor war, sofern ein solcher neben der Muskelkraft überhaupt benötigt wurde, vorwiegend das Wasserrad.

Allerdings hatten Arbeitsteilung und Arbeitsweise in den Manufakturen die Richtung für die künftige Entwicklung gewiesen: Wenn, so fragte man sich, bei der Herstellung eines Produkts nur einfache Handgriffe und Bewegungen auszuführen waren, sollte es dann nicht möglich sein, dem Arbeiter das Werkzeug aus der Hand zu nehmen und von einer Maschine führen zu lassen? Konnte eine solche Maschine statt mit nur zwei nicht mit zehn, zwanzig, vielleicht fünfzig »künstlichen Händen« zugleich arbeiten?

Viele Menschen fanden damals in den zahlreichen Textilbetrieben Beschäftigung, die auch im Gegensatz zu anderen weniger durch Zunftschranken behindert waren und deren Erzeugnisse, Woll- und Baumwollstoffe, nicht nur im eigenen Land verbraucht, sondern in immer größeren Mengen exportiert wurden. Außerdem erforderte die Mechanisierung dieses Industriezweiges verhältnismäßig geringe Investitionen, und diese zahlten sich schnell aus. Diese günstigen Aussichten auf Profit waren entscheidend dafür, daß die industrielle Revolution in diesem Industriezweig begann, besonders in der Baumwollindustrie, die den größten Absatz versprach. Die Ausweitung der Produktion vollzog sich auch hier zunächst im Rahmen der überlieferten Technik. Bald aber konnte der wachsende »Garnhunger« nicht mehr mit den bisherigen

Methoden gestillt werden, zumal es infolge der Ausweitung der Produktion nicht mehr genügend gelernte »Garnmacher« gab. Daher zogen *Arbeitsmaschinen* zuerst in die Textilindustrie ein.

John Kay (1704 bis 1774) hatte bereits 1733 mit seinem *fliegenden Weberschiffchen* den Handwebstuhl verbessert, so daß ein Weber jetzt so viel schaffte wie vorher zwei; außerdem konnte er viel breitere Stoffbahnen weben.

Bessere Webstühle jedoch brauchten mehr Garn. Selbst Hunderttausende Hausspinnräder konnten es nicht liefern. Versuche mit Spinnmaschinen verliefen aber zunächst wenig erfolgversprechend. Erst die in den sechziger Jahren von James Hargreaves (um 1740 bis 1778) entwickelte *Spinning Jenny* war brauchbar. Es war eine verhältnismäßig wenig aufwendige Maschine, die sich ein geschickter Handwerker selbst bauen konnte. Sie verlangte auch nur Handantrieb, was angesichts der damaligen Holzknappheit ein Vorteil war. 8 bis 20 Spindeln drehten sich anfänglich auf ihrem Rahmen; später waren es 80. Weitere Spinnmaschinen, z. B. die Flügelspinnmaschine von Richard Arkwright (1732 bis 1792) und die periodisch arbeitende Mulemaschine von Samuel Crompton (1735 bis 1827), folgten. Diese Spinnmaschinen boten nun die Möglichkeit, Handarbeit durch geeignete Mechanismen zu ersetzen. An ihnen konnten Menschen arbeiten, die rein mechanische Handgriffe zu verrichten hatten.

Jetzt gab es Garn im Überschuß, soviel, daß es die Webereien nicht verarbeiten konnten, wenn nicht auch sie Maschinen einsetzten. Der 1785 von Edmund Cartwright (1743 bis 1823) erfundene *mechanische Webstuhl* machte den Anfang. Er ersetzte ein gutes Dutzend Weber am Handwebstuhl.

Das Wechselspiel zwischen Spinnerei und Weberei hatte eine sprunghafte Erhöhung der Arbeitsproduktivität in der Textilindustrie zur Folge. Innerhalb eines Jahrhunderts, von 1700 bis 1800, stieg der Wert der von England exportierten Baumwollstoffe um mehr als das 230fache. 1815 drehten sich in der englischen Baumwollindustrie mehr als 4 Millionen Spindeln.

Maschinen liefen in Spinnereien, Webereien, bald auch in Bergwerken, in metallurgischen Betrieben und anderen Industriezweigen. Menschliche und tierische Muskelkräfte reichten nicht mehr aus, sie in Bewegung zu setzen. Die Kraft des Windes war zu unstat. Das Wasserrad hatte zwar manche Verbesserung erfahren, war aber vom jeweiligen Pegelstand abhängig und beeinträchtigte die Standortwahl für Fabriken.

Diesen Mangel an Antriebskraft konnte nur eine vielseitig einsetz-

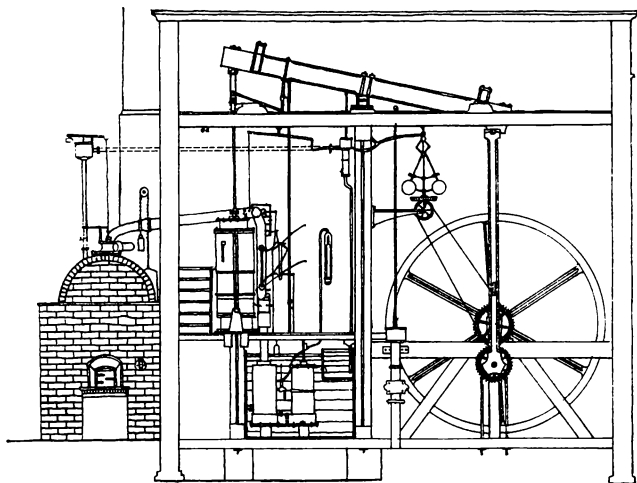
bare Kraftmaschine beseitigen, die mehrere Arbeitsmaschinen gleichzeitig und gleichmäßig antrieb und sich überall aufstellen ließ.

Die Newcomenmaschine war für solche Zwecke ungeeignet. Einmal verhinderte ihr Brennstoffbedarf jede Anwendung in größerer Entfernung von Kohlengruben; zum anderen führte sie nur hin- und hergehende Bewegungen aus, während der Antrieb von Arbeitsmaschinen eine gleichmäßige Drehbewegung voraussetzte.

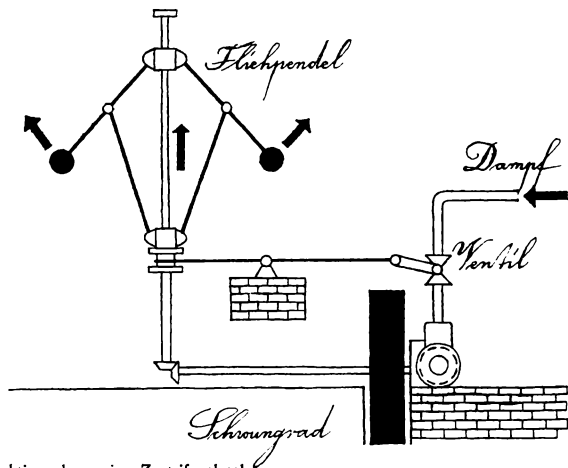
Um wenigstens diesen Mangel zu umgehen, ließ man in einigen Fabriken von einer Newcomenmaschine Wasser in hochgelegene Becken pumpen. Es floß nach unten zurück und setzte dabei Wasserräder in Bewegung. Der Wirkungsgrad solcher Anordnungen war jedoch so gering, daß sie allenfalls als Notlösung dienen konnten.

Zweierlei war demnach vor allem zu tun, ehe aus der Dampfmaschine eine vielseitig anwendbare Antriebsmaschine werden konnte: Ihr Kohleverbrauch mußte so vermindert werden, daß die Aufstellung nicht am Brennstofftransport scheiterte. Außerdem war die Kolbenbewegung in eine Drehbewegung umzuwandeln.

Beide Aufgaben wurden von James Watt (1736 bis 1819), dem berühmtesten Dampfmaschinenkonstrukteur, gelöst.



Eine Maschine mit revolutionierendem Einfluß: die doppelwirkende Dampfmaschine von Watt



Funktionsschema eines Zentrifugalreglers

Bei zunehmender Drehgeschwindigkeit bewegen sich die Kugeln in Pfeilrichtung. Dabei drosseln sie über ein Gestänge die Dampzufuhr

Watt, der als Universitätsmechaniker in Glasgow tätig war, kannte die Mängel der Dampfmaschine. An Modellen, die er reparieren sollte, studierte er ihre Ursachen.

Er fand heraus, daß der größte Teil der im Dampf enthaltenen Energie nutzlos verloren ging. Für jeden Arbeitshub mußte der Zylinder abgekühlt werden, damit der Dampf kondensierte und einen luftverdünnten Raum hervorrief. Der beim nächsten Arbeitsspiel einströmende Dampf erhitze den Zylinder von neuem. Das Wechselspiel Abkühlen – Erhitzen wiederholte sich ständig und kostete unnütz Kohle.

In der Patentschrift, die er am 25. April 1769 einreichte, beschrieb Watt den Ausweg: »Meine Methode der Verminderung des Verbrauchs an Dampf und, hierdurch bedingt, des Brennstoffs in Feuermaschinen setzt sich aus folgenden Prinzipien zusammen:

Erstens, das Gefäß, in welchem die Kräfte des Dampfes zum Antrieb der Maschine Anwendung finden sollen, welches bei gewöhnlichen Feuermaschinen Dampfzylinder genannt wird und welches ich Dampfgefäß nenne, muß während der ganzen Zeit, wo die Maschine arbeitet, so heiß erhalten werden, als der Dampf bei seinem Eintritt ist, und zwar

erstens dadurch, daß man das Gefäß mit einem Mantel aus Holz oder einem anderen die Wärme schlecht leitenden Material umgibt, daß man dasselbe zweitens mit Dampf oder anderweitigen erhitzten Körpern umgibt und daß man drittens darauf achtet, daß weder Wasser noch ein anderer Körper von niedrigerer Wärme als der Dampf in das Gefäß eintritt oder dasselbe berührt.

Zweitens muß der Dampf bei solchen Maschinen, welche ganz oder teilweise mit Kondensation arbeiten, in Gefäßen zur Kondensation gebracht werden, welche von den Dampfgefäßen oder -zylindern getrennt sind und nur von Zeit zu Zeit mit diesen in Verbindung stehen. Diese Gefäße nenne ich Kondensatoren; sie sollen, während die Maschinen arbeiten, durch Anwendung von Wasser oder anderer kalter Körper mindestens so kühl erhalten werden als die die Maschine umgebende Luft.«

Die Anwendung dieser Prinzipien – gleichbleibende, hohe Zylinder-temperatur und Kondensation außerhalb des Zylinders – übertraf alle Erwartungen: Bei gleicher Leistung sank der Kohleverbrauch gegenüber der Newcomenmaschine auf rund ein Viertel.

Watt hatte weder die finanziellen Mittel noch die technischen Möglichkeiten, Dampfmaschinen herzustellen. Er ging daher auf das Angebot des Birminghamer Fabrikanten Matthew Boulton (1728 bis 1809) ein, seine Pläne in dessen gut ausgerüsteten Werkstätten Gestalt annehmen zu lassen. Die Boulton-Wattsche Maschinenfabrik wurde zur Geburtsstätte Hunderter Dampfmaschinen. 1776 nahm die erste ihren Betrieb in einem Hüttenwerk auf; weitere für Gruben, metallurgische Betriebe und für die Wasserversorgung folgten.

Die ersten Dampfmaschinen Watts waren *einfachwirkend*. Nur von einer Seite her drückte der Dampf auf den Kolben. Damit wurden nach wie vor Kohle und nutzbare Betriebszeit vergeudet. Sollte es, so überlegte Watt, nicht möglich sein, den Kolben abwechselnd von beiden Seiten antreiben zu lassen? Seine *doppeltwirkende* Maschine, bei der dieser Gedanke in den siebziger Jahren verwirklicht wurde, unterschied sich grundlegend von ihren Vorläufern:

Der Zylinder war beiderseits des Kolbens luftdicht abgeschlossen. Ventile – später Schieber – verbanden den Raum über und unter dem Kolben abwechselnd mit dem Kondensator und mit der Dampfzuleitung. Strömte Dampf unter den Kolben, bestand eine Verbindung zwischen Kondensator und Raum über dem Kolben. Trat Dampf über dem Kolben ein, wurde der untere Hohlraum mit dem Kondensator verbunden.

Watt fand eine weitere Möglichkeit, Brennstoff zu sparen: Er hielt

die Dampfzufuhr nicht während des ganzen Kolbenhubs aufrecht, sondern sperrte sie schon vorher ab. Dadurch konnte auch das Ausdehnungsbestreben des Dampfes zur Arbeitsleistung genutzt werden. Mit der doppeltwirkenden Dampfmaschine löste Watt gleichzeitig die zweite Aufgabe, die Umwandlung der geradlinigen Kolbenbewegung in eine Drehbewegung. Als einfachste Möglichkeit hierfür bot sich der Kurbeltrieb mit Pleuelstange und Kurbel an. Diesen jedoch hatte sich ein anderer Engländer schützen lassen. Watt war gezwungen, das Patent zu umgehen, und fand mehrere zweckentsprechende Lösungen. Eine davon, das *Planetengetriebe*, eine Sonderform des Zahnradgetriebes, wird noch heute im Maschinenbau benutzt.

Eine Dampfmaschine, die Arbeitsmaschinen antrieb, durfte weder stoßen noch rucken oder ihre Drehzahl bei wechselnder Belastung erheblich ändern. Watt erreichte den gleichmäßigen Lauf folgendermaßen: Kleinere Schwankungen glich ein massiges Schwungrad aus. Um die Drehzahl bei Belastungsänderungen konstant zu halten, versah er seine Maschine mit einem *Zentrifugalregler*. Dieser drosselte selbsttätig die Dampfzufuhr, sobald die Maschine wegen abnehmender Belastung schneller zu laufen begann; er öffnete die Dampfzuleitung, wenn die Drehzahl durch stärkere Belastung der Maschine zu sinken anfang.

Der Zentrifugalregler ist eines der ersten Beispiele für die Anwendung einer selbsttätigen Regelung in der Technik.

Im Jahre 1784 erhielt Watt das Patent auf seine verbesserte Maschine. Sie lief schon wenige Jahre später in der Textilindustrie und in anderen Industriezweigen und wurde zum Vorbild aller seither gebauten Dampfmaschinen.

Die Kunden hatten mit den Vorläufern der Wattschen Maschinen nicht immer gute Erfahrungen gemacht. Sie verlangten daher, ehe sie sich zum Kauf einer Dampfmaschine entschlossen, genaue Angaben über Leistung und Brennstoffverbrauch. Sie wollten wissen, wie viele Pferde eine Dampfmaschine ersetzte oder um wieviel bei der Wattschen Dampfmaschine der Kohleverbrauch geringer als bei Newcomenmaschinen war.

Boulton und Watt brauchten Zahlenangaben nicht zu scheuen. Ihre Maschinen leisteten 20 bis 50 Pferdestärken; der Brennstoffverbrauch lag bis zu sechsmal niedriger als der einer gleich leistungsfähigen Newcomenmaschine. Das war eine zugkräftige Werbung, und die Maschinenfabrik litt nie unter Auftragsmangel.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts zählte man in England etwa 1 500 Dampfmaschinen. Sie machten sehr viele Fabriken unabhängig von Wasser-, Wind- und dem größten Teil der Muskelkraft. Sie ermöglichten

es, die neu installierten Arbeitsmaschinen auch ökonomisch anzutreiben. Durch ihren Einsatz wurde später auch das Verkehrswesen revolutioniert.

In Rußland, in den deutschen Ländern und zunächst auch in Frankreich, wo die feudalen Schranken für eine industrielle Entwicklung noch nicht gefallen waren, wagte man sich erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts an die Konstruktion solcher Dampfmaschinen.

Man nutzte dabei die Erfahrungen der englischen Dampfmaschinenbauer, mußte aber zugleich darauf bedacht sein, die sorgfältig und weitreichend formulierten Wattschen Patente nicht zu verletzen. Mitunter war es mehr als eine bloße Nutzung; denn manche Dampfmaschinen entstanden nach Skizzen, die von Besuchern der Boulton-Wattschen Fabrik heimlich zu Papier gebracht worden waren.

Auch beim Import von Dampfmaschinen (wobei die Mechaniker zunächst »mitgeliefert« werden mußten) verhielt man sich anfänglich recht zögernd. 1788 wurde in Preußen in einem Bergwerk die erste Dampfmaschine aufgestellt; die zweite folgte erst 1802 in der Berliner Königl. Porzellanmanufaktur.

Watts Dampfmaschine hatte es ermöglicht, daß Kohlengrube und Dampfmaschine »auseinanderrückten«. Das freilich konnte auf die Dauer nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Kohleverbrauch noch immer hoch, der Wirkungsgrad dementsprechend niedrig war. Lange Wagenkolonnen mußten ständig unterwegs sein, um den Fabriken, in denen Dampfmaschinen liefen, genug Brennstoff zuzuführen. Sollten diese Wagenzüge kürzer werden, waren systematische Verbesserungen der Dampfmaschine nötig. Boulton und Watt zeigten sich wenig an ihnen interessiert, weil sie sich durch ihre Patente nahezu eine Monopolstellung im Dampfmaschinenbau gesichert hatten. Wer immer bis zur Jahrhundertwende die Dampfmaschine vervollkommen wollte, lief Gefahr, mit diesen Schutzrechten zu kollidieren. Patentfähige Neuerungen aber konnten ihren Profit nur schmälern.

Das mußte beispielsweise Jonathan Hornblower (1725 bis 1812) erfahren. Um das Arbeitsvermögen des sich ausdehnenden Dampfes möglichst vollständig auszunutzen, beabsichtigte er, ihn nacheinander mehreren Zylindern zuzuleiten, deren Kolben eine gemeinsame Welle drehten. Watts Patente verhinderten zunächst die Verwirklichung dieses Gedankens. Freilich wäre eine solche »Verbundmaschine« bei den damals üblichen Dampfdrücken auch kaum erfolgversprechend gewesen. Watts Maschinen waren *Niederdruckmaschinen*; ihr Dampfdruck übertraf den Atmosphärendruck nur wenig. Man zweifelte zwar nicht daran, daß mit

steigendem Dampfdruck die Maschinen kleiner, leichter und leistungsfähiger werden würden; doch ehe *Hochdruckmaschinen* gebaut werden konnten, mußten drucksichere Kessel, Dichtungen und Sicherheitsvorrichtungen zur Verfügung stehen.

Um die Jahrhundertwende waren die technologischen Voraussetzungen hierfür erfüllt. Auch im äußeren Bild der Dampfmaschine kam die fortgeschrittene Technologie zum Ausdruck. Um 1800 wich der hölzerne Balancier einem gußeisernen Schwingbalken; damit hatte Holz als Werkstoff beim Dampfmaschinenbau endgültig ausgedient. Gebäude und Maschine waren nicht mehr, wie im Anfang, eine konstruktive Einheit. Die Maschinen wurden jetzt so ausgeführt, daß man sie überall aufstellen konnte. Wenig später bildeten sich die Bauformen mit stehenden oder liegenden Zylindern heraus, die seitdem den Dampfmaschinenbau bestimmten.

Die Hochdruckmaschine, deren Dampfdruck ein Vielfaches des Luftdrucks betrug, wurde von mehreren Erfindern gleichzeitig entwickelt.

1797 erhielt der in Philadelphia (USA) geborene Oliver Evans (1755 bis 1819) ein Patent auf eine Hochdruckmaschine, an der er seit Jahren gearbeitet hatte. In England folgte ihm 1802 Richard Trevithick (1771 bis 1833). Auch der deutsche Ingenieur Ernst Alban (1791 bis 1856) war um die Hochdruckmaschine bemüht.

Die Hochdruckmaschinen setzten sich rasch durch. Im Laufe des 19. Jahrhunderts erreichten sie, sehr häufig als Verbundmaschinen ausgeführt, Leistungen von 30 000 Pferdestärken und mehr. Sie trieben Werkzeugmaschinen, Mühlgänge und Webstühle, Walzwerke, Gebläse und Aufzüge, Pumpen, Dynamomaschinen und Dreschsätze; zugleich waren sie Voraussetzung für die Anwendung der Dampfmaschine im Verkehrswesen.

Die Dampfmaschine wurde zur beherrschenden Kraftquelle. Aus der einen Dampfmaschine zum Beispiel, die 1788 in Preußen aufgestellt worden war, waren hundert Jahre später rund 50 000 geworden – Lokomotiv- und Schiffsmaschinen nicht mitgezählt.

Eines allerdings konnte auch die Hochdruckmaschine nicht ändern: Trotz aller Bemühungen blieb der Wirkungsgrad der Dampfmaschine, der ersten universalen Antriebsmaschine, niedrig. Sobald daher wirtschaftlichere und einfacher zu handhabende Antriebsmotoren entwickelt waren, begann sie an Bedeutung zu verlieren. Heute werden kaum noch Dampfmaschinen gebaut.

Mehr Eisen!

Wann zum erstenmal Eisen erschmolzen wurde, wissen wir nicht genau. Sicher ist, daß sich vor mehr als 3 000 Jahren eiserne Waffen, Werkzeuge und Geräte vom Mittelmeerraum her auszubreiten begannen. Sie übertrafen die aus Bronze gefertigten nicht nur an Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit. Sie waren bald auch billiger. Kupfer und Zinn, die Ausgangsstoffe für Bronze, konnten nur an wenigen Orten gefördert werden. Zur Eisengewinnung dagegen brauchte man lediglich Erz und Brennholz. Beides gab es nahezu überall.

Wegen ihrer Seltenheit und ihres hohen Preises war die Bronze nur einer kleinen Oberschicht zugute gekommen. Eisen dagegen verbreitete sich rasch auch außerhalb der Städte. Wälder ließen sich mit eisernen Äxten viel leichter roden als mit Steinwerkzeugen. Eiserne Sägen und andere Hilfsmittel konnten den Werkstoff Holz schneller und genauer bearbeiten. Egge, Sichel und Pflug aus Eisen führten zu höheren Ernteerträgen und ermöglichten es, bei gleichem Arbeitsaufwand größere Flächen zu bebauen.

Eisen war verhältnismäßig einfach zu gewinnen. Die Methode änderte sich viele Jahrhunderte hindurch kaum. Gruben oder niedrige Lehmherde wurden mit Erz und Holzkohle beschickt. Sie wurde entzündet und ihre Glut durch primitive Blasebälge – bisweilen auch, etwa an Hängen, durch natürlichen Luftzug – angefacht.

Das Eisen bildete einen teigigen, wenige Kilopond schweren Klumpen, der stark mit Schlacke durchsetzt war. Mehrmaliges Erhitzen und Ausschmieden trieb die Schlacke aus diesem »Renneisen«. Schließlich wurde es durch Schmieden in die gewünschte Form gebracht.

Bis ins 14. Jahrhundert war dieses umständliche, wenig produktive Verfahren allgemein in Anwendung. Auf die Dauer jedoch konnte es den wachsenden Eisenbedarf nicht decken.

Höhere »Rennherde« und eine verbesserte Luftzufuhr sollten mehr Eisen liefern. Das Ergebnis dieser Bemühungen war überraschend: Im unteren Teil der Öfen stieg die Temperatur häufig so hoch, daß das Eisen flüssig wurde.

Zwar konnte man dieses Eisen, wie früher die Bronze, gießen. Schmieden aber ließ es sich nicht; es war brüchig, spröde und daher für die Herstellung von Werkzeugen und Waffen ungeeignet.

Um schmiedbares Eisen zu erhalten, war ein zweiter Arbeitsprozeß nötig, das »Frischen«. Bei reichlicher Zufuhr von Gebläseluft wurde das Eisen in Holzkohlenglut auf dem »Frischherd« nochmals geschmol-

zen. Dabei wurde ihm ein Teil des Kohlenstoffs entzogen; schmiedbares Eisen blieb übrig. Die Eisengewinnung war damit komplizierter geworden. Zugleich aber ermöglichte die Zweiteilung in Schmelzen und Frischen die Gewinnung größerer Eisenmengen. Außerdem lernte man, durch entsprechende Führung des Schmelzprozesses die Qualität des Eisens zu beeinflussen, obgleich man noch keine Vorstellung von den beim Schmelzen und Frischen ablaufenden chemischen Vorgängen hatte.

Höhe und Fassungsvermögen der Schmelzöfen stiegen. Etwa vom 15. Jahrhundert ab entstanden in Europa *Hochöfen*. Sie lieferten bis zu einer Tonne *Robeisen* am Tage – mehr als das Hundertfache der einstigen Rennöfen (Hochöfen heute: über 2 000 t je Tag).

Die Windzuführung wurde vervollkommen. Immer häufiger übernahmen Wasserräder den Antrieb der Gebläse.

Brennstoff der Hochöfen war Holzkohle, die aus Tausenden von Meilern stammte. Was kaum jemand vorausgesehen hatte, trat ein: Bereits im 17. Jahrhundert rückten in England die Wälder immer weiter von den Hütten ab. Empfindlicher Brennstoffmangel war die Folge. Hochöfen mußten ihren Betrieb einstellen, wurden mitunter sogar auf Geheiß der Regierung abgerissen. In anderen Ländern wie in Schweden, ja sogar im waldreichen Rußland ergab sich, wenn auch erst Jahrzehnte später, eine ähnliche Lage.

Konnte kein anderer Brennstoff die Stelle der Holzkohle einnehmen? War sie nicht durch die reichlich vorhandene Steinkohle zu ersetzen? Englische Hüttenfachleute und Erfinder, die schon zu Beginn des 17. Jahrhunderts entsprechende Versuche unternahmen, mußten sehr bald erkennen, daß ihr Weg nicht gangbar war. Die Steinkohle bildete große Schlackenklumpen im Schmelzofen. Ihre zahlreichen Beimengungen machten das erschmolzene Eisen wertlos.

Holz mußte, ehe es in der Metallurgie Verwendung fand, in Holzkohle umgewandelt werden. Daher lag es nahe, die Steinkohle für Hüttenzwecke einem ähnlichen Prozeß zu unterziehen.

Noch in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurden in England mehrere Patente auf die Verkokung der Steinkohle beantragt und erteilt. Sie hatten jedoch keine praktischen Auswirkungen. Man wußte wenig von dem, was im Hochofen vorging, und es fehlte den Versuchen infolgedessen an der nötigen Systematik und Folgerichtigkeit. Außerdem riefen die Experimente den Argwohn derjenigen Hüttenbesitzer hervor, die noch Brennstoff genug hatten und ein Sinken der hohen Eisenpreise befürchteten. Lieber noch nahmen sie in Kauf, daß Eisen, vornehmlich aus Rußland, importiert wurde.

Erst im 18. Jahrhundert, als die aufkommende kapitalistische Industrie Englands ihre Forderungen anmeldete, gleichzeitig aber gerade in diesem Lande zahlreiche Hüttenbetriebe wegen Brennstoffmangel stilllagen, konzentrierte man sich verstärkt darauf, Holzkohle für den Hochofenprozeß entbehrlich zu machen. Daß dies gelang, ist vor allem das Verdienst des Hüttenbesitzers Abraham Darby (1711 bis 1763).

An Versuche seines Vaters anknüpfend, griff er das Brennstoffproblem erneut auf. Solange er mit Steinkohle experimentierte, waren ihm gleiche Mißerfolge beschieden wie seinen Vorgängern. Auch das Mischen von Stein- und Holzkohle erwies sich als zwecklos. Erst Koks, den Darby aus schwefelarmer Kohle erhalten hatte, führte zu brauchbaren Ergebnissen.

1735 hatte Darby sein Ziel erreicht. Das mit Koks erschmolzene Eisen hielt Vergleichen mit dem Holzkohleneisen stand. Die Zeit dafür war mehr als reif; denn die Mehrzahl der englischen Hochöfen war aus Brennstoffmangel erloschen.

Durch die Ablösung der Holzkohle war eines der Haupthindernisse in der Eisengewinnung beseitigt. Ein rascher Aufschwung der Hüttenindustrie war die Folge. Sie stand in einem sehr engen Zusammenhang mit der beginnenden industriellen Entwicklung. Innerhalb von fünf Jahrzehnten – von 1740 bis 1790 – stieg die Eisenproduktion auf mehr als das Dreifache (auf 70 000 t) an. 100 Jahre nach Darbys Versuchen hatte sie sich um mehr als das Sechshundertfache ausgeweitet.

Das Eisen, das die mit Koks beschickten Hochöfen lieferten, war gut gießbar. Das führte zu wichtigen Verbesserungen der Gießereitechnik und unter anderem auch dazu, daß man die bisher weitgehend aus Holz angefertigten »unbeweglichen« Teile von Maschinen, wie Rahmen, Gestelle usw., aus Gußeisen herzustellen begann.

Schmieden ließ sich das Hochofeneisen nicht. Werkzeuge, Waffen und in zunehmendem Maße auch bewegte und beanspruchte Maschinenteile wurden aus schwedischem, russischem oder indischem Stahl angefertigt, der im *Frischverfahren* gewonnen wurde.

Damit war den britischen Hüttentechnikern die nächste große Aufgabe gestellt: Das Roheisen der Hochöfenabstiche mußte in schmiedbares Eisen umgewandelt werden.

Wahrscheinlich hat Benjamin Huntsman (1704 bis 1776) weniger an die teuren Stahlimporte als an seinen eigenen Bedarf gedacht, als er sich metallurgischen Versuchen zuwandte. Er war Arzt und Uhrmacher zugleich; für beide Berufe brauchte er vorzüglichen Stahl – sei es für chirurgische Instrumente, sei es für Uhren.

Huntsman wußte, wo die Ursachen schlechter Qualität beim Frischen zu suchen waren: Das Eisen nahm Schwefel und Verbrennungsprodukte auf. Also mußte man Schmelze und Verbrennungsprodukte während des Umschmelzens sorgfältig voneinander getrennt halten. Das erreichte Huntsman, indem er das Schmelzgut in Tontiegel einschloß, die auf die nötige Temperatur erhitzt wurden.

Der so erhaltene *Tiegelstahl* besaß vorzügliche Eigenschaften. Er stand jedoch lediglich in geringen Mengen zur Verfügung und war so teuer, daß er nur für Spezialzwecke eingesetzt werden konnte. Den immer größer werdenden Stahlbedarf konnte er nicht decken.

Huntsmans Prinzip, Eisen und Verbrennungsprodukte voneinander zu trennen, war aber richtig. Nur mußte es so verändert werden, daß es sich auf größere Einsatzmengen anwenden ließ. Hierfür schieden kleine Tiegel aus.

Henry Cort (1740 bis 1800) schlug, an Versuche einiger Vorgänger anknüpfend, einen anderen Weg ein. Er brachte das zerkleinerte und vorgewärmte Roheisen zusammen mit eisenoxidreichen Schlacken in einen *Flammofen*. Dieser war so gebaut, daß eine »Feuerbrücke« den »Herd« gegenüber der Feuerung abschloß. Nur die heiße, sauerstoffhaltige Verbrennungsluft strich über den Einsatz. Dabei verband sich ein großer Teil des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffs mit Sauerstoff.

Um den Vorgang zu fördern und zu beschleunigen, mußte die Schmelze ständig mit langen Stangen durchgerührt werden. Diesem Arbeitsgang, der wegen des hohen Kraftaufwandes in glühender Hitze die Gesundheit der Arbeiter innerhalb weniger Jahre untergrub, verdankt die Methode ihren Namen *Puddelverfahren*.

Im Jahre 1784 ließ sich Cort sein Verfahren patentieren. Er gab auch Walzeinrichtungen an, mit denen der teigartige Stahlklumpen von den Schlacken befreit, »verdichtet« und ausgewalzt werden konnte. Bereits zehn Jahre nach der Patenterteilung an Cort wurden in England Zehntausende Tonnen von Puddelstahl hergestellt. Bis über die Mitte des 19. Jahrhunderts zählte das *Puddeln* zu den wichtigsten metallurgischen Verfahren. Es lieferte den Stahl, der vor allem im Maschinenbau gebraucht wurde. Seinem Erfinder brachte das Puddelverfahren kein Glück. Cort, der sich aus Geldmangel einen Teilhaber hatte suchen müssen, erkannte zu spät, daß er einem Betrüger zum Opfer gefallen war. Er verlor seine Fabrik, sein Patent und starb in Armut, während andere Stahlfabrikanten sich an der Erfindung bereicherten. Er mußte also den Weg vieler Erfinder im Kapitalismus gehen.

Transmissionen

Spinnmaschinen, mechanische Webstühle und die ersten Dampfmaschinen erblickten in kleinen Werkstätten und Manufakturen das Licht der Welt. Sie entstanden einzeln, Stück um Stück, waren infolgedessen sehr teuer und konnten nicht in ausreichender Zahl hergestellt werden. Außerdem waren die Kunden oft unzufrieden: Es fehlte den Maschinenteilen an der nötigen Präzision. Was halfen schließlich Zahnräder, die nicht schlüssig ineinandergriffen, Schraubenspindeln, deren Muttern »schlugen«, Zylinder, aus denen der Dampf zwischen Kolben und Zylinderwand hervorzischte?

Bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts mußte jeder Hebel, jede Welle, jedes Zahnrad einzeln in Schmieden und Mechanikerwerkstätten angefertigt werden. Dafür standen zwar spezialisierte Werkzeuge zur Verfügung; doch sie zu handhaben erforderte große Geschicklichkeit, langjährige Erfahrung und nicht zuletzt einen Aufwand an körperlicher Kraft, der die Bearbeitung großer Metallteile nahezu ausschloß.

Es war kaum möglich, Maschinen in größeren Stückzahlen herzustellen; die Anfertigung von Präzisionsteilen bereitete größte Schwierigkeiten. So führten zum Beispiel alle Dampfmaschinenbauer bittere Klage darüber, wieviel Mühe es bereitete, die Kolben so in die Zylinder einzupassen, daß sie leicht beweglich waren, ohne zu gleicher Zeit zuviel »Spiel« zwischen Kolben und Zylinderwand aufzuweisen. Wie sollte man das ändern? Wollte man Maschinenteile beliebiger Größe maßgerecht und mit geringem Kapitalaufwand herstellen, sollten sich diese Teile zu preiswerten, einwandfrei funktionierenden Maschinen zusammensetzen lassen, blieb nur ein Ausweg: Maschinen mußten durch Maschinen produziert werden, die selbst die Werkzeuge führten und das Produkt möglichst unabhängig von Auge, Handfertigkeit und Ermüdung machten. Nicht Werkzeuge, sondern Werkzeugmaschinen waren für den Maschinenbau nötig. Etwa vom letzten Jahrzehnt des 18. Jahrhunderts ab begann er ein selbständiger Industriezweig zu werden. Seine Kraftquelle war die Dampfmaschine.

Die Textilindustrie hatte einen Ausweg gezeigt: Maschinen arbeiteten schneller, genauer und auch gleichmäßiger als der Mensch. Es ging deshalb darum, Maschinen herzustellen, die Teile für andere Maschinen produzierten. Die genauere Arbeit der Verarbeitungsmaschinen erforderte eine höhere Präzision der Bearbeitungsmaschinen.

Dreierlei war nötig, damit Maschinen Maschinen produzieren konnten: Facharbeiter, die soviel Wissen, Geschick und Erfahrung besaßen,

daß sie Werkzeugmaschinen herstellen konnten; eine Kraftquelle, die die Muskelkraft des Arbeiters beim Antrieb dieser Maschinen nicht nur ersetzte, sondern übertraf; Werkstoffe schließlich, die den Beanspruchungen bei der Metallbearbeitung gewachsen waren. Diese Voraussetzungen waren erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts erfüllt. Die Arbeiter, unter deren Händen Dampf- und Textilmaschinen entstanden, hatten reichliche Erfahrungen in der Metallbearbeitung gewonnen und gelernt, sich genau an vorgelegte Zeichnungen zu halten. Die Dampfmaschine lieferte genügend Kraft, um Werkzeugmaschinen anzutreiben und auch massige Metallteile zu verformen. Runde Maschinenteile wie Räder, Wellen, Zylinder, Bolzen und Schrauben wurden besonders häufig benötigt.

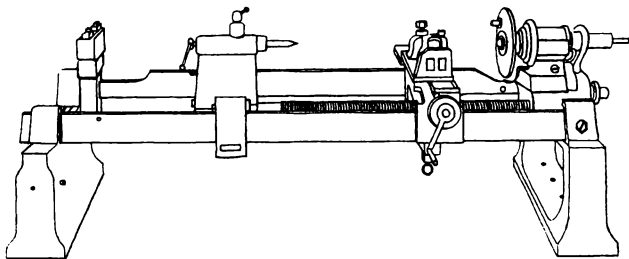
Die bisherige Fertigungsmethode war fast vollständig von der Geschicklichkeit des Arbeiters abhängig, ihre Hilfsmittel bestanden seit Jahrhunderten aus der Drechselbank und dem Drehstuhl in der Hand des Produzierenden. Das Werkstück wurde drehbar eingespannt und durch eine Schnur in Bewegung versetzt, deren eines Ende an eine federnde Wippe führte, während das andere an einem Tritthebel befestigt war. Der Drehmeißel wurde mit der Hand gegen das Werkstück gedrückt.

Mochte sich dieses Verfahren beim Drechseln auch bewährt haben, für die Metallbearbeitung war es völlig unzureichend. Der Kraftaufwand war zu groß, die ständig wechselnde Drehrichtung erschwerte ein genaues und stetiges Arbeiten ebenso wie die manuelle Führung des Werkzeugs. Auch daß man Hand und Werkzeug durch eine Auflage stützte, änderte daran wenig.

Die entscheidenden Schritte auf dem Wege zur Präzisionswerkzeugmaschine verdanken wir wiederum einem Engländer, Henry Maudslay (1771 bis 1831).

Maudslay arbeitete in den mechanischen Werkstätten Joseph Bramahs (1749 bis 1814), der sich besonders durch die Anfertigung vorzüglicher Sicherheitsschlösser einen Namen gemacht hatte. Sie wurden einzeln, jeweils von einem eigens ausgewählten Schlosser, hergestellt. Wegen der unumgänglich hohen Genauigkeit dauerte ihre Fertigung so lange, daß Bramah die Schlösser nur in geringen Stückzahlen auf den Markt bringen konnte und viele Besteller abweisen mußte.

Hier setzte die Tätigkeit Maudslays ein. Er vervollkommnete die Drehbänke, indem er für sie nur noch Eisen als Werkstoff verwandte. Außerdem tauschte er Fußhebel und »Wippe« gegen ein Rad aus, das über eine Transmissionswelle von einer Dampfmaschine angetrieben wurde.



Gewindeschneidbank mit dem Support von Maudslay

Vor allem jedoch führte er den *Support* ein. Der Drehmeißel lag nicht mehr in der Hand des Arbeiters, sondern war fest in einen Werkzeughalter eingespannt. Mit Hilfe zweier Schraubenspindeln ließ sich der Drehmeißel an das Werkstück heranführen und auch parallel zur Rotationsachse des Werkstücks verschieben. Der *Dreher* hatte dazu lediglich Kurbeln oder Handgriffe zu betätigen.

Dem Arbeiter an der Drehbank blieb durch den Support die harte physische Arbeit für Andrücken und Führen des Werkzeugs erspart. Vor allem jedoch konnte er mit Hilfe des Supports viel genauer arbeiten. Der Drehmeißel ließ sich um Bruchteile eines Zolls verschieben, er zitterte und »schlug« nicht, wenn sich der Dreher unwillkürlich bewegte oder seine Muskeln sich verkrampften. Auch die Arbeitsgeschwindigkeit stieg durch den gleichförmigen und stärkeren Dampfmaschinenantrieb erheblich.

Völlig glatte, riefen- und stufenfreie Oberflächen, die bisher nur wenigen gelungen waren, konnte jetzt jeder Dreher erzielen. Aus der Drechsel- und Drehbank, deren Bedienung eine geradezu virtuose Geschicklichkeit erfordert hatte, war die *Drehmaschine* geworden. Sie konnte dem Maschinenbau die dringend geforderten Präzisionsteile zur Verfügung stellen.

Zwei Jahre später, 1797, brachte Maudslay an seiner Drehmaschine eine weitere wichtige Ergänzung an, durch die der Vorschub des Supports in Richtung der Drehachse des Werkstücks mechanisiert wurde. Im Bett der Maschine rotierte eine mit dem Antriebsrad gekoppelte *Leitspindel*. Sie trug ein Gewinde und bewegte den Support völlig gleichmäßig in Richtung der Werkstückachse.

Mit Maudslays Drehmaschine ließen sich nicht nur glatte Oberflächen drehen; man konnte mit ihr auch Gewinde schneiden.

Damit fand ein weiteres Problem des jungen Maschinenbaus seine Lösung. Bisher hatte man Gewinde von Hand schneiden müssen, nach Augenmaß oder mit Hilfe einfachster Vorrichtungen. Das war so schwierig, daß man, wo immer es anging, Schrauben vermieden und durch Keile ersetzt hatte.

Auf einer Drehmaschine indessen konnte man genau »passende« Gewinde in beliebiger Wiederholung herstellen. Es war sogar möglich, sich einen Vorrat an Ersatzschrauben für bereits gelieferte Maschinen anzulegen.

Eine der ersten *Maschinenfabriken* gründete Maudslay selbst. Kunden hatte er mehr als genug; denn die Vorzüge seiner Drehmaschine waren überzeugend. Support und selbsttätige Werkzeugbewegung blieben nicht auf die Drehmaschinen beschränkt. Sie kehrten in zahlreichen Werkzeugmaschinen wieder, die nun in rascher Folge entwickelt wurden.

Maudslay selbst stand bei der weiteren Entwicklung nicht abseits. Aber auch seine Zeitgenossen und Mitarbeiter bestimmten sie. Hobel- und Fräsmaschinen wurden konstruiert, Bohrmaschinen für die mannigfachsten Aufgaben entworfen und ausgeführt. Stanzen und Pressen halfen bald Metalle bearbeiten. John Nasmyth (1808 bis 1890) entwickelte Dampfhämmer mit genau einstellbarer Fallhöhe zum Schmieden großer Metallteile.

Joseph Witworth (1803 bis 1887) vervollkommnete die Bohr- und Hobelmaschinen und verbesserte die Methoden zum Gewindeschneiden.

Vor allem aber beendete er das Durcheinander der verschiedenartigsten Gewindegrößen und -arten. Das von ihm entworfene Gewindesystem war so abgestuft und in seinen Werten aufeinander abgestimmt, daß dieselben Schrauben und Muttern bei verschiedenen Maschinen und Geräten verwendet werden konnten.

Genau arbeitende Werkzeugmaschinen und neue Meßwerkzeuge hatten die Voraussetzungen dafür geschaffen, nicht nur Schrauben oder Bolzen, sondern ganze Maschinenteile gegeneinander austauschbar zu machen.

Bei der Verwirklichung dieser Gedanken leistete Elias Whitney (1765 bis 1825) in den USA Pionierarbeit. Die Erfindung einer Baumwoll-entkernungsmaschine, der »Cotton-Gin«, hatte den Baumwollpflanzern der Südstaaten viele Millionen eingebracht, ihn selbst aber finanziell ruiniert.

Ohne zu zögern, nahm er deshalb einen Regierungsauftrag zur Herstellung von Tausenden Militärgewehren an. Mit den herkömmlichen, handwerklichen Methoden der Büchsenmacherei war er nicht zu erfüllen.

Es kam nur eine Serienfabrikation in Frage, und diese wieder setzte voraus, daß alle Teile der Gewehre ohne Nacharbeit »paßten« und gegeneinander austauschbar waren.

Whitney änderte die vorhandenen Werkzeugmaschinen entsprechend ab, entwickelte Spezialwerkzeuge, Schablonen und Lehren und begann nach zweijährigen Vorbereitungen mit der Produktion.

Seine Methode führte zu einem vollen Erfolg. Mit einem kleinen Stamm qualifizierter Facharbeiter erfüllte er den Auftrag in einer Zeitspanne, die sonst nur mit Hunderten von Büchsenmachern hätte eingehalten werden können.

Von nun ab kam es nicht mehr vor, daß Tausende defekter Gewehre in den Magazinen lagen und nicht repariert werden konnten, weil es an Büchsenmachern fehlte, die jedes Ersatzteil einzeln sägten, drehten und feilten. Whitney hatte den Weg zur Serienfertigung beschritten, die bald auch in andere Industriezweige einzuziehen begann.

Im Jahre 1797 hatte Maudslay seine verbesserte Drehmaschine vorgestellt. Dreißig, vierzig Jahre danach gab es in vielen Ländern Maschinenfabriken, deren Einrichtungen aus England stammten oder das englische Vorbild erkennen ließen.

Sie lieferten Maschinen für die Textilindustrie, weitere Werkzeugmaschinen, Ausrüstungen für Hütten- und Walzwerke, Kessel, Dampfmaschinen und Lokomotiven. Der Maschinenbau wurde zu einem der wichtigsten Industriezweige.

Dieser Übergang von der Manufaktur zur maschinellen Produktion, der die Bezeichnung »industrielle Revolution« erhielt, empfing also seine entscheidenden Impulse von der Arbeitsmaschine. Sie erst erschloß der Dampfmaschine Watts vielfältige Möglichkeiten des Einsatzes in der Produktion. Die allgemeine gesellschaftliche Ursache bestand im Aufkommen des Kapitalismus, der die feudalistische Produktionsweise ablöste.

Die Übertragung von Produktionsfunktionen vom Menschen auf das Arbeitsmittel Maschine war mit einer Veränderung der Organisation der Produktion und der Technologie verbunden. Der Übergang zur industriellen Produktion, in der sich eine »Aufteilung« des gesellschaftlichen Produktionsprozesses in seine »konstituierenden Elemente« vollzog, machte es nunmehr erforderlich, die empirisch gesammelten Produktionserfahrungen bewußt und planmäßig zu untersuchen und wissenschaftlich zu erklären. Die Technologie wurde zur Wissenschaft.

Der Stand der gesellschaftlichen Produktivkräfte erforderte in jener Zeit die weitere Herausbildung der neuen, ihnen adäquaten Produktions-

verhältnisse. Es genügte nicht, den Arbeitsprozeß in seiner historisch überlieferten Form sich »anzueignen«, sondern es war notwendig, die Arbeitsproduktivität durch die weitere Umwälzung der gesellschaftlichen und technischen Bedingungen der Arbeit beträchtlich zu erhöhen. In diesem Prozeß bildete sich die kapitalistische Produktionsweise voll heraus. Ihr Hauptcharakteristikum wurde der sich immer mehr verschärfende Widerspruch zwischen der ständig wachsenden Vergesellschaftung der Produktion und der privaten Form der Aneignung des Arbeitsproduktes. Erst der Sozialismus vermag diesen Widerspruch aufzuheben.

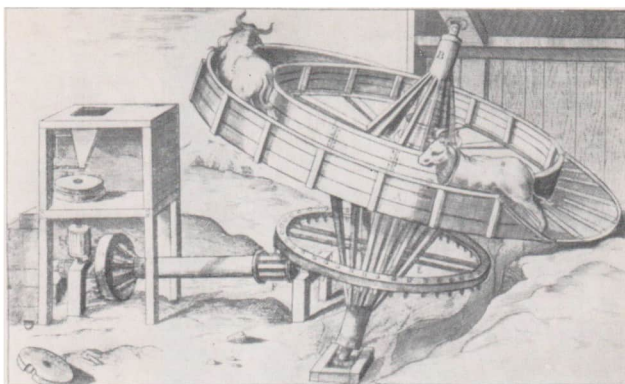
Mit der industriellen Revolution des ausgehenden 18. und beginnenden 19. Jahrhunderts wurde die kapitalistische Unternehmerklasse reich und mächtig. Die soziale Folge war zunehmende Verarmung und Verelendung des zusehends sich vergrößernden Proletariats. Obwohl eine Erleichterung der Arbeit technisch möglich gewesen wäre, wurde der Arbeitstag zunächst nicht verkürzt. Im Gegenteil. Der Unternehmer, getrieben vom Profitstreben, dehnte den Arbeitstag aus und erhöhte mittels der Maschine das Tempo der Arbeit. Eine an die Zeiten der Sklaverei erinnernde Arbeitsdisziplin sorgte dafür, daß keine Minute des Arbeitstages ungenutzt blieb. In Arbeits- und Fabrikordnungen aus jenen Jahren ist zu lesen, daß bereits Pfeifen während der Arbeitszeit oder ein Luftschöpfen am offenen Fenster mit einer Geldbuße belegt wurde.

Zur Bedienung der Maschinen waren nur einfache Handgriffe nötig, die wenig Muskelkraft erforderten. Was lag für den Unternehmer näher, als sie Frauen und Kindern zu übertragen, die weniger Lohn als männliche Arbeiter erhielten? Bald war Kinder- und Frauenarbeit in den Fabriken allgemein üblich. Die Arbeitsbedingungen waren nahezu unerträglich. 15, oft 17 Stunden mußten sich Kinder beispielsweise in englischen Ziegeleien schinden; ein vierzehnstündiger Arbeitstag galt bereits als »reduziert«. In anderen Industriezweigen war es ähnlich.

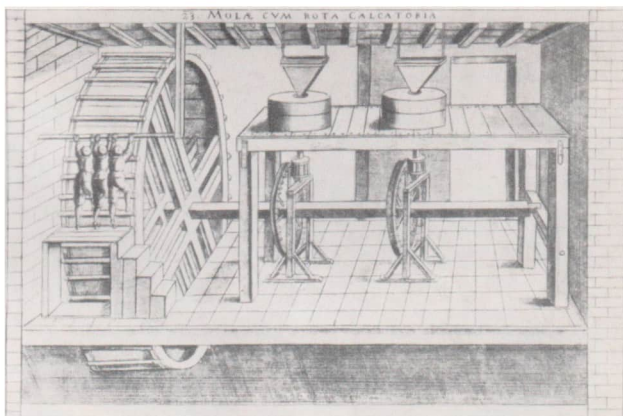
Oft zahlte der Unternehmer einen Teil des Lohnes in Gutscheinen. Sie konnten gegen Waren in Läden eingelöst werden, die demselben Unternehmer gehörten. Nicht selten wohnten die Arbeiter in Mietskasernen, die ebenfalls Eigentum des Fabrikbesitzers waren.

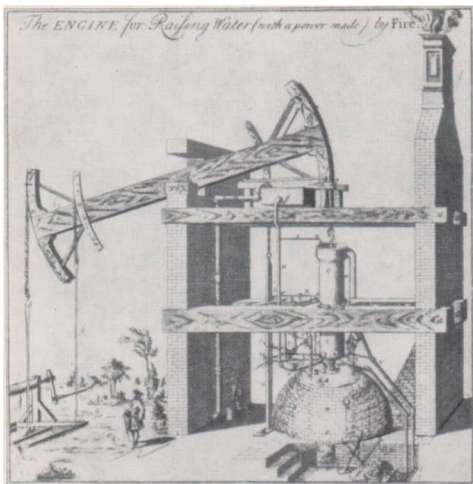
Neue Maschinen, effektivere Arbeitsmethoden und eine ausgeklügelte Arbeitsorganisation ließen Tausende Arbeitskräfte überflüssig werden. Ein Arbeitslosenheer entstand, dessen Angehörige – durch bittere Not gezwungen – schließlich bereit waren, zu noch schlechteren Bedingungen als bisher zu arbeiten.

Die düsteren, ungelüfteten Fabrikräume, fehlende Schutzvorrichtungen an den Maschinen, primitivste Wohnverhältnisse in den empor-



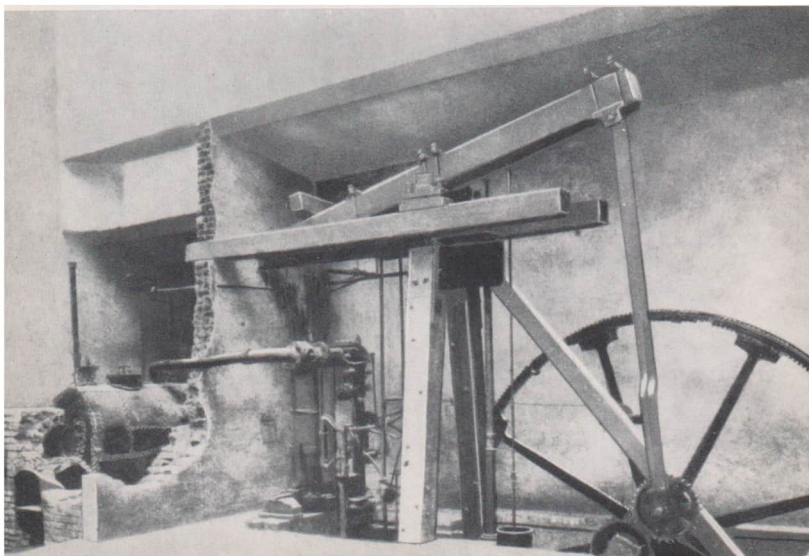
Mühlenbetrieb aus dem 17. Jahrhundert:
Treträder für Ochsen (oben) und Menschen (unten)

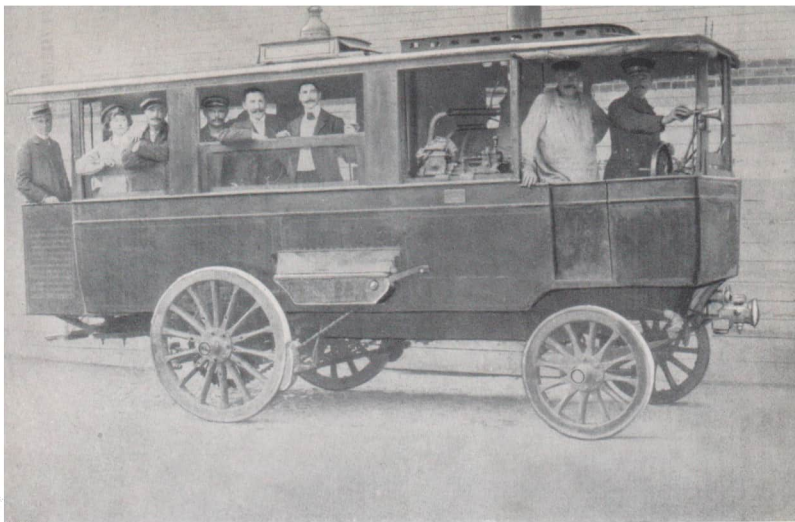




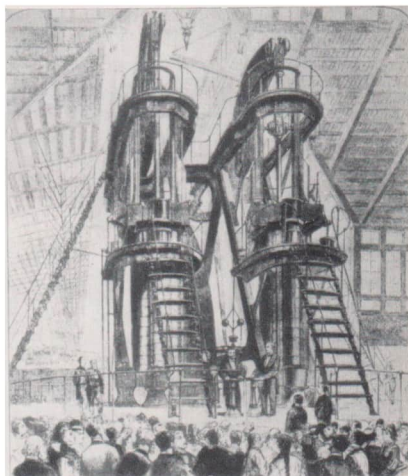
Die atmosphärische Dampfmaschine Newcomens
auf einem Kupferstich aus dem Jahre 1717

Die Dampfmaschine von James Watt



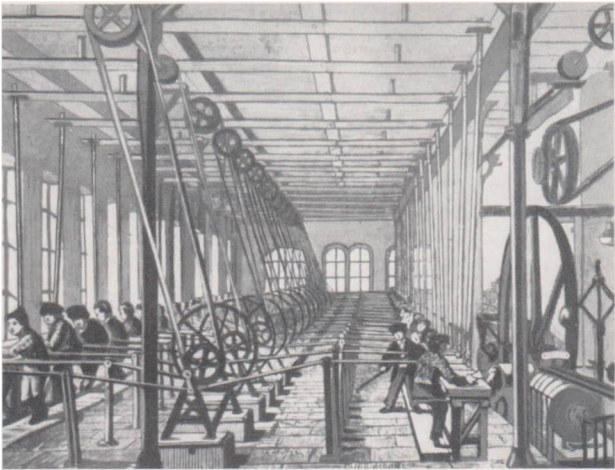


Ein Dampfnibus, der um 1890 von Paris nach Berlin fahren sollte.
Es blieb beim Versuch



Eine Großdampfmaschine
mit einer Leistung
von 1400 PS
auf der Weltausstellung
in Philadelphia, 1876
(zeitgenöss. Darstellung)

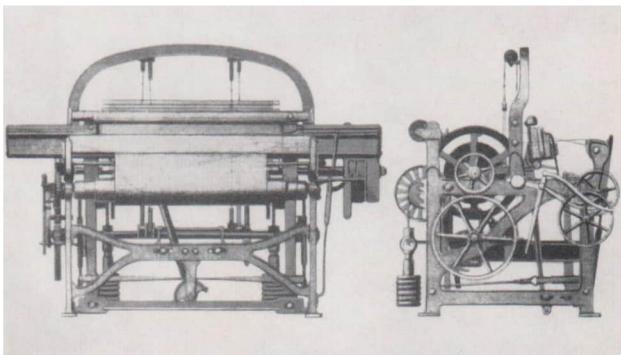


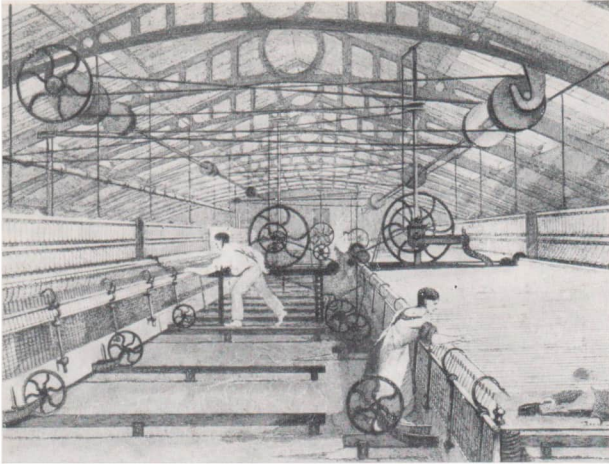


Kinderarbeit war in den kapitalistischen Betrieben des 19. Jahrhunderts weit verbreitet (Holzschnitt aus »Leipziger Illustrierte Zeitung«, Bd. 31, 1858, S. 309)

Linke Seite: Heute verkehren bereits atomgetriebene Schiffe auf den Weltmeeren.
Der sowjetische Atomeisbrecher »Lenin« in Aktion

Cartwrights mechanischer Webstuhl

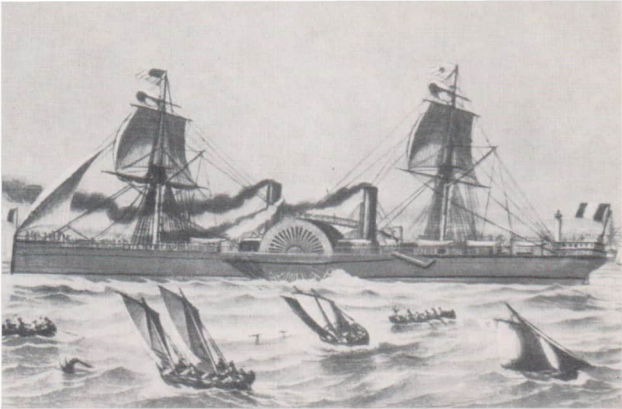




In einer englischen Spinnhalle des Jahres 1835 wurde eine Maschine mit 900 Spulen von einem Arbeiter bedient

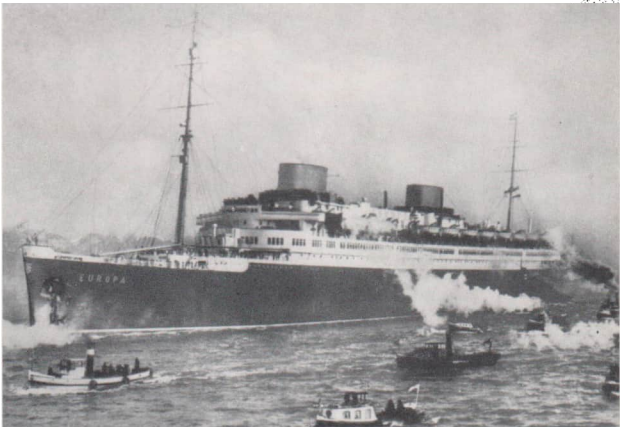
In einem volkseigenen Textilkombinat unserer Zeit

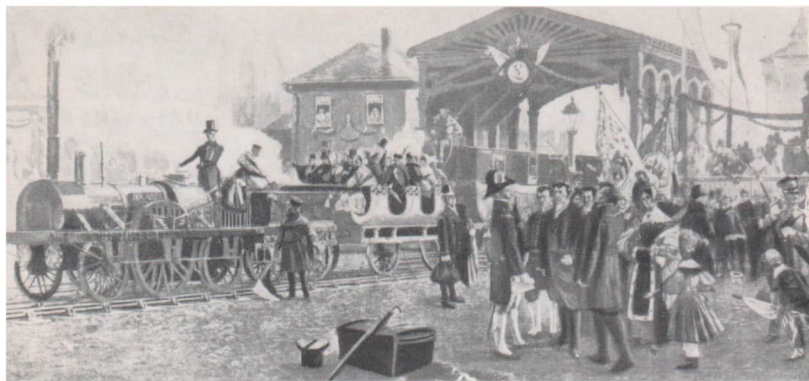




Die »große Stunde« der Dampfmaschine: Motor kontra Segel!
Das Dampfschiff »Washington« aus den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts

Schon nach wenigen Jahrzehnten wurden die Dampfschiffe von Turbinenschnelldampfern übertroffen





Die Dampfmaschine auf »großer Fahrt«:
Eröffnung der ersten deutschen Eisenbahnstrecke Nürnberg–Fürth am 7. Dezember 1835
(nach einem Gemälde von Prof. H. Heim)

140 Jahre später: Endstation für die Dampfloks



schießenden Arbeitervierteln, die selbst einfachste sanitäre Einrichtungen vermissen ließen, eine einseitige Ernährungsweise am Rande des Hungers untergruben die Gesundheit der Arbeiterfamilien.

Im Kampf zwischen Ausgebeuteten und Ausbeutern, der schon in der Zeit der Manufakturen hier und da aufgeflackert war, zeichneten sich die Fronten immer klarer ab. Auf der einen Seite stand die Bourgeoisie mit ihrem wachsenden Reichtum, auf der anderen das junge, sich formierende industrielle Proletariat, das diesen Reichtum erarbeitete, ohne daran Anteil zu haben. Aber es begann, sich seiner Kraft als Klasse bewußt zu werden und eine revolutionäre Lehre zu entwickeln, die über die kapitalistische Gesellschaftsordnung hinauswies. Keine Frage, welcher der beiden Klassen die Zukunft gehörte.

Die Dampfmaschine auf großer Fahrt

Vier bis fünf Tage ist unterwegs, wer heute ein Passagierschiff von Europa nach Nordamerika benutzt. Elf Tage benötigte 1860 die »Great Eastern«, fast vier Wochen brauchte 1819 das erste Dampfschiff, um den Ozean zu überqueren. In den Jahren, da sich die Dampfmaschine in der Industrie durchzusetzen begann, dauerte die Segelschiffsreise zwischen Europa und Amerika an die vierzig Tage.

Der Verkehr zu Lande war kaum schneller. Pferde schleppten die Lastwagen über die Landstraßen. Auf Flüssen und Kanälen nutzte man die Strömung oder den Wind. Stromaufwärts wurde »getreidelt«.

Die Entwicklung der kapitalistischen Wirtschaft erforderte aber in immer stärkerem Maße ein leistungsfähigeres Transportwesen. Die Bevölkerung vieler Städte, wie die von Liverpool und Manchester, wuchs innerhalb eines Jahrhunderts um mehr als das Zehnfache. Güter durften nicht zu lange unterwegs sein; sie mußten in die Häfen gebracht und verschifft werden. Jede Fabrik war von der Zulieferung der Rohstoffe, des Brennmaterials und der Erzeugnisse anderer Fabriken abhängig. Durchgreifende Umgestaltungen im Verkehrswesen waren deshalb unumgänglich, wenn Produktion und Austausch funktionieren sollten.

Konnte nicht auch die Dampfmaschine Schiffe vorwärtsbewegen? Einer der ersten, die diesen Gedanken in die Tat umsetzen wollten, war der Franzose Denis Papin (1647 bis 1712). Er scheiterte an den noch ungenügenden technischen Voraussetzungen. Vor allem aber war seine Erfindung damals noch nicht »gefragt«. Kein Unternehmer steckte Geld

in eine Sache, die sich noch nicht zu lohnen schien. Selbst in England fand er die erhoffte Unterstützung nicht. Anderen Erfindern erging es ähnlich, zum Beispiel John Fitch (1743 bis 1798), der ein Wasserfahrzeug durch dampfbetriebene Paddel fortbewegen wollte.

Der Engländer William Symington (1763 bis 1831) konnte, als er sich dem Dampfschiffbau zuwandte, bereits auf die verbesserte Wattsche Dampfmaschine zurückgreifen. Schon der erste Versuch mit einem Raddampfer verlief zufriedenstellend. 1802 schleppte die von Symington erbaute »Charlotte Dundas« trotz heftigen Gegenwindes zwei beladene Frachtkähne.

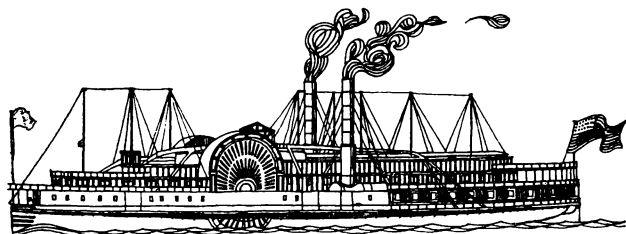
Die Binnenschiffahrtsgesellschaften hätten aus dem »Schlepper« großen Nutzen ziehen können. Sie lehnten Symingtons Pläne jedoch mit der Begründung ab, die Uferböschungen könnten durch das von den Rädern aufgewirbelte Wasser zu sehr in Mitleidenschaft gezogen werden.

Der amerikanische Ingenieur Robert Fulton (1765 bis 1815) erkannte beim Studium der Binnenschiffahrt in England, daß die Wasserstraßen bisher nur schlecht ausgenutzt worden waren. Im Dampfschiff sah er das geeignete Hilfsmittel für einen erweiterten und ökonomisch bedeutsamen Wassertransport.

Im Jahre 1803 fuhr er auf der Seine mit einem Dampfboot, das stromaufwärts Fußgängergeschwindigkeit erreichte. Obwohl eine Kommission von Akademiemitgliedern Fultons Pläne als nutzlos zurückwies, ließ der Erfinder den Mut nicht sinken. Bei einem erneuten Aufenthalt in England bestellte er eine Wattsche 18-PS-Dampfmaschine für die »Clermont«, ein etwa 40 m langes und 4 m breites Schiff mit zwei Schaufelrädern.

Im Frühherbst 1807 dampfte die »Clermont« von New York aus mehr als 180 km den Hudson aufwärts. Das war ein überzeugender Be-

Amerikanische Flußdampfer aus der Mitte des 19. Jahrhunderts



weis für die Brauchbarkeit der Dampfmaschine als Schiffsantrieb. Weitere Versuche erhärteten dieses Resultat.

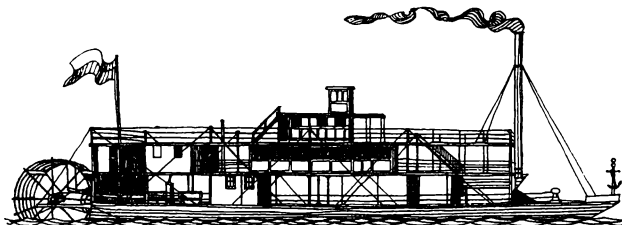
Fulton war nicht nur ein tüchtiger Techniker, sondern auch ein mit allen Wassern gewaschener Geschäftsmann. Zusammen mit einem Partner sicherte er sich für 30 Jahre das Monopol der Dampfschiffahrt auf dem Hudson und anderen Strömen.

Bereits 1812 gab es in den USA über 50 Flußdampfer, und sehr bald beherrschten Dampfschiffe die nordamerikanischen Wasserwege. Es existierte, von den küstennahen Gebieten abgesehen, noch kein ausgebauten Straßennetz. Weite Waldgebiete waren überhaupt nur auf dem Wasserwege passierbar. Dagegen konnten zahlreiche Flußläufe ohne weiteres von Dampfschiffen befahren werden, die Passagiere und Güter transportierten und deren Brennmaterial, Holz, an den Ufern geschlagen wurde.

Zunächst liefen nur Raddampfer mit seitlich oder am Heck angebrachten Schaufelrädern vom Stapel. Sie konnten auch bei niedrigem Wasserstand fahren und fast auf der Stelle wenden, wenn man die Räder einander entgegengesetzt drehen ließ. Die Dampfmaschinen waren auf dem Oberdeck montiert, wo meistens auch der Brennstoffvorrat seinen Platz fand.

Auf deutschen Flüssen entwickelte sich die Dampfschiffahrt seit ihrem Beginn im Jahre 1816 nur sehr zögernd. Die Wasserwege, durch zahlreiche Kleinstaaten führend, waren noch nicht ausgebaut und konnten nur von kleinen Schiffen befahren werden. Der Transport von Massengütern war daher vorerst kaum möglich. Deshalb dienten die ersten deutschen Dampfer vorwiegend dem Passagierverkehr.

Sollte das Dampfschiff auch in der Seeschiffahrt eingesetzt werden, mußten größere Schiffe und leistungsfähigere, gleichzeitig aber sparsame Maschinen entwickelt werden; denn ein Seeschiff mußte neben der Nutzlast den Brennstoff für die ganze Reise mitführen.



Im Jahre 1819 wagte die »Savannah«, ein zum Dampfschiff umgebauter Segler, von Savannah in den USA aus die Fahrt über den Atlantik. Der Kessel der Maschine, die zwei Schaufelräder trieb, wurde mit Holz geheizt. Von den 26 Reisetagen bis Liverpool lief das Schiff acht ausschließlich unter Segeln. Anschließend setzte es seine Fahrt nach Kronstadt fort.

Auch für die ersten Reisen dampfgetriebener Schiffe zwischen England und Indien wurden Segel und Dampfmaschine benutzt. Überhaupt dienten anfänglich auf hoher See die Maschinen vor allem als zusätzliche Kraftquelle oder zur Überwindung von Windstillen. Erst 1838 überquerte ein Schiff, die »Sirius«, den Atlantik ausschließlich mit Dampfkraft.

Die ersten seegängigen Dampfschiffe waren ebenfalls »Raddampfer«. Ihre Schaufelräder tauchten bereits bei mäßigem Seegang verschieden tief ein. Die Maschine und die Getriebe zur Kraftübertragung wurden infolgedessen ungleichmäßig belastet. Häufige Maschinenschäden waren die Folge. Für Kriegsschiffe war der Schaufelradantrieb noch weniger geeignet, weil die breitseits angeordneten Schaufelräder bei Beschuß besonders gefährdet waren.

Man nahm daher Versuche mit den bereits im 18. Jahrhundert vorgeschlagenen Schiffsschrauben wieder auf. Die Namen Joseph Ressel (1793 bis 1857), Frédéric Sauvage (1785 bis 1847) und Johann Ericsson (1803 bis 1889) sind mit der Erfindung, der Verbesserung und Einführung der Schiffsschraube unlösbar verknüpft. 1843 lief das erste eiserne Schraubenschiff, die von Kingdom Isambard Brunel (1806 bis 1859) entworfene »Great Britain«, vom Stapel. Sie fand bereits in den folgenden Jahren zahlreiche Nachfolger für den Passagier- und Postverkehr.

In der Frachtschiffahrt wurde das Segelschiff nur langsam verdrängt. 1885 verfügten die deutschen Reedereien über 3 600 Segelschiffe, während sie erst 650 Dampfschiffe besaßen; zehn Jahre danach waren es 2 700 Segelschiffe und 1 016 Dampfschiffe, wobei allerdings die Gesamttonnage der Dampfer die der Segler schon hinter sich gelassen hatte. In anderen Staaten lagen die Verhältnisse ähnlich.

Die zögernde Entwicklung des Dampfschiffbaus hatte ihre Ursache hauptsächlich darin, daß das Verhältnis zwischen nutzbarem und totem Raum lange Zeit hindurch bei Segelschiffen ungleich günstiger war als bei Dampfschiffen, die neben der umfangreichen Maschine noch einen gewaltigen Brennstoffvorrat mit sich führen mußten.

Die größere Geschwindigkeit und die Unabhängigkeit vom Wind, die Dampfschiffe auszeichneten, konnten diesen Nachteil nicht aufwie-

gen. Erst Verbesserungen der Schiffsmaschinen, deren Kohleverbrauch im Laufe des 19. Jahrhunderts für gleiche Leistung auf rund ein Drittel gesenkt werden konnte, machten das Dampfschiff im Frachtverkehr konkurrenzfähig.

Innerhalb kurzer Zeit kehrten sich nunmehr die Verhältnisse um. Selbst auf größte Entfernungen ersetzte ein Dampfschiff wegen seiner höheren Geschwindigkeit und der besseren Lade- und Entlademöglichkeiten drei Segler gleichen Laderaums. Unmittelbar nach der Jahrhundertwende entfielen 80 Prozent des deutschen Handelsschiffsraums auf Dampfschiffe.

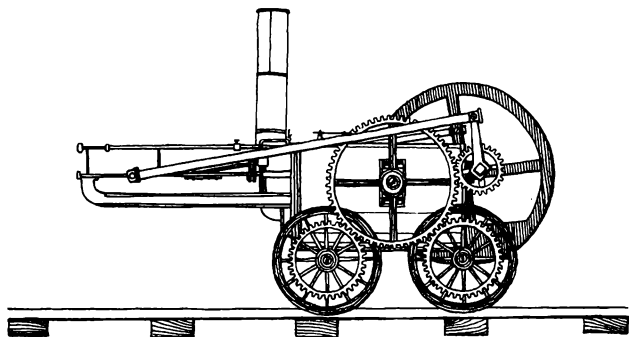
Bei den Kriegsflotten hatte sich der Dampfantrieb rascher durchgesetzt. Entscheidend waren hier die besseren Einsatzmöglichkeiten und die größere Manövrierfähigkeit. Auch erlaubte es der Dampfantrieb, die Takelage, die im Kampf sehr verwundbar war, zu vermindern und zu vereinfachen. Deshalb begannen schon in den dreißiger Jahren die Kriegsflotten Englands und Frankreichs, Schiffe auf Dampfantrieb umzustellen. Andere Staaten folgten.

Eigenmasse und Platzbedarf der Dampfmaschine und ihres Brennstoffs hatten in der Schifffahrt eine wichtige Rolle gespielt. Sie waren noch ausschlaggebender, als man daran ging, die Dampfmaschine für den Verkehr auf dem Lande anzuwenden.

Viele versuchten sich an der Konstruktion von »Dampfwagen«. Der französische Artillerieoffizier Nicolas-Joseph Cugnot (1725 bis 1804) zum Beispiel bemühte sich um eine Zugmaschine für Geschütze. Da sie aber nach jeder Viertelstunde anhalten mußte, um Dampf zu sammeln, war sie für einen wirklichen Einsatz nicht geeignet.

Besser konstruiert waren Dampfwagenmodelle, die anderthalb Jahrzehnte später, um 1785, William Murdock (1745 bis 1839) vorführte. Sie liefen schneller und gingen sparsamer mit Dampf und Brennstoff um als Cugnots Wagen, wiesen aber gleichfalls Mängel auf, die ihre Einführung in die Praxis verhinderten. Vor allem das ungünstige Verhältnis zwischen dem großen Raumbedarf sowie der Eigenmasse von Maschine und Brennstoff einerseits und der Nutzlast andererseits brachte die Versuche, Dampfwagen für den Straßenverkehr zu bauen, zum Scheitern.

Einen Dampfwagen auf Schienen zu setzen, erschien aussichtsreicher. Einmal ließen sich auf Gleisen wegen der geringeren Reibung bei gleichem Kraftaufwand etwa 25mal schwerere Lasten bewegen als auf Straßen. Außerdem konnte man den Nutzraum vergrößern, indem man dem Dampfwagen mehrere Wagen anhängte. Im Straßenverkehr war das wegen der Schwierigkeiten mit der Lenkung nicht möglich.



Trevithicks Lokomotive

Allerdings war auch für Schienenfahrzeuge nicht jede beliebige Dampfmaschine geeignet. Sie mußte gleichfalls leicht und vor allem »bescheiden« im Brennstoffverbrauch sein. Nicht einmal einen Kondensator mit einem großen Kühlwasservorrat konnte man ihr zubilligen. Außerdem sollte sich die Maschine leicht von Vorwärts- und Rückwärtsgang umsteuern lassen und ohne »toten Punkt« aus jeder Kolbenstellung anlaufen.

Der englische Ingenieur Richard Trevithick (1771 bis 1833) entwickelte eine solche Dampfmaschine für Schienenfahrzeuge. Zusammen mit seinem Vetter erhielt er im Jahre 1800 ein Patent darauf. Boulton und Watt fochten die Schutzrechte sofort an. Ihre Klage wurde jedoch abgewiesen. Die neue Maschine arbeitete mit hohem Dampfdruck als »Auspußmaschine«; sie ließ den Dampf nicht in einen Kondensator, sondern ins Freie strömen – ein Verfahren, das Watt für seine Niederdruckmaschinen nicht anwenden konnte.

Da den Erfindern durch eine Patentklage nicht beizukommen war, versuchten es Boulton und Watt mit einem unsauberen, typisch kapitalistischen Trick: Sie warnten, auf ihre langjährigen Erfahrungen pochend, das englische Parlament vor Trevithicks Maschine. Hochdruckkessel würden in die Luft fliegen und Unheil anrichten. Also müsse man Hochdruckmaschinen verbieten. Das Parlament lehnte den Antrag jedoch ab, weniger um Trevithick zu helfen, sondern weil einigen Mitgliedern des Hohen Hauses, die selbst »kommerzielle Interessen« hatten, das Monopol der Boulton-Wattschen Fabrik schon lange ein Dorn im Auge war.

Um das Jahr 1803 fuhren in englischen Hüttenwerken die ersten Tre-

vithickschen Lokomotiven. Sie zogen Loren und beförderten sogar Passagiere. In London führte Trevithick eine Lokomotive auf einem Schienenkreis vor.

Große Bedeutung erlangten diese Maschinen nicht. Schuld daran war vor allem ihr Schienenweg. Die spröden, gußeisernen Gleise, die Trevithick zur Verfügung standen, waren der Belastung und den Stößen nicht gewachsen und brachen immer wieder. Trevithick entwarf leichtere Lokomotiven, aber diese Verminderung der Eigenmasse ging auf Kosten der Leistung. Maschinen gar, die mit hölzernen Schienen auskamen, zogen nicht viel mehr als sich selbst. Trevithick wandte sich schließlich erfolversprechenderen Aufgaben zu.

Die Lokomotive aber geriet nicht mehr in Vergessenheit. Mitunter erlag man bei dem Versuch, sie zur Einsatzreife zu entwickeln, auch Irrtümern. So glaubte man, bei größerer angehängter Last würden sich die Räder auf den Schienen »durchdrehen«. Deshalb wurden Lokomotiven entworfen, deren Triebrad, als Zahnrad ausgebildet, in eine Zahnstange längs der Schienen greifen und so ein Rutschen verhindern sollte (ein Prinzip, das heute für große Steigungen bei Zahnradbahnen angewandt wird). Ein englischer Maschinenbauer konstruierte einen »mechanischen Wanderer«, der sich mit dampfbetriebenen Beinen vorwärtsstieß. Das Monstrum fand durch eine Kesselexplosion ein vorzeitiges Ende.

Zum endgültigen Erfolg verhalfen der Lokomotive die beiden bedeutendsten Pioniere der Dampfeisenbahn, George Stephenson (1781 bis 1848) und Robert Stephenson (1803 bis 1859).

George Stephenson hatte schon als Junge Geld verdienen müssen. Erst in dem Alter, in dem heute junge Menschen zur Hochschule gehen, lernte er lesen und schreiben. Durch beharrlichen Fleiß arbeitete er sich zum Maschinenmeister empor. Die Erfahrungen der eigenen Jugend hatten ihn gelehrt, wie wichtig für einen Techniker nicht nur praktische Fertigkeiten, sondern auch theoretische Kenntnisse sind. Deshalb ließ er seinem Sohn Robert eine solide handwerkliche und wissenschaftlich-technische Ausbildung zukommen.

Auf der Zeche, in der George Stephenson beschäftigt war, sah er sich täglich Transportfragen gegenüber. Er schlug vor, eine Lokomotive als Ersatz für die Zugpferde zu konstruieren. Nach zweijähriger Arbeit, im Sommer 1814, heizte er seine »Blücher« zur Probefahrt. Bessere Schienen standen inzwischen zur Verfügung. Infolgedessen hatte Stephenson nicht mehr mit solchen Schwierigkeiten zu kämpfen wie Trevithick.

Im Jahre 1822 gründete George Stephenson eine Lokomotivenfabrik. Einer der ersten Aufträge dieses Werkes war es, Maschinen für die

unter Stephenson's Leitung von 1822 bis 1825 entstehende Bahnlinie Stockton–Darlington zu liefern. Diese Strecke, die erste Eisenbahnlinie der Welt, war 40 km lang und diente neben dem Güterverkehr auch der Passagierbeförderung. Allerdings traute man dem »Beelzebub auf Rädern« wohl doch nicht so recht; denn meistens zogen Pferde die postkutschenähnlichen Personenwagen.

Die mit zwei Zylindern ausgestattete Lokomotive, die als erste einen 90-t-Zug über die Strecke brachte, die »Locomotion«, steht noch heute in Darlington. Sie leistete 8 PS und erreichte eine Geschwindigkeit von 20 km/h. Als Spurweite wählte Stephenson die damals bei englischen Postkutschen üblichen 1435 mm; sie wurde von vielen Ländern übernommen und bis heute beibehalten.

Die berühmteste Bahnlinie jener Zeit wurde die Strecke zwischen Liverpool und Manchester, die eine schnelle Verbindung zwischen dem Baumwollhafen Liverpool und der Textilindustrie im Raume Manchester sichern sollte. Ihren Erbauer, George Stephenson, stellte sie vor ungewöhnlich schwierige technische Aufgaben. Das Gelände war dem Vorhaben alles andere als günstig. Zahlreiche Unterführungen und Tunnels waren nötig, außerdem durchschnitt die Trasse sumpfige Geländestreifen, die nur durch lange Dämme überbrückt werden konnten.

Berühmt wurde die Strecke noch aus anderen Gründen. Stephenson sah sich von Anfang an einflußreichen Widersachern gegenüber. Zwar waren die Fabrikanten in Manchester sehr an der Bahnlinie interessiert; aber sie vermochten wenig gegen die Landlords, die kein Gelände für den Bahnbau abtreten wollten, und nichts gegen die Aktionäre der Kanalschiffahrtsgesellschaft, die eine Schmälerung ihrer Einnahmen aus dem Wasserweg Liverpool–Manchester fürchteten.

Ein Propagandafeldzug gegen die Bahn wurde eingeleitet. Keine Lüge war zu dumm – sie wurde vorgebracht und von manchen auch geglaubt (wenige Jahre später sollte sich das gleiche Spiel auf dem europäischen Festland wiederholen): Die Passagiere würden durch die hohe Geschwindigkeit umkommen. Kühe mußten durch die Lokomotiven so erschreckt werden, daß sie keine Milch mehr gäben. Wiesen und Wälder würden abbrennen.

Erst nach längeren Diskussionen fand das Projekt die Zustimmung des Parlaments. Ein Erfolg geduldiger Überzeugung, besserer Einsicht? Nichts dergleichen – was die Bahninteressenten auf dem geraden Wege nicht geschafft hatten, war ihnen durch die Hintertür geglückt. Man hatte wichtige Aktionäre der Kanalschiffahrtsgesellschaft »gekauft« und hoch an der neuen Bahnlinie beteiligt . . .

George Stephenson konnte, unterstützt von seinem Sohn, an die Arbeit gehen. Doch welche Maschinen würden die Strecke befahren? Waren Stephenson's Lokomotiven wirklich unübertroffen? Hatten andere Konstrukteure vielleicht bessere anzubieten? Ein Wettbewerb, ein »Lokomotivenrennen«, sollte die Entscheidung bringen. Die Stephenson's, die sich ihrer Sache sicher waren und inzwischen genügend Gelegenheit gehabt hatten, die manchmal absonderlichen Launen ihrer Auftraggeber kennenzulernen, stimmten zu.

Im Herbst 1829 versammelten sich die Kandidaten – insgesamt fünf Lokomotiven – am Startplatz. Man hatte die Werbetrommel tüchtig gerührt, und der Ausscheid glich fast einem Volksfest mit Tausenden Zuschauern, mit Verkaufsbuden und Wettschaltern. Schon bei der Vorbesichtigung der »Renner« kamen die Neugierigen auf ihre Kosten: Es stellte sich heraus, daß eine der Lokomotiven mit Hafer »geheizt« wurde. In ihrem Inneren steckte ein Pferd, Kessel und Zylinder waren nur Attrappe. Von den übrigen Lokomotiven waren drei ebenfalls nicht wettbewerbsfähig. Sie besaßen Fehler und Mängel, die sich trotz eines Terminaufschubs nicht beheben ließen.

So blieb nur eine Lokomotive übrig: Stephenson's »Rocket«. Sie ging zwar ohne Konkurrenz über die Strecke, bewies aber, daß man sie mit Recht »Rakete« getauft hatte. Bereits bei der Vorprüfung erreichte sie eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 22 km/h. An den folgenden Tagen erzielte sie mit einem von Passagieren besetzten Wagen 40 km/h. Schließlich unterstrich die »Rocket« ihren Sieg, indem sie die »Ehrenrunde« mit 56 km/h fuhr.

1830 wurde die Strecke Liverpool–Manchester dem Verkehr übergeben. Zehn Jahre nach der Eröffnung zählte man in Großbritannien und Irland 1350 Streckenkilometer, ein weiteres Jahrzehnt später waren es über 10 000 km.

In Frankreich entstanden die ersten öffentlichen Eisenbahnlinien 1833, in Belgien 1834. In den USA wurden die großen Überlandlinien nach den Goldfunden in Kalifornien und mit zunehmender Besiedlung des »Wilden Westens« gebaut, während man sich in Rußland erst nach dem Krimkrieg (1853/56), der die Notwendigkeit schneller Truppenbewegungen gezeigt hatte, ernsthaft für den Eisenbahnverkehr zu interessieren begann.

Der Erfolg der Eisenbahn war jedoch nicht allein das Verdienst der Lokomotivenbauer. Zahlreiche andere technische Probleme galt es gleichzeitig zu lösen. Man mußte dauerhafte Schienen und Radkränze, Weichen und Signalanlagen erfinden. Kupplungen und Bremsen waren

ebenso nötig wie Wagen, die dem Bahnbetrieb angepaßt waren. Aber nicht nur für Techniker, Konstrukteure und Ingenieure gab es viel zu tun. Auch Brücken- und Tunnelbauer, Geodäten und Architekten erhielten Impulse und Anregungen durch das neue Verkehrsmittel.

Auf deutschem Boden lebten am Beginn des 19. Jahrhunderts drei Viertel der Bevölkerung in Landgemeinden. Nur auf wenigen Gebieten, zum Beispiel bei der Herstellung von Textilien, gab es Manufakturen und kleinere Fabriken. Zwar hatte das durch Napoleons Kontinentalsperre bedingte Fehlen der englischen Konkurrenz auch in den deutschen Ländern einen gewissen industriellen Aufschwung zur Folge, doch blieb er bescheiden.

Handel und Verkehr wurden durch die Grenzen zahlreicher Kleinstaaten, durch Schlagbäume an Brücken und vor Städten, durch Zölle, Wege- und Brückengelder, durch ein Chaos der verschiedensten Maß- und Währungseinheiten fast erstickt. Eine veraltete Gesetzgebung, die die Freizügigkeit der Bürger einschränkte, machte es beinahe unmöglich, Arbeitskräfte dort anzusiedeln, wo günstige Voraussetzungen für die Errichtung großer Betriebe bestanden.

Es fehlte nicht an Stimmen, die die Abschaffung dieser Hemmnisse zugunsten eines einheitlichen deutschen Wirtschaftsgebietes forderten. Sie wurden zugleich zu Fürsprechern der Eisenbahn; denn eine vielfältig ineinandergreifende, über ein großes Gebiet verteilte Wirtschaft setzte ein schnelles, sicheres und billiges Transportsystem voraus.

Wie sollte eine Industrie emporblühen, wenn sich der Preis der Steinkohle wegen des Straßentransportes schon in 30 km Entfernung von der Grube versechsfachte, wenn Ziegel mehr als zwanzigfach teurer wurden?

»Die Eisenbahnen werden manche Revolutionen in der Handelswelt hervorbringen«, hatte Friedrich Harkort (1793 bis 1880), ein anderer Vorkämpfer der kapitalistischen Industrialisierung, geschrieben, und an anderer Stelle: »Auf diese Weise ist uns also ein Mittel geworden, den Verkehr im Inneren und nach Außen unschätzbar zu beleben, indem es möglich ist, die Frachten um 75 Prozent zu vermindern und die Güter außerdem in einem Drittel der Zeit zu liefern.«

Die »Revolutionen in der Handelswelt« aber ließen noch lange auf sich warten. Die Hoffnungen, mit denen die Völker gegen Napoleon aufgestanden waren, hatten sich nicht erfüllt. Nach der Niederlage Bonapartes waren die Fürsten bemüht, die alten Machtverhältnisse wiederherzustellen. Sie brauchten die Zerrissenheit Deutschlands, um ihre »soveränen Rechte« aufrechtzuerhalten. Sie benötigten die hunderterlei

Zölle und Abgaben, um ihre kostspielige Hofhaltung, ihre Heere und einen untertägigen Beamtenklüngel zu finanzieren. Jede freiheitliche Regung, jedes Einigungsbestreben war ihnen ein Dorn im Auge. Wer immer solche Ideen zu äußern wagte, wurde verfolgt oder wenigstens mundtot gemacht. Der Lebensweg des großen bürgerlichen Volkswirtschaftlers Friedrich List (1789 bis 1846) ist ein Beispiel dafür.

Seine Berufung zum Professor an der Universität Tübingen benutzte er, um recht »gefährliche« Gedanken zu vertreten: Er wandte sich gegen einen unbefriedigenden Verfassungsentwurf für das Königreich Württemberg, forderte sorgfältig ausgebildete Verwaltungsfachleute und setzte sich für eine bundesstaatliche Verfassung der deutschen Länder ein. Als er für eine Gruppe von Kaufleuten eintrat, die in einer Petition an die Bundesversammlung die Abschaffung aller Inlandzölle forderten, wurde List mit schwersten Vorwürfen überhäuft. Verbittert schied er aus dem Staatsdienst aus.

Nach weiteren Verdächtigungen und Verfolgungen sah er sich gezwungen, nach den Vereinigten Staaten auszuwandern. Dort war ihm mehr Erfolg beschieden: Er betätigte sich als Unternehmer, gründete eine Eisenbahnbau-Gesellschaft und schrieb über Wirtschaftsfragen. Diese Beschäftigung ließ ihn immer klarer erkennen, wie wichtig ein gut funktionierendes, weitverzweigtes Verkehrsnetz für die Wirtschaft eines Landes ist. Gern nahm er 1830 einen Auftrag der nordamerikanischen Regierung an, als Sachverständiger für Handelsfragen in seine Heimat zurückzukehren.

Drei Jahre später erschien seine Arbeit: »Über ein sächsisches Eisenbahnsystem als Grundlage eines allgemeinen deutschen Eisenbahnsystems und insbesondere über die Anlegung einer Eisenbahn von Leipzig nach Dresden.« Die von ihm vorgeschlagenen Linienführungen waren so sorgfältig durchdacht, daß sie später beinahe in allen Einzelheiten verwirklicht wurden.

List erhielt die Lizenz zur Gründung einer Eisenbahngesellschaft für die Strecke Leipzig–Dresden. Weil er jedoch noch immer als politisch verdächtig galt, wurde er bald ausgebootet. Erneut emigrierte er.

Als er 1840 nach Deutschland zurückkehrte, fand man zwar lobende Worte für ihn, aber keine seinen Fähigkeiten angemessene Stellung. Durch die jahrelangen Kämpfe zermürbt, verzweifelt und krank, setzte er schließlich, von derselben Bourgeoisie im Stich gelassen, deren Interessen er am konsequentesten vertreten hatte, seinem Leben ein Ende.

Die Verfolgung Lists und anderer fortschrittlicher Kräfte hatte die Entwicklung auf die Dauer nicht aufhalten können. Die Verschlechterung

der finanziellen Lage des Staates und das Drängen insbesondere der Fabrikbesitzer und Kaufleute hatten den preußischen König schon 1818 gezwungen, die Zölle innerhalb des Landes aufzuheben. 16 Jahre später schlossen sich zunächst 18 deutsche Staaten im »Deutschen Zollverein« zusammen, Zölle wurden von nun an nur noch für ausländische Waren erhoben; im Gebiet des Zollvereins konnten Güter abgabenfrei befördert werden.

Die Zeit für die Eisenbahn war damit auch in den deutschen Ländern gekommen. Sie fuhr zum ersten Mal am 7. Dezember 1835 auf der etwa 6 km langen Strecke zwischen Nürnberg und Fürth, mit einer englischen Lokomotive und einem Engländer als Lokomotivführer, der selbstbewußt in Frack und Zylinder den »Adler« steuerte, eine 40-PS-Lokomotive von 7,5 t Masse, die etwa 40 km/h erreichte. Die Einnahmen der Nürnberg-Fürther-Eisenbahngesellschaft widerlegten alle Skeptiker, die vor dem Bahnbau gewarnt hatten, und waren zugleich Anreiz für die Einrichtung weiterer Strecken.

Im Jahre 1839 wurde die Bahnlinie Leipzig–Dresden, die erste deutsche Fernstrecke, in Betrieb genommen. Auf ihren Gleisen fuhren auch die ersten deutschen Lokomotiven, die »Saxonia« und die »Phoenix«. Beide waren unter der Leitung von Johann Andreas Schubert (1808 bis 1870) konstruiert worden.

Bahnen zwischen Berlin und Potsdam, Düsseldorf und Elberfeld, Magdeburg und Leipzig und zwischen anderen Städten folgten. Bereits 1847 bestand eine zusammenhängende Bahnlinie von Berlin bis zur belgischen Grenze bei Aachen. 1850 erstreckte sich das deutsche Bahnnetz auf mehr als 6 000 km, 1870 auf annähernd 20 000 km, 1900 auf mehr als 50 000 km.

Die Beschleunigung und Verbilligung des Verkehrs durch die Eisenbahnen wirkte sich auf das gesamte Wirtschaftsleben aus. Hatte man in den Jahrhunderten vorher im wesentlichen nur wertvolle Stückgüter über größere Entfernungen transportieren können, so ließen sich auf dem Schienenwege auch Massengüter billig verschicken. Rheinische Kohle zum Beispiel konnte erst jetzt auch außerhalb des Rheinlandes als Brennstoff benutzt werden.

Für die Industrie bedeutete die Bahn eine erleichterte Versorgung mit Rohstoffen und Halbfabrikaten und verbesserte Verbindungen mit den Kunden. Arbeitskräfte konnten schnell und in großer Zahl an die Produktionsstätten herangeführt werden.

Landwirtschaftliche Produkte, Lebensmittel wie Obst und Fisch mußten nicht mehr in unmittelbarer Nähe des Erzeugers verzehrt werden,

sondern konnten auch in entfernten Gebieten auf den Markt gebracht werden. Es kam nicht mehr vor, daß – wie 1835 in Sachsen – in manchen Gegenden kaum Schweinefleisch zu haben war, während man in anderen Provinzen nicht wußte, was man mit dem Überschuß an Schweinefleisch anfangen sollte.

Die militärische Bedeutung ausgebauter Eisenbahnnetze lag gleichfalls auf der Hand. Truppenbewegungen konnten beschleunigt, der Nachschub schnell herangeführt werden. Deshalb wurden bei der Planung aller großen Bahnlinien und -netze auch strategische Gesichtspunkte berücksichtigt.

List hatte vorausgesagt, daß die Eisenbahn den Reiseverkehr zwischen den Städten verzehnfachen werde; denn wer Freunde oder Verwandte aufsuchen, geschäftliche Reisen unternehmen oder auch nur sein Land in größerem Umkreis kennenlernen wollte, brauchte sich nicht mehr der strapaziösen und langsamen Postkutsche anzuvertrauen. Die Wirklichkeit stellte Lists Voraussage weit in den Schatten: 50 Jahre nach Eröffnung der Strecke Leipzig–Dresden beförderten die deutschen Bahnen im Jahr nicht weniger als 464 Millionen Fahrgäste.

Erreichte das Welt-Eisenbahnnetz 1840 noch keine 7 000 km, so waren es 1870 über 200 000 km, 1900 fast 800 000 km (im Jahre 1958: 1 200 000 km).

Innerhalb weniger Jahrzehnte hatte sich die Eisenbahn zum wichtigsten Landverkehrsmittel entwickelt. Sie ist es – vor allem im Güterverkehr – bis heute geblieben.

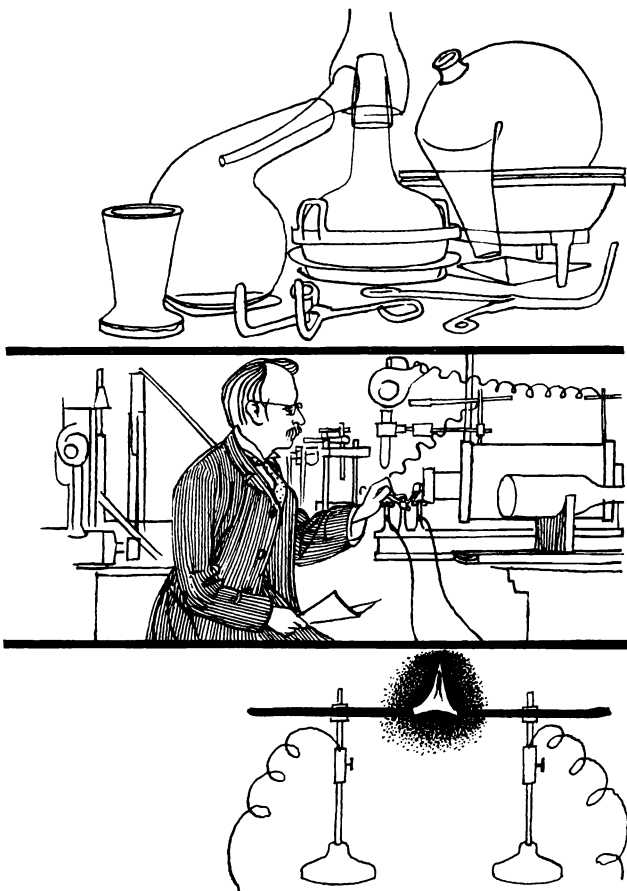
Die Dampflokomotive allerdings, die bei der Geburt der Eisenbahn Pate gestanden hatte, wird künftig die Schienenwege kaum noch befahren. Ende 1960 wurde die letzte in der DDR gebaute Dampflokomotive dem Verkehr übergeben; andere Länder bauen gleichfalls keine Dampflokomotiven mehr. An ihre Stelle treten die leistungsfähigeren, schnelleren und vor allem wirtschaftlicheren Diesel- und Elektrolokomotiven. Daß der Schienenverkehr auch in Zukunft seine Bedeutung behalten wird, ja sogar noch beträchtlich auszubauen vermag, zeigen die von Technikern mehrerer Länder – zum Beispiel der Sowjetunion – diskutierten Pläne breitspuriger Transkontinentallinien.

Das sowjetische Eisenbahnnetz umfaßt mit einer Gesamtstreckenlänge von über 135 000 km heute fast ein Zehntel der Streckenlänge aller Eisenbahnen der Welt. Das Eisenbahnwesen, das die internationale Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung in der Vergangenheit in bedeutendem Maße beeinflußt hat und in vielen Ländern einer der entscheidenden Faktoren des industriellen Aufschwungs war, wird auch in

Zukunft ein hervorragender Produktivitäts- und Wachstumsfaktor sein. Dabei spielt auch die Geschwindigkeit eine Rolle, mit der Personen und Güter befördert werden können. So haben Berechnungen ergeben, daß die sowjetischen Hauptbahnen einen zusätzlichen Nutzen von 200 bis 300 Millionen Rubel jährlich erwirtschaften können, wenn die Geschwindigkeit der Züge um nur 10 Prozent erhöht werden kann.

Was der Eisenbahn in der Vergangenheit ihre dominierende Rolle einbrachte, das war der geringe Reibungswiderstand zwischen Schiene und Rad und die Entwicklung der Dampflokomotiven. Dadurch hatten sie einen großen Vorteil gegenüber anderen Verkehrsträgern: Sie waren in der Lage, große Lasten relativ schnell über große Entfernungen zu befördern, wobei sie eine hohe Wirtschaftlichkeit, große Verkehrssicherheit und hohe Beförderungsqualität erreichten. Es bedarf gewiß keiner besonderen Betonung, daß auch in Zukunft diese Vorteile eine bedeutende Rolle spielen werden. Sie ermöglichen es, sich bei der Bewältigung der Güter- und Menschenströme auf hochleistungsfähige Magistralen zu konzentrieren, Großraum- und Spezialwagen in bedeutendem Umfange einzusetzen, die Zugförderung, die Rangierarbeiten und die Umschlagprozesse zu automatisieren, den Containerverkehr im Rahmen einer sinnvollen Arbeitsteilung mit den anderen Verkehrsträgern auszubauen und den Nahverkehr in Großstädten und Ballungsräumen zu bewältigen. Dazu kommt noch die relative Unabhängigkeit von Tages- und Jahreszeiten und vom Wetter. Fast ohne Konkurrenz unter den Verkehrsmitteln ist die Eisenbahn auf jeden Fall auf dem Wege zur Automatisierung. Dazu erscheint sie geradezu prädestiniert, da die automatische Fahrzeugführung die Zwangsführung durch die Schiene voraussetzt.

2. Kapitel • Neue Fundamente



Licht im Laboratorium

Lupe, Fernrohr und Mikroskop galten bereits am Beginn der industriellen Revolution als unentbehrliche Instrumente der Naturforscher. Auch die Gesetze waren bekannt, die ihnen zugrunde lagen. Man wußte, daß sich Licht geradlinig ausbreitet, wie es von einer spiegelnden Fläche zurückgeworfen wird und wie seine Richtung sich beim Übergang von einem durchsichtigen Stoff in einen anderen ändert.

Die Frage »Was ist Licht?« war noch nicht entschieden. Zwei Hypothesen über das Wesen, über die Natur des Lichts standen einander im 18. Jahrhundert gegenüber.

Hervorragendster Vertreter der einen war Isaac Newton (1643 bis 1727). Er hielt Licht für einen Hagel kleinster Geschosse, für einen dichten Strom von Lichtteilchen, die von der Sonne und anderen Strahlenquellen in den Raum geschleudert wurden, auf die Körper prallten und im Auge den Lichteindruck hervorriefen.

Die bekannten optischen Gesetze ließen sich mit dieser *Korpuskulartheorie* deuten, auch wenn mitunter, zum Beispiel bei der Erklärung der Lichtbrechung, zusätzliche Annahmen notwendig waren.

Die zweite Lichttheorie stammte von dem Holländer Christian Huygens (1629 bis 1695), der unter anderem die Pendeluhr und die Unruh für Federuhren erfand. Nicht Lichtteilchen gingen seiner Ansicht nach von einer Lichtquelle aus, sondern Wellen, die sich wie Schall- oder Wasserwellen nach allen Seiten ausbreiteten.

Dabei hatte Huygens mit einer Schwierigkeit fertigzuwerden: Wasser- und Schallwellen waren nicht ohne einen Stoff denkbar, in dem sie sich ausbreiteten. Worin aber entstanden und wanderten Lichtwellen?

Huygens nahm an, das ganze Weltall und sämtliche Körper seien von einem sehr feinen, elastischen und gewichtslosen Stoff erfüllt und durchdrungen, dem »Lichtäther«. Er sollte Träger der Lichtwellen sein.

Auch Huygens konnte, wie Newton, zahlreiche optische Erscheinungen zufriedenstellend erklären. Trotzdem fanden seine Gedanken im 18. Jahrhundert wenig Anklang. Newtons Name, seine Leistungen, das Bestreben der meisten Wissenschaftler, alle noch nicht erklärten Erscheinungen auf mechanische Vorstellungen und Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen, drängten Huygens Hypothese in den Hintergrund. Auch daß so berühmte Wissenschaftler wie Leonhard Euler (1707 bis 1783) sich zur Wellenhypothese bekannten, änderte daran nichts.

Erst im 19. Jahrhundert konnte durch Experimente bewiesen werden, daß Newtons Vorstellung keine ausreichende Deutung der Vorgänge

ermöglichte. Schon bei der Beantwortung einer einfachen Frage geriet man mit dieser Theorie in Schwierigkeiten: Was geschieht, wenn Licht durch eine sehr kleine Öffnung dringt oder eine Kante streift?

Bestand Licht aus kleinen Teilchen, so mußten diese geradeaus weiterfliegen und ein scharfes Bild der Öffnung bzw. einen scharfen Schatten der Kante hervorrufen. In Wirklichkeit jedoch war das Bild einer feinen Öffnung oder der Schatten eines dünnen Drahtes durchaus nicht exakt begrenzt; seitwärts oder im Umkreis des zu erwartenden Bildes traten dunkle und helle Streifen auf. Hierfür gab es nur eine Erklärung: Licht breitete sich nicht in jedem Falle geradlinig aus, es konnte auch »um die Ecke« gehen. Eine überzeugende Erklärung dieses Sachverhalts vermochten Newtons Anhänger nicht zu geben.

Für die Anhänger der Wellenhypothese waren die »Beugungserscheinungen« nicht überraschend. Man kannte sie längst. Auch Wasserwellen liefen nämlich hinter einer im Verhältnis zu ihrer Wellenlänge kleinen Öffnung nicht geradeaus weiter, sondern breiteten sich nach allen Seiten so aus, als wenn die Öffnung selbst Ausgangspunkt neuer Wellen wäre. Entsprechend verhielten sich Schallwellen.

Man wußte ferner, daß Wellen einander verstärken, schwächen oder sogar auslöschen können, je nachdem, ob verschiedene Wellenzüge mit ihren »Bergen« oder »Tälern« aufeinandertreffen.

Dieses Verhalten mußte, auf Licht übertragen, die erstaunliche Folgerung nach sich ziehen, daß Licht plus Licht unter bestimmten Voraussetzungen Dunkelheit ergibt. Der Nachweis des gegenseitigen Verstärkens, Auslöschens oder Schwächens von Licht, die *Interferenz*, würde entscheidend für die Wellenhypothese sprechen; denn daß kleinste Lichtteilchen sich gegenseitig »vernichteten«, war nicht vorstellbar.

Der Engländer Thomas Young (1773 bis 1829) und der Franzose Jean-Augustin Fresnel (1788 bis 1827) hatten an dieser Beweisführung hervorragenden Anteil.

Ausgangspunkt für Youngs Arbeiten über die Natur des Lichts waren die »Farben dünner Blättchen«. Ihnen verdanken wir die schillernden Farbspiele der Seifenblasen ebenso wie die dünner Ölhäutchen auf Wasser. Bereits die Anhänger der Newtonschen Hypothese hatten diesen Effekt untersucht, ohne allerdings eine unanfechtbare Erklärung geben zu können.

Young nahm an, daß diese Erscheinungen vom Zusammentreffen der von beiden Grenzflächen eines »dünnen Blättchens« zurückgeworfenen Lichtwellen herrührten. Daß *Farben* entstanden, kam daher, daß verschiedenen Farben Lichtwellen unterschiedlicher Länge entsprächen und

daß je nach der Dicke des Blättchens nur bestimmte Schwingungen sich verstärkten, schwächten oder auslöschten, während andere nur wenig beeinflußt wurden. Später ersann Young eine Versuchsanordnung, mit deren Hilfe er nicht nur das Verstärken, Abschwächen oder gegenseitige Auslöschten von Lichtwellen unmittelbar demonstrieren, sondern auch Lichtwellenlängen bestimmen konnte. Diese Resultate stellten eine wichtige Stütze der Wellenhypothese dar.

Young führte nicht nur das Licht, sondern auch die Wärmestrahlung auf Ätherschwingungen zurück und nahm an, daß sich Licht und Wärmestrahlung lediglich durch ihre Schwingungszahl voneinander unterscheiden. Da man in den Schallwellen Längswellen erkannt hatte, die im Gegensatz zu Wasserwellen in ihrer Fortpflanzungsrichtung schwingen, hielt Young – wie schon vorher Huygens – auch die Lichtwellen für Längsschwingungen des Äthers. Das war, wie sich herausstellte, ein Trugschluß, der den Anhängern Newtons noch einmal zu Hilfe kam:

Schon zu Newtons Zeiten war bekannt, daß sich ein Lichtstrahl teilt, wenn er auf ein Kalkspatplättchen trifft, das in bestimmter Weise aus einem Kristall geschnitten wurde. Ließ man die Strahlen durch ein zweites Kalkspatplättchen fallen, so fand je nach dessen Stellung eine nochmalige Zerlegung statt oder nicht.

Im Jahre 1808 stieß der französische Physiker Etienne Louis Malus (1775 bis 1812) durch Zufall wieder auf diesen Effekt und untersuchte ihn genauer. Wir können heute darüber unter dem Stichwort *Polarisation* in jedem Physikbuch nachlesen. Newton hatte sie durch die Annahme zu erklären versucht, ein Lichtstrahl besitze »verschiedene Seiten« mit voneinander abweichendem Verhalten. Mit Längsschwingungen des Äthers war die Polarisation nicht zu erklären.

Jean Augustin Fresnel setzte Youngs Versuche fort, indem er das von gegeneinander geneigten Spiegeln reflektierte Licht aufeinanderfallen ließ. Wieder erhielt er ähnliche dunkle und helle Streifen wie Young. Er schloß: Licht war doch ein Wellenvorgang.

Fresnel faßte die Ergebnisse seiner Untersuchungen zusammen und legte sie der Französischen Akademie der Wissenschaften vor, die einen Wettbewerb zur Untersuchung der Beugungserscheinungen ausgeschrieben hatte. Da in der Jury vorwiegend Wissenschaftler vertreten waren, die der Teilchenhypothese anhängen, hatte sich Fresnel mit zahlreichen Einwürfen und Kritiken auseinanderzusetzen. Gerade das spornte ihn an, seine Gedankengänge noch schärfer und klarer zu formulieren und die Einwände durch Experimente zu widerlegen. Schließlich mußte ihm die Jury den ausgesetzten Preis zuerkennen.

Fresnel wandte sich nun dem Studium der Polarisationserscheinungen zu. Er erkannte, daß diese die Wellenhypothese nicht nur nicht widerlegten, sondern im Gegenteil bestätigten, wenn man annahm, daß Licht nicht parallel, sondern senkrecht zu seiner Fortpflanzungsrichtung schwingt. Kalkspat und andere Stoffe wirkten auf die *transversalen* Lichtschwingungen ähnlich wie ein Lattenzaun, durch den ein schwingendes Seil geführt wird.

Der Forscher belegte seine Ansicht durch zahlreiche Experimente. Die Transversalität der Lichtschwingungen wurde seitdem niemals mehr ernsthaft angezweifelt.

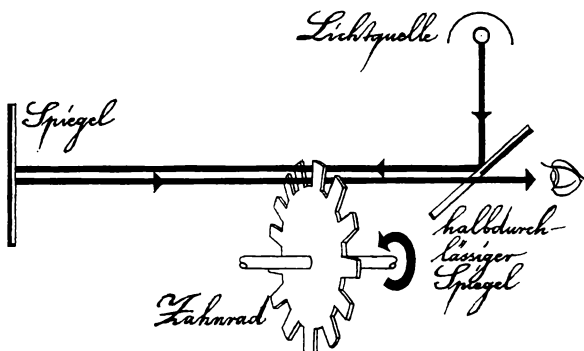
Der Schlußpunkt hinter den Streit Welle gegen Teilchen wurde allerdings erst später gesetzt. Man wußte, daß die Brechungerscheinungen einen unwiderlegbaren Beweis für die Richtigkeit der einen oder anderen Lichthypothese liefern können: Nach Newton sollte die Lichtgeschwindigkeit zunehmen, wenn Licht von einem »optisch dünneren« in einen »optisch dichteren« Stoff drang; nach Huygens dagegen sollte sie abnehmen.

Die Entscheidung lief also auf eine exakte Messung der Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen hinaus. Doch bisher hatte man einen Wert für die Lichtgeschwindigkeit nur mit Hilfe einer außerirdischen »Meßstrecke« erhalten: Der dänische Astronom Olaf Römer (1644 bis 1710) hatte eine scheinbare Verspätung im Umlauf der Jupitermonde gegenüber der Rechnung auf die wechselnde Entfernung zwischen Erde und Jupiter zurückgeführt und daraus einen annähernd richtigen Wert für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts errechnet. Wollte man die Lichtgeschwindigkeit auf der Erde messen, brauchte man verfeinerte experimentelle Hilfsmittel und Meßverfahren.

Hippolyte Fizeau (1819 bis 1896) und Léon Foucault (1819 bis 1868) lösten diese Aufgabe auf verschiedenen Wegen.

Fizeau ließ Licht durch die Lücken eines rasch umlaufenden Zahnrades auf einen entfernten, genau ausgerichteten Spiegel fallen. Dort wurde es reflektiert und kehrte durch das Zahnrad zurück. Solange sich das Rad nicht zu schnell drehte, war das reflektierte Licht zu beobachten. Bei einer Steigerung der Drehgeschwindigkeit aber verschwand es plötzlich. Das Zahnrad hatte sich bereits um soviel weitergedreht, daß der zurückkehrende Lichtblitz nicht mehr die Lücke, sondern den nächsten Zahn traf. Aus den Abmessungen und der Drehzahl des Rades sowie aus der Entfernung des Spiegels ließ sich die Lichtgeschwindigkeit errechnen.

Für die Messung der Lichtgeschwindigkeit in anderen Stoffen als in



Fizeaus Methode zur Messung der Lichtgeschwindigkeit

Luft war diese Methode allerdings ungeeignet; denn das Licht mußte, wenn man brauchbare Meßergebnisse erhalten wollte, einen mehrere Kilometer langen Weg zurücklegen. An Messungen im Labor war daher noch nicht zu denken.

Diese Möglichkeit eröffnete Foucaults Verfahren. Er ersetzte das Zahnrad durch einen rotierenden Spiegel. Das Licht wurde nicht von den Zähnen unterbrochen oder durchgelassen, sondern durch die Drehbewegung des Spiegels zur Seite gelenkt. Aus der Ablenkung konnte die Lichtgeschwindigkeit errechnet werden.

Foucault kam mit wenigen Metern Meßstrecke aus. Damit aber konnte man die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen bestimmen, die in den Lichtweg gebracht wurden.

Das Ergebnis war: In optisch dichteren Stoffen pflanzt sich das Licht tatsächlich langsamer fort als in dünneren. Damit war Huygens Behauptung glänzend bestätigt, die Wellentheorie hatte endgültig den Sieg davongetragen. Daß sie nicht für immer die einzige Deutungsmöglichkeit für das Wesen des Lichts blieb, werden wir später erfahren.

Es war ein Triumph der Meßtechnik, als es gelang, die – wie wir heute wissen – größte mögliche Geschwindigkeit unmittelbar zu bestimmen. Doch nicht der Beschäftigung mit der Geschwindigkeit, sondern der mit der Farbe des Lichts verdanken wir eines der wichtigsten Hilfsmittel für Forschung und Technik.

Isaac Newton hatte untersucht, wie Licht durch ein Prisma drang: Bei geeigneter Versuchsanordnung erschien auf dem Schirm hinter dem

Prisma ein regenbogenfarbiges Band, das *Spektrum*. Das weiße Licht war demnach aus Lichtanteilen verschiedener Farben zusammengesetzt, eine Behauptung, die Newton dadurch bewies, daß er die Regenbogenfarben mit Linsen oder Spiegeln wieder zu weißem Licht zusammenfügte. Das war eine überraschende Feststellung, aber für Jahrzehnte begnügte man sich mit ihr. Daß mehr daraus wurde, verdanken wir zunächst Joseph Fraunhofer (1787 bis 1826).

Der Münchener Spiegelschleifer und Glasmacher Fraunhofer konstruierte Schleifmaschinen, die Linsen mit einer bis dahin nicht erreichten Genauigkeit anzufertigen gestatteten. Er verbesserte die Fernrohre und arbeitete systematisch und erfolgreich an hochwertigen Glassorten für den Bau optischer Instrumente.

Um die Lichtbrechung verschiedener Gläser vergleichen und feststellen zu können, ließ er Sonnenlicht durch Prismen aus den einzelnen Glasarten fallen. Genaue Vergleiche waren allerdings zunächst nicht möglich, weil die Spektralfarben auf einem verhältnismäßig engen Raum zusammengedrängt erschienen. Deshalb arbeitete Fraunhofer eine Anordnung aus, mit deren Hilfe er die Spektren weiter auseinanderziehen konnte. Dabei machte er eine wichtige Entdeckung:

Die Farben des Sonnenspektrums gingen nicht lückenlos und stetig ineinander über. Im Spektrum zeigten sich, unregelmäßig verteilt, dunkle, schmale Linien. Fast 600 stellte Fraunhofer fest. Sie heißen heute *Fraunhofersche Linien*.

Diese Linien, so meinte Fraunhofer, »liefern den Beweis, daß die Bestandteile eines zerlegten weißen Sonnenstrahls nicht eine stetige Reihe von Strahlen verschiedener Brechkraft bilden, sondern daß Strahlen von gewissen Farbabstufungen abgehen, so daß die dunklen Linien die Lücken im Spektrum darstellen, welche diesen fehlenden Strahlen entsprechen. Diese Linien liegen immer in den nämlichen Teilen des Spektrums und behalten dieselbe gegenseitige Ordnung und Lage, dieselbe Breite und Dunkelheit, vorausgesetzt, daß das Spektrum durch Sonnenlicht und einmal wie das andere durch Prismen von derselben Substanz erzeugt wird. Eine Verschiedenheit der Substanz bewirkt zwar auch keine Änderung der Anzahl, Ordnung und des Grades der Dunkelheit, wohl aber ändert sich dadurch der gegenseitige Abstand der Linien untereinander«.

Daß die Linien ihren Abstand in Abhängigkeit vom Prismenwerkstoff änderten, gab Fraunhofer die Möglichkeit, verschiedene Glassorten mit großer Genauigkeit zu vergleichen und ihre Eigenschaften zu prüfen.

Aber auch die dunklen Linien selbst untersuchte er. Dabei zeigte es sich, daß die von Fixsternen erhaltenen Spektren sich deutlich vom Sonnenspektrum unterschieden. Das war eine Erscheinung, die man sich nicht erklären konnte; hatte man doch bisher angenommen, die Sonne und die Fixsterne strahlten gleiches Licht aus.

Als man die Spektren von Stoffen untersuchte, die in einer Flamme oder im elektrischen Bogenlicht verbrannten, gab es eine neue Überraschung: Statt dunkler Streifen traten jetzt helle auf, und zwar, je nach Art der verbrennenden Substanz, in verschiedenen Farbbereichen. Es existierten scheinbar verschiedene »Lichtarten«, je nachdem, woher das Licht stammte.

Die von Fraunhofer begonnenen Versuche wurden vor allem durch den deutschen Chemiker Robert Wilhelm Bunsen (1811 bis 1899) und seinen Freund, den Physiker Gustav Kirchhoff (1824 bis 1887) fortgeführt. Schon als junge Gelehrte verband sie eine enge Freundschaft, die sich in langjähriger fruchtbarer Zusammenarbeit bewährte.

Die Anordnung, die Fraunhofer und einige nach ihm benutzt hatten, war für genaue Untersuchungen wenig geeignet. Das Eigenleuchten der Flamme störte, wenn man einen Stoff zur Untersuchung hineinbrachte. Im »Bunsenbrenner«, der in alle Laboratorien der Welt eingezogen ist, schuf Bunsen ein geeignetes Hilfsmittel für seine Arbeiten: Eine Gasflamme brannte unter reichlicher Luftzufuhr. Sie war infolgedessen nahezu farblos und überdies so heiß, daß die zu untersuchenden Stoffe teilweise oder ganz verdampften. Kirchhoff schrieb in den Abhandlungen der Königlich Akademie der Wissenschaften (Berlin, 1862):

»In den Saum dieser Flamme brachten wir mit Hilfe eines feinen Platindrahtes verschiedene Salze und betrachteten das Spektrum der über der Salzperle sich erhebenden leuchtenden Dämpfe. Die Erscheinungen, die sich uns darboten, gehören zu den glänzendsten optischen Phänomenen, die man hervorrufen kann. Wir sahen nur das dem angewandten Salze entsprechende Spektrum, aber dieses in größtem Glanze, während bei den früheren Versuchen das Eigentümliche des Spektrums durch das Licht des verbrennenden Alkohols zum großen Teil verdeckt wurde.

Mit Sicherheit und Leichtigkeit konnten wir uns davon überzeugen, daß die verschiedensten Salze eines Metalls, wenn sie flüchtig sind, dieselben hellen Linien im Spektrum erzeugen . . . Wir konnten so auf diese hellen Spektrallinien eine Methode der qualitativen Analyse gründen, deren Fruchtbarkeit schon eine Reihe von Erfolgen bewiesen hat, welche durch sie gewonnen sind.«

Zahlreiche Metalle und andere schwer schmelzbare Stoffe erzeugten jedoch auch in der Bunsenflamme kein befriedigendes Spektrum. Daher heißt es weiter:

»Um die Metallspektren zu erzeugen, habe ich mich fast ausschließlich des elektrischen Funkens bedient, und zwar wegen der großen Lichtstärke, welche derselbe gewährt.«

Glühende feste Stoffe zeigten ein stetiges Spektrum, während bei glühenden Gasen und Dämpfen ein aus einer großen Zahl einzelner Linien zusammengesetztes Spektrum zu beobachten war.

Einige Eigenschaften der beobachteten Spektren waren besonders wichtig für die von Bunsen und Kirchhoff begründete neue Methode der Analyse: Das Spektrum eines Grundstoffs ist unabhängig von der chemischen Verbindung, die ihn enthält. Man kann daher, wenn man das Spektrum eines Elements kennt, mit Sicherheit sagen, ob dieses Element in einer zu untersuchenden Verbindung enthalten ist oder nicht. Dabei stören oder beeinflussen sich die Spektren verschiedener Grundstoffe einer Verbindung nicht. Vor allem aber ist es die überaus große Empfindlichkeit, die die von Bunsen und Kirchhoff entwickelte Nachweismethode auszeichnet. Bunsen beschrieb einen Versuch, bei dem bereits ein dreimillionstel Milligramm Natrium zur Gewinnung eines deutlichen Spektrums hinreichte!

Die Untersuchungen optischer Erscheinungen hatte damit der chemischen Forschung ein Werkzeug in die Hand gegeben, das jede Waage an Empfindlichkeit weit übertraf: die *Spektralanalyse*.

Mit ihrer Hilfe wurden bald chemische Grundstoffe gefunden, die bis dahin der Forschung entgangen waren, weil sie nur in sehr feiner Verteilung vorkamen. Bunsen selbst entdeckte die Elemente Rubidium und Zäsium. Später verrieten das Indium, das Gallium und das Skandium ihre Existenz durch ihre Spektren. Die Bestandteile unbekannter Verbindungen konnten auch durch die Spektralanalyse bestimmt werden.

Schon Fraunhofer hatte die merkwürdige Tatsache beobachtet, daß zwei dunkle Linien des Sonnenspektrums sich genau an der gleichen Stelle im Spektrum befanden, an der bei Versuchen im Labor die hellen Linien des Natriums lagen. Léon Foucault und unabhängig davon Bunsen und Kirchhoff klärten diese Erscheinung auf:

Fällt helles Licht auf weniger hell leuchtenden Natriumdampf, so findet eine »Umkehrung der Natriumlinie« statt. Die vorher helle Stelle im Spektrum ist jetzt dunkler als die übrigen Teile. Das gleiche Verhalten zeigen bei entsprechender Versuchsanordnung die Spektrallinien anderer chemischer Grundstoffe.

Bunsen, besonders aber Kirchhoff, waren damit einem wichtigen Naturgesetz auf die Spur gekommen, dessen Erklärung erst späteren Jahrzehnten vorbehalten blieb:

Leuchtende Gase und Dämpfe absorbieren die Farben, die sie selbst aussenden. Neben den *Emissionsspektren*, die das Licht des leuchtenden Körpers hervorruft, gibt es *Absorptionsspektren*. Sie entstehen, wenn Licht durch leuchtende Gase und Dämpfe fällt. Dabei ist das Absorptionsspektrum gewissermaßen das »Negativ« des Emissionsspektrums. Seine zu einem bestimmten Grundstoff gehörenden dunklen Linien befinden sich genau da, wo bei fehlender Absorption die hellen Linien des Emissionsspektrums angeordnet sind.

Diese Erkenntnis erklärte das noch immer rätselhafte Entstehen der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum. Kirchhoff schrieb:

»Um die dunklen Linien des Sonnenspektrums zu erklären, muß man annehmen, daß die Sonnenatmosphäre einen leuchtenden Körper umhüllt, der für sich allein ein Spektrum ohne dunkle Linien geben würde. Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, daß die Sonne aus einem festen oder tropfbar flüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur.«

Die Grundstoffe in der Sonnenatmosphäre absorbieren also »ihr« Licht, und so entstehen die dunklen Linien. In der Tat zeigten weitere Messungen und Vergleiche, daß viele der auf der Erde vertretenen Grundstoffe als Dampf in der Sonnenatmosphäre glühen. Sobald man die Untersuchungen auf die Spektren der Fixsterne ausdehnte, fand man, daß die »irdischen« Elemente auch auf ihnen vorkamen.

Ein chemisches Element wurde sogar zuerst auf der Sonne entdeckt:

Man hatte gelernt, Fernrohre mit angebauten Spektralapparaten so zu richten und abzublenzen, daß nur die glühende Gashülle am Sonnenrand ein Spektrum lieferte, nicht aber der darunterliegende Sonnenball. Das Spektroskop zeigte daher kein Absorptionsspektrum, sondern ein Emissionsspektrum. Die normalerweise dunklen Fraunhoferschen Linien erschienen hell. Dabei beobachtete der englische Astronom und Physiker Joseph Norman Lockyer (1836 bis 1920) eine kräftige gelbe Linie, die sich keinem bekannten Element zuordnen ließ. Lockyer vermutete als Ursache ein auf der Erde unbekanntes Element, dem er den Namen Helium gab. Fast drei Jahrzehnte später, 1895, wurde das Helium auf der Erde entdeckt, und zwar in bestimmten Mineralien, in denen Spuren davon eingeschlossen waren. Die Entdeckung eines neuen Grundstoffes erst auf der Sonne und anschließend auf der Erde war ein überzeugender

Beweis für die These vom Vorhandensein gleicher Grundstoffe auf den Himmelskörpern.

Sie widerlegten zugleich die sogar von namhaften Wissenschaftlern vertretene Ansicht, was auf den Sternen vorgehe, woraus sie bestünden, werde dem menschlichen Erkenntnisdrang für immer verborgen bleiben. Noch im Jahre 1830 hatte der französische Philosoph Auguste Comte geschrieben, die Menschen würden niemals die chemische Zusammensetzung der Himmelskörper und ihren mineralogischen Bau erfassen. Aber schon 30 Jahre später besorgte die Spektralanalyse einen ersten Zusammenbruch dieser pessimistischen Anschauung der Welt, und wir erleben in unserer Zeit durch die Weltraumforschung die Bestätigung der materialistischen These: Die Welt ist grundsätzlich erkennbar.

Die Leistungen der Spektralanalyse auf dem Gebiet der Astronomie und der Astrophysik waren seit jener Zeit außerordentlich bedeutsam:

Man konnte aus dem Spektrum eines Sterns Rückschlüsse auf die Temperatur seiner Atmosphäre ziehen. Von da aus wieder erhielt man Anhaltspunkte für die Temperatur des Sternkörpers selbst.

Da im Spektrum einer Lichtquelle geringfügige, nur mit feinsten Mitteln meßbare Verschiebungen auftreten, je nachdem, wie schnell sich die Lichtquelle auf uns zu oder von uns weg bewegt, konnte man mit Hilfe der Spektralanalyse Geschwindigkeitsmessungen an Fixsternen vornehmen. Man gelangte zu Aussagen darüber, ob es sich bei einem beobachteten Himmelskörper um einen oder um zwei einander umkreisende Sterne handelt, und man erhielt mit Hilfe der Spektralanalyse sogar Auskünfte über die Magnetfelder der Sterne und die zwischen den Sternen im Weltraum vorhandenen Stoffe. Dazu war eine ständige Verbesserung der spektralanalytischen Methoden erforderlich. Besonders die im 19. Jahrhundert rasch fortschreitende photographische Technik hat dabei wertvolle Hilfestellung geleistet. Auch die Ausdehnung der Spektralbeobachtungen auf den unsichtbaren, den ultravioletten und ultraroten Teil des Spektrums erweiterte den Anwendungs- und Nutzungsbereich der Spektralanalyse. Spektroskopische Messungen haben beispielsweise in neuester Zeit sogar die chemische Analyse eines außerhalb unserer Milchstraße gelegenen Sterns ergeben, der zu den Magellanschen Wolken gehört und rund 218 000 Lichtjahre von uns entfernt ist. Diese Messungen bekräftigen die Annahme, daß sich das Weltall überall aus den gleichen chemischen Elementen in mehr oder wenig unterschiedlichen Mischungsverhältnissen zusammensetzt.

So zählt die Spektralanalyse in mehrfacher Hinsicht zu den größten wissenschaftlichen Leistungen des 19. Jahrhunderts:

Den Chemikern gab sie ein Werkzeug, mit dessen Hilfe sie auch kleinste Stoffspuren nachweisen konnten. Für die Astronomen bedeutete sie den Beginn der Astrophysik. Dem Metallurgen, dem Werkstoffkundler, sogar dem Kriminalisten ermöglichte sie, auch geringste Stoffmengen schnell und exakt festzustellen.

Die Frage, warum die chemischen Elemente und ihre Atome Licht aussenden und warum dieses Licht seine Farbe stets mit größter Genauigkeit beibehält, fand damals noch keine Antwort. Als sie gegeben werden konnte, wurden die Spektren zu einem der wichtigsten Hilfsmittel der Atomphysik.

Zugleich ist es aber sehr wichtig, zu sehen, daß die außerordentlichen Möglichkeiten der produktiven Anwendung der Spektralanalyse über viele Jahrzehnte hinweg nur ganz unzulänglich genutzt wurden. Erst die stärkeren Anforderungen an die Werkstoffe im imperialistischen Weltkrieg 1914 bis 1918 und vor allem das Streben der Monopole der USA nach der Atombombe im zweiten Weltkrieg führten zur Konzentration starker Kräfte auf diesem wichtigen Gebiet. Hier zeigt sich an einem Einzelbeispiel sehr deutlich der reaktionäre Charakter des Imperialismus: Wissenschaft und Technik, deren humanistische Bestimmung darin besteht, dem Leben des arbeitenden Menschen zu dienen, werden im Kapitalismus zunehmend dem Militarismus unterworfen. Wenn nach 1945 eine raschere, kontinuierliche Entwicklung der Wissenschaft in den führenden imperialistischen Ländern einsetzte, so geschah das vor allem unter dem Zwang, dem wachsenden Einfluß des Sozialismus, besonders der Sowjetunion, zu begegnen. Die Monopole sind gezwungen, der ständig wachsenden ökonomischen Stärke der sozialistischen Staatengemeinschaft Rechnung zu tragen. Und der Kampf aller friedliebenden Kräfte und Völker unter Führung dieser unaufhaltsam wachsenden Friedensmacht ist eine unabdingbare Voraussetzung, um die Entwicklung von Wissenschaft und Technik im Sinne des Friedens und des sozialen Fortschritts zu gewährleisten.

Der Weg zum Unteilbaren

»Kein Körper ist ein wahrer Grundbestandteil oder Element, wenn er . . . weiter in irgendeine Anzahl verschiedener Substanzen, wie klein diese immer auch sein mögen, aufgelöst werden kann.«

Der englische Physiker und Chemiker Robert Boyle (1627 bis 1691), der diese Erkenntnis niederschrieb, brach mit den zu seiner Zeit vor-

herrschenden Vorstellungen von den Grundstoffen. Für die »Elemente« der jüngeren Alchemie (Schwefel, Quecksilber und »Salz«) bot diese Definition keinen Raum mehr.

Schon im Altertum hatten sich Philosophen mit der Frage nach der möglichen Existenz »letzter«, kleinster Teilchen, der *Atome*, befaßt. Boyle jedoch setzte Atome als Bestandteile der chemischen Grundstoffe von vornherein voraus. Er glaubte, sie seien bei den einzelnen Stoffen nach Größe und Form verschieden und zögen sich gegenseitig an.

Für die wichtigste Arbeitsmethode der Chemie hielt es Boyle, »... Versuche anzustellen, Beobachtungen zu machen und keine Theorie aufzustellen, ohne vorher die darauf bezüglichen Erscheinungen geprüft zu haben«.

Ein klar umrissener Elementbegriff und Versuche: Beides waren wichtige Stützpfeiler der Chemie. Boyle selbst konnte noch nicht in jedem Fall auf ihnen bauen; denn eine experimentelle Entscheidung, ob eine Substanz ein chemischer Grundstoff oder eine Verbindung aus mehreren Elementen sei, ließ sich damals nur bei verhältnismäßig wenigen Substanzen eindeutig treffen.

In der Physik hatte man seit Galilei nicht nur beobachtet, sondern vor allem gemessen und gerechnet. Chemiker hingegen hatten sich mit Mengenangaben begnügt und viele Erscheinungen nur zu beschreiben vermocht.

Es ist das große Verdienst Antoine Laurent Lavoisiers (1743 bis 1794), der Waage den ihr gebührenden wichtigen Platz unter dem Handwerkszeug des Chemikers eingeräumt zu haben.

Mit großem Eifer widmete sich Lavoisier vor allem dem Studium der Verbrennungerscheinungen. Er erkannte: »Die atmosphärische Luft ist ... aus zwei Gasen von verschiedener, man möchte fast sagen entgegengesetzter Natur zusammengesetzt.«

Die entscheidende Rolle, die der Sauerstoff bei sämtlichen Verbrennungs- und Oxydationsvorgängen spielt, wurde durch Lavoisiers Arbeiten endgültig geklärt. Er führte die Verbrennung auf wägbare, meßbare chemische Prozesse zurück, die zwischen verschiedenen Stoffen abliefen und denen nichts Geheimnisvolles innewohnte. Er fand eine überzeugende Theorie des gegenseitigen Zusammenhangs von Oxydation und Reduktion.

Lavoisiers Bedeutung jedoch reicht weiter. Mit Hilfe seiner Erkenntnisse über die Verbrennung konnte er die Nahrungsaufnahme und Atmung der Lebewesen erklären und nachweisen, daß auch im Körper Wärme durch »Verbrennen« der Nahrung entwickelt wird. Er ersetzte

die altertümlichen, oft der Alchimie entstammenden Bezeichnungen für chemische Verbindungen durch leichtverständliche Namen, aus denen die Bestandteile der Verbindungen erkennbar waren, und ordnete diese Verbindungen nach drei Gruppen: Säuren, Basen, Salze.

Seine Arbeiten bestätigten, was Lomonossow schon 1758 ausgesprochen hatte: Es gibt keinen chemischen Vorgang, bei dem Stoff verlorengeht oder entsteht. Wie immer auch chemische Prozesse ablaufen, die Gesamtmenge der daran beteiligten Grundstoffe verändert sich nicht. Dies ist das wichtige Gesetz von der Erhaltung der Masse, das den Einsatz der Waage wie überhaupt quantitative chemische Untersuchungen erst sinnvoll macht. Lavoisier, der dieses Gesetz gleichfalls erkannt und bei seinen Untersuchungen vorausgesetzt hatte, drückte es so aus:

»Der Stoff bleibt stets erhalten, er ändert nur seine Gestalt.«

Die Arbeiten Lavoisiers und seiner Zeitgenossen und Nachfolger, die neuartigen Ausbildungsstätten Frankreichs, in denen technische und naturwissenschaftliche Fächer im Vordergrund standen, die Förderung von Wissenschaft und Technik nach der Großen Französischen Revolution, nicht zuletzt die Notwendigkeit, die wegen der Kontinentalsperre ausbleibenden Importe aus eigener Kraft zu ersetzen, verursachten einen Aufschwung von Forschung und Industrie, der Frankreich auf Jahrzehnte hinaus eine hervorragende Stellung in der Chemie sicherte.

Der Gebrauch der Waage führte auf die Frage: In welchem Verhältnis treten Elemente zu Verbindungen zusammen? Vereinigen sich beliebige Mengen, oder unterliegen diese Mengen bestimmten Gesetzmäßigkeiten?

Experimente gaben zunächst keine eindeutige Antwort, sondern schienen beide Möglichkeiten zu bestätigen. So schloß der französische Chemiker Claude Louis Berthollet (1748 bis 1822) auf Grund seiner Versuche, Grundstoffe könnten sich in beliebigen Gewichtsverhältnissen verbinden. Demgegenüber kam Joseph Louis Proust (1755 bis 1826) zu dem Resultat, daß Elemente immer nur in ganz bestimmten, stets gleichbleibenden Mengenverhältnissen zu chemischen Verbindungen zusammentreten. Für die Vereinigung von Säuren und Basen zu Salzen hatte Karl Friedrich Wenzel (1740 bis 1793) diese Feststellung schon vorweggenommen.

Proust konnte nachweisen, daß sich Berthollet geirrt hatte. Darüber hinaus zeigte der Engländer John Dalton (1766 bis 1844): Auch wenn Grundstoffe mehrere Verbindungen miteinander bilden, treten stets bestimmte, einfache Zahlenverhältnisse auf. So stehen zum Beispiel die Mengen Sauerstoff, die sich mit einer bestimmten Kohlenstoffmenge ver-

binden können, im Verhältnis 1 : 2 (die beiden Verbindungen sind Kohlenmonoxid, CO , und Kohlendioxid, CO_2). Für andere Elemente gelten entsprechende Verhältnisse. Dalton faßte diese Ergebnisse im »Gesetz der multiplen Proportionen« zusammen.

Nachdem geklärt war, wie sich Elemente verbinden, fragte er weiter: Warum treten Grundstoffe in bestimmten Verhältnissen zusammen, und warum sind diese Verhältnisse unverändert von den kleinsten, gerade noch wägbaren, bis zu den größten Stoffmengen festzustellen?

Die einfachste und, wie Dalton erkannte, einzig widerspruchsfreie Deutung war: Die Grundstoffe bestehen tatsächlich, wie Boyle behauptet hatte, aus kleinsten Teilchen, aus Atomen. Bei der Bildung von Eisensulfid (Schwefeleisen) zum Beispiel verbinden sich jeweils ein Eisen- und ein Schwefelatom. Dalton schrieb darüber:

»Wir können daher schließen, daß die letzten Teilchen aller homogenen Stoffe völlig gleich in Gewicht, Gestalt usw. sind. Mit anderen Worten, jedes Teilchen Wasser ist gleich jedem anderen, jedes Atom Wasserstoff ist gleich jedem anderen Atom Wasserstoff . . .«

Dalton erkannte ferner, daß die Zahl der Atome in den chemischen Stoffen begrenzt ist:

»Versuchen wir die Zahl der Atome in der Atmosphäre zu begreifen, so wäre das eine Aufgabe wie diejenige, die Zahl der Sterne im Weltall zu zählen; der Gedanke verwirrt uns. Aber wenn wir den Gegenstand begrenzen und ein gegebenes Volumen irgendeines Gases nehmen, so halten wir uns überzeugt, daß die Zahl der Teilchen endlich sein muß, ebenso wie in einem gegebenen Teile des Weltalls die Zahl der Sterne und Planeten nicht unbegrenzt sein kann.«

Wie viele Atome ein gegebenes Stoffquantum enthielt, ließ sich beim damaligen Stand der Erkenntnis und der experimentellen Technik noch nicht herausfinden.

An der Zusammensetzung von Verbindungen waren Stoffmengen verschiedener Masse beteiligt. War Daltons Vorstellung von den Atomen richtig, konnte man diese Gewichtsunterschiede nur darauf zurückführen, daß auch einzelne Atome verschiedener Grundstoffe in ihrer Masse voneinander abwichen.

Dalton durfte nicht hoffen, Gewicht oder Masse eines einzelnen Atoms unmittelbar bestimmen zu können. Er sagte sich jedoch, daß schon viel gewonnen wäre, wenn man wüßte, wievielfach das Atom eines Grundstoffs schwerer sei als das eines anderen. Eine solche Bestimmung der »Relativgewichte«, der *relativen Atommasse*, lag im Bereich der damaligen Möglichkeiten.

Dalton ging von Verbindungen aus, bei denen sich seiner Ansicht nach je ein Atom des einen Elements mit einem Atom des Verbindungspartners zusammengetan hatte. In diesem Fall mußte, da keine Atome »übrigblieben«, das Gewichtsverhältnis der Verbindungspartner der Relativmasse ihrer Atome entsprechen. Wog zum Beispiel in einer aus jeweils zwei Atomen zusammengesetzten Verbindung der Grundstoff A fünfmal soviel wie der Grundstoff B, so mußte jedes einzelne Atom von A fünfmal schwerer sein als jedes Atom von B.

Als Einheit wählte Dalton das Atom des leichtesten Stoffes, des Wasserstoffs; das heißt, er drückte alle Atommassen in Vielfachen der Masse des Wasserstoffatoms aus. Auf diese Weise fand er zum Beispiel für Natrium eine relative Atommasse von etwa 21 (heutiger Wert: 22,98), für Kalium etwa 35 (39,10) und für Silber 100 (107,88).

Nicht alle Fragen, die sich aus seiner Atomlehre ergaben, konnte Dalton klären. So fehlte ihm noch die klare Einsicht in den Unterschied zwischen Atomen und Molekülen. Er nahm zum Beispiel an, ein Wasser teilchen bestehe aus einem Atom Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff (in Wirklichkeit enthält das Wassermolekül 2 Wasserstoffatome und 1 Sauerstoffatom), und erhielt infolgedessen für Sauerstoff eine relative Atommasse von etwa 7, während der richtige Wert 16 beträgt.

Die Atomlehre war zweifellos die großartigste Leistung Daltons, aber sie war nicht sein einziger Beitrag zur Chemie: Die aus der Vergangenheit überkommenen chemischen Rezepte und Vorschriften waren unklar, oft bewußt verschleiert, und wurden mitunter selbst von Chemikern kaum verstanden. An ihre Stelle hatte eine Beschreibungsmethode für chemische Vorgänge zu treten, die übersichtlich, eindeutig, kurz und klar war und, wie mathematische Symbole, von Wissenschaftlern aller Länder in gleicher Weise verstanden wurde; nur so war ein nützlicher und schneller Austausch von Forschungsergebnissen und Erfahrungen möglich.

Daher führte Dalton Symbole in die Chemie ein. Für ein Wasserstoffatom setzte er einen Kreis mit eingeschriebenem Punkt, für das Sauerstoffatom einen Kreis, für Schwefel einen Kreis mit einem Kreuz usw. Der Aufbau von Verbindungen wurde durch Zusammenstellen der entsprechenden Symbole gekennzeichnet.

Dalton hatte für seine »Atomgewichte« keine ganzen Zahlen erhalten, wohl aber häufig Werte, die nahe bei ganzen Zahlen lagen. Daraus leitete der englische Arzt William Prout (1785 bis 1850) eine interessante Hypothese ab: Er nahm an, die Abweichungen von ganzen Zahlen seien nur durch ungenaues Messen entstanden. In Wirklichkeit seien alle

»Atomgewichte« ganzzahlig und damit Vielfache des Gewichts des Wasserstoffatoms. Daraus wiederum könne man folgern, daß alle schwereren Atome aus Wasserstoffatomen zusammengesetzt seien, daß Wasserstoff also das »Baumaterial« aller übrigen Stoffe darstelle.

Genauere Messungen widerlegten Prout. Die relativen Atommassen waren nicht ganzzahlig. Spätere Erkenntnisse über den Aufbau der Atome haben jedoch gezeigt, daß Prouts Annahme nicht so unbegründet gewesen war, wie man im 19. Jahrhundert geglaubt hatte (vgl. S. 210).

Zur Vervollkommenung der Daltonschen Lehre hat vor allem Amadeo Avogadro (1776 bis 1856) beigetragen. Avogadro untersuchte die Eigenschaften der Gase. Er konnte dabei auf Ergebnisse zurückgreifen, die Louis-Joseph Gay-Lussac (1778 bis 1850) erhalten hatte: Jedes Gas dehnt sich, gleichbleibenden Druck vorausgesetzt, bei der Erwärmung in gleichem Maße aus. Außerdem verbinden sich Gase nicht nur, wie andere Stoffe, nach bestimmten Massenverhältnissen, sondern auch in bestimmten Raumverhältnissen.

Auf Grund dieser Ergebnisse und eigener Untersuchungen stellte Avogadro die Regel auf: »Gleiche Raumteile aller Gase enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die gleiche Anzahl von Molekülen.«

Avogadro sprach von *Molekülen*, nicht von Atomen, ein Ausdruck, der sich seitdem für die kleinsten Teilchen einer chemischen Verbindung allgemein eingebürgert hat. Er erkannte, daß die kleinsten Teilchen in Gasen normalerweise keine Atome, sondern aus mehreren Atomen zusammengesetzte Moleküle sind. Damit konnte er zum Beispiel die zunächst unverständliche Tatsache erklären, daß aus 2 Liter Wasserstoff und 1 Liter Sauerstoff nur 2 Liter Wasserdampf entstehen, eine Erklärung, die mit Daltons Theorie allein nicht gegeben werden konnte. Darüber hinaus wurden die von Avogadro gefundenen Gesetzmäßigkeiten ein wichtiges Hilfsmittel bei der Klärung des Aufbaus chemischer Verbindungen und der Bestimmung von Molekülmassen (so nennt man die Summe der relativen Atommassen der Atome, die eine Molekül bilden).

Um allerdings weiter messend und rechnend in die Chemie vordringen zu können, benötigte man genauere Werte für die relativen Atommassen. Der Aufgabe, diese festzustellen, unterzog sich vor allem der schwedische Chemiker Jöns Jakob Berzelius (1779 bis 1848). In seinem »Lehrbuch der Chemie« lesen wir:

»Ich überzeugte mich bald durch neue Versuche, daß Daltons Zahlen die Genauigkeit fehlte, die für die praktische Anwendung seiner Theorie erforderlich war. Ich erkannte, daß zuerst die Atomgewichte einer mög-

lichst großen Zahl von Grundstoffen . . . mit möglichster Genauigkeit ermittelt werden müßten. . . . Nach zehnjährigen Mühen konnte ich im Jahre 1818 eine Tabelle herausgeben, die nach meinen Versuchen berechnete Atomgewichte und Angaben über die Zusammenstellung von etwa 2 000 Verbindungen enthält.«

Das ist die stolze Bilanz einer geradezu gigantischen Arbeit. Auch die Entdeckung der Elemente Selen, Silizium, Zirkonium und Thorium verdanken wir Berzelius. Eine weitere Leistung des schwedischen Forschers ist nicht minder wichtig: Er setzte Buchstaben und Zahlen an die Stelle der Daltonschen Atomsymbole und ihrer Kombinationen und schuf damit die chemische Formelsprache.

So wurde innerhalb weniger Jahrzehnte ein Fundament gegründet, auf dem die chemische Forschung und ihre Anwendungen seither sicher ruhen. Die Daltonsche Atomlehre war einer seiner wichtigsten Bestandteile. Sie lieferte zugleich einen überzeugenden Beweis für die Materialität der Welt – einer Welt allerdings, deren kleinste Teilchen man sich noch als undurchdringliche, unteilbare und nach mechanischen Gesetzen miteinander in Wechselwirkung tretende »Bauklötzchen« vorstellte. Wir werden sehen, warum diese Vorstellung eines Tages zu unlösbaren Widersprüchen führen mußte.

Elemente in Reih und Glied

Die Arbeiten von Boyle, Lavoisier und Dalton, die Forschungen von Berzelius und anderen hatten die wissenschaftliche Chemie begründet, die Wissenschaft, die sich mit den Stoffen und ihren Verbindungen befaßt. Die Entwicklung der Manufakturen und die Bedürfnisse des täglichen Lebens waren Ansporn, sich der jungen Wissenschaft zu bedienen und ihre Erkenntnisse an die Stelle überlieferter Rezepte zu setzen.

Chemikalien wie Soda und Schwefelsäure wurden in immer größeren Mengen benötigt. Die aus Pflanzenasche oder Natronseen gewonnene Soda reichte längst nicht mehr aus. Schon im 18. Jahrhundert hatte die Französische Akademie der Wissenschaften für die Gewinnung »künstlicher« Soda einen Preis ausgesetzt. Den Preis gewann Nikolaus Leblanc (1742 bis 1806). Der ersten Sodafabrik in Frankreich folgten am Anfang des 19. Jahrhunderts weitere, auch in anderen Ländern. Sie machten die Textil-, Seifen- und Glasindustrie mehr und mehr unabhängig vom Sodaimport und hatten eine erhebliche Verbilligung von Seife und Glaswaren zur Folge.

Auch dem Mangel an Schwefelsäure war man schon damals erfolgreich zu Leibe gegangen. Als ältestes großtechnisches Verfahren wurde das Bleikammervfahren entwickelt, dessen Anfänge bis in die Jahre um 1740 zurückgehen. Es hatte den Preis der Schwefelsäure auf ein Zehntel sinken lassen. Das neue Verfahren wurde noch gewinnbringender, als man Schwefeldioxid aus einheimischen sulfidischen Erzen, Gips, Anhydrit oder Kieserit zu gewinnen gelernt hatte.

Nachdem Andreas Sigismund Marggraf (1709 bis 1782) herausgefunden hatte, daß auch einheimische Pflanzen Zucker enthalten, entwickelte der deutsche Chemiker Franz Carl Achard (1753 bis 1821) die Zuckergewinnung aus Runkelrüben. Mit der 1801 gegründeten ersten Rübenzuckerfabrik schuf er die Grundlagen einer Zuckerindustrie. Ihre Entwicklung wurde besonders gefördert, als während Napoleons Kontinentalsperre die Zuckerimporte zurückgingen.

Zunder, »Stahl« und Feuerstein wurden von 1812 ab allmählich durch Zündhölzer verdrängt. Sie besaßen anfänglich einen Kopf, der sich beim Eintauchen in Schwefelsäure entzündete. Später wurden sie durch »Streichhölzer« ersetzt, deren Zündmasse vor allem gelben Phosphor enthielt. Diese Zündhölzer waren nicht nur gefährlich zu handhaben. Ihre Herstellung war äußerst gesundheitsschädigend. Der Phosphor zerstörte die Kieferknochen der Zündholzarbeiter und -arbeiterinnen und verursachte unheilbare Vergiftungen. Erst um die Jahrhundertmitte beseitigten die mit rotem Phosphor hergestellten »Sicherheitszündhölzer« diese Gefahren.

Um 1786 hatte ein britischer Adliger versuchsweise sein Haus mit dem aus Koksöfen entweichenden Gas beleuchtet. 1803 führte William Murdock die Gasbeleuchtung in der Maschinenfabrik von Boulton und Watt ein. Im zweiten und dritten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts wurden in den Hauptstraßen vieler Großstädte Laternen aufgestellt, in denen das Gas mit offener, rußender Flamme verbrannte.

Die seit über hundert Jahren bekannte Lichtempfindlichkeit der Silbersalze wurde zum Ausgangspunkt für die Entwicklung der Fotografie. Sie erhielt praktische Bedeutung, nachdem es gelungen war, die aufgenommenen Bilder dauerhaft zu machen, zu fixieren. Im August 1839 wurden der Öffentlichkeit Einzelheiten der Erfindung mitgeteilt, die besonders das Verdienst der Franzosen Joseph Nicéphore Niepce (1765 bis 1833) und Louis-Jacques-Mandé Daguerre (1787 bis 1851) war.

Der deutsche Chemiker Otto Paul Unverdorben (1806 bis 1873) entdeckte bei der Erforschung des kostbaren Farbstoffes Indigo das Anilin, den Ausgangsstoff zahlreicher »künstlicher« Farbstoffe.

Die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts brachten aber nicht nur zahlreiche Anwendungen, sondern auch wichtige neue Forschungsergebnisse. Eines dieser Resultate ist besonders erwähnenswert: Friedrich Wöhler (1800 bis 1882), einem Schüler von Berzelius, gelang es in den zwanziger Jahren, Zyanverbindungen in Oxalsäure und Harnstoff zu überführen. Diese Synthese typisch organischer Substanzen beseitigte die von vielen Wissenschaftlern für unüberschreitbar gehaltene Grenze zwischen belebter und unbelebter Natur und trug so zur Herausbildung eines materialistischen Weltbildes bei.

»Die Philosophie der Chemie wird aus dieser Arbeit den Schluß ziehen, daß die Erzeugung aller organischen Materialien . . . in unseren Laboratorien nicht allein als wahrscheinlich, sondern als gewiß betrachtet werden muß«, schrieb der mit Wöhler befreundete Justus von Liebig (1803 bis 1873), der bereits mit 21 Jahren auf Empfehlung Alexander von Humboldts eine Berufung als außerordentlicher Professor an die Universität Gießen erhalten hatte. Dort setzte er gegen den Widerstand der Behörden und mancher Fachkollegen, die Experimentalunterricht und praktische Übungen der Studenten noch immer für Humbug hielten, schließlich durch, daß ihm Laboratoriumsräume zur Verfügung gestellt wurden. Sie waren anfänglich nur mit dem Allernotwendigsten versehen; jede Erweiterung, jede Ergänzung der Ausstattung kostete zähe Kämpfe.

Die Studenten aber strömten Liebig zu. Bei ihm hörten sie keinen trockenen Vortrag, keine zusammenhanglose Anhäufung von Fakten und Daten. Nach knapper Einführungsvorlesung stellte Liebig Aufgaben, die die Studenten selbständig und experimentell zu lösen hatten. Sie lernten dabei vor allem chemische Vorgänge, Zusammenhänge und Arbeitsmethoden kennen und wuchsen in die schöpferisch-forschende Tätigkeit hinein, die ihr Lehrer als wichtigstes Merkmal jedes Chemikers ansah. In regelmäßig abgehaltenen Kolloquien besprach er die Ergebnisse der Schüler, berichtete über eigene Arbeiten und bemühte sich besonders um Studenten, denen die Untersuchungen anfänglich nicht so leicht von der Hand gingen. Der Erfolg blieb nicht aus. Die Studenten verließen Gießen als vorzüglich ausgebildete, den damaligen Verhältnissen entsprechend praxisverbundene Chemiker.

Trotz seiner Lehrtätigkeit vernachlässigte Liebig die eigenen Arbeiten nicht. Er untersuchte zahlreiche organische Säuren und vervollkommnete die Methoden zur Analyse organischer Verbindungen. Er entdeckte unter anderem das für die Medizin wichtige Chloroform und arbeitete ein Verfahren aus, das die gesundheitsschädigenden Nebenwirkungen bei der Spiegelfabrikation erheblich verminderte.

Neben reger Mitarbeit an wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichte Liebig umfangreiche Schriften, wie zum Beispiel die »Anleitung zur Analyse organischer Körper«, »Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie«, »Die Tierchemie, oder die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie«. Gemeinsam mit anderen Chemikern arbeitete er am neunbändigen »Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie«. In seinen »Chemischen Briefen« brachte er einem großen Leserkreis chemische Grundkenntnisse in allgemeinverständlicher Form nahe; auch scheute er sich nicht, in zwei Untersuchungen »Über den Zustand der Chemie in Preußen« und »Über den Zustand der Chemie in Österreich« die veralteten Lehr- und Arbeitsmethoden auf chemischem Gebiet zu geißeln.

Vor allem den Stoffwechselvorgängen bei Pflanzen und Tieren wendete Liebig seine Aufmerksamkeit zu. Schon vorher hatten sich Forscher mit diesem Thema befaßt, ohne sie jedoch aufklären zu können. In seinem Werk »Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie« legte er dar, daß die Pflanze zum Aufbau ihrer Substanz mineralische Stoffe benötigt. Sie sind im Boden enthalten, werden ihm aber durch die Feldwirtschaft allmählich entzogen. Liebig formuliert: »Als Prinzip des Ackerbaus muß angesehen werden, daß der Boden in vollem Maße wieder erhalten muß, was ihm genommen wird.«

Das legte den Gedanken nahe, ob es nicht möglich ist, Pflanzen die nötigen Nährstoffe dort, wo der natürliche Dünger nicht ausreichte, auch unmittelbar in Form von Chemikalien zuzuführen. Pflanzen mußten sich »künstlich« düngen lassen.

Liebig blieb nicht bei theoretischen Erörterungen stehen, sondern untersuchte Fragen der Fruchtfolge, der Düngung und experimentierte – wenn auch mit nur geringem Erfolg – mit »Patentdüngern«, die nach seinen Rezepten zusammengestellt wurden.

Er wandte sich scharf gegen Methoden, die für kurze Zeit hohe Ernteerträge brachten und dabei den Boden erschöpften, und schlug Rieselfelder vor, um die in Fäkalienwässern enthaltenen Mineralstoffe auszunutzen. Eine große praktische Bedeutung erlangte seine Lehre vom Kreislauf der Stoffe.

Bei der weitverzweigten Forschungstätigkeit in chemischen Laboratorien, deren beste nach dem Gießener Vorbild eingerichtet waren, konnte die Entdeckung neuer Elemente nicht ausbleiben. Waren um die Wende zum 19. Jahrhundert an die 30 Grundstoffe bekannt, so stieg die Zahl bis 1830 auf über 50 und erreichte in den sechziger Jahren 60. Immer öfter fragte man sich: Wie groß ist überhaupt die Zahl der

chemischen Grundstoffe? Ist sie begrenzt, gibt es unendlich viele Elemente, die im Laufe der Zeit und durch Verbesserung der experimentellen Hilfsmittel entdeckt werden können? Bestehen zwischen den Elementen Beziehungen? Gibt es vielleicht so etwas wie ein übergeordnetes Prinzip, einen gemeinsamen »Bauplan«?

Obgleich Prouts Annahme, alle Atome seien aus einer einheitlichen Urmaterie aufgebaut, durch genauere Bestimmungen der relativen Atommassen zunächst widerlegt worden war, fehlte es nicht an Versuchen, die Elemente unter Berücksichtigung ihrer Eigenschaften in ein Schema zu ordnen.

Einer der ersten, die sich damit beschäftigten, war der Jenenser Professor der Chemie Johann Wolfgang Döbereiner (1780 bis 1849). Er faßte die Grundstoffe in Dreiergruppen, »Triaden«, von einander ähnlichen Eigenschaften zusammen, zum Beispiel Schwefel-Selen-Tellur, Chlor-Brom-Jod oder Eisen-Nickel-Kobalt. Innerhalb einer solchen Triade waren die Differenzen der relativen Atommassen aufeinanderfolgender Elemente annähernd gleich. Das deutete einen Zusammenhang zwischen den chemischen Eigenschaften der Elemente und ihrer Massenzahl an. Döbereiners Weg führte aber nicht zum Ziel, da sich nicht alle Grundstoffe in Triaden unterbringen ließen.

Ein französischer Chemiker versuchte es mit einem anderen Ordnungsprinzip: Er sortierte die Grundstoffe nach steigenden Massenzahlen und dachte sie sich fortlaufend auf einen Streifen geschrieben, den er als Spirale so um einen Zylinder wickelte, daß Elemente mit ähnlichen Eigenschaften untereinander standen.

Der Engländer John Newlands (1838 bis 1898) stellte »Oktaven« zusammen: »Bei Anordnung der Elemente nach Atomgewichten ist das achte, gleichgültig von welchem Element man ausgeht, stets gewissermaßen die Wiederholung des ersten, wie in der Musik die Oktave.«

Auch Newlands Versuch schlug fehl. Nur mit Hilfe zahlreicher Umstellungen ließen sich die Elemente in Oktaven einordnen.

Daß – wenige Jahre nach Newlands Arbeiten – doch »Ordnung« in die Elemente gebracht wurde, ist vor allem das Verdienst des russischen Gelehrten Dmitri Iwanowitsch Mendelejew (1834 bis 1907).

Mendelejew war ein sehr vielseitiger Wissenschaftler, der sich besonders auch für die Anwendungen der Naturwissenschaften interessierte. So sprach er sich als erster dafür aus, Kohle unter der Erde zu vergasen, statt in mühsamer Arbeit zu fördern, er unterstützte Luftfahrtversuche und half als Vorsitzender der »Hauptkammer für Maße und Gewichte« in Rußland, das Durcheinander der Maßeinheiten zu entwirren.

Die größte Leistung Mendelejews ist jedoch zweifelsohne die Aufstellung des *Periodensystems der Elemente*. 1869 veröffentlichte er es in der Arbeit: »Die Beziehungen zwischen den Eigenschaften der Elemente und ihren Atomgewichten«.

Mendelejew ordnete die Grundstoffe nach steigender Massenzahl in Gruppen, die er so niederschrieb, daß Elemente mit ähnlichen Eigenschaften untereinander standen. Im Grunde hatten das auch seine Vorgänger versucht, doch waren sie, da sie an starren Regeln wie am »Oktavengesetz« festhielten, gescheitert: An einigen »Plätzen« mußten sie zwei Elemente unterbringen, an anderen Stellen wieder entstanden »Lücken«, deren Ausfüllen mit bekannten Grundstoffen das Ordnungsschema empfindlich störte.

Der entscheidende Gedanke Mendelejews war, sich beim Ordnen der Grundstoffe einzig und allein auf relative Atommasse und Eigenschaften der Elemente zu verlassen. Er versuchte nicht, in den Gruppen vorhandene Lücken durch zusätzliche Annahmen oder willkürliche Umstellungen zu schließen, sondern nahm an, daß an die offenen Plätze bisher unbekannte Elemente gehörten. Aus der Stellung der Lücke im Periodensystem ließen sich die Eigenschaften des jeweiligen noch unbekannten Elementes sogar voraussagen.

Zum Kriterium für die Richtigkeit des Mendelejewschen Systems wurde damit, ob die noch fehlenden Elemente gefunden werden würden oder nicht.

Die Annahmen des russischen Gelehrten bestätigten sich glänzend: Er hatte zum Beispiel behauptet, daß in eine Lücke seines Periodensystems ein Element gehöre, dem er den Namen »Eka-Aluminium« gab – auf Grund der dem Aluminium ähnlichen Eigenschaften, die dieses Element besitzen sollte. Er konnte Dichte, Atommasse und andere Eigenschaften des Eka-Aluminiums abschätzen. 1875 wurde in der Pariser Akademie der Wissenschaften die Mitteilung des französischen Chemikers P. E. Lecoq de Boisbaudran verlesen, in der er die Entdeckung eines neuen Elements, des Galliums, bekanntgab. Es stimmte in wesentlichen Eigenschaften mit dem von Mendelejew vorausgesagten Eka-Aluminium überein; nur in der Dichte zeigte sich eine erhebliche Abweichung.

Wer hatte sich geirrt, der Entdecker oder Mendelejew? Mendelejew war von der Richtigkeit seiner Voraussagen überzeugt. Der Entdecker des Galliums wiederholte die Messungen, und es stellte sich heraus, daß ihm ein Fehler unterlaufen war. Konnte es eine glänzendere Bestätigung für die Richtigkeit der Mendelejewschen Behauptung geben?

Für Uran hatte man eine relative Atommasse um 120 angenommen. Doch in Mendelejews Tabelle mußte Uran, seinen Eigenschaften nach, am Ende stehen – mit einer Massenzahl um 240. Auch diese Behauptung Mendelejews wurde bestätigt.

Das Eka-Aluminium blieb nicht das einzige vorausgesagte und später tatsächlich entdeckte Element. 1880 wurde das dem Eka-Bor entsprechende Skandium gefunden. 1886 entdeckte der Freiburger Gelehrte Clemens Winkler (1838 bis 1904) das »Eka-Silizium« Mendelejews, das in jüngster Zeit als *Germanium* für die Halbleitertechnik unentbehrlich geworden ist.

Gleichzeitig mit Mendelejew beschäftigte sich Lothar Meyer (1830 bis 1895) mit einem Periodensystem der Elemente. Auch er erhielt eine deutlich sichtbare periodische Anordnung, indem er die »Atomvolumina«, das heißt das Verhältnis aus relativer Atommasse und Dichte der Grundstoffe, graphisch darstellte. Doch er blieb mit seinen Schlußfolgerungen hinter dem russischen Gelehrten zurück: »Ich gestehe bereitwillig zu, daß mir die Kühnheit zu so weitgehenden Vermutungen fehlte, wie sie Herr Mendelejew mit Zuversicht aussprach.«

Die Aufstellung des Periodensystems der Elemente ist einer der wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung der Chemie. Es bedeutete nicht nur eine Rechenschaftslegung über das bisher Bekannte, sondern wies Wege, auf denen man die Forschung planmäßig vorantreiben konnte. Indem es quantitative Merkmale der Grundstoffe, die relativen Atommassen, mit qualitativen, den Eigenschaften der Elemente, verknüpfte, lieferte es einen unwiderlegbaren Beweis für die materielle Einheit der Welt.

Einige Unstimmigkeiten im Periodensystem – zum Beispiel die Tatsache, daß Kobalt und Nickel sowie Jod und Tellur scheinbar ihre Plätze vertauscht hatten – änderten daran nichts. Wenn es auch im 19. Jahrhundert nicht gelang, diese Abweichungen zu erklären, so trugen später gerade die Unstimmigkeiten mit dazu bei, unsere Einsichten in den Aufbau der chemischen Elemente zu vertiefen.

Die Retorten wachsen

Die Chemie entwickelte sich sehr rasch, nachdem sie eine wissenschaftliche Grundlage erhalten hatte. Ihre Ergebnisse wurden schneller genutzt als die anderer Wissenszweige. Durch ihre günstigen Voraussetzungen, schnell hohe Profite einzubringen, war vor allem anfänglich

die Textilindustrie an der Chemie interessiert; denn ihr Bedarf an Bleichmitteln und Farbstoffen stieg ständig und stark.

Soda, Chlor und Schwefelsäure standen dank der Arbeit der Chemiker zur Verfügung. Ausgangsstoffe für die Farbenherstellung hingegen waren meistens noch »natürliche« Stoffe wie Indigo, die Krappwurzel, Waid, Cochenille und Farbhölzer.

Diese Farben waren seit Jahrhunderten bekannt. Ihre Gewinnung bereitete keine grundsätzlichen technologischen Schwierigkeiten, obwohl man sich fast ausschließlich auf überkommene Rezepte statt auf wissenschaftliche Erkenntnisse verlassen mußte.

Unbefriedigend war jedoch, daß die Skala der Farben nicht breit und abwechslungsreich genug war. Auch hingen die Färbereien vor allem von Importen aus außereuropäischen Ländern ab – und besonders von den Importeuren, die sich die Farbstoffe teuer bezahlen ließen.

Versuche von Chemikern und Apothekern, hinter die Geheimnisse der natürlichen Farbstoffe zu kommen und diese, wenn möglich, aus einheimischen Materialien herzustellen, blieben zunächst erfolglos. Eine Wende in der Farbenherstellung und -verwendung wurde erst durch die Untersuchung eines unscheinbaren, als lästiges Abfallprodukt betrachteten Stoffes herbeigeführt.

Die Verkokung der Steinkohle hatte durch die aufblühende Hüttenindustrie und durch die in vielen Städten errichteten Gasanstalten einen großen Umfang erreicht. Gleichzeitig damit wuchsen die Mengen des bei der Verkokung anfallenden Teers. Man wußte nichts mit ihm anzufangen. Die »Teerteiche« verpesteten durch ihren unangenehmen Geruch mitunter ganze Stadtteile.

Vorschläge, den Teer zu vergraben, in stillgelegte Schächte oder ins Meer zu schütten, waren kaum brauchbar. Außerdem vermutete man im Teer noch wertvolle Stoffe. Konnte man sie nicht abtrennen und nutzen?

Zu den zahlreichen Chemikern, die diese Frage stellten und zu beantworten suchten, zählte Friedlieb Ferdinand Runge (1795 bis 1867). Er war zunächst als Hochschullehrer tätig. 1832 trat er als Chemiker in die »Chemische Produktenfabrik« Oranienburg bei Berlin ein. Bereits nach kurzer Tätigkeit gelang es ihm, mehrere wertvolle Verbindungen aus dem Teer abzusondern, zum Beispiel die keimtötende, fäulnishemmende »Karbolsäure« (Phenol).

Wie überrascht aber war Runge, als er bei seinen Untersuchungen zunächst auf eine leuchtend rote, später auf eine ölige Substanz stieß, die mit Chlorkalk ein intensives Blau ergab (Runge nannte sie »Rosolsäure« bzw. »Kyanol«). Das hatte niemand im schmutzigen Teer vermutet.

Runge ahnte, welche Bedeutung seine Entdeckungen erlangen könnten. Seine Vorschläge, die Produktion der gefundenen Stoffe aufzunehmen, wurden jedoch als zu »unsicher« abgelehnt.

Die Verbindung, der Runge den Namen Kyanol gegeben hatte, war allerdings, ohne daß Runge es wußte, bereits vorher entdeckt worden. Der Chemiker Otto Paul Unverdorben (1806 bis 1873) war auf sie gestoßen, als er Indigo destillierte, und hatte sie »Krystallin« genannt. Auch nach Runge wurde sie noch zweimal »entdeckt« – diesmal taufte man sie *Anilin* und »Benzidam«. 1843 wies der deutsche Chemiker August Wilhelm Hofmann (1818 bis 1892) nach, daß alle vier Substanzen identisch sind.

Anilin, wie es von nun an allgemein hieß, war demnach im Indigo, dem »König der Farben«, ebenso enthalten wie in den farbenprächtigen Substanzen aus dem unansehnlichen Teer. Kam dem Anilin vielleicht eine besondere Rolle als Bestandteil von Farbstoffen zu? Ließen sich mit seiner Hilfe Farben gewinnen, konnte man so das Teerproblem einer Lösung näher bringen?

Hofmann, der lange Jahre in England wirkte, verfolgte diesen Gedanken und regte auch seine Schüler und Mitarbeiter an, sich den »Teerfarben« zuzuwenden.

Einer von ihnen konnte den ersten Erfolg verbuchen: Bei Versuchen, Chinin künstlich herzustellen, stieß Hofmanns Assistent William Henry Perkin (1838 bis 1907) auf eine bräunliche Masse, die weiße Stoffe leuchtend violett färbte. Die erste »Anilinfarbe« war entdeckt!

Perkin verschwieg Hofmann seine Entdeckung und meldete den Farbstoff zum Patent an. Im folgenden Jahr, 1857, gründete er mit Hilfe seines Vaters eine kleine Farbenfabrik. Doch das Unternehmen warf zunächst kaum Gewinn ab, weil die englischen Färbereien dem neuen Farbstoff sehr mißtrauisch und abwartend gegenüberstanden. Erst als französische Seidenfärber auf Perkins Farbstoff zurückgriffen, wurde er unter dem Namen »Mauvein« bekannt. Beinahe zur gleichen Zeit wurde eine weitere Anilinfarbe entdeckt, das rote »Fuchsin«; grüne und gelbe Farbstoffe folgten.

Die leuchtenden »Teerfarben« erregten Aufsehen; geschmäht von den einen, gepriesen von den anderen, begannen sie sich durchzusetzen. Teilweise wurden sie auch zu Preisen gehandelt, die ihr Gewicht in Gold aufwogen. 1862, auf der Großen Internationalen Industrieausstellung in London, bildeten Teerfarben und die mit ihnen gefärbten Stoffe einen der Hauptanziehungspunkte. Allerdings waren diese Farben anfangs noch wenig lichtbeständig.

Nicht nur Farben, auch zahlreiche andere Verbindungen wurden aus dem Teer gewonnen. Ihre Moleküle waren meistens aus zahlreichen Atomen zusammengesetzt und enthielten stets Kohlenstoff. Man beschrieb sie, indem man die Summe seiner Atome angab.

Sehr bald jedoch stieß man auf Anzeichen, daß die »Summenformel« allein nicht immer für eine eindeutige Charakterisierung genügte. Schon aus den Arbeiten Berzelius' zum Beispiel kannte man die *Isomerie*: Manche Verbindungen derselben Zusammensetzung und daher auch gleicher Summenformel unterschieden sich wesentlich in ihren Eigenschaften. Die beteiligten Atome waren die gleichen, ihre Zahl stimmte überein. So blieb zur Erklärung der unterschiedlichen Eigenschaften nur die Annahme übrig, daß die Moleküle verschieden aufgebaut, ihre Atome unterschiedlich angeordnet seien. Auch andere Beobachtungen deuteten darauf hin, daß es nicht nur auf Zahl und Art, sondern auf die Anordnung der Atome im Molekül ankam. Die ungeheure Vielfalt der organischen Verbindungen beruht zum großen Teil auf dieser Erscheinung. Es wurde immer klarer, daß die Anzahl der Isomeren immer größer war, als vorausgesetzt werden konnte. Allein eine Betrachtung der Homologen der Alkane zeigt uns, daß bei vier Kohlenstoffatomen im Molekül nur 2 Isomere möglich sind, bei 7 Kohlenstoffatomen immerhin schon 9. Bei 40 Kohlenstoffatomen beträgt die Zahl der möglichen Verbindungen aber 62 491 178 805 831.

Infolgedessen durfte man sich nicht mehr mit der Frage begnügen: Aus welchen und aus wievielen Atomen besteht ein Molekül? Man mußte weiter fragen: Wie sind seine Atome angeordnet, wie sieht der »Bauplan« aus, der die Eigenschaften der Moleküle bestimmt?

Ein entscheidendes Verdienst bei der Klärung der Frage, welche *Struktur* chemische Verbindungen haben, erwarb sich der russische Gelehrte Alexander Michailowitsch Butlerow (1828 bis 1896). Sein 1861 vor der »Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte« gehaltener Vortrag »Einiges über die Struktur der Körper«, die Zusammenfassung langjähriger Arbeiten, kennzeichnete den Beginn einer neuen Etappe der Chemie und war in seinen Auswirkungen kaum geringer als 1869 die Aufstellung des Periodensystems durch Mendelejew.

An die Seite der bisherigen »Summenformeln« traten »Strukturformeln«. Sie zeigten in Form übersichtlicher Schemata, wie sich die Atome im Molekül gruppieren. Die Chemiker schrieben nicht mehr nur Buchstaben und Zahlen nieder, sondern »rekonstruierten« oder »entwarfen« die Baupläne der Moleküle, die sich zu Ketten, Ringen oder netzähnlichen Gebilden zusammenfügten.

Innerhalb kurzer Zeit konnte die Struktur zahlreicher Verbindungen ergründet werden. Mehr noch: Unbekannte chemische Stoffe ließen sich voraussagen, indem die Chemiker in ihren Strukturformeln Atome oder Atomgruppen austauschten. Rein rechnerisch war das nun ohne größere Schwierigkeiten möglich. Aber es erwies sich als außerordentlich schwierig, die chemischen Eigenschaften einer Substanz auf diese Weise experimentell und schließlich auch großtechnisch zu verändern. Daß derartige theoretisch »vorausgesagte« Stoffe später tatsächlich gefunden wurden oder aufgebaut werden konnten, war eine glänzende Bestätigung der Theorie Butlerows.

Die Suche nach neuen Farbstoffen, nach neuen Substanzen aus dem Teer ging inzwischen weiter. So gelang es zum Beispiel, den Farbstoff der Krappwurzel, das *Alizarin*, aus Steinkohlenteer herzustellen. In England und Deutschland begann man nahezu gleichzeitig mit seiner Produktion. Innerhalb eines Jahrzehnts – von 1870 bis 1880 – sank die deutsche Krappeinfuhr auf ein Drittel. Wenig später konnte nahezu der gesamte Weltbedarf an Krappfarbstoff mit Hilfe des synthetischen Alizarins gedeckt werden.

Wärme auf der Waage

Newcomen, Polsunow, Watt, Trevithick und andere Dampfmaschinenbauer waren keine Wissenschaftler, verfügten über keine wissenschaftliche Ausbildung und mußten sich ihre Kenntnisse erlesen und erfragen. Watt drang dabei sogar tief in physikalische Fragen ein. Doch sie waren hervorragende Praktiker, Nachfolger der Mühlenbauer und Mechaniker des 17. Jahrhunderts, die selten vor einer technischen Aufgabe zurückschreckten und deren Einfallsreichtum und Geschicklichkeit uns noch heute Bewunderung abfordern.

Überhaupt steuerte die Wissenschaft in den ersten Jahrzehnten zur Entwicklung der Dampfmaschine nur relativ wenig bei. Ihre Konstrukteure kamen zunächst ohne die unmittelbare Hilfe der Physiker aus, bis auf Watt, den die Kenntnis der *latenten Wärme* zum Kondensator außerhalb des Zylinders geführt hatte. Als »Feuermaschinen« zu laufen begannen, steckte die Wärmelehre noch in den Anfängen. Die sich ausbreitende Industrieproduktion zwang jedoch dazu, die Erfahrungen auszuwerten, die bei Konstruktion und Nutzung der ersten Dampfmaschinen gesammelt worden waren. Dabei konnte auch auf die bei Salzsiedern und Destillateuren von alters her überkommenen »Vorschriften« für das

Kochen und Kondensieren von Flüssigkeiten zurückgegriffen werden. Es war jetzt notwendig geworden, Temperaturen exakt zu bestimmen und zu vergleichen. Das trug wesentlich dazu bei, eindeutig zwischen der Temperatur, dem Wärmezustand eines Körpers, und der zugeführten oder abgeführten Wärmemenge zu unterscheiden, ein Unterschied, der in den Jahrhunderten vorher nicht immer klar erkannt und oft verwischt worden war.

Der schottische Arzt Joseph Black fand um die Mitte des 18. Jahrhunderts heraus, daß die Temperaturerhöhung, die ein Körper bei bestimmter Wärmezufuhr erfährt, nicht nur von seiner Masse, sondern auch von seinem Material abhängt. Diese Entdeckung führte auf den wichtigen Begriff der *spezifischen Wärme*.

Mit zunehmendem Wissen um die Wärmeerscheinungen trat eine Frage immer mehr in den Vordergrund, die man sich seit langem gestellt hatte: Was ist überhaupt Wärme?

Viele Wissenschaftler hielten sie für einen besonderen, sehr feinen Stoff, der alle Körper durchdringen und von einem auf den anderen übergehen könne.

Die meisten der entdeckten Gesetzmäßigkeiten ließen sich durch die Annahme eines solchen »Wärmestoffs« zwanglos erklären. Daß es niemals gelungen war, bei der Erwärmung oder Abkühlung der Körper Gewichtsveränderungen festzustellen, war kein ernsthaftes Gegenargument. Man dachte sich den Wärmestoff masselos oder mindestens so leicht, daß er sich jeder Wägung entzog.

Auf der anderen Seite sahen namhafte Forscher des 18. Jahrhunderts, unter ihnen Leonhard Euler (1707 bis 1783) und Daniel Bernoulli, in der Wärme eine innere Bewegung der Stoffe. Besonders klar formulierte Michail Wassiljewitsch Lomonossow (1711 bis 1765), einer der vielseitigsten Wissenschaftler, diese Ansichten. In seinen »Meditationes de caloris et frigoris causa« (Betrachtungen über die Ursache von Wärme und Kälte, Petersburg 1747/48) erklärte er die Wärme als kreisende Bewegung der Teilchen eines Körpers.

Der tiefste mögliche Wärmegrad sei erreicht, wenn diese Bewegung aufhöre; ein höchster Wärmegrad sei nicht denkbar, da die Geschwindigkeit der Teilchenbewegung nicht nach oben begrenzt werden könne. Lomonossow sprach damit Ansichten aus, die Erkenntnissen der späteren Thermodynamik nahekamen.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts standen sich somit zwei Hypothesen über das Wesen der Wärme gegenüber: die Annahme eines Wärmestoffs und die, daß Wärme nur eine besondere Bewegungsart sei.

Auch diese Hypothese wurde durch zahlreiche Beobachtungen gestützt. Die wohl älteste menschliche Erfahrung auf dem Gebiet der Wärmelehre zum Beispiel, die Tatsache, daß durch Reibung Wärme entsteht, ließ sich unter der Voraussetzung eines Wärmestoffs schlecht erklären. Sie war leichter zu begreifen, wenn man annahm, daß die durch Reibung gehemmte Bewegung sich in eine unsichtbare »Wärmebewegung« der Teilchen einander berührender Körper verwandle.

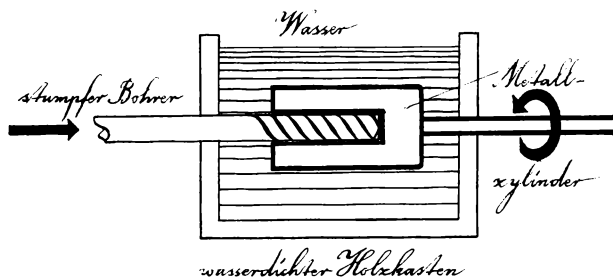
Aufgabe der Wärmelehre war es, durch überzeugende Experimente eine Entscheidung für die eine oder andere Hypothese herbeizuführen. Der Lösung dieses Problems widmete sich vor allem der in den USA geborene Benjamin Thomson (Graf von Rumford, 1753 bis 1814).

Rumford versuchte gleichfalls, den hypothetischen Wärmestoff zu wägen, hatte aber trotz verbesserter experimenteller Methoden ebenso wenig Erfolg wie seine Vorläufer. War die Lehre vom Wärmestoff also doch falsch? Dann mußte sich umgekehrt beweisen lassen, daß es keinen Wärmestoff gab.

In Bayern, wo Rumford Rüstungswerkstätten einrichtete und kontrollierte, fand er Gelegenheit, seine Gedankengänge weiter zu verfolgen. Immer wieder überraschte ihn, wie er nach England schrieb, die große Wärmemenge, die beim Ausbohren von Kanonenrohren entwickelt wurde.

Rumford überzeugte sich, daß diese Wärme weder von außen kam noch durch chemische Vorgänge entstand. Nur die beim Bohren auftretende Reibungsarbeit blieb als Ursache übrig. Bei entsprechendem Arbeitsaufwand konnte man durch Reibung beliebig viel Wärme erzeugen.

Unter der Annahme eines in den Körpern enthaltenen Wärmestoffs war dieses Ergebnis unverständlich; es sprach eindeutig für die Bewe-



Eine Versuchsanordnung Rumfords zur Demonstration der Reibungswärme

gungshypothese. Auch durch Versuche von Humphry Davy (1778 bis 1829) wurde sie erhärtet.

Trotz Rumford, Davy und anderen jedoch verstrichen noch Jahrzehnte, ehe sich die kinetische Vorstellung von der Wärme endgültig durchsetzte.

Inzwischen waren, unabhängig von einer Klärung des Wesens der Wärme, Rat und Hilfe der Wissenschaft für die Weiterentwicklung der Dampfmaschine nötig geworden. Industrie und Verkehrswesen forderten immer leistungsfähigere und wirtschaftlichere Antriebsmaschinen. Sie auf der Grundlage des bloßen Probierens zu konstruieren war ausgeschlossen. An die Stelle von Erfahrungswerten und Faustregeln hatte die exakte Berechnung zu treten; denn inzwischen war der Wettbewerb »Dampfmaschine gegen Muskel- oder Wasserkraft« durch den Wettkampf um die »beste« Dampfmaschine abgelöst worden.

Für solche Berechnungen fehlten sämtliche theoretischen Grundlagen und Voraussetzungen. Zwar hatte man inzwischen gemessen, welche Wärmemenge durch ein bestimmtes Brennstoffquantum entwickelt werden konnte; doch so wertvoll die Bestimmung der »Verbrennungswärme« auch war, sie genügte den Konstrukteuren nicht. Niemand konnte genau sagen, welche Brennstoffmenge, welcher Dampfdruck, welche Zylinderabmessungen für eine Maschine bestimmter Leistung erforderlich waren. Keiner wußte, welchen Wirkungsgrad eine Dampfmaschine erreichen würde und wo seine Grenzen liegen könnten. Doch überall, wo Dampfmaschinen gebaut oder in Betrieb gesetzt wurden, ließen sich diese Probleme nicht mehr übersehen. Das Studium der Wärme und ihrer Umformungen wurde zu einer entscheidenden Aufgabe für die weitere technische und wirtschaftliche Entwicklung.

Der Franzose Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 bis 1832) war einer derjenigen Physiker, die sich der Erforschung dieser Fragen widmeten. In seiner einzigen größeren wissenschaftlichen Arbeit, »Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen«, erschienen im Jahre 1824, befaßte sich Carnot mit den »Feuermaschinen«:

»Das Studium dieser Maschinen ist von höchstem Interesse, denn ihre Wichtigkeit ist ungeheuer, und ihre Anwendung steigert sich von Tag zu Tag. Sie scheinen bestimmt zu sein, eine große Umwälzung in der Kulturwelt hervorzubringen . . . Trotz der mannigfachen Arbeiten über die Wärmemaschinen, trotz des befriedigenden Zustandes, zu dem sie gegenwärtig gelangt sind, ist ihre Theorie sehr wenig fortgeschritten, und die Versuche zu ihrer Verbesserung hängen fast nur vom Zufall ab.«

Diesen Widerspruch zwischen Praxis und Theorie der Dampfmaschine gedachte Carnot zu lösen. Ist die »bewegende Kraft« der Wärme beschränkt oder unbegrenzt? Haben die möglichen Verbesserungen der Dampfmaschine eine angebbare Grenze oder nicht? Läßt sich der Wasserdampf vielleicht vorteilhaft durch ein anderes Mittel ersetzen, und welchen Gesetzmäßigkeiten würde eine solche Maschine gehorchen?

Das waren die Hauptfragen, denen Carnots Untersuchungen galten. Er beschränkte sich dabei nicht nur auf die Dampfmaschine, sondern bezog alle nur möglichen Maschinen ein, in denen sich Wärme in »bewegende Kraft« verwandelt, unabhängig davon, ob solche Maschinen bereits existierten oder überhaupt noch nicht erfunden waren.

Carnot verglich die Dampfmaschine und andere Wärmekraftmaschinen mit Wasserrädern: Wie bei diesen Wasser in die Tiefe stürzt und nützliche Arbeit verrichtet, so »fällt« bei jenen Wärme von einem höheren Temperaturniveau auf ein niederes und leistet mechanische Arbeit:

»Überall, wo ein Temperaturunterschied besteht, läßt sich bewegende Kraft erzeugen. Umgekehrt ist es stets möglich, wo man eine solche Kraft anwendet, Temperaturunterschiede entstehen zu lassen. Der Stoß, die Reibung der Körper, sind sie nicht tatsächlich Mittel, ihre Temperatur zu erhöhen, sie auf einen Grad zu bringen, der höher ist als derjenige der Umgebung?

... Der Wasserdampf ist ein Mittel zur Erlangung dieser Kraft, aber er ist nicht das einzige; alle Stoffe der Natur können zu diesem Zweck benutzt werden.«

Carnot untersuchte, in welchem Maße sich bei einer gegebenen Temperaturdifferenz Wärme in »bewegende Kraft« umwandelt. Er wies nach, daß selbst in einer idealen Versuchseinrichtung stets nur ein Bruchteil der Wärme in mechanische Arbeit verwandelt werden kann und daß die Größe dieses Bruchteils von der beim Prozeß durchlaufenen Temperaturdifferenz abhängt.

Damit ließ sich ein Weg zur Erhöhung des Wirkungsgrades der Dampfmaschine angeben. Man mußte die Dampftemperatur im Zylinder möglichst hoch und die Temperatur im Kondensator möglichst niedrig halten.

Andererseits verhinderten die Überlegungen Carnots, daß man sich bei Verbesserungen der Dampfmaschine übertriebenen Hoffnungen hingab. Wie immer man auch eine Dampfmaschine konstruierte, stets galten für die Konstruktion die von Carnot gefundenen Gesetzmäßigkeiten.

Wärmekraftmaschinen sollten sich nach Carnot auch mit erhitzter Luft oder mit anderen Gasen betreiben lassen. Schon damals konnte man

Grundsätze aufstellen, wie künftige Erfinder würden vorgehen müssen, um diese Maschinen mit gutem Wirkungsgrad arbeiten zu lassen. Die Entwicklung der Verbrennungsmotoren hat diese Voraussage glänzend bestätigt.

Carnots Schrift erschien in wenigen Hunderten Exemplaren. Sie wurde kaum beachtet. Erst 1832, im gleichen Jahre, da Sadi Carnot an Cholera starb, wurde sie wiederentdeckt. Ihre volle Würdigung erfuhr sie Jahrzehnte später, als sie zu einem Grundbaustein der modernen Wärmelehre und der Technik der Wärmekraftmaschinen wurde.

Bei seinen Betrachtungen hatte Carnot stillschweigend vorausgesetzt, daß »Wärmestoff« weder verlorengehen noch erzeugt werden kann. Sein Nachlaß, aus zahlreichen Notizen und Fragmenten bestehend, zeigte, daß er bei dieser Annahme nicht stehengeblieben war. Je tiefer er in die Wärmelehre eindrang, desto deutlicher wurde ihm bewußt, daß die Lehre vom Wärmestoff falsch war, obwohl sie ihm noch zu richtigen Resultaten verholfen hatte. »Wärme ist Bewegung der Teilchen der Körper«, notierte er, und an anderer Stelle: »... auf Grund einiger Gedanken über die Wärme stellt die Erzeugung einer Arbeitseinheit die Zerstörung von 2,7 Wärmeeinheiten dar.« Mit dieser Schätzung nahm Carnot eine Überlegung vorweg, deren konsequente Weiterführung ein Jahrzehnt später zur Entdeckung eines der wichtigsten Naturgesetze führen sollte.

Ein Grundgesetz

Nicht nur die Alchimie, auch die Mechanik hatte ihren »Stein der Weisen«: Manche ihrer Jünger versuchten, ein »Perpetuum mobile« zu konstruieren, eine Maschine, die ohne Antriebskraft und ohne Brennstoff nicht nur ewig laufen, sondern außerdem nützliche Arbeit verrichten sollte.

Wir wissen heute, warum diese Versuche scheitern mußten; doch im Mittelalter fehlten die nötigen physikalischen Kenntnisse. Warnende Stimmen, wie die von Leonardo da Vinci (1452 bis 1519), die auf die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile hinwiesen, wurden überhört. Die meisten Erfinder eines Perpetuum mobile konstruierten ohnehin nur auf dem Papier, ohne ihre Maschinen auszuführen. Andere, die wirklich ein Perpetuum mobile zusammengebastelt hatten, natürlich ohne es zum Laufen zu bringen, redeten sich mit Materialfehlern oder mit der »noch nicht genügend verminderten Reibung« heraus. Im 18. Jahrhundert wa-

ren die meisten Wissenschaftler und Techniker von der Unausführbarkeit des Perpetuum mobile überzeugt. Zu ihrem Rüstzeug gehörte jetzt die Kenntnis mechanischer Grundgesetze, und tausendfache Erfahrungen hatten immer wieder bestätigt:

Mit keinem Mechanismus, mit keiner Vorrichtung läßt sich mechanische Arbeit einsparen, keine Maschine kann ohne Antrieb arbeiten. Man wußte ferner, daß beim Stoß und anderen Bewegungsvorgängen die »Bewegungsgröße« erhalten blieb, und manche Wissenschaftler ahnten viel weitergehende Zusammenhänge. Ein Brief Lomonossows an Euler legt davon Zeugnis ab:

»Aber alle Veränderungen, die in der Natur vorkommen, geschehen so, daß, wenn irgendwo etwas hinzukommt, anderswo ebensoviel abgeht. Also, wieviel Stoff einem Körper hinzugefügt wird, ebensoviel geht von einem anderen weg; genausoviel Stunden, wie ich dem Schlaf widme, entziehe ich dem Wachsein usw. Dieses Naturgesetz ist ein allgemeines, so daß es sich selbst auf die Regeln der Bewegung erstreckt; der Körper, welcher einen anderen durch Impuls in Bewegung setzt, verliert ebensoviel von seiner Bewegung, wie er davon dem anderen, von ihm bewegten Körper übergibt.«

Diesen Austausch, diese Wechselwirkung zwischen verschiedenen Bewegungsformen, zwischen einander scheinbar fremden Kraftwirkungen hatten die Wissenschaftler am Ausgang des 18. und besonders am Beginn des 19. Jahrhunderts immer wieder beobachtet. Doch ließen sie sich auch rechnerisch, zahlenmäßig erfassen?

Die Beantwortung dieser Frage war nicht nur für die Naturerkenntnis, sondern auch für die Technik wichtig. Rumford, Carnot und andere hatten Teilantworten gegeben und angedeutet. Sie vermochten aber die Unklarheiten nicht zu beseitigen, die bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts verbreitet waren. Es gibt dafür verblüffende Beispiele:

In einem Physikbuch, das 1856 erschien, wird allen Ernstes vorgeschlagen, zwei Pferde soviel Reibungswärme erzeugen zu lassen, daß damit eine 100pferdige Dampfmaschine betrieben werden könnte. Der Autor galt als achtbarer Mann, obwohl er seinen Lesern auf diese Weise das Perpetuum mobile durch die Hintertür ins Haus brachte.

Der entscheidende Gedanke, die Frage nach der Umwandelbarkeit der Naturkräfte allgemeingültig zu beantworten, kam von dem Heilbronner Arzt Julius Robert Mayer (1814 bis 1878). Jahrelang beschäftigte er sich damit, eine überzeugende experimentelle Methode zum Nachweis des mechanischen Wärmeäquivalents auszuarbeiten. Die Bedeutung seiner Arbeiten wurde erst später richtig gewürdigt.

1845 erschien »Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel«. In dieser Arbeit heißt es (wobei wir uns statt des von Mayer verwendeten Ausdrucks »Kraft« den heute üblichen »Energie« zu denken haben):

»Die Kraft als Bewegungsursache ist ein unzerstörbares Etwas. Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache, keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung.

Die quantitative Unveränderlichkeit des Gegebenen ist ein oberstes Naturgesetz, das sich auf gleiche Weise über Kraft und Stoff erstreckt.«

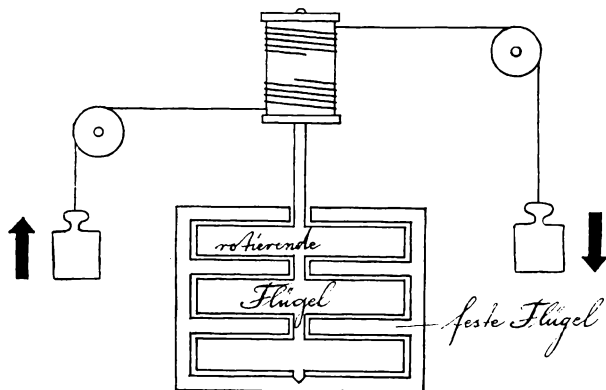
Das war, wenn auch umschrieben ausgedrückt, der Inhalt des Gesetzes von der Erhaltung der Energie.

Doch noch immer stand ein Experiment aus, das die Umrechnungszahl zwischen Wärmemenge und mechanischer Arbeit zum Resultat hatte. Mayer suchte weiter. 1849 glaubte er sich am Ziel. In der »Augsburger Allgemeinen Zeitung« berichtete er über Experimente zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents.

Inzwischen hatten sich auch andere mit der Umwandlung der Energieformen befaßt, zum Beispiel der Engländer James Prescott Joule (1818 bis 1889) und der Deutsche Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894).

Seit Anfang der vierziger Jahre des 19. Jahrhunderts hatten die Arbeiten Joules dem gleichen Ziel gegolten.

Joule betrieb die Physik nicht von Berufs wegen, sondern aus Lieb-



Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents nach Joule

haberei. Er ging, abweichend von Mayer, nicht von allgemeinen Überlegungen, sondern von Experimenten aus. So untersuchte er zum Beispiel die vom elektrischen Strom hervorgerufene Wärmemenge und maß ihre Abhängigkeit von den elektrischen Größen und von der Zeit.

Das diesen Versuchen entstammende *Joulesche Gesetz* ist eine wichtige Grundbeziehung der Elektrowärmetechnik geworden; denn es gestattet zu berechnen, wieviel Elektroenergie nötig ist, um eine bestimmte Wärmewirkung zu erzielen. (Unabhängig von Joule hatte dieses Gesetz auch der Physiker Heinrich Friedrich Emil Lenz – 1804 bis 1865 – entdeckt.)

Später führte Joule seinen oft wiederholten Versuch zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents durch: In ein Gefäß, das mit Wasser oder Quecksilber gefüllt und gegen Wärmeverluste gut isoliert war, tauchte ein Flügelrad. Es wurde über eine Seiltrommel in Bewegung gesetzt, die mit einem herabsinkenden Gewicht verbunden war. Die dabei geleistete mechanische Arbeit war leicht und genau zu bestimmen. Sie mußte sich, abgesehen von Reibungsverlusten an Welle und Seiltrommel, in der durch das Flügelrad bewirkten Erwärmung der Flüssigkeit wiederfinden. Joule erhielt auf diese Weise 424 kpm als mechanisches Äquivalent der Kilokalorie – ein schon recht genauer Wert (heute: 427 kpm/kcal).

Der deutsche Wissenschaftler Hermann von Helmholtz, der als Physiker, Mathematiker und Physiologe gleichermaßen berühmt wurde, kam wie Mayer von physiologischen Vorgängen her zum Gesetz von der Erhaltung der Energie. Er setzte bei der im Organismus vermuteten, geheimnisvollen »Lebenskraft« an:

»Ich entdeckte . . . , daß diese Theorie den lebenden Körpern die Natur eines Perpetuum mobile zuschrieb . . . Daher stellte ich mir die Frage, welche Verbindungen zwischen den verschiedenen Naturkräften bestehen müßten, wenn man die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile zugibt.«

Helmholtz untersuchte die Energieumsetzung bei Lebensvorgängen. Nachdem er erkannt hatte, daß die Lehre von der Lebenskraft falsch sein müsse, dehnte er seine Überlegungen auch auf den anorganischen Bereich, ja auf das gesamte Weltall aus. 1854 sagte er in einem Vortrag:

»Wenn ich Gesetze, die zunächst nur von den physikalischen Vorgängen zwischen irdischen Körpern hergeleitet sind, auch für andere Himmelskörper als gültig betrachte, so erinnere ich daran, daß dieselbe Kraft, die wir auf der Erde Schwere nennen, in den Welträumen als Gravitation wirkt und auch in Bewegungen unermeßlich ferner Doppelsterne als

wirksam wiederzuerkennen ist; daß Licht und Wärme irdischer Körper in keiner Beziehung wesentlich von dem Licht und der Wärme der Sonne und der fernsten Fixsterne unterschieden sind: daß endlich die Meteorsteine, welche aus dem Weltraum zuweilen auf die Erde stürzen, dieselben chemischen Grundstoffe enthalten wie die irdischen Körper. Wir werden also nicht anzustehen brauchen, allgemeine Gesetze, denen sämtliche Naturvorgänge unterworfen sind, auch für andere Weltkörper als gültig zu betrachten.«

Bald prägte man für das Gesetz von der Erhaltung der Energie die Formulierung, in der wir es heute kennen: »Energie kann weder verschwinden noch von selbst entstehen, sie kann nur ihre Form ändern. Die Gesamtsumme der Energie bleibt stets konstant.«

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fand es, dank den Arbeiten von Mayer, Joule, Helmholtz und anderen, allgemeine Anerkennung.

Mit Recht zählen wir das Gesetz von der Erhaltung der Energie zu den entscheidenden großen Entdeckungen des 19. Jahrhunderts. Es verband die mannigfachen, bisher einzeln und zusammenhanglos untersuchten Energieformen. Es erlaubte, ihre Wechselbeziehungen und Umwandlungen nicht nur zu deuten, sondern zu messen und in exakten Zahlen vorzuberechnen.

Es galt für die einfache Hebevorrichtung ebenso wie für die Dampfmaschine, für den lebenden Organismus wie für den Kräfteaustausch im Weltall.

»Die Einheit aller Bewegung in der Natur«, schrieb Engels, »ist nicht mehr eine philosophische Behauptung, sondern eine naturwissenschaftliche Tatsache.«

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie faßte zahlreiche Teilergebnisse und Erfahrungen der naturwissenschaftlichen Forschung zusammen. Damit leistete es einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung eines materialistischen Weltbildes. Es ist deshalb auch kein Wunder, daß Robert Mayer aus religiös-politischen Gründen unmenschlich verfolgt wurde und darunter schwer zu leiden hatte. Gerade darin zeigt sich in weltanschaulich-politischer Hinsicht die widersprüchliche Haltung der Bourgeoisie zur Wissenschaft. Einerseits möchte sie ihre Ergebnisse ausnutzen, um sich zusätzlich zu bereichern, andererseits fürchtet sie ein wirklich wissenschaftliches Weltbild, das den Kampf der Volksmassen gegen Ausbeutung und Unterdrückung außerordentlich fördert. Ein nach wie vor aktuelles Beispiel dafür ist die Verfolgung des Darwinismus durch die Rassisten in den USA.

Auch für den Techniker war das neuentdeckte Gesetz von überragender Bedeutung. Auf seiner Grundlage konnte er nunmehr, wenn er etwa Dampfmaschinen konstruierte, vorher die Abmessungen, die Leistung und den nötigen Brennstoff ausrechnen. Er konnte angeben, wie die Reibung sich auswirken und welche Wärme durch sie entstehen würde. Die Leistungsfähigkeit von Wasserläufen konnte ebenso berechnet werden wie die Kraft des Windes oder die Energie der Sonnenwärme. Die Energiewirtschaft, der Maschinenbau, das Verkehrs- und Transportwesen erhielten einen ihrer festesten Grundpfeiler im Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Elektrizität – von Franklin bis Faraday

»Er entriß dem Himmel den Blitz und das Zepter den Tyrannen«: Mit diesen Worten charakterisierte der französische Philosoph und Naturwissenschaftler Jean Baptiste le Rond d'Alembert (1717 bis 1783) das Lebenswerk Benjamin Franklins (1706 bis 1790).

In der Tat war Franklin als Staatsmann wie als Wissenschaftler gleichermaßen bedeutend. Er hatte an der Abfassung der amerikanischen Unabhängigkeitserklärung mitgewirkt und vertrat neun Jahre hindurch die jungen Vereinigten Staaten von Amerika in Paris. Auch an der Ausarbeitung der Verfassung der Vereinigten Staaten war er beteiligt.

Die bedeutendste wissenschaftliche Leistung Franklins sehen wir in der Untersuchung der Luftelektrizität. Seine Experimente, Funken aus einer Schnur zu ziehen, die bei Gewitter von einem Drachen hochgetragen wurde, sind in zweifacher Hinsicht wichtig.

Einmal erwiesen sie, daß der Blitz eine elektrische Erscheinung ist und sich ständig elektrische Vorgänge in der Atmosphäre abspielen, zum anderen führten Franklins Versuche und Beobachtungen zur Erfindung des Blitzableiters, der ersten wichtigen Anwendung der Elektrizitätslehre. Sie blieb vorerst auch die einzige. Das 18. Jahrhundert wurde – wie die anderen Jahrhunderte vorher – von der Mechanik und ihren Gesetzen beherrscht, deren Anwendungsmöglichkeiten in zahlreichen Maschinen für jedermann sichtbar waren.

Vor allem aber fehlte eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung der Elektrizität: Es gab keine leistungsfähige Quelle, die für längere Zeit und stetig Elektrizität lieferte.

1780 beobachtete der Bologneser Arzt Luigi Galvani (1737 bis 1798), daß frisch präparierte Froschschenkel zuckten, wenn in der Nähe

ein Funke an einer Elektrisiermaschine übersprang und die Schenkelnerven gleichzeitig mit einer Messerspitze berührt wurden. Um ein einfaches »Elektrisieren« konnte es sich nicht handeln; denn es bestand keine leitende Verbindung zwischen den Schenkeln und der Elektrisiermaschine. Außerdem trat die Erscheinung nur auf, wenn Berührung und Funken zeitlich zusammenfielen.

Galvani ersetzte den Funken an der Elektrisiermaschine durch den Blitz: Während eines heraufziehenden Gewitters spannte er einen langen, gegen die Erde isolierten Eisendraht aus, an dem er Froschschenkel aufhängte. Ihre Füße verband er über einen zweiten Draht mit dem Wasser eines Brunnens. Auch dieses Experiment glückte.

Im weiteren Verlauf seiner Beobachtungen fand Galvani heraus, daß Blitze oder Funken entbehrlich waren, wenn *zwei* verschiedene Metalle und die Froschschenkel einen geschlossenen Leiterkreis bildeten. Besonders dieser Erscheinung wandte der Forscher sein ganzes Interesse zu.

Es gab zwei Möglichkeiten, die Vorgänge zu erklären. Entweder war das Zucken die Folge einer schon des öfteren vermuteten »tierischen Elektrizität«, wobei die Rolle der Metalle zunächst noch unklar blieb, oder aber die Muskeln reagierten auf eine elektrische Wirkung, die von den Metallen ausging.

Galvani entschied sich für die erste Deutung. Ihm als Arzt lagen biologische Vorgänge näher als Erscheinungen aus dem anorganischen Bereich. Außerdem hatten sich schon Forscher vor Galvani mit der tierischen Elektrizität befaßt, die sich in den vom Zitteraal und Zitterrochen erteilten Schlägen so unangenehm bemerkbar machte.

1791 erschien Galvanis Abhandlung »Über die Wirkungen der elektrischen Kräfte auf die Muskelbewegung«, in der er seine Beobachtungen, Experimente und Schlußfolgerungen vorlegte. Der bekannte Physiologe und Physiker Emil du Bois-Reymond (1818 bis 1896) schilderte, welche Wirkungen sie auslöste:

»Der Sturm, den das Erscheinen von Galvanis Abhandlung in der Welt der Physiker, der Physiologen und Ärzte erregte, kann nur mit demjenigen verglichen werden, der zur selben Zeit am politischen Horizont Europas heraufzog. Wo es Frösche gab und wo sich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen ließen, wollte jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der verstümmelten Gliedmaßen durch den Augenschein überzeugen.«

Noch zu Lebzeiten Galvanis wirkte der italienische Gelehrte Alessandro Volta (1745 bis 1827), der sich gleichfalls Untersuchungen auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre widmete. Anfänglich stimmte er Gal-

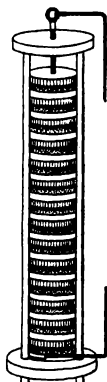
vanis Ansichten zu. Doch je tiefer er in das Gebiet der vermeintlichen tierischen Elektrizität eindrang, desto mehr unlösliche Widersprüche tauchten auf. Schließlich gab es keinen Zweifel mehr: Galvani hatte sich täuschen lassen. Bei den Froschschenkelversuchen entstand keine Elektrizität in Nerven oder Muskeln. Die Nerven wurden vielmehr durch Elektrizität erregt, die von außen, von den Metallen, kam.

Drei Jahre nach dem Erscheinen von Galvanis berühmter Abhandlung trat Volta offen als Gegner der Lehre von der tierischen Elektrizität auf:

»Die Berührung verschiedener Leiter, die ich trockene Leiter der ersten Klasse nenne, mit feuchten oder Leitern der zweiten Klasse erregt das elektrische Fluidum und gibt ihm einen gewissen Antrieb.«

Den entscheidenden Beweis für seine neuen Vorstellungen führte Volta durch die Erfindung der »elektrischen Säule«. In einem Brief vom März 1800, der an den Präsidenten der Royal Society gerichtet ist, beschreibt er sie so:

». . . Dreißig, vierzig, sechzig oder mehr Kupferstücke oder noch besser Stücke aus Silber, jedes in Verbindung mit einem Stück Zinn oder, was weit besser ist, einem Stück Zink; ferner eine gleiche Anzahl Wasserschichten oder Schichten einer anderen Flüssigkeit, die besser leitet als das gewöhnliche Wasser, z. B. Salzwasser, Lauge oder dergleichen, oder auch Stücke aus Pappe und Leder, wohl getränkt mit diesen Flüssigkeiten; endlich derartige Schichten eingeschaltet zwischen jedem Paar der miteinander verbundenen, verschiedenartigen Metalle; eine solche An-



Volta's Säule

ordnung der drei Leiter stets in derselben Folge wiederholt; das ist alles, woraus mein neuer Apparat besteht.«

Was war das Neue an der »Voltaschen Säule«, wie man sie bald nannte? Experimentatoren vor Volta hatten, wenn sie Versuche anstellen wollten, die Kurbel einer Elektrisiermaschine drehen, und, um kräftige Wirkungen zu erhalten, zunächst eine Leidener Flasche »laden« müssen, die aber meistens bereits in Sekundenbruchteilen wieder »entladen« war. Voltas Säule hingegen lieferte Elektrizität ohne vorherige Ladung, sie gab sie solange ab, wie nur die Papp- oder Lederscheiben feucht und die Metallplatten nicht zersetzt waren. Entsprach die Leidener Flasche einem sich rasch entleerenden Vorratsbehälter, so stellte die Voltasche Säule eine stetige Quelle der Elektrizität dar. Sie war der Ausgangspunkt für die Lehre von der »fließenden« Elektrizität, vom elektrischen Strom, auf der die gesamte Elektrotechnik beruht.

Volta führte selbst zahlreiche Untersuchungen mit seiner Säule durch. Seine *Spannungsreihe* wies den Weg, auch andere wirkungsvolle elektrische Säulen zusammenzustellen.

Voltas Entdeckungen erregten, wie vorher die Versuche Galvanis, größtes Aufsehen. In vielen Ländern wurden sie wiederholt und ausgebaut.

Bei solchen Experimenten beobachtete der englische Anatom Anthony Carlisle (1768 bis 1840), daß sich Gasbläschen an feuchten Drahtenden bildeten, die mit einer Voltaschen Säule verbunden waren und einander berührten. Carlisle verfolgte diese Erscheinung gemeinsam mit dem Londoner Ingenieur und Schriftsteller William Nicholson (1753 bis 1815). Als man nämlich die aufsteigenden Gasbläschen untersuchte, stellte sich heraus, daß an dem einen Draht Wasserstoff, am anderen Sauerstoff abgeschieden wurde.

Hier zeigten sich Zusammenhänge zwischen der Elektrizitätslehre und der Chemie, die man vorher kaum vermutet hatte. Weil nicht anzunehmen war, daß dem Wasser eine Ausnahmestellung zukam, ging man daran, auch die Zerlegung anderer Stoffe durch den elektrischen Strom zu versuchen. Carlisle und Nicholson wurden durch diese Entdeckung zu Begründern der Elektrochemie.

Schon im September 1800 glückte es Johann Wilhelm Ritter (1776 bis 1810), aus einer Kupfersulfatlösung mit Hilfe des elektrischen Stromes Kupfer abzuscheiden. Die nächsten wichtigen Erfolge auf dem Gebiet der Elektrochemie erzielte der Engländer Humphry Davy (1778 bis 1829).

Davys Arbeiten galten vor allem den Alkalien. Man hielt sie seit

langem für Metallverbindungen; aber es war nicht gelungen, das in ihnen vermutete Metall zu isolieren. Nachdem man in der Zwischenzeit nicht nur Wasser und Kupfersulfat, sondern auch andere Substanzen durch den elektrischen Strom in ihre Bestandteile zerlegt hatte, lag es nahe, bei Alkalien ähnlich vorzugehen.

Versuche, die Alkalimetalle aus wäßrigen Lösungen abzuscheiden, scheiterten. Daher griff Davy zu einem Verfahren, das später als *Schmelzflußelektrolyse* größte technische Bedeutung erlangte. Er legte ein Stück Kalisalz, das durch die Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche elektrisch leitete, auf eine Platinscheibe und verband diese mit dem negativen Anschluß einer Voltaschen Säule. An den zweiten Säulenanschluß schraubte er einen Platindraht, dessen freies Ende er auf das Kalisalz drückte.

Das Salz schmolz, wobei sich Gas entwickelte. Auf der Platinscheibe zeigten sich glänzende, quecksilberähnliche Kügelchen. Ihre Untersuchung ergab, daß es sich tatsächlich um das vermutete und gesuchte Metall, um Kalium, handelte. Auf ähnliche Weise gelang es Davy, auch das Natrium zu isolieren. Die Entdeckung dieser Metalle, die sich mit dem Wasser, auf dem sie schwammen, unter Hitze- und Rauchentwicklung verbanden, sich an der Luft schnell zersetzten und chemisch sehr aggressiv waren, erregte mit Recht Staunen und Bewunderung. Auch die Erdalkalimetalle Barium, Strontium, Kalzium und Magnesium wurden von Davy gefunden.

Für die Chemie bedeuteten diese Entdeckungen nicht nur eine Verlängerung der Liste der bekannten Grundstoffe. Kalium, Natrium und die anderen neuen Elemente leiteten eine Kette umfangreicher Forschungen ein, deren Ergebnisse uns allen in der elektrochemischen Industrie zugute kommen; sie deuteten überdies schon damals an, daß die weitere Beschäftigung mit der Elektrizität keineswegs nur theoretischen, sondern auch großen praktischen Nutzen würde bringen können.

Es fehlte nicht an Erklärungsversuchen für die elektrochemischen Erscheinungen. Zahlreiche Versuchsreihen halfen, Irrtümer und falsche Vorstellungen zu beseitigen. Hatte man doch zum Beispiel geglaubt, aus Wasser und Elektrizität könnte Salzsäure oder gar eine besondere »elektrische Säure« entstehen. Auch Davy suchte seine Beobachtungen und Entdeckungen theoretisch zu begründen. Er stützte sich, wie seine Nachfolger, auf die Atomlehre und nahm an, Atome würden, wenn sie sich berührten, entgegengesetzt elektrisch und zögen einander daher an.

Berzelius hingegen glaubte, die Atome seien von vornherein elektrisch geladen und diese Ladung gleiche sich bei elektrochemischen Vorgängen

lediglich aus – eine Ansicht, die an moderne Vorstellungen über das Zustandekommen chemischer Verbindungen anklängt.

Besonders aber wurde die Erkenntnis der elektrochemischen Vorgänge durch Michael Faraday (1791 bis 1867) gefördert. Er stellte sich vor, bei elektrochemischen Zersetzungen würden die Moleküle durch die Elektrizität in positiv und negativ geladene Atome oder Atomgruppen gespalten (Faraday nannte sie *Ionen*, das heißt Wanderer), die unter dem Einfluß der elektrischen Anziehungskräfte wanderten. Mit dieser Hypothese war Faraday den tatsächlichen Vorgängen bereits nahegekommen.

Für die Anwendung der Elektrochemie wurde sehr wichtig, daß Faraday die Frage beantwortete, welche Zusammenhänge zwischen dem elektrischen Strom und der mit seiner Hilfe abgeschiedenen Stoffmenge bestehen. Er entdeckte die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten, die heute zum Rüstzeug jedes in der elektrochemischen Industrie Tätigen gehören. Seine Feststellung, daß zwischen Elektrizitätsmenge und Stoffmenge bei allen elektrochemischen Vorgängen ein enger Zusammenhang besteht, ließ schon damals vermuten, daß es, ähnlich wie die Atome der Chemie, auch kleinste, unteilbare Elektrizitätsquanten geben müsse.

Noch naheliegender als die Nutzung elektrochemischer Erscheinungen waren Anwendungen der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Man hatte beobachtet, daß ein dünner Draht sich erhitzte, glühte oder sogar schmolz, wenn man ihn mit den Anschlüssen einer Voltaschen Säule verband. Es zeigte sich, daß diese Erscheinung nicht nur von der Leistungsfähigkeit der Säule, sondern auch von den Abmessungen und vom Material des Drahtes abhing.

Der russische Physiker Wassili Wladimirowitsch Petrow (1761 bis 1834) experimentierte mit einer Voltaschen Säule oder, wie man immer häufiger sagte, einer *galvanischen Batterie*, die aus nicht weniger als 4200 Zink- und Kupferplatten zusammengesetzt war. Als er Kohlestückchen mit den Batterieanschlüssen verband, für einen Augenblick miteinander in Berührung brachte und dann auseinanderzog, beobachtete er ein gleißendes Licht, das alle bekannten irdischen Lichtquellen an Helligkeit übertraf. Der elektrische Lichtbogen war entdeckt.

Doch die Anwendung des Lichtbogens für Beleuchtungszwecke oder (ein Vorschlag Petrows) zum Metallschmelzen mußte ebenso wie die technische Nutzung der Wärmewirkungen oder der elektrochemischen Erscheinungen vorerst scheitern. Selbst die leistungsfähigsten galvanischen Batterien waren schnell erschöpft, wenn man mit ihnen einen Lichtbogen speiste oder auf elektrochemischem Wege größere Stoffmengen

zu gewinnen versuchte. Eine *Elektrotechnik* setzte voraus, daß es gelang, Strom billig und in großer Menge zu erzeugen. Dies wurde erst nach der Erforschung des Elektromagnetismus möglich.

Zusammenhänge zwischen Elektrizität und Magnetismus hatte man nicht nur seit langem vermutet, sondern auch beobachtet. Bereits aus dem 17. Jahrhundert wurde berichtet, daß Kompaßnadeln durch in der Nähe einschlagende Blitze ihre Richtung verloren. Auch hatte man festgestellt, daß sich eiserne Gegenstände nach einem Blitzschlag magnetisch zeigten. Der französische Gelehrte Charles Augustin Coulomb (1736 bis 1806) hatte übereinstimmende Gesetzmäßigkeiten für die magnetische und die elektrische Anziehung und Abstoßung gefunden, Davy endlich hatte beobachtet, daß ein elektrischer Lichtbogen durch einen Magneten beeinflußt wird.

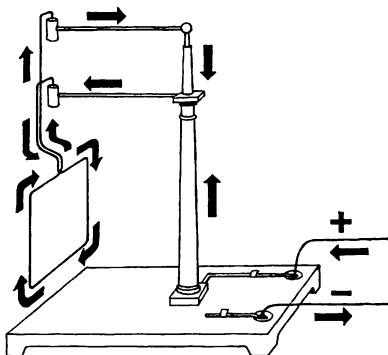
Im Frühjahr 1820 brachte der dänische Forscher Hans Christian Oersted (1777 bis 1851) einen mit einer galvanischen Batterie verbundenen Draht dicht über eine Magnetnadel. Dabei beobachtete er, daß die Nadel während des Stromflusses zur Seite gelenkt wurde. Weder die Temperatur des Drahtes noch das Material, aus dem er bestand, änderte etwas an der Ablenkung. Sie war auch dann noch festzustellen, wenn Oersted Glas, Wasser, Holz oder Stein zwischen Nadel und Draht brachte.

In einer kurzen Mitteilung berichtete Oersted noch im gleichen Jahr von seinen »Experimenten über den Einfluß des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel«.

André Marie Ampère (1775 bis 1836), François Arago (1786 bis 1853), Johann Schweigger (1779 bis 1857) und Thomas Seebeck (1770 bis 1832) waren nur einige der Forscher, die Oersteds Versuche weiterführten. Sie fanden heraus, daß ein elektrischer Strom nicht nur auf die Magnetnadel einwirkt, sondern sich selbst wie ein Magnet verhält. Stahlnadeln waren magnetisch, nachdem sie in einer stromdurchflossenen Drahtwicklung gelegen hatten; eine freibewegliche, mit einer Batterie verbundene Drahtschleife stellte sich so ein, daß ihre Fläche senkrecht zur Nord-Süd-Richtung stand. Eisenfeilspäne ordneten sich zu konzentrischen Kreisen um einen Stromleiter.

Diese Erscheinungen und Beobachtungen regten dazu an, die Wirkungen von Strömen aufeinander zu untersuchen. Solche Versuche wurden hauptsächlich von Ampère unternommen und führten auf wichtige Regeln über die von Strömen aufeinander ausgeübten Kräfte. Ampère wurde damit zum Begründer der Elektrodynamik, die später in den Elektromotoren ihre wichtigste Anwendung gefunden hat.

Inzwischen hatte man, nach zahlreichen Fehlschlüssen und Irrtümern,



Versuchsanordnung Ampères
zur Drehung einer Leiterschleife im magnetischen Feld der Erde

auch Klarheit über die Grundgrößen des elektrischen Stromes gewonnen. Man unterschied eindeutig zwischen Spannung und Stromstärke; die Rolle des Widerstandes war erkannt; Georg Simon Ohm (1787 bis 1854) hatte sein berühmtes Gesetz aufgestellt. Die elektromagnetischen Erscheinungen hatten es ermöglicht, zuverlässige und einfach zu handhabende Meßinstrumente zu entwickeln.

Die vielleicht wichtigsten Impulse erhielt die Elektrizitätslehre durch den Forscher, den man im Scherz »Davys größte Entdeckung« genannt hat, durch Michael Faraday.

Schon mit 13 Jahren war Michael Faraday als Laufbursche für ein Londoner Geschäft unterwegs. Ein Jahr später nahm er die Lehre bei einem Buchbinder auf. Er band die Bücher nicht nur, sondern er las sie auch unermüdlich, besuchte die populärwissenschaftlichen Vorträge, die damals an der Royal Institution gehalten wurden, arbeitete das Gehörte zu Hause sorgfältig aus und begann mit einfachen Experimenten. Immer stärker wurde dabei sein Wunsch, selbst wissenschaftlich tätig zu sein.

Faraday, der auch einige Vorträge Davys gehört hatte, faßte den Mut, sich an diesen »Großen« der englischen Wissenschaft zu wenden und ihn um eine – sei es auch die geringste – Stellung bei der Royal Institution zu bitten. Und das »Wunder« geschah: Davy, der von Faradays sorgfältigen Nachschriften der Vorträge sehr angetan war, empfing den Buchbindergehilfen, um ihm – seinen Wunsch auszureden, stellte ihn aber kurz darauf als Gehilfen im Laboratorium der Royal Institution ein.

Der 1. März 1813 wurde zum Wendepunkt in Faradays Leben. Überglücklich schrieb er einem Freund: »Ich bin jetzt Naturforscher geworden, und ich habe jetzt beständig Gelegenheit, die Natur in ihren Werken zu beobachten und die Art und Weise, wie sie die Ordnung und den Zusammenhang der Welt leitet, zu verfolgen . . .«

Man hat Faraday als Beweis dafür hinzustellen versucht, daß ein »wahres Genie« sich auch unter mißlichsten Umständen durchsetze. Aber man hat dabei den Einzelfall, der durch das Zusammentreffen günstiger Zufälligkeiten ermöglicht wurde, als typisch geschildert. Wie viele »Faradays« mögen allein in englischen Fabriken und Gruben gearbeitet haben, ohne die Mittel und die Möglichkeit zu besitzen, sich weiterzubilden? Darin besteht überhaupt das größte Hemmnis für die Entwicklung von Wissenschaft, Technik und des ganzen gesellschaftlichen Lebens, das der Kapitalismus trotz der durch ihn ermöglichten Fortschritte mit sich brachte: Die überwiegende Mehrheit der Menschen, die Volksmassen und ganze Völker wurden von der Bildung überhaupt, zumindest aber von einer wissenschaftlichen Ausbildung und damit von der praktischen Anwendung entsprechender Erkenntnisse ausgeschlossen.

Faradays erste größere Arbeiten galten der Chemie. Er entdeckte das Benzol, befaßte sich – schon mehr zur Physik hinüberwechselnd – mit der Verflüssigung von Gasen und der Untersuchung optischer Gläser.

Stets aber wird Faradays Name genannt, wenn von der *elektromagnetischen Induktion* die Rede ist. Seine Forschungen sollten eine damals häufig gestellte Frage beantworten: Wenn der elektrische Strom Magnetismus hervorrufen kann, müßte es dann nicht umgekehrt auch möglich sein, mit Hilfe des Magnetismus Ströme hervorzubringen?

Faraday wickelte zwei voneinander getrennte Spulen auf einen runden Holzstab. Die Enden der einen verband er mit einem empfindlichen Meßinstrument, die Enden der anderen mit einer galvanischen Batterie:

»Im Augenblick der Verbindung des Drahtes mit der Batterie war eine plötzliche, aber sehr geringe Wirkung auf das Galvanometer sichtbar, und eine ähnliche schwache Wirkung zeigte sich, als diese Verbindung aufgehoben wurde. Solange indes der elektrische Strom fortfuhr, durch den einen Schraubendraht zu gehen, konnte keine Spur irgendeiner Wirkung bemerkt werden, obschon die Batterie sehr kräftig war, wie aus der Erhitzung des ganzen Schraubendrahtes und aus den glänzenden Funken bei der Entladung mittels Kohlenspitzen hervorging . . .

Die Ergebnisse, die ich späterhin mit Magneten erhielt, haben mich zu der Ansicht geführt, daß der Voltasche Strom, der durch einen Draht geht, wirklich in dem zweiten Draht einen ähnlichen Strom erregt, der

aber nur von augenblicklicher Dauer ist und seiner Natur nach mehr Ähnlichkeit hat mit der elektrischen Welle, die beim Entladen einer Leiden-Flasche auftritt, als mit dem Strom einer Voltaschen Batterie . . .«

Durch einen einfachen Versuch zeigte Faraday, daß das An- und Abschalten der Batterie nicht die einzige Ursache des Induktionsvorganges war: Zwei Brettchen wurden mit einem zickzackförmigen Draht gespannt. Der eine blieb ständig mit der Batterie, der andere mit dem Galvanometer verbunden. Wurden die Brettchen einander rasch genähert oder rasch voneinander entfernt, zeigte das Instrument wiederum einen Stromstoß an. Damit war erwiesen, daß es die vom Draht ausgehenden magnetischen Wirkungen sind, die die Induktionsströme hervorrufen. Als schließlich der Batteriekreis mit seiner Spule durch einen hin- und herbewegten Magneten ersetzt wurde, der wiederum Ströme im Galvanometerkreis entstehen ließ, sah sich Faraday am Ziel. Dieses Ziel war zugleich der Ausgangspunkt der modernen Elektrotechnik; denn bei jeder Lichtmaschine, jedem Transformator und jedem Generator werden die Induktionserscheinungen genutzt.

Seine weiteren Arbeiten führten Faraday zu einer Schlußfolgerung, deren ganze Tragweite erst viel später erkannt wurde:

An den elektrischen und magnetischen Erscheinungen ist der Raum zwischen den Körpern nicht »unbeteiligt«, wie die meisten Wissenschaftler geglaubt hatten. Vielmehr entsteht in ihm in der Umgebung magnetischer oder elektrisch geladener Körper ein magnetisches oder elektrisches *Feld*. Das magnetische Feld vermittelt die magnetischen Wirkungen und verursacht damit auch die Induktionserscheinungen.

Faraday, der sich wie selten ein Forscher physikalische Vorgänge bildhaft vorzustellen vermochte, beschrieb das Feld mit Hilfe der anschaulichen *Feldlinien* und gab damit dem Physiker und Techniker ein Hilfsmittel in die Hand, das bis heute nichts von seiner Bedeutung eingebüßt hat.

Bis zu einer mathematischen Fassung seiner Feldvorstellung stieß Faraday nicht vor. Dies blieb vor allem seinem berühmten Landsmann James Clerk Maxwell (1831 bis 1879) vorbehalten, der damit weitere Brücken zwischen einander scheinbar fremden physikalischen Gebieten schlug.

Elektrotechnik auf dem Vormarsch

Die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts hatten zahlreiche Entdeckungen auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre gebracht. Ausgehend von der Voltaschen Säule, der ersten stetig arbeitenden Stromquelle, hatte man die Erscheinungen der Elektrowärme, der Elektrochemie und vor allem den Elektromagnetismus und die elektromagnetische Induktion untersucht.

Der Telegraf war die erste bedeutende Anwendung der Elektrotechnik. Er ließ sich mit den als Stromquellen verfügbaren galvanischen Elementen betreiben.

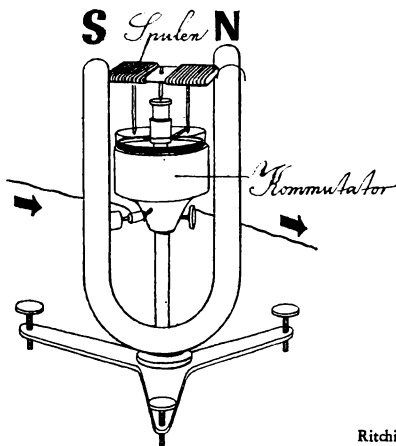
Versuche, die Elektrizität anderweitig technisch zu nutzen, brachten wenig Erfolg. Moritz Hermann Jacobi (1801 bis 1875) hatte bei der Untersuchung elektromagnetischer Vorgänge im Jahre 1837 ein Verfahren entdeckt, mit dessen Hilfe sich genaue Abdrücke von reliefartigen Oberflächen erhalten ließen. Man nutzte diese »Galvanoplastik« unter anderem, um Druckstöcke für Banknoten herzustellen. Zeitgenossen Jacobis arbeiteten Methoden zur elektrochemischen Versilberung und Vergoldung aus. Zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten der Elektrochemie – zum Beispiel bei der Gewinnung von Metallen – lagen nahe. Doch man konnte ihnen nicht nachgehen, weil galvanische Elemente nicht leistungsfähig genug und im Betrieb zu teuer waren.

Der elektrische Lichtbogen war bekannt, aber er beleuchtete weder Straßen noch Räume, weil es noch keine Stromquelle gab, die eine Bogenlampe für längere Zeit hätte speisen können.

Vor allem waren es die Wechselwirkungen zwischen mechanischen und elektrischen Wirkungen und Kräften, die das Interesse von Wissenschaftlern und Technikern hervorriefen. Würde sich ein *Elektromotor* konstruieren lassen? Sollte es nicht möglich sein, einen ständig fließenden Strom statt mit Elementen durch Umwandlung mechanischer Kräfte zu gewinnen?

Ausgehend von Beobachtungen Oersteds, Ampères und anderer hatte bereits Faraday gezeigt, daß der elektrische Strom und sein Magnetfeld eine ununterbrochene Drehbewegung hervorrufen können. Je nach der Anordnung rotierte ein beweglicher Magnetstab um das feste, zentral angebrachte Ende einer Stromzuführung, oder ein bewegliches Leiterende drehte sich um einen feststehenden Stabmagneten.

Faraday dachte bei seinem Versuch nicht an praktische Anwendungen. Ihm ging es lediglich darum, die Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen und mechanischen Kräften vorzuführen.



Ritchies Elektromotor

William Ritchie (1790 bis 1837) ersann einen ersten Elektromotor: Zwei Spulen rotierten zwischen den Polen eines Dauermagneten. Ein »Kommutator« kehrte jeweils nach einer halben Umdrehung die Stromrichtung um, so daß eine dauernde Bewegung entstand.

Auf einem anderen Prinzip beruhte eine Vorrichtung des Italieners Salvatore dal Negro (1768 bis 1839): Vor den Polen eines Elektromagneten schwang ein eisernes Pendel. Es schaltete bei jedem Hin- und Hergang die Stromrichtung um, wodurch es jeweils von einem Magnetpol einen neuen Anstoß erhielt. Über eine Stoßklinke drehte das Pendel ein Zahnrad, auf dessen Welle eine Seiltrommel zum Heben kleiner Lasten angebracht war. Wenn sich so auch keine Winde und kein Kran bauen ließen, so kehrte doch das Prinzip des dal Negroschen Pendels später in vielen elektrischen Uhren wieder.

Die Versuche mit Elektromotoren blieben zunächst auf das Laboratorium beschränkt. Die Dampfmaschine hatte die Industrie und das Verkehrswesen erobert; Elektromotoren aber brachten zunächst keine nennenswerte Leistung auf.

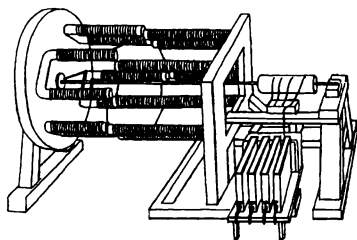
Der erste leistungsfähige Elektromotor stammt von dem Physiker und Ingenieur Moritz Hermann Jacobi (1801 bis 1875). Er benutzte, abweichend von den meisten seiner Vorgänger, keine Dauermagneten, sondern die viel kräftigeren Elektromagneten zur Erzeugung des Magnetfeldes. Bei einer ersten Ausführung saßen sie am Rande von zwei Kreis-

scheiben, deren eine auf gemeinsamer Welle mit einem Kommutator angebracht war. Die Magnetpole der festen und die der beweglichen Scheibe standen einander dicht gegenüber.

Später gestaltete Jacobi, der seit 1847 Mitglied der Petersburger Akademie war, den feststehenden Magneten ringförmig. Im Inneren des Ringes drehte sich der zweite, speichenförmige Magnet. Jacobi vereinte je zwanzig solcher Baugruppen auf einer langen Welle, die auch den gemeinsamen Kommutator trug, und ließ zwei Wellen dieser Art eine gemeinsame Achse antreiben. Um die Leistungsfähigkeit des Motors zu beweisen, baute ihn Jacobi in ein Boot ein, das mit 12 Passagieren erfolgreiche Probefahrten auf der Newa ausführte. Der Elektromotor hatte damit seine grundsätzliche Eignung für technische Anwendungen gezeigt; doch machten auch Jacobis Versuche deutlich, daß galvanische Batterien keine Stromquelle für den Dauerbetrieb von Elektromotoren sein konnten.

Immerhin ahnten vorausschauende Köpfe schon damals, was Karl Marx 1850 in einem Gespräch mit Wilhelm Liebknecht zum Ausdruck brachte: Daß an die Stelle »seiner Hoheit des Dampfes« eine »weit revolutionärere Kraft – der elektrische Funke« treten würde. So schrieb der holländische Physiker Vosselmann de Heer (1809 bis 1841) fünf Jahre nach Jacobis Vorführungen im Jahrgang 1839 der »Annalen der Physik und Chemie«:

»... Eine Dampfmaschine, welche die Arbeit eines Mannes z. B. verrichten sollte, wäre ein sehr unnützes Werkzeug, und doppelt würde sie es sein, wenn man sie nicht fortdauernd, sondern nur dann und wann, mit Unterbrechungen, gebrauchen wollte. Gerade dann, bei kleineren Maschinen, würde man den Elektromagnetismus in vielen Fällen anwenden können. Solch eine Maschine ist rasch in Tätigkeit gesetzt; sowie das Zink in die Flüssigkeit getaucht wird, beginnt ihre Wirkung; sie hört auf, sowie man das Zink herauszieht. Es findet hier, weder zuvor



Jacobis
Elektromotor

noch hernach, ein Verlust statt; jeder Gran Zink, der voltaisch oxydiert wird, bringt seine Wirkung hervor . . . Wie viele Fälle sind nicht denkbar, selbst zum gewöhnlichen Hausbedarf, in denen man eine Nutzanwendung von solcher Kraft machen könnte!»

Im Jahre 1837 erhielt der amerikanische Schmied Thomas Davenport (1802 bis 1851) ein Patent auf einen Elektromotor, der ähnlich aufgebaut war wie die Motoren Jacobis. Er versuchte, Werkzeugmaschinen damit anzutreiben. Nahezu gleichzeitig experimentierte ein schottischer Erfinder mit einem Schienenfahrzeug, das von einem Elektromotor angetrieben wurde. In Frankreich konstruierte Gustav Froment (1815 bis 1864) einen »Radmotor«, in dem stabförmige Elektromagneten vor den Polen der auf einem Kreisumfang angeordneten Elektromagneten rotierten. Der Motor sollte Druckpressen, Mahlgänge und andere Maschinen in Bewegung setzen.

Froments Motor wurde ebenfalls aus Batterien gespeist und konnte daher keine Bedeutung erlangen. Lediglich elektrische Uhren, die nur wenig Strom verbrauchten, nahm man in Betrieb, unter anderem sogar solche, die durch Stromstöße zum Gleichlauf mit einer zentralen »Mutteruhr« gezwungen wurden.

Faradays Forschungen hatten eine den galvanischen Elementen überlegene Methode der Elektrizitätserzeugung in den Bereich der Möglichkeiten gerückt: die Umwandlung mechanischer Arbeit in elektrische. Mechanische Arbeit stand als Muskelkraft, als Wasserkraft oder von der Dampfmaschine her zur Verfügung. Es kam darauf an, Maschinen zu entwerfen und auszuführen, die die Umwandlung möglichst einfach und mit großem Wirkungsgrad vollzogen.

Den Anfang machten »magnetelektrische Maschinen«. Sie waren nach dem Prinzip konstruiert, das schon Michael Faraday angegeben hatte: Vor Magneten rotierten Spulen, oder man ließ die Spulen feststehen und drehte statt dessen die Magneten.

Zwei Mängel stellten sich sofort heraus: Natürliche Magneten waren so schwach, daß sich nur sehr bescheidene Leistungen gewinnen ließen. Außerdem unterschied sich der erzeugte Strom grundsätzlich von dem, den eine Batterie lieferte. Er wechselte im Rhythmus der Drehgeschwindigkeit fortwährend seine Richtung und pendelte sogar innerhalb der kurzen Zeitspanne, während der er in einer Richtung floß, zwischen Null und einem Höchstwert – es war »Wechselstrom«. Man konnte damals noch nicht viel mit ihm anfangen, denn beispielsweise für elektrochemische Vorgänge war es eine Voraussetzung, daß die Stromrichtung beibehalten blieb.

Sollten magnetelektrische Maschinen für praktische Zwecke ausgenutzt werden, mußten sie einen Strom ständig gleichbleibender Richtung abgeben. Man erhielt ihn durch Einführung des Kommutators, des Stromwenders, der die Stromrichtung jeweils im richtigen Augenblick umkehrte.

Um auf größere Leistungen zu kommen, ordnete man zahlreiche Dauermagneten sternförmig an und erhöhte die Zahl der rotierenden Spulen entsprechend. Man setzte diese Maschinen in der Elektrochemie ein oder auf Leuchttürmen, wo sie Bogenlampen speisten.

Auch hierbei erreichte man allerdings sehr bald eine durch die Dauermagneten gegebene Leistungsgrenze. Um sie zu überwinden, benutzte man den gleichen Kunstgriff wie Jacobi beim Elektromotor: Man ersetzte die Dauermagneten durch Elektromagneten. Der Strom, der die Elektromagneten »erregte«, entstammte galvanischen Batterien oder magnetelektrischen Maschinen. Die Leistung dieser »fremderregten«, mit Elektromagneten ausgerüsteten Stromerzeuger überstieg zwar die der magnetischen Maschinen, genügte aber beispielsweise nicht, um mehrere große Bogenlampen zu speisen.

Die entscheidende Etappe in der Entwicklung der elektrischen Generatoren begann mit der Beobachtung, daß fremderregte Maschinen auch dann einen schwachen Strom lieferten, wenn die Stromquelle der Magneten abgeschaltet war. Die Eisenkerne der Elektromagneten bewahrten einen gewissen »Restmagnetismus«; er reichte aus, eine elektrische Spannung zu induzieren und einen Strom fließen zu lassen.

Diese Entdeckung wies den Weg zum »selbsterregten« Generator: Man speiste die Elektromagneten nicht von außen, sondern ließ ihre Spulen vom erzeugten Strom selbst durchfließen. Beim Anlaufen des Generators rief der Restmagnetismus eine zunächst geringfügige Spannung an den Generatorklemmen hervor. Diese trieb einen Strom durch die Spulen der Elektromagnete. Dadurch erhöhte sich bei richtiger Polung der Spulenanschlüsse die Stärke des Magnetfeldes. Die induzierte Spannung stieg, was eine weitere Verstärkung des Magnetfeldes zur Folge hatte, usw.

Das erste Patent auf einen selbsterregten Generator wurde 1854 erteilt. Allerdings beschrieb es nur eine Zwischenlösung: Neben Elektromagneten waren mehrere Dauermagneten vorgesehen, um für das Anlaufen der Maschine auf alle Fälle ein hinreichend kräftiges Magnetfeld zu sichern.

Die konsequente Ausnutzung der Selbsterregung, das »Dynamoprinzip«, geht vor allem auf Werner Siemens zurück. »Die Sache ist sehr ent-

wicklungsfähig und kann eine neue Ära der Magneto-Elektrik herbeiführen«, schrieb er 1866 seinem Bruder nach London. Im Januar 1867 wurde sein Aufsatz »Über die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne permanente Magnete« in der Berliner Akademie der Wissenschaften vorgelegt.

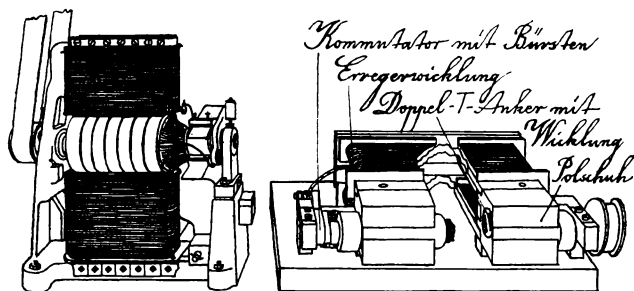
Hinter dieser ein wenig trocken anmutenden Überschrift verbarg sich der Beginn des wichtigsten Abschnitts der Elektrotechnik: die Möglichkeit, Elektroenergie in großen Mengen aus mechanischer Energie zu gewinnen.

Innerhalb kurzer Zeit verbesserten Siemens und andere die *Dynamomaschine*. In Frankreich fanden Zénobe-Théophile Gramme (1826 bis 1901) und in Italien Antonio Pacinotti (1841 bis 1912) wesentlich günstigere Bauformen für den »Läufer«, den rotierenden Teil der elektrischen Generatoren. In Deutschland entwickelte Friedrich von Hefner-Alteneck (1845 bis 1904) 1873 den »Trommelanker«, einen zylindrischen Eisenkörper, in dessen Längsnuten die der Stromerzeugung dienenden Spulen saßen. Er vereinigte die Vorteile der von Gramme und Pacinotti gefundenen Läufer mit einer einfacheren Herstellungsweise und verbilligte die Produktion von Generatoren.

Damit war endlich die Zeit gekommen, den elektrischen Strom für praktische Anwendungen einzusetzen.

Die Galvanoplastik erfuhr einen raschen Aufschwung. Man lernte, chemisch leicht angreifbare Metalle mit Schutzschichten aus edleren Metallen zu überziehen. Besonders durch das Vernickeln konnte dieses Verfahren bald auch auf Gebrauchsgegenstände ausgedehnt werden.

Gegen Ende der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts erhielt die elektrochemische Raffination des Rohkupfers große Bedeutung, nicht zu-



Eine der ersten serienmäßig produzierten Dynamomaschinen von Siemens & Halske

letzt, weil der Bedarf der Elektro- und Nachrichtentechnik an möglichst reinem Kupfer ständig und schnell wuchs. Gleichzeitig begann man allenthalben mit der schon von Bunsen vorgeschlagenen Metallabscheidung aus Schmelzen zu experimentieren, wobei man sich besonders für die Leichtmetalle Aluminium und Magnesium interessierte.

Man konnte nun auch daran denken, den Lichtbogen in großem Umfange für Beleuchtungszwecke zu verwenden. Zahlreiche Bogenlampenkonstruktionen wurden erdacht und ausprobiert.

Einen entscheidenden Wandel in der Beleuchtungstechnik leitete die Bogenlampe jedoch nicht ein. Ihre Handhabung war zu unbequem. Die Lampen ließen sich nur zünden, indem man die Kohlespitzen für einen Augenblick in unmittelbare Berührung brachte; außerdem mußten die Kohlen nach 6 bis 10 Stunden ausgewechselt werden. Für kleine Räume war das Licht zu hell. Da durch die Lampen Kohlendioxid gebildet wurde, verschlechterte sich die Luft im Raum.

So blieb das Bogenlicht Sonderzwecken vorbehalten, bei denen diese Mängel in Kauf genommen werden konnten. Für die Beleuchtung von breiten Straßen oder Plätzen, in Scheinwerfern auf Leuchttürmen und auch zur Nacharbeit in Fabriken wurde es angewandt.

Dagegen erhielt der Lichtbogen wegen seiner enormen Hitzeentwicklung später große Bedeutung für die metallurgische Technik und für die Chemie, zum Beispiel bei der Herstellung von Elektrostahl und bei der Gewinnung des wichtigen Kalziumkarbids. Das Lichtbogenschweißen wurde zur Grundlage eines heute unentbehrlichen technologischen Verfahrens.

Sollte der elektrische Strom Wohnungen, kleinere Werkstätten oder Geschäftsräume erhellen, galt es, seine Wärmewirkungen auf andere Weise auszunutzen. Erhitzte man Leiter durch elektrischen Strom zur Weißglut, strahlten sie helles Licht aus, wurden aber durch den atmosphärischen Sauerstoff rasch zerstört. Damit sie länger leuchteten, mußte man den Sauerstoff fernhalten.

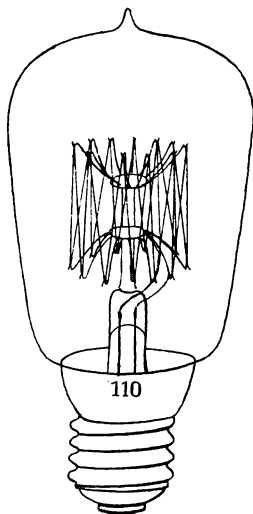
Als erstem gelang dies dem nach den Vereinigten Staaten ausgewanderten Optiker und Uhrmacher Heinrich Goebel (1818 bis 1893). Um Material zu bekommen, das höchsten Temperaturen standhielt, verkohlte er Bambusfasern (1854), die er in länglichen Glaskolben ausspannte. Anschließend wurde die Luft aus dem Kolben gepumpt. Goebel schloß seine Glühlampen an eine galvanische Batterie an. Sie leuchteten hell, doch ihre Herstellung war sehr umständlich, ihre Haltbarkeit gering.

Als sich in den siebziger Jahren Alexander Nikolajewitsch Lodygin

(1847 bis 1923) der Konstruktion von Glühlampen zuwandte, gab es bereits Dynamomaschinen. Daher konnte Lodygin statt des wenig widerstandsfähigen Bambusfadens Kohlestäbchen benutzen, die im Vakuum durch den elektrischen Strom bis zur Weißglut erhitzt wurden. Lodygin erhielt sogar einen Preis der Petersburger Akademie für seine Erfindung. Im damaligen Rußland war es ihm aber nicht möglich, sie in die Praxis einzuführen.

Die Glühlampe in der Form, wie wir sie heute kennen, wurde vor allem von dem Engländer Joseph Swan (1828 bis 1914) und dem Amerikaner Thomas Alva Edison (1847 bis 1931) geschaffen. Während Swan sehr bald dünne Metalldrähte in die Lampen einsetzte, verwendete Edison Kohlefäden. Die Glühlampe entwickelte sich schnell zu einem Massenartikel. Bereits ein Jahrzehnt nach Edisons entscheidenden Versuchen, im Jahre 1891, produzierte allein die deutsche »Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft« (AEG) eine Million Glühlampen.

Nicht nur die Lampen selbst waren ein gutes Geschäft. Der Verkauf des nötigen Zubehörs erwies sich als kaum weniger gewinnbringend. Schalter, Fassungen, Leuchten, Leitungen und Verteilereinrichtungen mußten auf den Markt gebracht werden. Die Stromerzeugung, die trotz



Eine der ersten Metallfadenlampen mit käfigartig gespanntem Leuchtdraht

der Einführung der Bogenlampe nur sehr zögernd gestiegen war, erhielt jetzt große Bedeutung; denn nun konnte man Elektroenergie an einen Kundenkreis verkaufen, der so gut wie unbegrenzt war.

Die ersten öffentlichen Elektrizitätswerke entstanden. Ihre Dynamos wurden von Dampfmaschinen getrieben, lieferten Strom fast ausschließlich für Beleuchtungszwecke, versorgten aber allenfalls einen Häuserblock. 1882 machte Edison in New York den Anfang. 59 Abnehmer bezogen Strom für insgesamt 300 Glühlampen. Andere Großstädte, auch Berlin, folgten mit der Einrichtung von »Blockzentralen«.

Trotzdem waren die Besitzer der Elektrizitätswerke unzufrieden. Die Anlagen wurden nur während der Abend- und Nachtstunden ausgenutzt und arbeiteten daher sehr unrentabel. Außerdem entstand dem elektrischen Licht eine gefährliche Konkurrenz im Gasglühlicht, das Carl Auer von Welsbach (1858 bis 1929) nach 1885 entwickelte und das billiger als Glüh- und Petroleumlampe war.

Man mußte sich nach Abnehmern für elektrischen Strom umsehen, die Strom auch tagsüber kauften. Unter diesem Gesichtspunkt war der Elektromotor besonders interessant. Die Erfindung der Dynamomaschine hatte sich auf ihn in doppelter Hinsicht günstig ausgewirkt. Einmal konnte er jetzt Antriebsenergie aus leistungsfähigen Dynamos beziehen; zum anderen war es möglich, bei seiner Konstruktion auf Erfahrungen zurückzugreifen, die man beim Entwurf und bei der Ausführung von Dynamos gesammelt hatte.

Die Nachfrage nach Elektromotoren war inzwischen ebenfalls gewachsen. Antriebsenergie wurde nicht mehr nur in großen Betrieben benötigt. Kleinere Fabriken und Werkstätten waren, wenn sie sich behaupten wollten, auf Antriebsenergie angewiesen. Der Tischler mußte Sägen, der Schlosser Bohrmaschinen, Schleifböcke oder Drehbänke antreiben können. Kräne und Aufzüge, Pumpen und Kompressoren waren aufzustellen.

So kam es, daß der Elektromotor verhältnismäßig rasch zahlreiche Anwendungen fand. Betriebe wurden, soweit bereits Elektroenergie verfügbar war, »elektrifiziert«. An die Seite von Antriebsmotoren für Werkzeugmaschinen traten – um 1880 – elektrische Fahrstühle und Aufzüge, elektrische Hämmer und Gesteinsbohrer. Bohr- und Schleifmaschinen wurden mit angebautelem Elektromotor ausgerüstet und teilweise schon mit einer biegsamen Welle versehen, die ihre Handhabung erleichterte. Gewürzmühlen, Eismaschinen, Besteckputzmaschinen erhielten einen Elektroantrieb. Sogar Nähmaschinenmotoren, elektrische Zahnbohrmaschinen und, wenig später, die ersten Staubsauger tauchten auf.

Während der »Berliner Gewerbeausstellung 1879« führten Siemens und Halske eine elektrische Bahn vor. Zwei Jahre später fuhr in Berlin-Lichterfelde die erste elektrische Straßenbahn; eine Grubenbahn mit Elektroantrieb folgte ein Jahr später.

Waren bis zur Erfindung der Dynamomaschine elektrische Apparate und Maschinen im wesentlichen nebenbei von anderen Firmen produziert worden, so entstand nunmehr eine spezielle Elektroindustrie. Sie entwickelte sich rasch und trug von vornherein monopolistische Züge: Kleinere Unternehmen wurden systematisch ruiniert oder aufgekauft, sofern es ihnen nicht gelang, sich auf einem eng begrenzten Teilgebiet zu spezialisieren. Zahlreiche Tochtergesellschaften der großen Firmen wurden gegründet. Banken waren sehr oft nicht nur Geldgeber, sondern Teilhaber der Elektrofirmer und Tochtergesellschaften.

Die beiden damals bekanntesten deutschen Unternehmen der Elektroindustrie, die Siemens und Halske Aktiengesellschaft und die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), haben diese Grundsätze konsequent verfolgt, nicht zuletzt auch bei der Einrichtung von Elektrizitätswerken. So rief die aus der Deutschen Edisongesellschaft hervorgegangene AEG, die ihr Kapital innerhalb von 14 Jahren von 5 auf 47 Millionen Mark erhöhte und Dividenden bis zu 15 Prozent zahlte, schon sehr bald die »Berliner Elektrizitätswerke« ins Leben und beteiligte sich an zahlreichen Straßenbahnen, Kraftwerken und elektrochemischen Fabriken.

Siemens und Halske, deren Kapital noch vor der Jahrhundertwende 45 Millionen Mark erreichte, gründeten zusammen mit der »Deutschen Bank« die »Elektrische Licht- und Kraftanlagengesellschaft« und – neben vielen anderen Tochterunternehmen – eine Aktiengesellschaft für elektrische Hoch- und Untergrundbahnen. Ähnlich verlief die Entwicklung in den Vereinigten Staaten und in anderen Ländern.

Internationale elektrotechnische Ausstellungen – zum Beispiel 1881 in Paris, 1882 in München und 1883 in Wien – wurden organisiert. Oft waren sie mit Fachkongressen verbunden, bei denen die neuesten Erkenntnisse vorgestellt und diskutiert wurden.

Ganz so reibungslos, wie man anfänglich gehofft hatte, verlief das »Elektrifizieren« allerdings nicht. Selbst mit Hilfe von Schaltungskniffen wie dem »5-Leiter-System« blieb der Versorgungsradius eines Kraftwerkes begrenzt und überschritt kaum 2000 m. Bei größeren Entfernungen wurden die Leitungsverluste zu groß. Wollte man eine größere Stadt mit Elektroenergie versorgen, waren mehrere Energiezentralen erforderlich. Projekte und Vorschläge, Energie für Großstädte oder ganze Land-

striche in einer Zentrale zu gewinnen oder leistungsstarke Kraftwerke an Flußläufen zu errichten, mußten vorerst Wunschträume bleiben.

Physikalische Gesetze schienen einen Ausweg zu zeigen: Die Leitungsverluste würden gering bleiben, wenn man Elektroenergie mit möglichst hoher Spannung, aber niedriger Stromstärke fortleitete.

Versuche in verschiedenen Ländern erwiesen die prinzipielle Richtigkeit dieses Weges. So übertrug anläßlich der Münchener elektrotechnischen Ausstellung 1882 der französische Ingenieur Marcel Deprez (1843 bis 1918) Elektroenergie von Miesbach über eine Entfernung von mehr als 50 km nach München, wobei er mit der für damalige Begriffe ungewöhnlich hohen Spannung von 2000 V arbeitete. Eine weitere Spannungssteigerung ließ noch bessere Ergebnisse erwarten.

Doch hier war bald eine technische Grenze erreicht. Dynamomaschinen erzeugten Spannungen bis zu einigen Tausenden Volt. Bei weiterer Spannungserhöhung gelang es nicht mehr, die Drahtwindungen hinreichend zu isolieren und den Strom am Kommutator abzunehmen.

Ähnliche Isolationsschwierigkeiten bestanden auf der Verbraucherseite. Es war zu kostspielig und zu gefährlich, Strom von Tausenden Volt Spannung in Fabriken, Werkstätten oder gar Wohnungen einzuführen. Elektromotoren konnten aus gleichen Gründen wie Dynamos nicht für hohe Spannungen konstruiert werden, Bogenlampen funktionierten überhaupt nur bei niedriger Spannung, und auch Glühlampen ließen sich nicht für Spannungen herstellen, die wenige Hunderte Volt überschritten.

So ergab sich eine schwierige Lage: Am Erzeugungs- und am Verbrauchsort war man auf niedrige Spannungen angewiesen, die Verbindung zwischen ihnen jedoch mußte mit möglichst hoher Spannung hergestellt werden.

Dieser Widerspruch war zunächst nicht zu lösen. Dynamomaschinen erzeugten Gleichstrom; Elektromotoren und viele andere Stromverbraucher benötigten ebenfalls Gleichstrom. Doch es gab keine Möglichkeit, die Spannung des Gleichstroms für den Transport zu erhöhen und am Verbrauchsort wieder herabzusetzen. Eine – bis heute gültige – Lösung wurde erst gefunden, als man sich dem bis dahin vernachlässigten Wechselstrom zuwandte.

Diese Entwicklung wirft – ähnlich wie das parallel dazu verlaufende Aufkommen der chemischen Großindustrie – zahlreiche Grundfragen auf: Werden hier nicht die kapitalistischen Bedingungen bei der Entstehung dieser Industrien ähnlich sichtbar wie bei der vorrangigen Entwicklung der Textilindustrie in der industriellen Revolution? In beiden Fällen war die Möglichkeit, schnell Profit machen zu können, offensicht-

lich für das Aufkommen dieser Industriezweige entscheidend – hier der Massenkonsum von elektrischem Strom zunächst für Beleuchtungsanlagen, dort die Bleichmittel und Farbstoffe für die Textilindustrie. Neu ist, besonders bei der Elektroindustrie, daß ihre Entwicklung von vornherein starke monopolistische Züge trägt, also vom Grundmerkmal des Imperialismus, des untergehenden Kapitalismus, geprägt ist. Es ist einleuchtend, daß diese Bedingungen beträchtliche Auswirkungen auf die konkrete Entwicklung dieser Industriezweige hatten, und zwar nicht nur hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Funktion, sondern auch in bezug auf das Tempo ihrer naturwissenschaftlich-technischen Fortschritte. In der Tat ist die Entwicklung der Wissenschaft als unmittelbare Produktivkraft im Kapitalismus seitdem von vornherein an die Existenz von monopolistischen Betrieben gebunden und damit an das Streben nach Monopolprofiten – was dieser Entwicklung unüberschreitbare Grenzen setzt. Andererseits ist diese Periode aber bereits durch den Vormarsch der marxistischen, also auf einer wissenschaftlichen Grundlage kämpfenden, revolutionären Arbeiterbewegung gekennzeichnet, deren Begründer Karl Marx und Friedrich Engels den reaktionären Charakter des kapitalistischen Monopols bereits durchschaut hatten. Wer sich diese Zusammenhänge und ihre Auswirkungen vor Augen zu führen vermag, wird auch zu einem tieferen Verständnis der hier behandelten naturwissenschaftlich-technischen Entwicklungen gelangen.

Erforschte Zusammenhänge

Wer am Beginn des 19. Jahrhunderts Fabriken aufsuchen wollte, konnte sich nicht mehr damit begnügen, den Flußläufen zu folgen. Abseits mußte er seine Schritte lenken, wo langgestreckte Backsteingebäude von hohen, qualmenden Schornsteinen überragt wurden. Nicht von Wasserrädern, sondern von ungeschlachten Dampfmaschinen wurden die Maschinen in diesen Fabriken angetrieben. Lohnarbeiter, Frauen und Kinder bedienten von Tagesanbruch bis in die Nacht die Hebel, Räder und Gestänge. Dort, wo einst Amboß und primitive Werkbank gestanden hatten, befanden sich Werkzeugmaschinen, die bohrten, Späne abhoben, hämmerten und preßten. Treibriemen führten zur Dampfmaschine und nicht mehr zur Welle des Wasserrads oder des Göpels.

Fabriken, in denen eine unüberschbare Zahl von Spindeln surrte, hatten die winzigen Stuben mit dem Spinnrad in Vergessenheit geraten lassen.

Auf Zeichenbrettern wurden immer leistungsfähigere Lokomotiven und Dampfschiffe entworfen. Sie nahmen im Ringen gegen eine noch unzulängliche Technologie Gestalt an und begannen, das Verkehrswesen aus jahrhundertelanger Erstarrung zu lösen.

Die industrielle Revolution, von England ausgehend, erfaßte bald auch andere Länder. Wissenschaftler hatten an ihr zunächst kaum Anteil. Sie begann als Sache der »Praktiker«, die sich auf bekannte Gesetzmäßigkeiten und Erfahrungen verließen.

Freilich heißt das nicht, daß die Wissenschaftler in jener Zeit untätig geblieben wären. Die Gelehrten hatten eine Fülle von Beobachtungen und Erfahrungen zusammengetragen und waren zu einer Vielfalt von neuen Einsichten und Erkenntnissen gelangt.

Differential- und Integralrechnung gehörten zum Handwerkszeug des Forschers. Newtons Mechanik beschrieb den fallenden Stein ebenso wie die Bewegungen der Himmelskörper.

Die Elektrizität hatte ihren Nimbus als geheimnisvolle Naturkraft eingebüßt. Sie mußte sich, gleich ob sie einer geriebenen Schwefelkugel oder der Gewalt des Blitzes entstammte, menschlicher Experimentierkunst und Klugheit beugen, ließ sich in Leidener Flaschen sammeln und war, wenn man dem italienischen Forscher Galvani Glauben schenken wollte, Begleiter der Lebensvorgänge.

Das Licht, in seinem Wesen umstritten, hatte seine Gesetze offenbaren müssen. In optischen Instrumenten wurden sie vielfältig ausgenutzt.

Grundbeziehungen des Magnetismus waren erkannt; man wußte, daß sich die Erde selbst wie ein großer Magnet verhielt.

Darüber, was Wärme sei, gingen die Vorstellungen auseinander. Immerhin hatte man gelernt, sie zu messen und, wie die Dampfmaschine erwies, nutzbringend anzuwenden.

Aus der Alchimie hatten sich Anfänge der Chemie herausgeschält. Eine Wissenschaft hatte sich entwickelt, deren Vertreter das Beobachten und Wägen, das planvolle Experiment an die Stelle des bloßen Probierens setzten.

Beobachtungen, Erfahrungen, Experimente, Tatsachen hatten zu der Materialfülle beigetragen, die am Beginn des 19. Jahrhunderts vorlag.

Es war Material, das im wesentlichen zusammenhanglos, hauptsächlich empirisch gewonnen worden war und sich den Wissenschaftlern darbot wie ein buntes Mosaik.

Würden sich all diese Steinchen zu einem geschlossenen Bild zusammensetzen lassen? Würde es gelingen, nicht nur Einzeltatsachen eines Fachgebietes in einen Zusammenhang zu bringen, sondern auch verschiede-

dene Disziplinen, wie die Elektrizitätslehre, den Magnetismus, die Chemie, miteinander zu verknüpfen?

Diese Frage lag um so näher, als die Fortschritte der Geologie, der Paläontologie, der Biologie, die Hypothesen Kants und anderer über die Entwicklung der Erde und des Weltalls den Glauben an ein einmal geschaffenes und seither unverändertes Weltall ins Wanken gebracht hatten. Vorstellungen von der unaufhörlichen Bewegung und Veränderung der Materie, wie sie besonders in den Lehren der französischen Materialisten zum Ausdruck gekommen waren, traten an seine Stelle.

Schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ließen sich hervorragende Wissenschaftler, zum Beispiel Faraday, von dem Gedanken einer »Einheit der Naturkräfte« leiten und spürten Zusammenhängen und Wechselbeziehungen nach.

Diese Suche verlief äußerst erfolgreich. Man fand heraus, daß der elektrische Strom Wärmewirkungen hervorrief und in engem Zusammenhang mit chemischen und magnetischen Erscheinungen stand. Umgekehrt konnte Wärme unter gewissen Voraussetzungen elektrische Spannung und damit auch Strom verursachen.

Optik und Magnetismus, zwei scheinbar völlig wesensfremde Gebiete, offenbarten gegenseitige Beziehungen.

Die Induktionserscheinungen wurden entdeckt und eröffneten die Möglichkeit, mechanische Arbeit unter Vermittlung des Magnetismus in Elektroenergie umzuwandeln – eine Umwandlung, die zur Grundlage der modernen Elektrotechnik wurde. Umgekehrt übten Elektromagneten mechanische Kräfte aus.

Die Wechselbeziehungen zwischen mechanischer Energie und Wärme waren bereits länger bekannt. Sie wurden in Dampfmaschinen genutzt und traten bei Reibungsvorgängen häufig sehr unangenehm in Erscheinung. Ihre eingehende Untersuchung war ein Wegweiser zu einem der Höhepunkte der Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert: der Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie.

Spektroskopie und Spektralanalyse verknüpften die Atome der Chemiker und die Lichtwellen der Physiker miteinander. Ihre Anwendung auf das Licht der Himmelskörper markierte den Beginn der Astrophysik und lieferte unwiderlegbare Beweise für die materielle Einheit der Welt.

Das Periodensystem der Elemente ordnete nicht nur das in der Chemie Erreichte, sondern gab der künftigen Forschung wichtige Impulse, nicht zuletzt deshalb, weil es Beziehungen zwischen den Atomen verschiedener Grundstoffe nahelegte und ahnen ließ, daß den Atomen so etwas wie ein einheitliches Bauprinzip zugrunde läge.

Die Theorien Maxwells endlich, in der prägnanten Sprache weniger Formeln zusammengefaßt, gestatteten es, die Gebiete des Magnetismus, der Elektrizität und der Optik unter einheitlichen Gesichtspunkten zu beschreiben und zusammenzufassen.

Der Telegraf, die Elektrochemie, die Optik und andere Ergebnisse der Forschung hatten verhältnismäßig schnell ihren Niederschlag in nützlichen Anwendungen gefunden. Man begriff, daß die Wissenschaft sehr wohl »brauchbar« und gewinnbringend sein konnte.

Die Grundstoffindustrie, die metallverarbeitenden Betriebe, die chemischen Fabriken, das Verkehrswesen und die Nachrichtentechnik entwickelten sich wesentlich rascher als bisher.

Man brauchte Kohle und Erz, mehr als je zuvor, mußte in den Fabriken bessere Maschinen aufstellen, kam nicht ohne vielerlei Chemikalien und Farbstoffe aus, hatte den steigenden Bedarf der in Industriegebieten und Städten konzentrierten Arbeiter und ihrer Familien an Lebensmitteln und Textilien zu befriedigen, suchte nach Möglichkeiten, den Austausch von Rohstoffen, Waren und Nachrichten zu beschleunigen.

Wer anders konnte diese Aufgaben lösen helfen als jene, die die Gesetzmäßigkeiten und »Vorräte« der Natur erforschten?

Auch in den Jahrzehnten und Jahrhunderten, die der kapitalistischen Entwicklung vorausgegangen waren, hatten sich Erfindungen auf die Produktion ausgewirkt, aber selten hatten ungelöste technische Probleme die Tätigkeit der Entdecker bestimmt.

Schon im 17. Jahrhundert hatte sich in der Wissenschaft eine Umwälzung vollzogen, die den Weg zu bedeutenden Erkenntnissen eröffnete. Aber das war im wesentlichen »Vorlauf« für künftige Zeiten. Die Wissenschaft war damals noch nicht im Hinblick auf die Bedürfnisse der Produktion betrieben worden, auch wenn sie Ergebnisse gebracht hatte, die damals schon im Prinzip hätten Anwendung finden können. In einzelnen Fällen war das auch geschehen. Aber im allgemeinen reichte das in der Produktion vorhandene Erfahrungswissen noch aus. Jetzt aber war es die Produktionspraxis, die der Wissenschaft Aufgaben und Probleme stellte, sie auch mit verbesserten Hilfsmitteln, Instrumenten und Materialien versorgte.

Eine Wechselwirkung zwischen Forschung und Anwendung, zwischen Wissenschaft und Technik entwickelte sich, die von Jahrzehnt zu Jahrzehnt enger wurde. Sie drückte sich unter anderem darin aus, daß die wichtigsten Erfindungen und Entdeckungen des 19. Jahrhunderts von Wissenschaftlern oder wissenschaftlich Ausgebildeten gemacht wurden, nicht mehr von »berufsmäßigen« Erfindern, die sich heute diesem und

morgen jenem erfolversprechenden Thema zuwandten. Die Vertreter der im 19. Jahrhundert rasch wachsenden kapitalistischen Industrie waren häufig nicht abgeneigt, der Wissenschaft zu helfen, allerdings nur, sofern sie sich für sie selbst bezahlt machte. Verhiß eine Entwicklung oder Forschungsrichtung keinen unmittelbaren oder bald zu erreichenden Erfolg in Gestalt klingender Münze für die Kapitalisten, drohte sie umfangreiche Investitionen in »veraltete« Verfahren wertlos zu machen, verhielt man sich zögernd. Immer mehr Patente, deren Nutzung der Allgemeinheit Vorteile gebracht hätte, verschwanden sogar in Panzerschränken, weil sonst der Profit der Herrschenden geschmälert worden wäre.

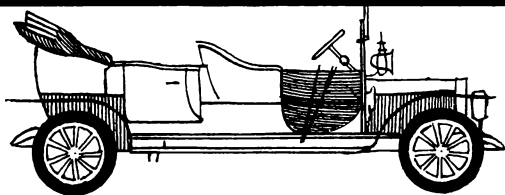
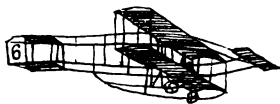
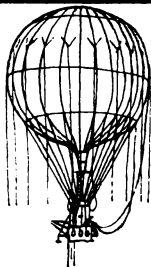
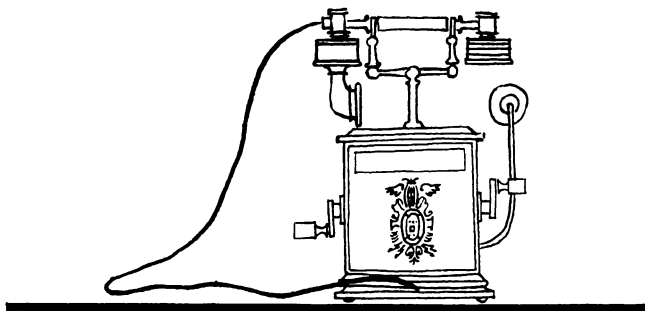
Im großen und ganzen gesehen, stellte die Wissenschaft fortan der Produktion immer vollkommenere Mittel und Erkenntnisse zur Verfügung. Das rasche Wachstum der Produktivkräfte war andererseits mit einer beschleunigten Entwicklung der Wissenschaften verbunden. Friedrich Engels stellte bereits im Jahre 1844 fest, daß die Wissenschaft fort-schreitet »im Verhältnis zu der Masse der Erkenntnis, die ihr von der vorhergehenden Generation hinterlassen wurde . . .«. Dieses Wachstumsgesetz, das seine Wirksamkeit gerade in der Gegenwart auf sehr überzeugende Weise demonstriert, seitdem der Sozialismus begonnen hat, führende Positionen in Wissenschaft und Technik zu erobern, entsprang dem objektiven Prozeß der Entwicklung der Produktivkräfte, die das revolutionärste Element der Geschichte sind. Zu ihnen zählt Karl Marx in erster Linie die Menschen mit ihren Kenntnissen und Arbeitsfertigkeiten, aber auch die Wissenschaft und ihre »technologische Anwendbarkeit«, die »gesellschaftliche Kombination des Produktionsprozesses, den Umfang und die Wirkungsfähigkeit der Produktionsmittel« sowie die von den Menschen ausgenutzten Naturreichtümer und -kräfte. Karl Marx und Friedrich Engels stellten für ihre Zeit fest, daß durch die an die Stelle der feudalen Ordnung getretenen kapitalistischen Produktionsverhältnisse neue, bisher ungeahnte Möglichkeiten für die Entwicklung der Produktivkräfte entstanden waren, weil nun unter anderem auch in größerem Maßstab als früher die Wissenschaft in der Produktion angewendet wurde. So hob Karl Marx hervor, daß die »Erfahrungen und Beobachtungen sowie die Anforderungen an den unmittelbaren Produktionsprozeß« einen »solchen Maßstab« erreicht hatten, »der die Anwendung der Wissenschaften gestattet und zu einer Notwendigkeit macht«. Er stellte dar, daß das »Prinzip des Maschinenbetriebs«, »den Produktionsprozeß in seine konstituierenden Phasen zu analysieren und die so gegebenen Probleme durch Anwendung der Mechanik, Chemie usw., kurz der Naturwissenschaften, zu lösen«, überall bestimmend werde. Und

er formulierte die Erkenntnis, daß die »Verbindung der Arbeit mit der Naturwissenschaft« einen der wichtigsten Faktoren bei der Organisation der gesellschaftlichen Arbeit darstellt und eine der entscheidenden Ursachen für die Erhöhung der Arbeitsproduktivität sein kann.

In der kapitalistischen Produktion fällt jedoch auch die Anwendung der Wissenschaft im Produktionsprozeß mit der Unterdrückung der geistigen Entwicklung für die Produzenten zusammen, die so praktisch gezwungen werden, lebende Anhängsel der Maschine zu sein.

Erst in einer Gesellschaftsordnung, in der das gesellschaftliche Eigentum an den Produktionsmitteln den Arbeitern gestattet, den Produktionsprozeß im Interesse der Befriedigung der wachsenden materiellen und kulturellen Bedürfnisse aller Werktätigen immer rationeller und effektiver zu gestalten, ist es möglich, auch und gerade die Wissenschaft ganz in den Dienst des Volkes zu stellen.

3. Kapitel • Neue Wege



Der Draht, der die Meilen kürzte

Neuartige Verfahren der Nachrichtenübermittlung waren erforderlich, damit sich die oft weit voneinander entfernten Geschäftspartner, Fabrikanten, Kunden und Zulieferer rasch verständigen konnten, wenn Produktion und Handel, ja alle Bereiche des sich entwickelnden kapitalistischen Systems reibungslos funktionieren sollten. Nachrichten über Preise, Absatzmöglichkeiten und Geldgeschäfte waren auf einmal Gold wert; jede Beschleunigung oder Verzögerung konnte Gewinn oder Verlust klingender Münze bedeuten. Auf militärischem Gebiet schließlich hingen Beweglichkeit und Einsatzmöglichkeit der Verbände ebenfalls von rasch und sicher funktionierenden Nachrichtenverbindungen ab.

Der erste brauchbare Telegraf war der optische »Balkentelegraf« Claude Chappes (1763 bis 1805) und seiner Brüder. Er benutzte verschiedene Stellungen weithin sichtbarer Signalarms zur Nachrichtenübermittlung. Auf größere Entfernungen telegrafierte man über Zwischenstationen, die in Sichtweite voneinander lagen. Für die 840 km von Paris bis Toulon brauchte ein Signal nicht mehr als 20 Minuten.

Chappes Telegraf fand zwar weite Verbreitung, genügte den wachsenden Ansprüchen aber nicht lange. Überdies versagte er bei Nacht und bei ungünstiger Witterung.

Vereinzelte, noch im 18. Jahrhundert unternommene Versuche, die Elektrizität zur Nachrichtenübermittlung zu verwenden, waren gescheitert. Weder konnte man einen ständig fließenden Strom erzeugen, noch existierte ein zuverlässiges Instrument, das einen solchen Strom hätte anzeigen können.

Unmittelbar nach Beginn des 19. Jahrhunderts waren diese Voraussetzungen erfüllt. Alessandro Volta hatte mit seiner elektrischen Säule eine über längere Zeit funktionstüchtige Stromquelle geschaffen, Carlisle und Nicholson hatten entdeckt, daß der elektrische Strom Wasser in seine Grundstoffe zerlegt. Die dabei aufsteigenden Gasblasen konnten das Fließen eines Stromes anzeigen.

Der Münchner Anatom und Physiologe Samuel von Sömmering (1755 bis 1830) verknüpfte beide Entdeckungen zum Bau eines elektrischen Telegrafen. Er verband eine entsprechende Zahl von Leitungen mit Elektroden, die in Wasser tauchten und jeweils einem Buchstaben entsprachen. Wurde mit einer Voltaschen Säule der Stromkreis über eine dieser Elektroden geschlossen, stiegen Bläschen auf. So konnte man Telegramme übermitteln. Im Juli 1809 führte Sömmering seine Erfindung vor. Im August konnte er bereits eine telegrafische Verbindung über

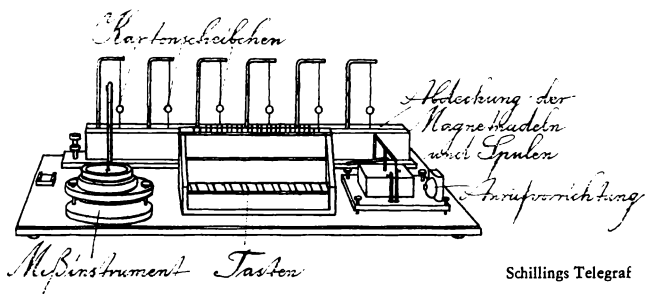
700 m herstellen; 1812 erreichte er 3 km. Für einen praktischen Einsatz waren die Geräte jedoch zu unzuverlässig und wegen der jedem Buchstaben zuzuordnenden Leitung zu teuer.

So ist es verständlich, daß der »Mathematikerfürst« Carl Friedrich Gauß (1777 bis 1855), obwohl er sich anerkennend über Sömmerrings Telegrafen ausgesprochen hatte, 1820 einen neuen optischen Telegrafen vorschlug. Er arbeitete mit Sonnenlicht oder künstlichen Lichtquellen, überbrückte unter günstigen Bedingungen hundert Kilometer und spielte noch in den »Heliographenstationen« der Armeen des ersten Weltkrieges eine gewisse Rolle.

Gerade in das Jahr 1820 fiel eine für die weitere Entwicklung der Telegrafie äußerst wichtige Entdeckung: die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Der wenig später erfundene *Multiplikator* – im Prinzip eine Spule mit einer drehbaren Magnetnadel im Innenraum – reagierte auch auf sehr schwache Ströme mit deutlichem Nadelausschlag.

Ein Freund Sömmerrings und Mitglied der russischen Gesandtschaft in Bayern, Pawel Lwowitsch Schilling von Cannstadt (1786 bis 1837), konstruierte den ersten brauchbaren elektromagnetischen Telegrafen:

Sechs Magnetnadeln schwenkten nach rechts oder links, je nachdem, in welcher Richtung Strom durch Multiplikatorspulen floß. Kartonscheibchen, die sich mitdrehten, machten die Nadelstellungen leicht ablesbar. Die Stromkreise wurden mittels einer Klaviatur ein- und ausgeschaltet. Durch gleichzeitiges Drücken mehrerer Tasten ergaben sich zahlreiche Kombinationen für die Stellungen der Magnetnadeln. Jede Kombination entsprach verabredungsgemäß einem Buchstaben oder einer Ziffer. Auf Anordnung des Zaren Nikolaus I. wurden Apparate Schillings aufgestellt, um das Winterpalais in St. Petersburg (heute Leningrad) mit den



Arbeitsräumen einiger Minister zu verbinden. 1835 führte Schilling seinen inzwischen vervollkommenen Telegrafen auch der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Bonn vor.

»Michelmann kommt« lautete das erste Telegramm, das in den deutschen Ländern mit einem elektromagnetischen Telegraphen übermittelt wurde. Michelmann war Laboratoriumsdieners in Göttingen. Der Weg, auf den sich das Telegramm bezog, führte von der Sternwarte zu einem nahe gelegenen Häuschen, das für magnetische Messungen benutzt wurde. Beide Gebäude standen in telegrafischer Verbindung.

Carl Friedrich Gauß und der Physiker Wilhelm Weber (1804 bis 1891) hatten die Verbindung im Jahre 1833 eingerichtet, um Meß- und Beobachtungsergebnisse austauschen zu können. Sie kamen mit nur einer Magnetnadel aus, die nach rechts oder links ausschlug. Die beiden Wissenschaftler hatten ein Alphabet verabredet und konnten sich durch Stromstöße verschiedener Zahl und Richtung verständigen. Zur Verbindung der Stationen genügte im Gegensatz zu den Geräten Sömmerrings und Schillings eine Doppelleitung. Nach den ersten geglückten Versuchen verlegten Gauß und Weber eine zweite, bedeutend längere Telegrafenleitung zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinett Webers. Auch diese Verbindung funktionierte einwandfrei.

Die Leipzig-Dresdner Eisenbahn jedoch, deren Direktorium Weber den Telegrafen später anbot, lehnte ab. Ihre Vertreter bestanden auf unterirdischer Verlegung der Leitungen. Diese Forderung war nicht zu erfüllen, weil widerstandsfähige und feuchtigkeitsbeständige Isoliermaterialien fehlten.

Den ersten schreibenden Telegrafen erfand der aus dem Elsässischen stammende Carl August Steinheil (1801 bis 1870). Steinheil befaßte sich zunächst vorwiegend mit astronomischen Arbeiten, wurde jedoch später Professor für Mathematik und Physik an der Münchner Universität.

Die Anregung zur Konstruktion eines schreibenden Telegrafen erhielt Steinheil durch Gauß. Nach längeren Vorarbeiten erreichte er sein Ziel:

Im Inneren einer Spule können sich zwei Magnetstäbchen drehen. Sie tragen an einem Ende kleine Pinsel oder Schreibröhrchen. Fließt Strom durch die Spule, dreht sich, je nach der Stromrichtung, eines der Stäbchen so, daß sein Pinsel gegen einen Papierstreifen gedrückt wird. Ein Uhrwerk zieht den Streifen langsam und gleichmäßig an den Enden der Magnetstäbchen vorbei. Verabredet man für jeden Buchstaben und für jede Ziffer eine bestimmte Stromstoßfolge, lassen sich Telegramme übermitteln. Sie werden an der Empfangsstelle in Form einer zweizeiligen Punkschrift festgehalten.

Steinheil konnte das Alphabet durch Gruppen bis zu vier Punkten ausdrücken. Telegrafenerleitungen, die versuchsweise zwischen Münchner Instituten eingerichtet wurden, arbeiteten betriebssicher. Auch eine fast 10 km lange Leitung von der Münchner Akademie zur Sternwarte Bogenhausen bewährte sich.

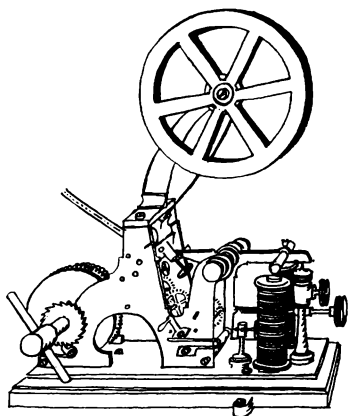
Versuche, an der Bahnlinie Nürnberg–Fürth statt besonderer Telegrafendrähte die eisernen Schienen zu benutzen, schlugen fehl. Die Telegrafierströme flossen nicht über die Spule des Empfängers, sondern wählten den kürzeren und widerstandsärmeren Weg durch das Erdreich zwischen den Schienen.

Diese Erkenntnis wog die mißglückten Versuche weit auf. Man konnte bei Telegrafenerlinien einen Leitungsdraht durch das Erdreich ersetzen, brauchte also für eine telegrafische Verbindung nicht eine Doppelleitung, sondern kam mit einem einfachen Draht aus!

Auch Steinheils Apparat wurde nicht eingeführt. Sollte die elektrische Telegrafie Sinn haben, durften ihre Leitungen nicht an den Grenzen dieses oder jenes Fürstentums enden. Sie mußten in großem Maßstab geplant und errichtet werden und jedem zur Verfügung stehen, der eine Nachricht übermitteln wollte. Das aber war in dem in zahlreiche Einzelstaaten zersplitterten Deutschland nicht möglich.

Meistens denkt man zuerst an den Amerikaner Samuel Finley Morse (1791 bis 1872), wenn von Telegrafieversuchen die Rede ist. Jedoch ist Morse nur einer von vielen Zeitgenossen, die sich mit der Telegrafie befaßten. Er konnte aber damals in den Vereinigten Staaten unter günstigeren Bedingungen arbeiten als Steinheil, Gauß und Weber im damaligen Deutschland. Handel und Verkehr entwickelten sich dort, vor allem in den Nordstaaten der USA, ohne Behinderung durch überlebte Produktionsverhältnisse. Die nach Westen fortschreitende Erschließung des Landes, der Bau der großen Eisenbahnlinien und nicht zuletzt die militärischen Unterdrückungs- und Ausrottungszüge gegen die indianische Bevölkerung legten es der Bourgeoisie nahe, zuverlässige Nachrichtenmittel einzusetzen.

Der Maler und Bildhauer Samuel Morse hatte sich – wie manche seiner Zeitgenossen – mit den Experimenten vertraut gemacht, durch die Oersted, Ampère und andere berühmt geworden waren. Beschreibungen von Telegrafenerapparaten, die Morse zufällig in die Hand bekommen hatte, veranlaßten ihn zu eigenen Experimenten mit der galvanischen Batterie, mit Magnetnadeln und Elektromagneten. Konnte denn nicht die Kraft zum Niederschreiben der Zeichen eher von einem Elektromagneten als von einer Magnetnadel aufgebracht werden?



Morsetelegraf
aus der Mitte des
19. Jahrhunderts

Der erste Telegraf, den Morse nach seinen Entwürfen bastelte, war ein unförmiges Gerät, dessen Elektromagnet fast zwei Zentner wog und den gleichen dicken Draht als Wicklung trug, den Morse für die Fernleitung verwendete. Immerhin: das Gerät funktionierte. Im gleichen Rhythmus, in dem Morse den Stromkreis schloß und öffnete, zog der Magnet einen eisernen »Anker« an. Der daran befestigte Schreibstift ließ auf einem langsam vorbeigleitenden Papierstreifen Zacken zurück, die den Stromstößen entsprachen. (Später traten Punkte und Striche an die Stelle der Zackenschrift.)

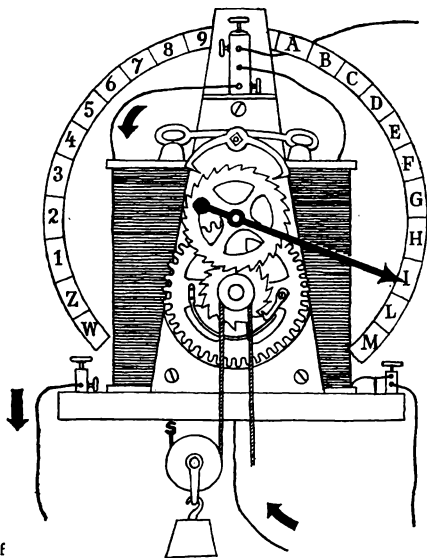
Morse kannte die Unvollkommenheit des Apparates selbst am besten und arbeitete viele Monate an seiner Verbesserung. Der Telegraf, den Morse schließlich Ende 1837 zum Patent anmeldete, sah den heute noch benutzten Morseapparaten bereits sehr ähnlich.

Nachdem ihm 1840 seine Erfindung patentiert worden war, gelang es ihm, mit Hilfe eines staatlichen Zuschusses eine Telegrafenlinie zwischen Washington und Baltimore einzurichten, die im Mai 1844 ihren Betrieb aufnahm. Im gleichen Jahr arbeiteten in Frankreich noch 5 000 km optischer Telegrafennetze.

Trotzdem war man auch in Europa nicht müßig geblieben. Im selben Jahr, als Morse für seinen Apparat das USA-Patent beantragte, zeigten in England William Fothergill Cooke (1806 bis 1879) und Charles Wheatstone (1802 bis 1880), daß der von ihnen in Anlehnung an Schillings Gerät entwickelte »Fünfnadeltelegraf« betriebsreif war. Bereits im Juni 1837 erhielten sie das britische Patent auf ihr Gerät.

1840 stellte Wheatstone in England seinen »Zeigertelegraphen« vor: Über einer runden Skala, die mit den Buchstaben des Alphabets beschriftet war, spielte ein Zeiger. Er war mit einem Zahnrad verbunden, das ebenso viele Zähne aufwies wie die Skala Buchstaben. Das Zahnrad wurde von einem Elektromagneten angetrieben, und zwar so, daß jeder Stromstoß durch den Magneten das Rad und damit den Zeiger um einen Zahn bzw. einen Buchstaben weiterdrehte. Wurden zum Beispiel vier Stromstöße durch den Magneten gesandt, rückte der Zeiger auf den vierten Buchstaben der Skala, auf das »D«, bei fünf Stromstößen auf das »E« usf. Durch abgezählte Folgen von Stromstößen konnte man daher Telegramme übermitteln, die von der Empfängerstation »buchstabiert« wurden. Der Sendevorgang war – ein Hauptvorteil des Zeigertelegraphen – mechanisiert. Es genügte, beim Senden einen Zeiger auf den zu übertragenden Buchstaben zu drehen; dabei schickte ein Schalt- rad selbsttätig die entsprechende Zahl von Stromstößen in die Fernleitung.

Jeder konnte diesen Telegraphenapparat bedienen. Das war besonders dort erwünscht, wo der Telegraph nur Hilfsaufgaben zu erfüllen hatte,



Zeigertelegraf

die den Einsatz von eigens ausgebildeten Telegrafisten nicht rechtfertigten, zum Beispiel im Eisenbahnbetrieb. Deshalb wurde der Wheatstonesche Zeigertelegraf in England zunächst vorwiegend als Bahntelegraf verwendet.

In Deutschland wandte sich Werner Siemens (1816 bis 1892) nach 1846 dem Telegrafienwesen zu. Siemens, der Verbindungen mit Wissenschaftlern, mit Kreisen des Adels und des Militärs pflegte, überließ seinen Zeigertelegrafen einer Kommission des Preußischen Generalstabes zur Prüfung. Aus einem Wettbewerb um den besten elektrischen Telegrafen ging er als Sieger hervor. Damit eröffnete sich ihm ein sicherer Absatzmarkt für seine Geräte, und er gründete zusammen mit Johann Georg Halske (1814 bis 1890) die Firma Siemens und Halske, aus der sich später einer der imperialistischen Elektrokonzerne entwickelte.

Bereits die ersten Telegrafienlinien hatten deutlich gemacht, daß die Konstruktion der Apparate keineswegs das einzige technische Problem war. Auch Siemens mußte das bald erkennen:

»Der Gelehrte konnte leicht Methoden ersinnen, die telegrafische Mitteilungen ermöglichten und die sich auch – im Zimmer versucht – trefflich bewährten. In Wirklichkeit jedoch trat ein schlimmes Element hinzu, das seinen Plan durchkreuzte: die isolierte Leitung zwischen den telegrafisch zu verbindenden Orten.«

In der Tat lag hier ein weites Arbeitsfeld vor den Telegrafentechnikern: Wie sollte man die Leitungen verlegen, unter der Erde, oder über Stangen und Dächer? Wie schützte man die Stangen vor Feuchtigkeit und vor Insektenfraß? Wie befestigte man die Drähte am Gestänge, ohne daß die Telegrafierströme bei feuchtem Wetter zur Erde abflossen? Wie konnte man der Blitzgefahr begegnen?

Die Suche nach einem geeigneten Isoliermaterial wurde dadurch erschwert, daß man für den Aufbau eines Telegrafennetzes große Mengen möglichst billigen isolierten Drahtes benötigte. Vorschläge wie der, die Drähte in Glasröhren einzuziehen, waren von vornherein aussichtslos. Siemens und Halske fanden eine gute Lösung, indem sie Guttapercha als Isoliermaterial verwendeten und eine Presse konstruierten, die große Drahtlängen fortlaufend zu isolieren gestattete.

Die erste unterirdische deutsche Telegrafienleitung wurde von Werner Siemens gebaut und führte von Berlin über Halle, Erfurt, Kassel, Gießen nach Frankfurt am Main, von wo sie nach verschiedenen Richtungen fortgesetzt wurde. Die Strecke bis Frankfurt wurde am 1. April 1849 eröffnet und in Befolgung einer »Allerhöchsten Kabinettsorder« vom 1. Oktober des gleichen Jahres an auch für den Telegrammverkehr zwi-

schen Privatpersonen freigegeben. Linien zwischen Berlin und anderen großen Städten folgten.

Wenig später übersprangen Telegrafleitungen Ländergrenzen. Telegrafverwaltungen verschiedener Länder schlossen sich zu »Telegraphenvereinen« zusammen, beispielsweise zum »Deutsch-Österreichischen Telegraphenverein« (1850) oder zu einem Telegraphenverein, dem Frankreich, Belgien, die Schweiz und das Königreich Sardinien angehörten (1852).

Internationale Telegraphenkonferenzen – die erste 1865 in Berlin – dienten der Klärung technischer und organisatorischer Fragen. Wenn auch die Vorstellungen und Interessen der beteiligten Staaten oft hart aufeinanderprallten und keineswegs in allen Punkten Einigung zu erzielen war, so trugen Telegraphenvereine und -konferenzen doch wesentlich dazu bei, die Einführung des internationalen Telegrammverkehrs zu erleichtern.

Die Ausweitung des Telegraphenverkehrs fand auch in der technischen Entwicklung ihren Niederschlag. Neben zahlreichen Verbesserungen an den Geräten und Übertragungsleitungen zog vor allem eine Aufgabe die Telegraphentechniker in ihren Bann: die Verbindung der Kontinente durch Unterseekabel.

Das erste längere Seekabel war das Telegraphenkabel zwischen Frankreich und England. Es führte von Dover nach Calais und wurde im Sommer 1850 vom Dampfer »Goliath« ausgelegt. Die Freude über die Verbindung währte allerdings nur Tage, dann blieben die Apparate stumm. Man berichtet, daß französische Fischer das Kabel, einen einfachen, mit einer Guttaperchahülle umpreßten Kupferdraht, versehentlich hochgezogen und neugierig versucht hätten, das Innere der merkwürdigen Seeschlange mit Beil und Zange zu ergründen. Erst im folgenden Jahr kam – mit einem besser bewehrten Kabel – eine dauernde Verbindung zustande.

Der nächste große Schritt hieß *Transatlantikkabel*. Er war bedeutend schwieriger. Das begann schon bei der Finanzierung; denn ein Kabel nach den Vereinigten Staaten stellte ein Millionenprojekt dar, und es war nicht einmal sicher, ob diese Millionen nicht für immer auf dem Meeresgrund verschwinden würden. Gerade hier, wo sich eine internationale Zusammenarbeit hätte bewähren können, versagte sie. Man redete sich mit »völkerrechtlichen Komplikationen« heraus und war im übrigen der Ansicht, »daß das mit den Kabelverbindungen verknüpfte ungewöhnlich hohe Risiko die Bedeutung des spekulativen Moments erhöht und die Privattätigkeit besser an die Stelle der Tätigkeit der öffentlichen Gewalten treten läßt«.

Dieses Risiko, das zweifelsohne vorhanden war, wollte und konnte auch kein einzelner Geldgeber tragen.

Schließlich wagte sich Cyrus West Field (1819 bis 1892), ein amerikanischer Millionär, mit seinem Bruder und vier Gesellschaftern an das große Unternehmen. Viele Zeitgenossen lachten ihn aus, waren doch Versuche, ein Unterseekabel zwischen Frankreich und Algerien auszulegen, vorerst gescheitert, und es gab sogar mathematische »Beweise« dafür, daß ein Transatlantikkabel unmöglich sei.

Trotzdem liefen im Jahre 1857 die beiden Kabellegeschiffe »Niagara« und »Agamemnon« aus und begannen mit der Verlegung. Die Warner schienen recht zu behalten: Der Versuch schlug fehl, ein großes Kabelstück mußte aufgegeben werden.

Im folgenden Jahr waren die Schiffe erneut unterwegs. Sie dampften von der Mitte der Trasse, jedes mit der halben Kabellänge beladen, in entgegengesetzten Richtungen davon. Wieder gab es Verzögerungen, wieder erschwerten unvorhergesehene Zwischenfälle die Arbeit. Aber dann konnten auf beiden Seiten des Atlantiks die Apparate an das Kabel angeschlossen werden. Enthusiastische Glückwunschschaften wurden ausgetauscht. Telegramme folgten – 366 insgesamt. Dann verstummte der Draht für immer. Die Aktien der »Atlantic Telegraph Company«, die nach der glücklichen Fertigstellung des Kabels ihren Wert vervielfacht hatten, stürzten über Nacht ins Bodenlose und konnten von Spekulanten spottbillig aufgekauft werden. Die Presse aber stempelte Cyrus West Field, den noch wenige Tage zuvor stürmisch gefeierten »Nationalhelden«, zum »größten Betrüger des Jahrhunderts«.

Sollte man die Versuche aufgeben? Sollte man sie weiterführen? Die Entscheidung fiel für das Kabel. Vorerst aber hieß es, neue Geldgeber auftreiben. Das war nach den vorausgegangenen Mißerfolgen nicht einfach. Erst durch Aufnehmen einer Anleihe gelang es der Atlantic Telegraph Company, die Mittel für ein neues Kabel aufzutreiben. Es wurde 1863 in Auftrag gegeben und 1864 fertiggestellt.

Im Sommer 1865 begann das Auslegen. Kabellegeschiff war die »Great Eastern«, das damals größte Schiff der Welt. Man hatte sie eigens umgebaut, weil sie allein die ganze Kabellänge – 2 500 Seemeilen mit einer Masse von 4 000 t – in ihren Rumpf aufnehmen konnte. Anfänglich verlief wieder alles planmäßig. Aber mitten auf dem Atlantik, als über 1 000 Seemeilen des Stranges verlegt waren, riß das Kabel. Versuche, das Ende aufzufischen, ließen sich zunächst günstig an. Da brach das Bergegeschirr – einmal, mehrmals – und ging schließlich gleichfalls verloren. Ende August fuhr die »Great Eastern« nach Irland zurück.

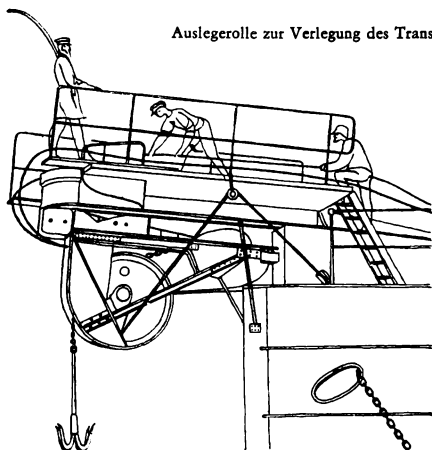
Diesmal verstrichen nur Monate bis zum nächsten Versuch. Er gelang. Im Sommer 1866 waren Europa und die Vereinigten Staaten wiederum durch ein Kabel verknüpft, und nun riß die Verbindung nicht mehr ab. Mehr noch: Wenige Wochen nach Eröffnung des Telegrammverkehrs stand eine zweite Kabellinie zur Verfügung. Es war gelungen, das Ende des im Vorjahre gerissenen Kabels auf dem Meeresgrund aufzuspüren, zu heben und an ein weiteres Kabelstück anzuspießen.

Die Telegrammgebühren waren so hoch, daß Privattelegramme vorerst nur einen geringen Bruchteil der übermittelten Nachrichten ausmachten. Wem der Kabelverkehr vor allem diente, zeigte bereits das erste Telegramm, das von den USA nach Europa gelangte: Es enthielt New Yorker Börsennotierungen.

Die damalige Kolonialmacht England, die ihre führende Stellung im Welthandel behaupten wollte und sich gegen die zunehmende Konkurrenz vom europäischen Festland wehren mußte, war am Ausbau der Kabellinien besonders interessiert. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts waren von den fast 300 000 km Seekabeln privater Eigentümer (staatliche Kabelverwaltungen kontrollierten nur 37 000 km) über zwei Drittel in den Händen britischer Gesellschaften.

Als andere Länder sich anschickten, Kabellinien zu verlegen, stießen sie auf schärfste Gegnerschaft der englischen Gesellschaften. Es wurde nicht nur ein erbitterter Kampf um die Telegrammtarife geführt, man

Auslegerolle zur Verlegung des Transatlantikkabels



suchte der Konkurrenz auch auf andere Weise zu schaden: Englische Firmen oder ihre Strohmannen kauften die Welternste an Guttapercha nahezu völlig auf. Kabel wurden in Küstennähe durch schleppende Anker »zufällig« zerrissen. Verlegte Kabel versagten nach Tagen oder Wochen durch »unerklärliche« Isolationsfehler. Unter diesen Umständen war an eine vernünftige Planung des Weltkabelnetzes nicht zu denken. Gebiete, die für die imperialistischen Mächte uninteressant waren, blieben abseits der großen Kabellinien liegen. Dagegen waren Regionen, die man in koloniale oder wirtschaftliche Abhängigkeit gebracht hatte, telegrafisch schon bald auf mehreren Wegen zu erreichen. Wer beispielsweise um 1900 von Hamburg nach Peking telegrafieren wollte, konnte unter 14 Kabellinien wählen.

Die Kabelgesellschaften zahlten Dividenden von 5 Prozent bis 8 Prozent, mitunter sogar 12 Prozent. Auf Strecken mit großer Telegrammdichte waren manchmal in weniger als einem Jahr sämtliche Anlagekosten durch die Einnahmen gedeckt.

Die Einnahmen hätten noch größer sein können, wenn technische Unzulänglichkeiten nicht einen Riegel vorgeschoben hätten. Schon bei den ersten unterirdisch verlegten Überlandleitungen waren unbekannte Effekte aufgetreten, die die Telegrafiergeschwindigkeit herabsetzten. Sie machten sich bei Unterseekabeln besonders bemerkbar. Anfänglich konnten auf den Transatlantikkabeln in der Minute etwa 12 Buchstaben übermittelt werden, später (1868) an die fünfzig. Morsezeichen, die einander schneller folgten, flossen ineinander und konnten nicht einwandfrei aufgenommen werden. William Thomson, der spätere Lord Kelvin (1824 bis 1907), der einen Direktorposten in der Atlantic Telegraph Company innehatte, untersuchte die Gesetze, nach denen sich Telegrafiezeichen in einem Kabel fortpflanzen. Seinen Arbeiten und Vorschlägen ist es vor allem zu danken, daß die Telegrafiergeschwindigkeit bald wesentlich erhöht werden konnte.

Auf Überlandlinien konnte man zwar schon zu Morses Zeiten schneller telegrafieren als später auf den Kabelstrecken, aber bald reichte auch diese Geschwindigkeit nicht mehr aus. Die Zahl der Telegrammkunden und der zu übermittelnden Nachrichten nahm rasch zu. Den Telegrafenv Verwaltungen entgingen Einnahmen, weil der Telegrammanfall nicht zu bewältigen war.

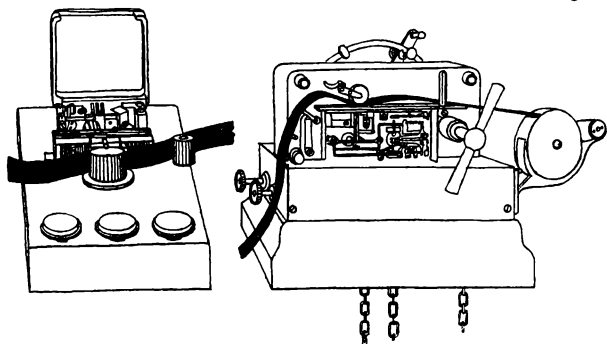
Mit Hilfe einer besonderen Schaltung konnte man auf einer Leitung gleichzeitig zwei Telegramme durchgeben – je eines in jeder Richtung. Man erweiterte das Verfahren noch, so daß sich zu gleicher Zeit vier verschiedene Mitteilungen über eine Leitung telegrafieren ließen.

Der französische Telegrafeningenieur Emile Baudot (1845 bis 1903) benutzte die Lücken zwischen den Zeichen eines Telegramms für die Übermittlung weiterer Signale. In seinem »Schnelltelegrafen« wurden durch besondere Verteilereinrichtungen in schnellem Wechsel nacheinander mehrere Sende- und Empfangsapparate – meistens je vier – an die Fernleitung angeschlossen. Die Verteiler sorgten dafür, daß zur Übermittlung eines Zeichens jeweils ein Sender mit dem dazugehörigen Empfänger zusammengeschaltet wurde. Statt des Morsealphabets benutzte Baudot eine Kombination aus fünf Stromstößen verschiedener Richtung, ein sogenanntes »Fünferalphabet«. Es wird in der modernen Fernschreibtechnik allgemein angewandt.

Charles Wheatstone entwickelte ein Verfahren, bei dem die Telegrammübermittlung mechanisiert war und infolgedessen die Telegrafiergeschwindigkeit selbst gesteigert werden konnte. Die Telegramme wurden zunächst mit einem »Locher« vorbereitet. Er stanzt Lochkombinationen in einen Papierstreifen, die den Buchstaben entsprachen. Der *Lochstreifen* durchlief mit hoher Geschwindigkeit den »Sender«. Federnde Fühler tasteten den Streifen ab und schickten längere oder kürzere Stromstöße in die Fernleitung. Die Übermittlungsgeschwindigkeit hing damit nicht mehr von der physischen Leistungsfähigkeit des Telegrafisten ab. Auch konnten die Sender ununterbrochen mit hoher Geschwindigkeit arbeiten, weil man Telegramme auf mehreren Lochern gleichzeitig vorbereiten konnte.

Als Empfänger dienten zunächst besonders trägheitsarm und empfindlich gebaute Morseschreiber. Später schuf man *Recorder*. Sie gaben die

Locher und Sender des Wheatstoneschen Telegrafen



Telegrafiezeichen als Wellenlinie wieder und arbeiteten viel schneller als Morseapparate.

Wheatstones Locher besaß nur drei Tasten – für Punkte, Striche und Zwischenräume. Bald rüstete man die Locher mit einer Schreibmaschinentastatur aus, die bei jedem Tastendruck die zugehörige Lochkombination stanzt.

Man erreichte mit solchen Geräten Telegrafiergeschwindigkeiten von mehr als 1 500 Buchstaben in der Minute und konnte die teuren Leitungswege gut ausnutzen.

Beim Sender wurden zwar Buchstaben »getippt«, an der Empfangsstation aber mußten die Recorderzeichen in Druckschrift rückübersetzt werden. Daher hieß das nächste Ziel der Techniker: Auch der Empfänger soll ohne menschliches Eingreifen Druckbuchstaben schreiben.

Der erste *Drucktelegraf* stammt von dem englischen Physiker und Techniker Edward Hughes (1831 bis 1900). Wichtigster Teil des Hughes-Telegrafen ist das sogenannte Typenrad. Es wird durch ein Gewicht, ein Federwerk oder einen Elektromotor ständig gedreht und trägt auf seinem Umfang sämtliche Buchstaben und Ziffern. Ein Elektromagnet schnellst, sobald er von Strom durchflossen wird, einen Papierstreifen gegen das Typenrad. Dabei wird der dem Streifen gerade gegenüberstehende Buchstabe abgedruckt. Anschließend rückt das Papierband um eine Typenbreite weiter. Den Druckvorgang lösen Stromstöße aus, die über die Fernleitung fließen. Beim Sender sind Klaviertasten oder eine Schreibmaschinentastatur für die zu übermittelnden Zeichen vorgesehen.

Hughes Telegraf fand Nachfolger in zahlreichen »Ferndruckern«. Sie schrieben eingehende Telegramme auch dann nieder, wenn kein Bedienungspersonal anwesend war.

Damit rückte ein weiteres Ziel näher: Es war unvorteilhaft, daß Telegramme nicht unmittelbar vom Kunden aufgegeben oder aufgenommen werden konnten, sondern daß man sie dem Empfänger zustellen oder beim Postamt abgeben mußte. Ferndrucker dagegen, deren Bedienung keinerlei Spezialkenntnisse erforderte, würden sich überall installieren lassen.

In New York, in Hamburg und anderen großen Städten führte man versuchsweise »Börsendrucker« ein. Sie wurden bei Abonnenten aufgestellt und übermittelten ihnen wichtige Geschäftsnachrichten wie Kurse, Schiffsankünfte usw. Betriebssicherheit und Handhabung dieser Anlagen ließen jedoch viele Wünsche offen. Als der Fernsprecher aufkam, gerieten sie schnell in Vergessenheit.

Auf den öffentlichen Telegrafenlinien hingegen setzten sich Drucktelegrafen wegen ihrer hohen Arbeitsgeschwindigkeit immer mehr durch. Morseschreiber waren bald nur noch dort zu finden, wo der Telegrammanfall gering war.

Gerade der Fernsprecher mit seiner Vermittlungstechnik aber regte im 20. Jahrhundert dazu an, sich dem »Fernschreiber von jedermann zu jedermann« erneut zuzuwenden. Nicht nur eine fernmündliche, auch eine fernschriftliche Verständigung bot große Vorteile: Sie lieferte sofort eine schriftliche Unterlage beim Empfänger und eine mit ihr in allen Einzelheiten übereinstimmende Kopie beim Absender. Außerdem konnten Mitteilungen durchgegeben und gespeichert werden, wenn die Empfangsstelle, zum Beispiel während der Nachtstunden, unbesetzt war.

Anfang der dreißiger Jahre begann man die technischen Hilfsmittel des Fernsprechers in ersten öffentlichen Fernschreibnetzen auszunutzen. Diese *TELEX-Verbindungen* (»teleprinter exchange«: Ferndrucker-Austausch) fanden rasch einen wachsenden Abonnentenkreis. Sie wurden zunächst mit Handvermittlungen aufgebaut, übernahmen aber später die im Fernsprechverkehr bewährten Wähleinrichtungen, so daß jeder Fernschreibteilnehmer seine Partner unmittelbar und sofort erreichen konnte.

Als man Funklinien in die Fernschreibwege einzuschalten gelernt hatte, entfielen für den TELEX-Verkehr so gut wie alle Entfernungsbeschränkungen. Heute zählen Fernschreiben von Kontinent zu Kontinent längst zur alltäglichen Praxis des Nachrichtenverkehrs.

Sprechen statt schreiben

Über 300 Millionen Fernsprechanschlüsse gibt es heute auf der Welt. Millionen kommen Jahr für Jahr hinzu – so daß die Fernmeldeverwaltungen mit der Einrichtung neuer Sprechstellen kaum nachkommen.

Wenn wir einer damaligen Pressestimme Glauben schenken, waren Fernsprecher allerdings schon vor fast 100 Jahren knapp: »Die Nachfrage nach Telephons ist so stark, daß die Siemens- und Halskesche Telegraphenbauanstalt alle Bestellungen kaum zu bewältigen mag.«

Diese »Telephons« hatten mit den Fernsprechern von heute wenig gemein. Sie ermöglichten – bei einer Leitungslänge bis 25 m – eine Verständigung von Raum zu Raum und wurden für 11 Mark verkauft.

Telefonieren konnte man allerdings schon vorher. Der erste, der Töne und Worte verständlich durch einen Draht übertrug, war der deutsche Lehrer Philipp Reis (1834 bis 1874).

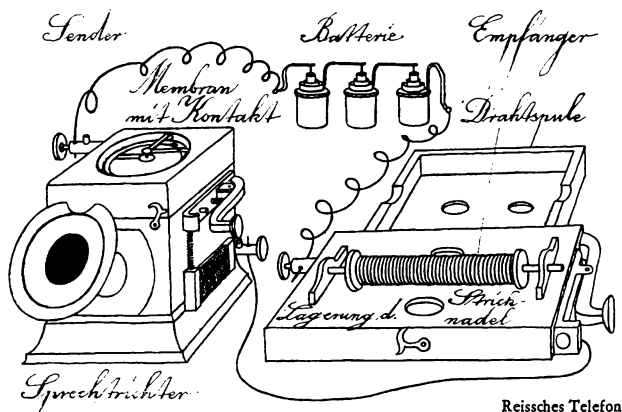
Reis besaß neben regem Interesse für die Naturwissenschaften und ihre Anwendungen die nötige Handfertigkeit, seine Ideen technisch umzusetzen. Obwohl er sich mit mancherlei kleineren Erfindungen erfolgreich beschäftigte, hatte er ein Lieblingsproblem, zu dem er immer wieder zurückkehrte: das elektrische Telefon.

Um es zu verwirklichen, mußten am Sendeort Schallschwingungen in Strom- und Spannungsänderungen verwandelt werden, die übertragen und beim Empfänger wieder in Schallschwingungen rückverwandelt wurden – ein Prinzip, auf dem jede elektroakustische Übertragung beruht.

Als Vorbild für den Sender diente Reis das menschliche Ohr, dessen wichtigste Teile er in Holz nachbildete. Über das Ende des Gehörganges war eine Membran aus Schweinedarm gespannt, die durch die Schallschwingungen in Bewegung gesetzt wurde. Sie trug ein kleines Metallplättchen, das bei schwingender Membran gegen ein zweites Kontaktstück stieß und so einen Stromkreis im Rhythmus der Schallschwingungen öffnete und schloß.

Empfänger war eine mit isoliertem Draht umwickelte Stricknadel. Sie ruhte lose auf zwei Stegen, die in einen Resonanzkasten – ähnlich dem einer Violine – eingelassen waren, und tönte, wenn Strom durch ihre Wicklung floß, der in rascher Folge unterbrochen wurde.

Reis legte eine Leitung zwischen der Wohnung und seiner Werkstatt und schloß Sender, Empfänger und eine Batterie als Stromquelle an. Dann bat er einen Bekannten, einige Worte in das hölzerne Ohr zu



Reissches Telefon

sprechen. Der Versuch gelang. Leise, aber verständlich war am Resonanzkasten zu hören, was im anderen Raum gesprochen wurde. Reis eilte zum Sender und schickte seinen Bekannten an den Empfänger. Wieder glückte die Verständigung. Das elektrische Telefon funktionierte!

Im Herbst 1861 hielt Reis im Physikalischen Verein zu Frankfurt (Main) einen Vortrag über seine inzwischen verbesserte Erfindung und führte sie vor. Drei Jahre später waren seine Geräte auf der Versammlung der Naturforscher in Gießen in Betrieb zu sehen.

Wenn Reis jedoch gehofft hatte, sein Telefon würde schnell eingeführt werden, so sah er sich bitter getäuscht. Viele Wissenschaftler taten die Erfindung als eine Kuriosität, als eine physikalische Spielerei ab; die meisten Techniker waren der gleichen Meinung. Noch konnten sie sich nicht vorstellen, welche großartigen Möglichkeiten die unscheinbaren Apparate der Nachrichtenübermittlung erschlossen. Vorerst war ja ihre »Reichweite« sehr begrenzt. Die Telefone, die der Erfinder herstellen ließ und verkaufte, verstaubten bald in Ecken und auf Wandbrettern.

Mit 40 Jahren starb Philipp Reis an einem Lungenleiden. Bis zuletzt hatte er an seine Erfindung geglaubt, doch »... anderen muß ich es überlassen, sie weiterzuführen«.

Der in Schottland geborene Alexander Graham Bell (1847 bis 1922) war der bedeutendste unter Reis' Nachfolgern. Als Taubstummenlehrer beschäftigte er sich von Berufs wegen mit den physiologischen Vorgängen beim Hören und Sprechen. Nach seiner Übersiedlung in die Vereinigten Staaten wurde er im Jahre 1873 als Professor für Stimmphysiologie an die Universität Boston berufen.

Bereits in seinem Heimatland war Bells Interesse für die elektrische Nachrichtenübermittlung erwacht. Ein Telefon schwebte ihm als besonders erstrebenswertes Ziel vor. Der Schwiegervater jedoch, ein geschäftstüchtiger amerikanischer Anwalt, drängte den auf finanzielle Unterstützung angewiesenen Schwiegersohn zunächst in eine andere Richtung: Er sollte ein Verfahren suchen, mit dessen Hilfe sich mehrere Telegramme gleichzeitig auf einer Leitung befördern ließen. Ein solches Verfahren würde sich leicht und sehr vorteilhaft an Telegraphengesellschaften verkaufen lassen.

Bei seinen Versuchen ließ Bell die Enden von Stimmgabeln vor Spulen mit einem Eisenkern schwingen. Dabei wurde durch elektromagnetische Induktion in den Spulen eine Spannung induziert, die einen entsprechenden Strom zur Folge hatte. Dieser Strom war nicht mehr in einzelne Stromstöße »zerhackt«. Es war Wechselstrom, der ständig floß und seine Stärke und Richtung im Rhythmus der Schallschwingungen

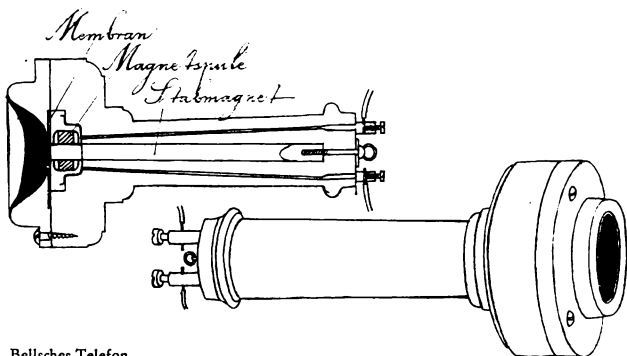
änderte. Führt man ihn am anderen Leitungsende einer gleichen Spule zu, regte er eine vor dieser angebrachte, auf den »Senderton« abgestimmte Stimmgabel zum Schwingen an.

Bell überlegte sich, daß nicht nur eine Stimmgabel, sondern jedes schwingende Stahlstück Ströme hervorrufen müßte, zum Beispiel auch eine Stahlzunge, die unter dem Einfluß von Sprachschwingungen vibrierte. Entsprechend würde eine von diesen Strömen erregte Stahlzunge die Luft zu Schwingungen veranlassen, die Zunge würde »sprechen«. Das aber war beinahe so etwas wie ein Telefon!

Mit einem Mitarbeiter machte sich Bell unverzüglich daran, seine Vermutung durch das Experiment nachzuprüfen. Auf der Senderseite wurde eine leichtbewegliche Membran mit einer Zunge verbunden, die dicht vor einer Magnetspule schwebte. Eine fast gleiche Einrichtung stellte den Empfänger dar. Bell verband beide Apparate miteinander und schaltete zusätzlich eine Batterie in den Stromkreis. Doch die Versuche mißlangten.

Bell ließ sich nicht entmutigen. Um kräftigere Ströme zu erhalten, verwendete er statt der ursprünglichen Sendeanordnung einen »Geber«, der mit einer feinen, in eine leitende Flüssigkeit eintauchenden Drahtspitze arbeitete. Jetzt gelang es Bell, sich telefonisch mit seinem Mitarbeiter zu verständigen. Doch der Flüssigkeitsgeber war nicht zuverlässig genug.

Bell kehrte zur ersten Anordnung zurück, die er allmählich wesentlich verbesserte: An die Stelle der Stahlzungen setzte er dünne, kreisrunde Eisenblechmembranen, die am Rande angespannt waren. Statt der



Bellsches Telefon

Eisenstäbe in den Spulen waren Stabmagneten angebracht. Sender und Empfänger unterschieden sich in ihrem Aufbau überhaupt nicht mehr.

Diesmal ging alles gut: Was an einem Ende der Leitung gesprochen wurde, war am anderen deutlich zu hören. Die Verzerrungen und Störungen, die beim Reisschen Telefon – durch das »Zerhacken« des Stromes hervorgerufen – die Verständigung erschwerten, fehlten. Überdies war erstmals eine richtige Unterhaltung möglich. Die Partner hatten dazu ihre Apparate nur abwechselnd vor den Mund oder an das Ohr zu halten. Auch Lieder und der Klang von Musikinstrumenten ließen sich übertragen.

Später erkannte Bell, daß sogar die Batterie überflüssig war. Damit wurde eine Telefonanlage sehr einfach; denn man brauchte, um miteinander sprechen zu können, nichts weiter als zwei Apparate und die Verbindungsleitung.

Noch ehe das Bellsche Telefon auch nur einen Ton übertrug, kümmernte sich Bells Schwiegervater mit Eifer um die erforderlichen Patentanmeldungen. Die Ansprüche waren so weitgehend formuliert, daß im Grunde niemand sich mit elektromagnetischer Telefonie beschäftigen durfte, ohne Bells Patente zu verletzen.

Die Tätigkeit anderer Techniker, die ebenfalls an der Verbesserung des Telefons arbeiteten, ließ sich jedoch nicht völlig unterbinden. Nicht selten wurden sie sogar von Telegrafengesellschaften unterstützt. Diese hatten zwar das Telefonieren anfänglich als gefährlichen Konkurrenten abgelehnt, wollten nun aber nachträglich in das Geschäft einsteigen, das sich offensichtlich anbahnte.

Eine Reihe langer Patentprozesse begann. Schließlich waren es Bells Gegner überdrüssig, wegen jeder Kleinigkeit zu prozessieren. Sie versuchten deshalb, Bells Patente überhaupt zu Fall zu bringen. Dazu mußten sie nachweisen, daß es schon vorher funktionsfähige Telefone gegeben hatte. Berge von Unterlagen wurden beschafft und durchgearbeitet, alle Zeugen vernommen, die etwas über Vorläufer Bells wußten. Man erinnerte sich sogar an Philipp Reis – allerdings nicht, um seine Arbeit nachträglich zu würdigen, sondern um mit ihrer Hilfe Bell anzugreifen.

Aber die Bell-Telephone-Company gewann auch diesen Prozeß. Innerhalb weniger Jahre sicherte sie sich eine Monopolstellung, die sie für Jahrzehnte halten konnte.

Bell führte seine Apparate in verschiedenen Städten, auf Ausstellungen und vor Institutionen vor, die er für seine Erfindung interessieren wollte. Auch richtete er eine 8,5 km lange Versuchsleitung ein. Obwohl

das Telefon noch technischer Verbesserungen bedurfte, war das Interesse für das neue Nachrichtenmittel in den USA weit größer als einst in Deutschland. Zwei Jahre nach der Patenterteilung an Bell wurde in New Haven das erste Fernsprechamt der Welt eingerichtet, an das zunächst 21 Teilnehmer angeschlossen waren. Im Jahre darauf zählte man allein in New York mehrere tausend Fernsprechteilnehmer.

In Deutschland wurden die ersten Telefone aufgestellt, um bei der Telegrammübermittlung zu helfen. Die Telegrafeneleitungen waren vor allem unter militärischen Gesichtspunkten errichtet worden. Infolgedessen waren längst nicht alle Postämter mit Telegrafeneapparaten ausgestattet; die vorhandenen Anlagen wurden nicht voll ausgenutzt.

Der deutsche Generalpostmeister Heinrich von Stephan (1831 bis 1897) setzte durch, daß von Berlin aus mit dem Ausbau eines neuen, weitverzweigten Telegrafennetzes begonnen wurde. Außerdem ließ er eine verbesserte Tarifordnung für Telegramme ausarbeiten. Sie war so beschaffen, daß der Kunde wirklich einen Vorteil davon hatte, wenn er sich für kurze, wichtige Mitteilungen des Telegrafen bediente.

Ein Aufsatz über das Bellsche Telefon, den Stephan in einer Fachzeitschrift las, zeigte ihm eine Möglichkeit, wie man die Kosten für das neue Telegrafennetz würde senken können: Stellte man auf kleineren Postämtern statt der Telegrafeneapparate ein Telefon auf, konnten Telegramme telefonisch durchgegeben werden, ohne daß man einen besonderen »Telegrafenbeamten« benötigte.

Stephan schrieb unverzüglich nach Amerika, um genauere Auskünfte und, wenn möglich, Muster der Bellschen Apparate zu bekommen. Noch ehe eine Antwort einging, konnte er über die gewünschten Geräte verfügen. Der Direktor des Londoner Haupttelegrafenamtes schickte ihm zwei Telefone, die er von Bell geschenkt erhalten hatte.

Stephan ließ provisorisch eine Leitung zwischen zwei Räumen seiner Dienststelle verlegen. Tatsächlich, die Telefone funktionierten! Wie aber sah es mit der Überwindung größerer Entfernungen aus? Eine Leitung zwischen Stephans Büro und dem in der Nähe liegenden Haupttelegrafenamt wurde gezogen. Die Verständigung war einwandfrei.

In den letzten Oktobertagen des Jahres 1877 wurden Beamte auf Dienstreise geschickt, die einen Bellschen Hörer im Gepäck mit sich führten. Sie sollten ihn unterwegs an Telegrafeneleitungen klemmen und feststellen, auf welche Entfernung man telefonieren konnte.

Die 6 km bis Berlin-Schöneberg wurden mühelos überbrückt, ebenso die mehr als viermal größere Strecke Berlin-Potsdam. Auch mit Brandenburg an der Havel, über 60 km, kam noch ein Gespräch zustande.

Erst bei einer Entfernung von 140 km, zwischen Berlin und Magdeburg, wurde eine Unterhaltung unmöglich.

Die Versuche hatten jedenfalls erwiesen, daß Stephans Pläne sich in die Tat umsetzen ließen. Drei Wochen später wurden bei Postämtern die ersten Telefone aufgestellt. Stephan ordnete an, sie im amtlichen Sprachgebrauch *Fernsprecher* zu nennen – ein Ausdruck, der sich innerhalb kurzer Zeit allgemein einbürgerte.

Technische Verbesserungen des Fernsprechers ließen nicht lange auf sich warten. In Deutschland bemühte sich Werner Siemens mit Feuereifer um den Nachbau von Telefonen. Er verkaufte sie zunächst für einen Spottpreis, »... um andere zu verhindern, die Sache aufzugreifen, da ich hoffe, wir werden sie sehr verbessern, wenn wir etwas Zeit behalten«. Wenig später tat es Siemens allerdings leid, »daß wir nicht den doppelten Preis gesetzt haben«.

Als Siemens den Stabmagneten durch einen Hufeisenmagneten ersetze, stieg die Lautstärke erheblich an. Sie reichte trotzdem oft nicht aus, wenn, besonders über provisorische Leitungen, auf größere Entfernungen gesprochen werden sollte.

Man kehrte deshalb zu dem Prinzip zurück, das schon Reis angewandt hatte, und entnahm den eigentlichen Betriebsstrom einer Batterie, während die Schallschwingungen nur die Aufgabe hatten, die Stärke dieses Stromes zu steuern. Allerdings »zerhackte« man den Strom nicht, wie es einst Reis getan hatte, sondern veränderte ihn stetig.

Eine Möglichkeit hierfür hatte schon in den fünfziger Jahren der Pariser Elektroingenieur Théodore du Moncel (1821 bis 1884) entdeckt: Der Widerstand zwischen einer Metallspitze und Kohle hing davon ab, mit welcher Kraft die Spitze auf die Kohle gedrückt wurde. Die technische Anwendung dieser Entdeckung, die lange unbeachtet blieb, war das *Mikrofon*. Es wurde von mehreren Technikern nahezu gleichzeitig entwickelt, von denen Edward Hughes und Thomas Alva Edison (1847 bis 1931) die bekanntesten waren.

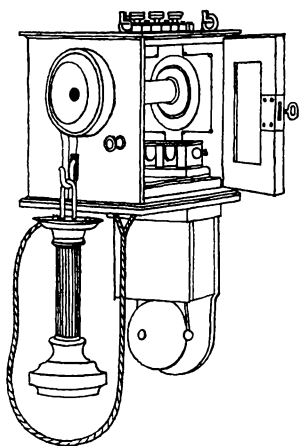
Mit den verblüffend einfachen Bellschen Anlagen war es nun allerdings vorbei; denn außer Hörer und Mikrofon war jetzt bei jedem Fernsprechteilnehmer auch eine Batterie nötig. Doch stiegen die Lautstärke und die überbrückbare Entfernung so an, daß man den zusätzlichen Aufwand gern in Kauf nahm. Das Ergebnis wurde noch besser, als man auf Vorschlag Edisons zwischen Mikrofon und Leitung einen einfachen Transformator, die sogenannte *Induktionsspule*, schaltete.

Auch in Deutschland machte man nun, wie in anderen Ländern, den Fernsprecher der Öffentlichkeit zugänglich. 1881 wurde in Berlin das

erste deutsche Fernsprechnetze eingeweiht. 1885 verfügten schon 58 deutsche Städte über Fernsprechanlagen. Zehn Jahre später war die Zahl der Ortsnetze auf 420 angewachsen; in Berlin gab es bereits 20 000 Fernsprechanlüsse, im ganzen Reichsgebiet 93 000. Um die Jahrhundertwende zählte man in Deutschland rund 1000 Ortsnetze mit fast 200 000 Anschlüssen. Auch der Münzfernsprecher wurde – in Deutschland 1900 – eingeführt und erfreute sich bald großer Beliebtheit.

Einwandfreie Verständigung war das wichtigste technische Problem beim Telefon, aber keineswegs das einzige. So blieb zum Beispiel das beste Telefon nutzlos, wenn die Partner einander nicht benachrichtigen konnten, daß ein Gespräch erwünscht sei. Man brauchte eine Anrufvorrichtung. Da Leitungen und Batterien ohnehin vorhanden waren, bot sich eine elektrische Klingel, der »Wecker«, als einfachste Lösung an. Ihr Strom floß gleichfalls über die Fernleitung. Sie schellte, wenn der Anrufende einen »Rufknopf« drückte oder – später – die Kurbel des »Kurbelinduktors« drehte.

Dabei stellte sich sofort die nächste Aufgabe: Während eines Gesprächs mußten die Hörer und Mikrofone mit der Fernleitung verbunden sein, in den Gesprächspausen dagegen waren die Wecker so an die Leitungen zu schalten, daß sie ansprachen, sobald an der Gegenstelle der Rufknopf gedrückt oder die Rufkurbel gedreht wurde. Ein Umschalten von Hand nach jedem Gespräch wäre sicherlich oft vergessen worden; deshalb setzte man sehr bald einen selbsttätigen Umschalter ein, der



Der älteste
Fernsprechartyp der
Deutschen Reichspost
(bis um die
Jahrhundertwende
in Betrieb)

– wenn auch in veränderter Ausführung – noch heute bei keinem Fernsprecher fehlt.

In einem Telefonnetz mußte jeder Teilnehmer mit jedem anderen in Verbindung treten können. Gleichzeitig mit dem Auslegen von Leitungen und dem Aufstellen von Telefonen waren daher »Vermittlungen« einzurichten.

Technisches Hilfsmittel hierfür war der »Klappenschrank«. An ihm endeten die Leitungen zu sämtlichen Fernsprechteilnehmern des jeweiligen Netzes. Sobald ein Teilnehmer seine Anrufeinrichtung betätigte, fiel in der Vermittlung seine »Klappe«, das heißt, ein Elektromagnet gab ein Schildchen mit der Nummer des anrufenden Teilnehmers frei. Ein Angestellter schaltete sich ein, fragte nach der verlangten Rufnummer und stellte die Verbindung her.

So erwünscht die rasche Entwicklung des Fernsprechverkehrs war, so fragte man sich doch bald bei vielen Fernsprechverwaltungen, ob man sich nicht etwas »übernommen« habe. Je mehr Teilnehmer nämlich ein Fernsprechnetze erfaßte, desto schwieriger wurde es, einen einwandfreien Fernsprechverkehr zu garantieren.

An einen Klappenschrank waren in den meisten Fällen 50 Teilnehmer angeschlossen. Vergrößerte sich ihre Zahl, mußten entsprechend mehr Klappenschränke aufgestellt werden. Sie waren untereinander zu verbinden; denn selbstverständlich wollten sehr oft Teilnehmer eines Klappenschanks mit Teilnehmern eines anderen sprechen. In einem Berliner Fernsprechamt waren infolgedessen nicht weniger als 570 000 »Schaltklinken« durch 4 500 km Draht miteinander verbunden; in anderen Großstädten waren ähnliche Anlagen in Betrieb. In umfangreichen Fernsprechnetzen entstand infolgedessen, vornehmlich während der Hauptgeschäftsstunden, ein heilloses Durcheinander. Fehlverbindungen, lange Wartezeiten und »vergesene« Teilnehmer waren an der Tagesordnung.

Die Lösung konnte nur ein Verfahren bringen, das es jedem Fernsprechteilnehmer ermöglichte, die Gesprächspartner ohne Mitwirken eines Angestellten selbst zu erreichen. Unter den Pionieren dieses »Selbstwähl-Fernsprechbetriebes« ist vor allem der Amerikaner Almon Strowger zu erwähnen. Er erkannte und verwirklichte das Grundprinzip, das heute überall beim Selbstwählverkehr benutzt wird:

Mit Hilfe einer am Telefonapparat angebrachten Nummernscheibe schickt der Fernsprechteilnehmer Folgen von Stromimpulsen in die Leitung. Sie entsprechen der Rufnummer des gewünschten Teilnehmers. Im Amt werden durch diese Stromimpulse »Wähler« in Tätigkeit gesetzt.

Ihre Schaltarme heben und drehen sich und schließen Kontakte, die den Anrufer mit der Leitung des Anzurufenden verbinden.

So einfach dieses Prinzip, das 1889 patentiert wurde, schien, so schwierig war seine Realisierung. Die Strowgerschen Wähler konnten, wenn sie nicht zu kompliziert werden sollten, nur 100 Teilnehmerleitungen aufnehmen. Bei Netzen größerer Teilnehmerzahl mußten mehrere Wähler stufenweise hintereinander geschaltet werden. Nach jedem Anruf hatten die Wähler selbsttätig in ihre Ausgangsstellung zurückzulaufen. Automatische Sperren sollten verhindern, daß ein dritter Teilnehmer ein laufendes Gespräch unterbrach oder mithörte. Der Anrufer sollte ferner durch ein akustisches Zeichen darauf aufmerksam gemacht werden, wenn der angerufene Teilnehmer besetzt war. Endlich mußten alle Gespräche automatisch gezählt werden, damit man sie berechnen konnte.

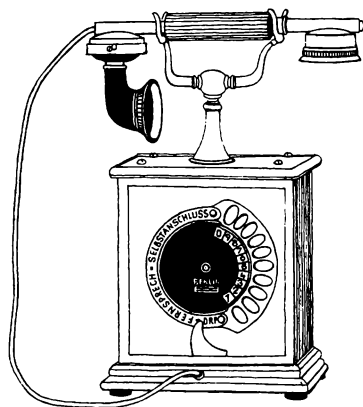
1892 wurde das erste Fernsprech-Wählamt in La Porte im Staat Louisiana eröffnet. Kurz vor der Jahrhundertwende entschloß sich die Deutsche Reichspost, eine Wählanlage bei der »Strowger Automatic Telephone Exchange Company« zu kaufen, während eine deutsche Firma die Anlage aufstellen sollte. Im Mai 1900 nahm die Anlage ihren Betrieb auf. Sie war zunächst für 400 Anschlüsse eingerichtet, wurde aber nicht im öffentlichen Fernsprechverkehr eingesetzt.

1908 wurde in Hildesheim das erste öffentliche Selbstwählamt mit etwa 900 Anschlüssen dem Verkehr übergeben.

In den Jahren, da der deutsche Imperialismus nach dem »Platz an der Sonne«, nach einer »Neuaufteilung der Welt« drängte, und die Kriegsvorbereitungen auf vollen Touren liefen, wurde die technische Ausrüstung des Fernsprechverkehrs nicht wesentlich verbessert. Man installierte vor allem »halbautomatische« Ämter, bei denen zwar die Vermittlungsangestellten die Teilnehmer wählen konnten, die Teilnehmer selbst aber vor jedem Gespräch das Amt anrufen mußten. Auch dadurch wurde die Gesprächsvermittlung beschleunigt, man brauchte jedoch die alten Teilnehmerapparate nicht gegen neue mit Nummernscheibe auszuwechseln. Erst in den zwanziger Jahren wurde in Deutschland der Selbstwählbetrieb in großem Umfang eingeführt.

Von Anfang an sollte das Telefon nicht nur für den Verkehr innerhalb der Ortschaften und Städte, sondern auch für den Fernverkehr eingesetzt werden. Vororte, benachbarte Städte waren bald durch das Telefon verbunden. Zehn Jahre nach Stephans Versuchen konnte man von Berlin nach Hamburg und nach Dresden telefonieren.

Je weiter die Entfernungsgrenzen hinausgeschoben wurden, desto schwieriger war eine einwandfreie Verständigung. Die Lautstärke ließ



Fernsprecher
für den
Selbstwählverkehr

mit zunehmender Entfernung nach, auf langen Leitungen wurde die Sprache bis zur Unkenntlichkeit verzerrt.

Nicht der gesamte Lautstärkeverlust und vor allem nicht die Verzerrungen ließen sich mit dem Leitungswiderstand erklären. Diese gingen vielmehr auf die gleichen physikalischen Ursachen zurück, die bereits die Übermittlungsgeschwindigkeit bei der Kabeltelegrafie begrenzt hatten. Dem in Südeuropa geborenen, später nach den USA ausgewanderten Michael Pupin (1858 bis 1935) gelang es, ein Verfahren auszuarbeiten, das die »Dämpfung« und die Verzerrungen auf langen Leitungen bedeutend verminderte. Ausgehend von theoretischen Untersuchungen William Thomsons und Oliver Heavisides (1850 bis 1925) schaltete Pupin in bestimmten Abständen Spulen mit Eisenkernen in die Fernleitungen. Vier- bis achtfache Entfernungen gegenüber einfachen Leitungen ließen sich durch diesen Kunstgriff überbrücken.

Eine zweite technische Lösung wurde durch eine andere Aufgabenstellung angeregt: Die Mängel, die bei Überlandleitungen auftraten, zeigten sich bereits bei Entfernungen von wenigen Kilometern, wenn man über Kabel telefonieren wollte. Man vermied deshalb lange Kabelverbindungen nach Möglichkeit, konnte aber nicht immer auf sie verzichten.

Ein Fernsprechnetz für Dänemark zum Beispiel setzte Telefonverbindungen zu den zahlreichen dänischen Inseln voraus, und solche Verbindungen waren nur mit Kabeln möglich. Die großen »Pupinsspulen« in Unterwasserkabel einzuspleißen bereitete erhebliche technische Schwierigkeiten.

rigkeiten. Der dänische Ingenieur Karl Emil Krarup (1872 bis 1909) suchte und fand einen Ausweg. Er verzichtete auf Spulen und umwickelte statt dessen die Kupferadern des Kabels in ihrer ganzen Länge mit dünnem Eisendraht. 1902 wurde das erste »Krarupkabel« in Betrieb genommen.

Durch die Erfindungen Pupins und Krarups konnten nunmehr auch Überlandlinien als Kabel verlegt werden. Daß dies notwendig oder doch sehr erwünscht war, hatte man schon lange erkannt. Immer wieder waren durch witterungsbedingte Ursachen wichtige Fernverbindungen ausgefallen. Eine einzige Sturmnacht hatte in Deutschland am Fernleitungsnetz Millionenschäden angerichtet. Störungen durch luftelektrische Vorgänge und die Gefahr von Blitzeinschlägen waren weitere unerwünschte Begleiterscheinungen des Telefonbetriebes über Freileitungen. Daher ließen die ersten Erdkabel nicht lange auf sich warten. Am Anfang des 20. Jahrhunderts wurden sie ausgelegt,

1910 gab es auf der Welt 10 Millionen Fernsprechanchlüsse. Man konnte zwischen Berlin und Budapest, zwischen Paris und Marseille und auf vielen anderen Fernlinien sprechen. Weiter als 1 500 km aber kam man kaum. An Verbindungen quer durch den asiatischen Kontinent oder an ein Fernsprechkabel Europa–Amerika war nicht zu denken.

Das Beseitigen dieser Entfernungsschranken war aber nur ein Problem; ein anderes machte sich von Jahr zu Jahr deutlicher bemerkbar: Die vorhandenen Leitungen würden den Fernverkehr auf die Dauer nicht bewältigen können. Eine Verbindung Berlin–München etwa nützte nicht viel, wenn auf ihr jeweils nur ein Gespräch geführt werden konnte. Auch daß man mehradrige Kabel verlegte, änderte hieran im Prinzip nicht viel.

Erst die Erfindung der *Elektronenröhre* ermöglichte es, beide Fragen zu lösen.

Erst waren es nur Formeln

Faraday hatte den Begriff des magnetischen und des elektrischen Feldes geprägt. Mit Hilfe der *Feldlinien* konnte er es beinahe greifbar anschaulich beschreiben und Wechselwirkungen zwischen elektrischen und magnetischen Erscheinungen erklären.

Nicht »Fernkräfte« waren es nach Faraday, die zwischen elektrischen Ladungen oder magnetisierten Körpern »unendlich schnell übersprangen«, sondern »Nahewirkungen«, die sich mit endlicher Geschwindigkeit

von Punkt zu Punkt fortsetzten und den Raum unmittelbar in das physikalische Geschehen einbezogen.

Faradays großartige Leistung wird dadurch nicht geschmälert, daß ihm die quantitative, mathematische Fassung seiner Überlegungen nicht gelang. Dies holte sein Landsmann James Clerk Maxwell (1831 bis 1879) nach. Bereits als 24jähriger veröffentlichte er seine erste Untersuchung »Über Faradays Kraftlinien«. In jahrelanger Arbeit, während der er auch auf anderen Gebieten, beispielsweise der Wärmelehre, Hervorragendes leistete, führte er seine Gedanken fort und gab ihnen ein festes mathematisches Gerüst.

In einer Aufsatzreihe, die 1861/62 erschien, legte Maxwell die Ergebnisse seiner Bemühungen vor. Sie gipfelten in den nur wenige Zeilen beanspruchenden *Maxwellschen Differentialgleichungen*, beschrieben die Zusammenhänge zwischen elektrischen und magnetischen Feldern und gestatteten es, elektromagnetische Erscheinungen nicht nur zu erklären, sondern zu berechnen. Zugleich ließen sie keinen Zweifel daran, daß Faradays Feldvorstellungen weitgehend der Wirklichkeit entsprachen. Das elektromagnetische Feld war nicht nur eine anschauliche Hypothese, sondern so real wie die Ladungen und Ströme, die es hervorriefen.

Aus Maxwells Gleichungen ging hervor, daß örtliche Änderungen des elektromagnetischen Feldes sich im Raum mit einer Geschwindigkeit fortpflanzen, die der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum entspricht.

Bereits Maxwell zog die Folgerungen daraus: Wiederholten sich solche Änderungen periodisch, mußten sich nach allen Seiten *elektromagnetische Wellen* ausbreiten. Die Lichtwellen gehörten offensichtlich dazu; doch sie erfaßten nur einen verhältnismäßig kleinen Wellenlängenbereich. Daneben würde es elektromagnetische Wellen aller möglichen anderen Größenordnungen geben. Maxwell schlug damit eine Brücke zwischen optischen Erscheinungen einerseits und zwischen elektrischen und magnetischen Vorgängen andererseits. Doch er unternahm keinerlei Versuch, seine Voraussagen experimentell zu untermauern.

»Die Maxwellsche Theorie glich einem Gewölbe, das einen tiefen Abgrund voll des Unbekannten überspannte... Um indes auf dem Gewölbe als sicherer Grundlage weiter in die Höhe zu bauen, waren besondere Hauptpfeiler notwendig, welche, vom festen Boden aus aufgemauert, die Mitte des Gewölbes faßten. Einem solchen Pfeiler würde der Nachweis zu vergleichen sein, daß wir aus dem Licht unmittelbar elektrische und magnetische Wirkungen erhalten können. Ein anderer Pfeiler wäre der Nachweis, daß es Wellen elektrischer und magnetischer Kraft gibt, die sich nach Art von Lichtwellen ausbreiten können.«

Der Autor dieser Zeilen selbst errichtete den zweiten Pfeiler. In den Jahren 1886 bis 1889 gelang es dem jungen deutschen Physiker Heinrich Hertz (1857 bis 1894), die von Maxwell vermuteten elektromagnetischen Wellen zu erzeugen und ihre wichtigsten Eigenschaften zu erforschen.

Hertz hatte sich, angeregt durch eine Preisaufgabe der Berliner Akademie der Wissenschaften, bereits frühzeitig mit der Maxwellschen Theorie befaßt. Obwohl er zunächst keine Möglichkeit sah, sie mit den vorhandenen experimentellen Hilfsmitteln zu belegen, kehrte er immer wieder zu ihr zurück. Die »elektromagnetischen Strahlen«, wie er sie zunächst nannte, beschäftigten ihn in Kiel, wo er zwei Jahre als Hochschullehrer tätig war, und auch in Karlsruhe, wohin er im Herbst 1884 berufen wurde.

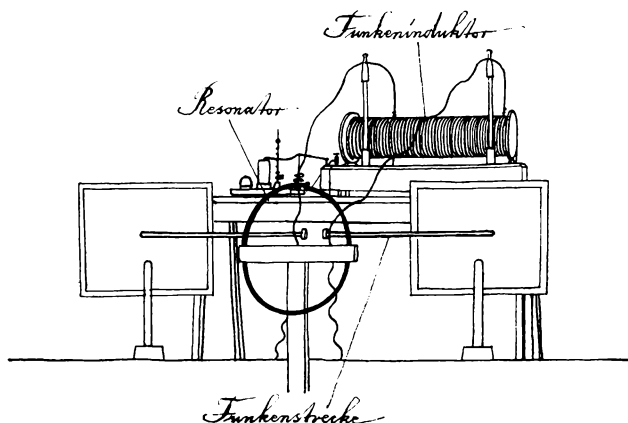
Eine zufällige Beobachtung war der unmittelbare Anlaß, daß sich Hertz zwei Jahre später dem experimentellen Nachweis der Maxwellschen Voraussage zuwandte: Er sah, daß bei Versuchen mit elektrischen Entladungen an einer in der Nähe liegenden Spule winzige Fünklein übersprangen. Hertz deutete sie richtig als Folge einer Resonanz, wie man sie in der Akustik beobachten konnte, wenn zwei gleichgestimmte, nahe beieinander stehende Stimmgabeln zu tönen begannen, sofern nur eine angestoßen wurde. Hier allerdings handelte es sich, so nahm er an, um eine elektrische Resonanz, die durch die von Maxwell vorhergesagten Wellen vermittelt wurde.

Sofort begann Hertz mit systematischen Experimenten. Sein Instrumentarium war denkbar einfach. Es bestand im wesentlichen aus einem Funkeninduktor und Drahtlingen, die an einer Stelle durch eine winzige Funkenstrecke unterbrochen waren. Später kamen noch große Blechspiegel und ein meterhohes Prisma aus Pech hinzu.

Lediglich mit Hilfe des Aufblinkens winziger, mitunter kaum noch sichtbarer Funken an den Drahtlingen führte Hertz eine Reihe von Versuchen durch, die nicht nur die Existenz elektromagnetischer Wellen bestätigten, sondern auch Aufschluß über ihre wichtigsten Eigenschaften gaben.

Er stellte die zeitliche Ausbreitung der Wellen fest und demonstrierte die Lage der Wellenbäuche und -knoten. Er zeigte, daß sich die elektromagnetischen Wellen geradlinig ausbreiten, daß sie nach den aus der Optik bekannten Gesetzen gespiegelt und gebrochen werden und daß sie wie Licht Transversalwellen sind.

»Alle diese Versuche«, schrieb Hertz, »sind im Grunde sehr einfach, aber sie führen doch die wichtigsten Folgerungen mit sich. Sie sind ver-



Apparatur, mit der Heinrich Hertz die elektromagnetischen Wellen entdeckte

nichtend für jede Theorie, welche die elektrischen Kräfte als zeitlos in den Raum überspringend ansieht. Sie bedeuten einen glänzenden Sieg der Lehre Maxwells.»

Bei seinen Experimenten ließ Hertz Funken an einem Induktor überspringen, die – am anderen Ende des Hörsaales – Fünkchen im »Resonator« hervorriefen. Hertz war damit der erste, der eine »Funkverbindung« herstellte, die man zur Signalübermittlung hätte benutzen können. Doch ist so gut wie sicher, daß er nicht im entferntesten geahnt hat, welche praktischen Anwendungsmöglichkeiten sich aus seinen Versuchen ergeben könnten. Überhaupt ist nicht eindeutig festzustellen, wer zuerst vorschlug, elektromagnetische Wellen zur Nachrichtenübermittlung zu benutzen.

Daß dieser Gedanke bald aufkam, ist verständlich. Kabel- und Überlandlinien, die gegen Ende des 19. Jahrhunderts den ganzen Erdball umspannten, hatten gezeigt, welche Vorzüge die elektrische Nachrichtenübermittlung mit sich brachte. Aber sie konnten nicht alle Wünsche erfüllen.

Fernleitungen waren sehr teuer, vielfach teurer als die übrigen Einrichtungen einer Telegrafienlinie. Sie waren störanfällig und, wie die Kabel erwiesen hatten, mitunter nur unter großen Schwierigkeiten in standzusetzen. In Sumpf-, Urwald- oder Wüstengebieten konnten Tele-

grafen- oder Telefonleitungen häufig überhaupt nicht verlegt werden.

Mit Schiffen auf hoher See bestand nach wie vor keine Möglichkeit einer Nachrichtenverbindung. Gerade sie aber wäre wünschenswert gewesen, sei es, um durch die Übermittlung von Sturmwarnungen, Wetterberichten oder Hilferufen die Sicherheit zu erhöhen, sei es, um aus der Vorausmeldung von Einlaufterminen oder aus der Umleitung von Frachtern wirtschaftlichen Nutzen ziehen zu können.

Auch die Operationsmöglichkeiten von Kriegsflotten wurden durch das Fehlen einer »drahtlosen« Nachrichtenverbindung behindert. Kolonialgebiete schließlich würden im Kriegsfalle vom »Mutterland« abgeschnitten sein, da mit der Zerstörung der Drahtverbindungen zu rechnen war.

Daher wurden im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts mehrfach Versuche einer drahtlosen elektrischen Nachrichtenübermittlung unternommen, meistens auf der Grundlage der Faradayschen Induktionserscheinungen. Man verlegte etwa eine großflächige Leiterschleife im Boden, durch die man Strom im Rhythmus von Morsezeichen fließen ließ. Als Empfänger diente eine zweite Schleife, die mit einem Galvanometer oder mit einem Telefonhörer verbunden war. Die beim Ein- und Ausschalten des Sendestromes in dieser Schleife induzierten Stromstöße machten sich durch Ausschläge des Galvanometerzeigers oder durch Knacken im Hörer bemerkbar. Entfernungen bis zu 15 km waren so zu überbrücken. Die erforderlichen sehr großen Stromstärken gestatteten jedoch keinen praktischen Einsatz dieses Verfahrens. (In jüngster Zeit hat diese Methode dank der Entwicklung der Elektronik einige Bedeutung erhalten. Mit Hilfe ausgelegter »Induktionsschleifen« ist es in Betrieben, Kliniken und anderen Institutionen möglich, jeden Träger eines winzigen Taschengerätes drahtlos zu erreichen.)

Die Hertzschen Versuche schienen einen neuen Weg der drahtlosen Nachrichtenübermittlung zu weisen. Ehe man ihn beschreiten konnte, mußte allerdings ein empfindlicheres Nachweisinstrument für elektromagnetische Wellen gefunden werden, als es der Hertzsche Resonator darstellte. Der Franzose Edouard Branly (1846 bis 1940) schuf es im »Kohärer«. Er beruhte auf der Beobachtung, daß lose gehäufelte Eisenfeilspäne dem Stromdurchgang normalerweise einen großen Widerstand entgegensetzten, daß dieser Widerstand aber auf einen Bruchteil sank, wenn die Späne dem Einfluß elektromagnetischer Wellen ausgesetzt wurden.

Damit war die Möglichkeit gegeben, elektromagnetische Wellen auf größere Entfernung vom »Sender« nachzuweisen. Verband man den Ko-

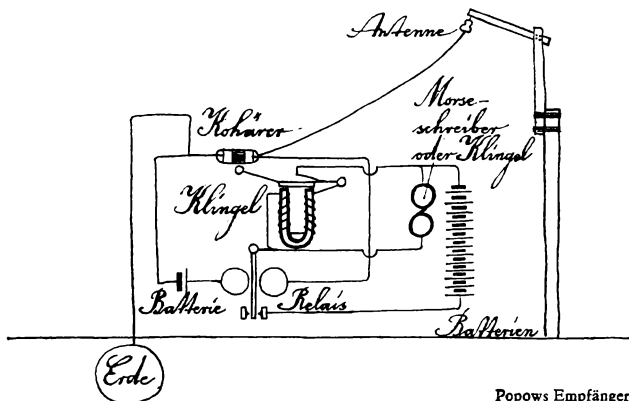
härer in geeigneter Weise mit einem Morseapparat, schaltete man außerdem vor den Funkeninduktor eine Morsetaste, konnte man Zeichen übermitteln, wie Oliver Lodge (1851 bis 1940) 1894 demonstrierte (wobei er allerdings nur einige Meter überbrücken konnte).

Der russische Physiker Alexander Stepanowitsch Popow (1859 bis 1905) studierte die Arbeiten von Hertz und Lodge und begann eigene Experimente. Dabei benutzte er anfangs einen »Sender«, der dem Funkeninduktor an Leistung millionenfach überlegen war – den Blitz, von dem, wie von jedem elektrischen Funken, elektromagnetische Wellen ausgehen.

Am 7. Mai 1895 führte Popow während einer Sitzung der Petersburger Physikalisch-Chemischen Gesellschaft seinen ersten Funkempfänger vor, den »Gewittermelder«. Er war mit einem Kohärer, einem Relais und einer elektrischen Klingel ausgerüstet und sprach schon auf die von entfernten Gewittern ausgehenden Wellen an.

Um die Reichweite und Empfindlichkeit des Gerätes zu erhöhen, spannte Popow einen Draht aus und verband ihn mit dem Kohärer. Damit war eines der wichtigsten Elemente jeder Funkanlage erfunden: Die Antenne, ohne die eine drahtlose Verbindung auf größere Entfernung ausgeschlossen ist.

Popow hatte, wie aus seinen Vorträgen und Aufsätzen hervorgeht, von Anfang an die Ausnutzung der elektromagnetischen Wellen für Nachrichtenzwecke im Sinn. Innerhalb kurzer Zeit entwickelte er zusammen mit seinem Assistenten Pjotr Nikolajewitsch Rybkin (1864 bis



Popows Empfänger

1948) leistungsfähige Sender und empfindliche Empfänger, wobei er die Antenne auch beim Sender benutzte und Empfänger und Sender »erdete«.

Am 24. März 1896 wurde das erste Funktelegramm gesendet und von einem Morseapparat niedergeschrieben. Es legte eine Entfernung von 250 m zurück und bestand aus den beiden Worten »Heinrich Hertz«.

Doch das war nur der Anfang. Im Frühjahr 1897 überbrückte Popow 600 m, im Sommer des gleichen Jahres 5 km. Versuche zwischen Inseln und dem Festland, Experimente mit Funkstationen auf Schiffen schlossen sich an. Schließlich gelang die drahtlose Verständigung auf Entfernungen um 50 km. Im zaristischen Rußland jedoch interessierte sich außer der Kriegsmarine so gut wie niemand für Popows Arbeiten. Erst kurz vor seinem Tode wählte man ihn zum Direktor des Elektrotechnischen Instituts in Petersburg.

Fast gleichzeitig mit Popow begann in Italien Guglielmo Marconi (1874 bis 1937), mit elektromagnetischen Wellen zu experimentieren. Auch er benutzte den Funkeninduktor, den Kohärer und die Antenne. Nach längeren Versuchen gelang es ihm, einige hundert Meter drahtlos zu überbrücken.

In seinem Heimatland fand Marconi nur wenig Verständnis für seine Arbeiten. Er wandte sich daher nach England, das, wie er annahm, als Inselstaat und Kolonialmacht mehr an einer drahtlosen Telegrafie interessiert sein würde. Marconis Erwartungen erfüllten sich. Der Chefingenieur des englischen Telegrafienwesens zeigte größtes Interesse an den Versuchen und gewährte Marconi jede nur erdenkliche Hilfe. Sehr bald stiegen die überbrückten Entfernungen. Die Geräte arbeiteten so zuverlässig, daß ihrer praktischen Anwendung nichts mehr im Wege stand.

Die ersten Funkstationen wurden auf Leuchttürmen und Feuerschiffen eingerichtet. Schon 1898 ließ sich eine englische Zeitung Funkberichte von einer Segelregatta übermitteln. Vor allem aber begann die englische Kriegsmarine, ihre Einheiten mit Funkanlagen auszurüsten. 1899 wurden bei Flottenmanövern Funksprüche über Entfernungen von 100 km und mehr ausgetauscht.

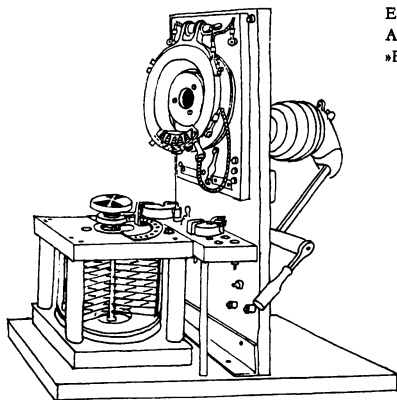
Marconis nächstes großes Ziel war die drahtlose Überbrückung des Atlantiks. Das war zweifellos ein kühner Plan; denn niemand konnte sagen, ob solche Experimente überhaupt Aussichten auf Erfolg haben könnten. Würden die verfügbaren Sendeleistungen auf diese Entfernung einen Empfänger ansprechen lassen? Würden elektromagnetische Wellen, die nach Maxwell und Hertz lichtähnliche Eigenschaften besaßen, der Erdkrümmung folgen?

Trotz mahrender und spöttischer Gegenstimmen wagte sich Marconi an den Versuch. In Poldhu (Cornwall) wurde eine Sendestation mit einer umfangreichen Antennenanlage errichtet. Die Empfangsstation stand bei Saint-John an der neufundländischen Küste. Bereits das erste Experiment glückte. Im Dezember 1901 wurde der verabredete Morsebuchstabe »s«, in Poldhu gesendet, in Neufundland aufgenommen.

Die Kabelgesellschaften witterten Gefahr und erhoben sofort Einspruch gegen die Versuche, doch vergebens. Ihre Privilegien erstreckten sich nur auf den Kabelverkehr, nicht auf andere Nachrichtenverbindungen zwischen beiden Ufern des Atlantiks. Marconi, der als Geschäftsmann nicht weniger beschlagen und unternehmungslustig war denn als Techniker, ging selbst zum Angriff über und gründete mit einigen Finanzleuten und Unternehmern die »Marconi Wireless Company«. Sie nahm nach der Errichtung neuer Stationen auch den regelmäßigen Transatlantik-Funkverkehr auf.

In anderen Ländern hatten sich Physiker und Techniker bald nach Popows und Marconis Erfolgen ebenfalls der Funktelegrafie zugewandt. Doch stießen diese Pioniere auf Schritt und Tritt auf den Widerstand der Marconigesellschaft, die das Funkmonopol an sich zu reißen suchte.

Die Patente Marconis waren so geschickt formuliert, daß sie die Arbeit anderer Erfinder ernsthaft behinderten. »Großzügig« stellte die Marconigesellschaft kostenlos Funkstationen zur Verfügung, die an der Küste und auf Schiffen installiert wurden, verlangte aber gleichzeitig,



Empfänger aus den
Anfangszeiten der
»Funkentelegraphie«

daß diese Stationen von Angestellten der Marconigesellschaft bedient wurden und nur mit solchen Gegenstellen in Funkverbindung traten, die gleichfalls das »System Marconi« benutzen. Reeder, die sich im Konkurrenzkampf behaupten wollten, mußten wohl oder übel Marconistationen an Bord nehmen.

Diese Machenschaften der Marconigesellschaft konnten jedoch nicht verhindern, daß auch Fachleute anderer Länder Erfolge erzielten oder ihrerseits Verbesserungen ersannen, die der Marconigesellschaft nicht zugänglich waren.

Um die Jahrhundertwende wurde durch Karl Ferdinand Braun (1850 bis 1918) der »Abstimmkreis« eingeführt. Mit seiner Hilfe konnten Sender und Empfänger leicht auf bestimmte Wellenlängen eingestellt werden. Störungen durch andere Sender wurden vermieden oder doch verringert, gleichzeitig stieg die Reichweite der Funkverbindungen.

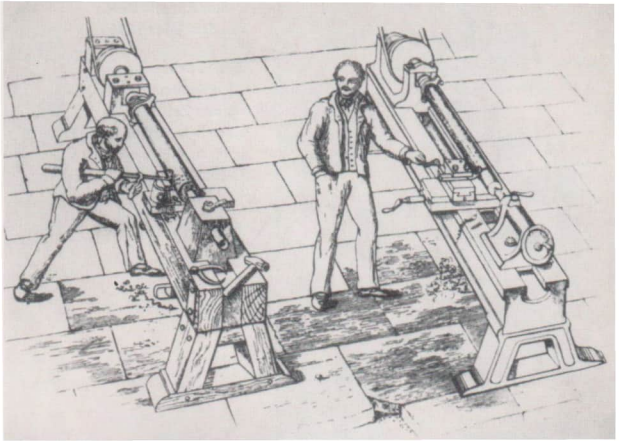
Der Kohärer mußte zuerst dem »Elektrolytdetektor«, später dem empfindlicheren *Kristalldetektor* weichen. Dieser war die erste Anwendung eines *Halbleiterbauelements* in der drahtlosen Nachrichtentechnik und spielte auch in den Anfangsjahren des Rundfunks noch eine Rolle.

Anfänglich hatte man in den Sendern die Funkeninduktoren unmittelbar zwischen Antenne und Erde geschaltet. Die Wellenlänge des Senders hing damit von den Antennenabmessungen ab. Außerdem wurden nur rasch abklingende, »gedämpfte« Wellenzüge ausgestrahlt. Ein sehr ungünstiger Wirkungsgrad der Anlagen war die Folge.

Die Erfindung des Abstimmkreises ermöglichte es, zu einem anderen Senderaufbau überzugehen: Der Funkeninduktor wurde in einen Schwingungskreis eingefügt, dessen Energie ein aus zwei Spulen bestehender Transformator zur Antenne übertrug. Auch hierbei zeigten sich jedoch Mängel, wie zum Beispiel der, daß der Sender gleichzeitig zwei verschiedene Wellenlängen ausstrahlte. Das kam daher, daß die Energie mehrmals zwischen Abstimmkreis und »Antennenkreis« hin- und herpendelte.

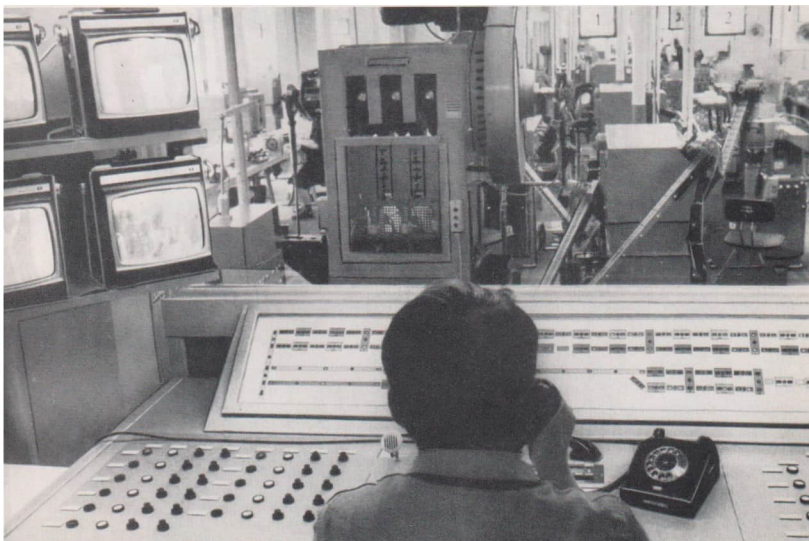
Der von Max Wien (1866 bis 1938) um 1905 entwickelte »Löschfunktensender« beseitigte die Doppelwelligkeit. An die Stelle der langen Funken, mit denen man bisher gearbeitet hatte, traten kurze Entladungen in einer mehrfach unterteilten Funkenstrecke. Das hatte noch einen weiteren Vorteil:

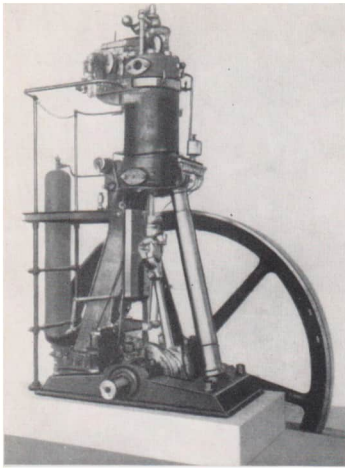
Während bisher die knatternden Funksinale häufig kaum von atmosphärischen und anderen Störungen zu unterscheiden waren, erzeugte der Löschfunktensender Töne, die sich deutlich vom Störungshintergrund abhoben. Man ging daher zum »Hörempfang« über und benutzte Kopf-



Eine Zeichnung aus dem Jahre 1840 vergleicht zwischen Handstuhl und Support

In der automatisierten Gestellfertigung des Ruhlaer Uhrenkombinats im Jahre 1967

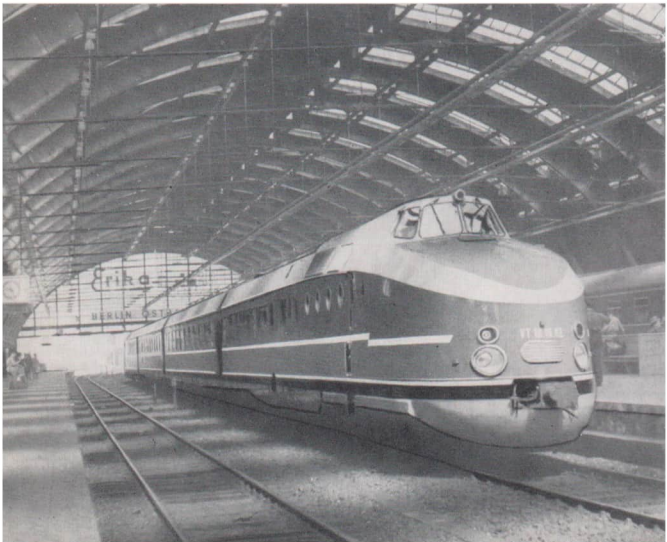


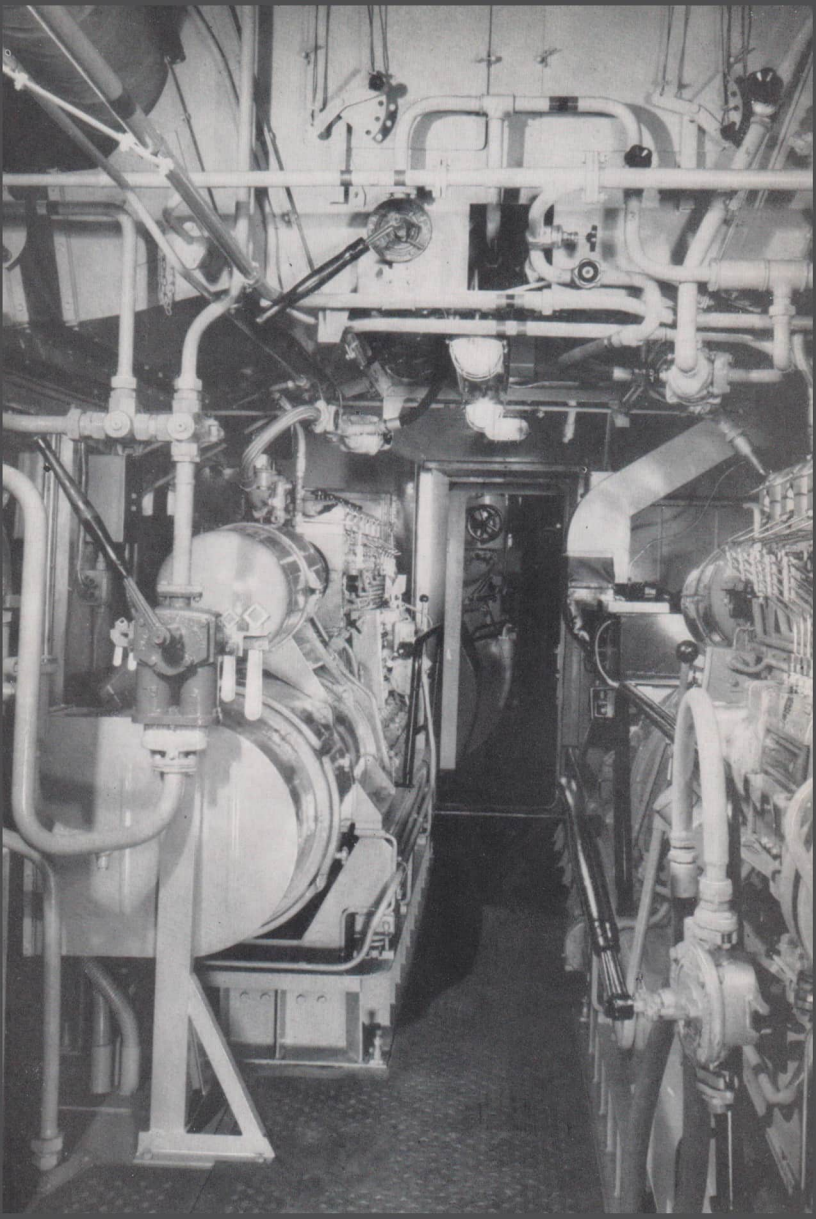


**Der erste betriebsfähige
Motor Rudolf Diesels
aus dem Jahre 1896**

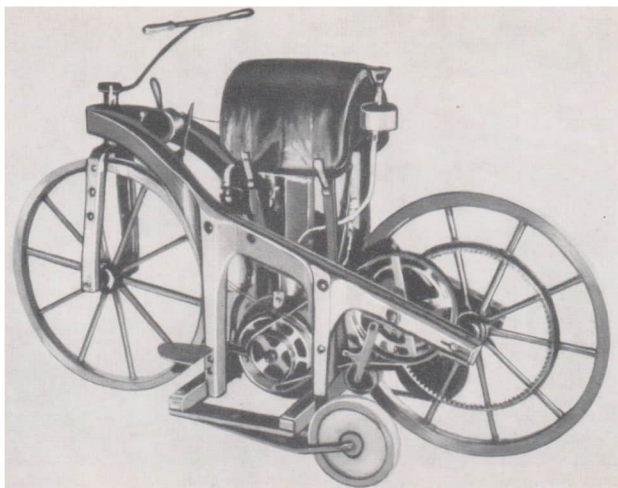
**Rechte Seite:
Ein Dieselmotor
unserer Zeit.
Diesel-Generator-Anlage
in einem Kühlzugwagen
(VEB Waggonbau Dessau)**

Dieselektrischer Triebwagenzug der Deutschen Reichsbahn









Die zweirädrige »Fahrmachine« mit dem Motor Daimlers

Linke Seite: Abstich in einem sowjetischen Stahlwerk

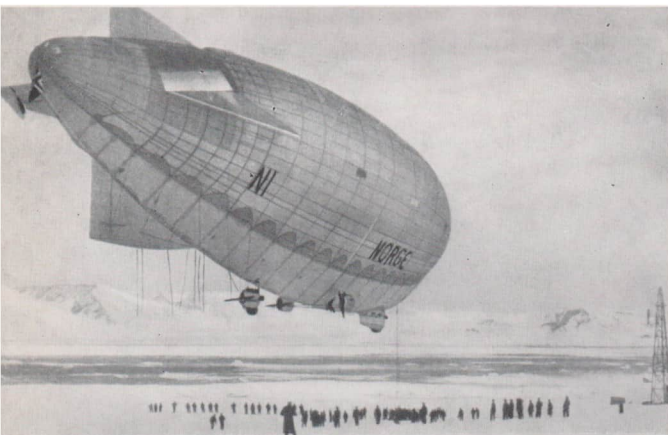
Das Benz-Automobil »Victoria«, Baujahr 1891, mit dem 82jährigen Carl Benz auf einem Autokorso im Jahre 1926



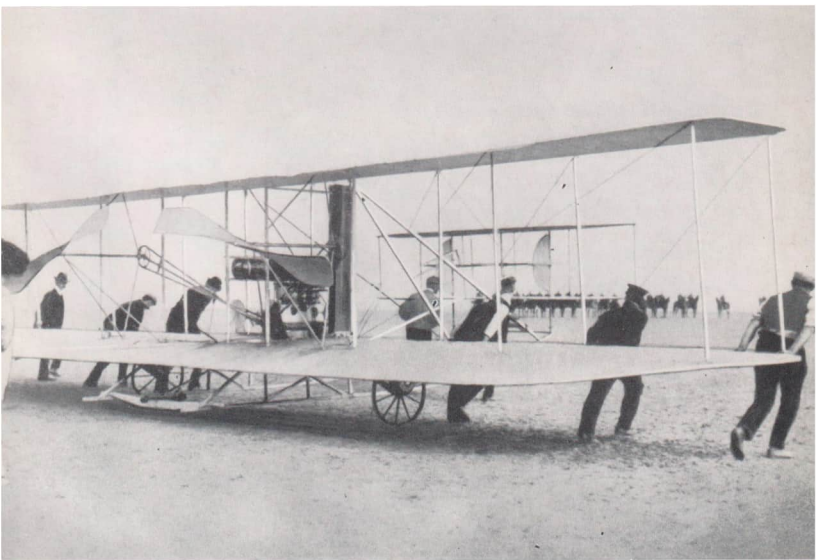


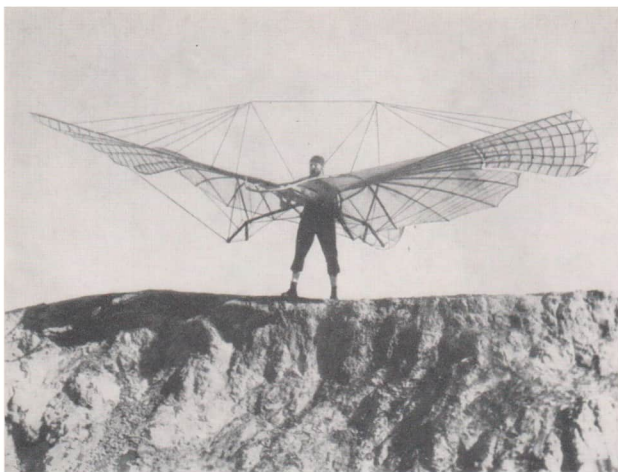
Ballonflug über die Alpen im Jahre 1904

Amundsen und Nobile im Jahre 1926 mit der »Norge« auf ihrem Nordpolflug



Orville Wright startet 1908 auf dem Tempelhofer Feld in Berlin





Otto Lilienthal mit seinem ersten Gleitflugapparat

Das sowjetische Überschallverkehrsflugzeug TU 144



hörer statt der unempfindlichen Morseschreiber. Betriebssicherheit und Reichweite stiegen. Mit Sendern verhältnismäßig geringer Leistung und »Detektorempfängern« wurden nicht selten 4 000 km überbrückt, ein Mehrfaches dessen, was mit einem »Marconisender« gleicher Leistung zu erreichen war. Vom Roten Meer, von der westafrikanischen Küste aus konnten Schiffe den Funkverkehr mit europäischen Stationen aufnehmen.

Etwa zur gleichen Zeit versuchte man, »ungedämpfte« Wellen zu erzeugen, das heißt Wellen, die innerhalb der einzelnen Schwingungszüge überhaupt nicht abklingen. Mit dem »Lichtbogensender« des Dänen Waldemar Poulsen (1869 bis 1942) wurde dieses Ziel erreicht. Ihm folgte bald die von mehreren Wissenschaftlern und Ingenieuren nahezu gleichzeitig entwickelte »Hochfrequenzmaschine«. Sie war in ihrer prinzipiellen Wirkungsweise nichts anderes als ein Wechselstromgenerator für so hohe Frequenzen, wie die Funktechnik sie benötigte. Besonders in Großstationen wurden Hochfrequenzmaschinen eingesetzt, weil sich mit ihnen Leistungen von mehreren Hunderten Kilowatt erreichen ließen.

Solche Großstationen entstanden auf dem Eiffelturm, in Moskau, in Zarskoje Selo (dem heutigen Puschkin), in den USA, Kanada, England und anderen Ländern. Daneben hielten Küstenfunkstationen die Verbindung mit Schiffen aufrecht, denen inzwischen betriebssichere Funkanlagen zur Verfügung standen. Den Streitkräften der imperialistischen Staaten wurden ebenfalls »funkentelegraphische Abteilungen« angegliedert, die zum Teil sogar schon mit fahrbaren Stationen ausgerüstet waren.

In Deutschland hatten zunächst zwei voneinander unabhängige Gruppen mit der Entwicklung der Funktechnik begonnen. Ferdinand Braun arbeitete mit der Firma Siemens und Halske zusammen, während Georg Graf von Arco (1869 bis 1940) und Adolf Slaby (1849 bis 1913) sich der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft (AEG) anschlossen.

Trotz dauernder Patentprozesse gegen die Marconigesellschaft wurden bald erste Erfolge erzielt: 1899 wurde eine drahtlose Nachrichtenlinie zwischen Cuxhaven und dem Feuerschiff »Elbe I« eingerichtet. Funkstellen auf Borkum und auf dem Feuerschiff »Borkum-Riff« folgten ein Jahr später. Da die Gruppen Braun und Arco/Slaby im Alleingang wenig Aussicht hatten, gegen die Marconigesellschaft anzukommen, vereinigten sie sich 1903 zur Firma »Telefunken«. Diese scheute nun ihrerseits keine Mühe, kleinere Konkurrenten an die Wand zu drücken und auszuschalten.

Die Erwartungen der Telefunken-Gesellschafter erfüllten sich schnell. Der große Bedarf an Funkgeräten gab auch ihnen genug zu verdienen, und nach wenigen Jahren war der Marconi-Gesellschaft in »Telefunken«

ein ernsthafter Konkurrent erwachsen. Man tat, was sich in anderen Industriezweigen bereits »bewährt« hatte und später noch oft bewähren sollte: Beide Gesellschaften einigten sich, schlugen die laufenden Patentprozesse nieder und grenzten »Interessensphären« ab. Man würde sich in Zukunft nicht mehr in die Quere kommen . . .

Wir sind damit um einige Jahre vorausgeeilt. 1904, bei der Niederwerfung des Hereroaufstandes in Südwestafrika, wurden erstmals deutsche Militärfunkstationen unter »kriegsmäßigen Bedingungen« eingesetzt – gegen ein Volk, das sich verzweifelt gegen den Kolonialismus der deutschen Imperialisten zur Wehr setzte. 1905 begann man mit dem Aufbau der wichtigen Küstenfunkstation Norddeich-Radio, ein Jahr später mit dem der zunächst für Versuche vorgesehenen Funkstation in Nauen. In der ersten Zeit trieb eine 35-PS-Dampflokomobile ihre Stromerzeuger; 1911 trat ein Dieselmotor von 200 PS, später von 340 PS an ihre Stelle. Reichweiten über 5 000 km wurden mit diesen Anlagen erzielt.

So beeindruckend auch die Erfolge der Funktechnik knapp ein Dutzend Jahre nach ihrem Beginn waren, so zeigten sich mit zunehmendem Telegrammverkehr doch auch Mängel. Selbst bei großen Sendeleistungen waren die Zeichen an der Gegenstelle oft so schwach, daß sie nicht oder nur nach Rückfragen entziffert werden konnten. Die Möglichkeiten, diesen Zustand zu ändern, waren auf der Empfängerseite begrenzt. Sie liefen im wesentlichen auf die Verbesserung der Antennenanlagen und auf die Verringerung von Verlusten hinaus. »Verstärken« ließen sich die schwachen Zeichen nicht. Mit kleinen Sendeleistungen waren, zumal man aus technischen Gründen im störungsreichen Langwellenbereich arbeiten mußte, nur geringe Entfernungen zu überbrücken. Auch waren die inzwischen allgemein eingeführten Kristalldetektoren noch nicht zuverlässig genug.

Es entstand daher eine ähnliche Lage wie beim Fernsprechen: Der weitere Fortschritt der Funktechnik hing von der Schaffung eines Bauelements ab, das eine Verstärkung der empfangenen Zeichen ermöglichte und den Detektor an Zuverlässigkeit übertraf.

Motoren für die Straßen

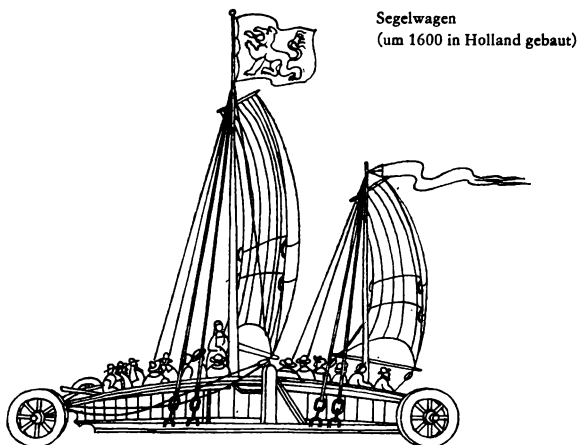
Berichte über »selbstfahrende« Wagen sind schon aus dem Altertum und aus dem Mittelalter überliefert. Archimedes (um 287 bis 212 v. u. Z.), Heron von Alexandrien (um 100 v. u. Z.) und Leonardo da Vinci er-

wähten sie. Einen technischen Fortschritt stellten sie nicht dar; denn als Antriebsquelle diente, wie bei allen anderen Landfahrzeugen, Muskelkraft. Segelwagen, die es schon im alten China gegeben haben soll und die später im windreichen Holland ausprobiert wurden, erlangten keine Bedeutung. Die Unregelmäßigkeit des Windes und die Schwierigkeiten, die Gefährte zu lenken, waren die Hauptursachen hierfür.

Die bereits erwähnten Dampfwagen vermochten sich ebenfalls nicht durchzusetzen. Sie wurden niemals ernsthafte Konkurrenten der Lokomotive. Der lächerlichen Gesetze, mit denen man ihnen vor allem in England den Garaus zu machen trachtete, hätte es nicht bedurft: 1861 schrieb man für jeden Dampfwagen zwei Fahrer vor und setzte eine Höchstgeschwindigkeit von 15 km/h fest. 1865 erließ man das »Rote-Fahnen-Gesetz«. Es bestimmte, daß vor jedem Dampfwagen ein »Warner« mit einer roten Fahne oder einer roten Laterne einherzugehen habe.

Ein selbstfahrender Wagen, ein »Automobil«, konnte erst Aussicht auf Erfolg haben, wenn er mit einer kleinen, leistungsfähigen und wirtschaftlichen Antriebsquelle ausgerüstet wurde. Ein solcher Motor wurde zunächst für andere Zwecke geschaffen.

Die Dampfmaschine, so nützlich sie sich in der Fabrik und im Verkehrswesen erwiesen hatte, war wenig geeignet, eine Drehbank, eine Schleifmaschine, eine Bohrmaschine, eine Pumpe anzutreiben. Sie war ein »Dauerläufer«, mußte ständig gewartet und bedient werden und



arbeitete völlig unwirtschaftlich, wenn Antriebskraft nur für Stunden oder Minuten benötigt wurde. Dem Kleinbetrieb oder Handwerker, die in ihrer Werkstatt Maschinen aufstellen wollten, konnte sie nicht helfen. Man begann daher, nach einem Motor zu suchen, der möglichst wartungsfrei und auch für kurze Zeitspannen wirtschaftlich arbeitete. Nach wenig erfolgreichen Versuchen mit Preßluftmotoren kehrte man wieder zur Wärmekraftmaschine zurück. Ihre Theorie war gut ausgearbeitet; man konnte auf die Erfahrungen der Dampfmaschinenbauer zurückgreifen und technische Elemente übernehmen, die sich bei der Dampfmaschine bewährt hatten.

Eine Zeitlang versuchte man, den im Zylinder einer Dampfmaschine wirkenden Wasserdampf durch erhitzte Luft zu ersetzen. »Heißluftmotoren« kamen zwar ohne Kesselanlage und Kondensator aus, doch blieb ihr Wirkungsgrad gering. Außerdem mußte für ihren Betrieb nach wie vor Brennstoff herantransportiert werden.

Man hätte »Stadtgas« unter dem Kessel von Dampfmaschinen oder in Heißluftmotoren verbrennen können; doch ergaben Berechnungen die Unwirtschaftlichkeit dieser Methode. Bessere Resultate und schnellere Betriebsbereitschaft waren zu erwarten, wenn man das Gas in einem »Gasmotor« unmittelbar zur Krafterzeugung nutzte.

Man knüpfte an Gedanken an, die schon vor der Erfindung der Dampfmaschine aufgetaucht waren. Damals hatte man versucht, den Druck explodierender Pulvergase als Kraftquelle zu verwenden. Pulver war jedoch ein zu gefährlicher Brennstoff.

Bei Verwendung eines von vornherein gasförmigen Brennstoffes mußte das Prinzip des »Verbrennungsmotors« eher zu verwirklichen sein. Die Brennstoffzufuhr würde sich durch Ventile steuern und dosieren lassen; elektrische Funken konnten das Gas in einem genau bestimm-
baren Zeitpunkt zünden.

Den ersten arbeitsfähigen Gasmotor entwickelte der Franzose Jean-Joseph-Etienne Lenoir (1822 bis 1900). Am 23. Januar 1860 beantragte er ein Patent auf einen »Motor, angetrieben von durch die Verbrennung von Gas ausgedehnter Luft«.

Äußerlich erinnerte Lenoirs Motor an eine Dampfmaschine mit liegendem Zylinder, Pleuelstange und Schwungrad. Seine Arbeitsweise war jedoch von der einer Dampfmaschine grundsätzlich verschieden:

Der zurückgehende Kolben saugte ein Gemisch von Leuchtgas und Luft an. Etwa in der Mitte des Kolbenweges schloß sich das Einlaßventil. Ein elektrischer Funke sprang über und entzündete das Luft-Gas-Gemisch. Die sich plötzlich ausdehnenden Verbrennungsgase drückten

den Kolben weiter zurück. Während dieser Bewegungsphase leistete der Motor Arbeit. Durch die Trägheit des Schwungrades wurde der Kolben wieder zurückbewegt. Dabei trieb er durch ein Ventil die Verbrennungsgase aus. Beim nächsten Kolbenhub wiederholte sich dieses Spiel.

Im Jahre 1864 liefen allein in Pariser Betrieben und Werkstätten mehr als 130 Lenoirsche Gasmotoren. Ihre Mängel, vor allem der hohe Gasverbrauch, waren dennoch nicht zu übersehen. 3 m³ Gas wurden verbrannt, um für eine Stunde eine Pferdekraft zu gewinnen.

Es war daher eine große Überraschung, als auf der Pariser Weltausstellung 1867 die Deutschen Nikolaus August Otto (1832 bis 1891) und Eugen Langen (1833 bis 1895) einen Gasmotor vorstellten, der bei gleicher Leistung nur ein Drittel der Gasmenge Lenoirscher Motoren verbrauchte. Es heißt, Experten sei dies so unglaublich erschienen, daß sie das Fundament des Motors nach einer verborgenen Gasleitung absuchten.

Das Arbeitsprinzip des Motors war nicht neu: Der Druck des verpuffenden Brennstoffgemischs trieb den Kolben schlagartig in die Höhe. Durch die rasche Abkühlung der Verbrennungsgase entstand ein luftverdünnter Raum unter dem Kolben. In ihn preßte der äußere Luftdruck den Kolben zurück. Nur während dieser Phase wurde Arbeit geleistet. Der Otto-Langen-Motor, wie er in Paris gezeigt wurde, war also ein »atmosphärischer« Motor (vgl. S. 14).

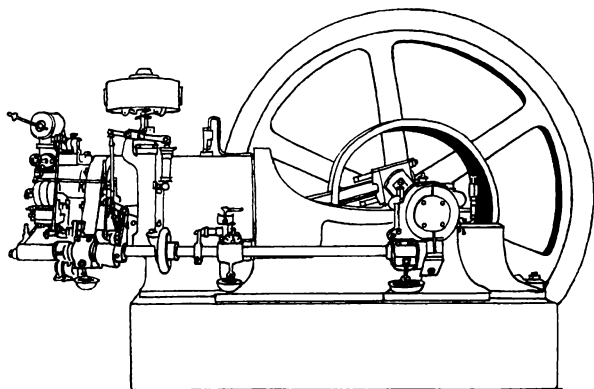
Der Absatz der Gasmotoren, die in der Firma »N. A. Otto & Cie« (später in »Gasmotorenfabrik Deutz AG« umgewandelt) produziert wurden, ließ sich zunächst gut an; doch war die Leistung der Motoren für viele Zwecke zu gering. Über 3 Pferdestärken kam man kaum hinaus; jede weitere Leistungssteigerung mußte mit übermäßigem Brennstoffverbrauch erkauft werden.

Otto entschloß sich, das Prinzip des atmosphärischen Gasmotors aufzugeben und griff Versuche wieder auf, den Druck der Verbrennungsgase unmittelbar zur Arbeitsleistung zu nutzen.

Mit seinen Mitarbeitern entwickelte er im Laufe mehrerer Jahre einen neuen Motor, der ihm 1876 patentiert wurde. Dieser Motor saugte das Brennstoff-Luft-Gemisch nicht nur an, sondern verdichtete es im Zylinder, bevor es entzündet wurde. Der Wirkungsgrad des Motors übertraf den aller anderen Gasmotoren.

Im Gegensatz zu Lenoirs Motor, der bei jeder Schwungradumdrehung einmal Arbeit verrichtete, arbeitete der neue Motor nur bei jeder zweiten Umdrehung. Er benutzte das heute weit verbreitete *Viertakt-Verfahren*.

Ottos Motor hatte vor allem Erfolg, weil er auch für größere Leistun-



Motor für Leuchtgas, Benzin und Brennspritus

gen gebaut werden konnte. Schon Anfang der achtziger Jahre kamen Motoren bis zu 100 PS auf den Markt. Für die Aktionäre der Deutzer Werke erwies sich Ottos Erfindung als Goldgrube. Im Geschäftsjahr 1882/83 wurde eine Dividende von nicht weniger als 96 Prozent gezahlt.

Anderen Unternehmern verschlug es beinahe die Sprache, wenn sie solche Zahlen lasen. Sie suchten und fanden eine Möglichkeit, die Patente Ottos anzufechten. Ein Franzose, Adolphe-Eugène Beau de Rochas (1815 bis 1893) hatte das Viertaktprinzip bereits 1862 angegeben, ohne es je zu nutzen. Außerdem lief in München seit Jahren in einer Uhrmacherwerkstatt ein kleiner Viertaktmotor.

Weder de Rochas Überlegungen noch der Münchener Motor hatten irgendwelche Bedeutung erlangt; bei den Konkurrenten Ottos jedoch lösten sie ungeteilte Freude aus; denn sie boten die gesuchte Handhabe, das Viertakt-Patent anzufechten und löschen zu lassen.

Zahlreiche Maschinenfabriken nahmen die Produktion von Viertaktmotoren auf. Andere wurden eigens zu diesem Zweck gegründet. Den Deutzer Werken schadete der Verlust der Patente trotzdem nicht allzusehr.

War der Gasmotor für den Einbau in Straßenfahrzeuge geeignet? Es ist nur zu verständlich, daß diese Frage immer wieder gestellt wurde; denn während auf den Schienen lange Güter- und Personenzüge hohe Geschwindigkeiten erreichten, fuhren auf den Straßen nach wie vor

Pferdewagen, deren jeder einen Bruchteil von dem beförderte, was ein Güterwagen trug.

Schon Lenoir hatte, wenn auch erfolglos, versucht, seinen Gasmotor für Straßenfahrzeuge einzusetzen. Die Masse des Motors war, verglichen mit seiner Leistung, viel zu groß. Seine Abmessungen ließen kaum zu, ihn in Fahrzeuge einzubauen, und schließlich konnte man auch nicht genug Gas für längere Fahrten mitführen.

Ein Fahrzeugmotor mußte bei geringen Abmessungen und geringer Masse eine möglichst große Leistung abgeben. Das lief darauf hinaus, seine Drehzahl gegenüber den etwa 100 Umdrehungen je Minute der Lenoirschen Gasmotoren zu vervielfachen. Außerdem hatte an die Stelle des gasförmigen Treibstoffes ein dichter, flüssiger Brennstoff zu treten, der erst im Motor selbst vergast wurde.

Diesen Fahrzeugmotor entwickelt zu haben, ist im wesentlichen das Verdienst Gottlieb Daimlers (1834 bis 1900) und Wilhelm Maybachs (1846 bis 1929). Daimler, der als Büchsenmacherlehrling ausgezeichnete handwerkliche Fertigkeiten und durch ein späteres Maschinenbaustudium auch umfassende wissenschaftliche Kenntnisse erworben hatte, trat 1872 in die Deutzer Gasmotorenfabrik ein. Ihm folgte der Konstrukteur Maybach, den Daimler aus gemeinsamer früherer Tätigkeit kannte und schätzte.

Durch ihre Arbeit in der Gasmotorenfabrik hatten Daimler und Maybach die Möglichkeit, Bau und Mängel der Gasmotoren kennenzulernen und die gesammelten Erfahrungen bei Fahrzeugmotoren auszunutzen. Allerdings stießen ihre Pläne in der auf den Bau stationärer Gasmotoren spezialisierten Firma, die zudem an diesen Motoren gut verdiente, auf nicht allzuviel Gegenliebe.

Nach zehnjähriger Tätigkeit in Deutz entschlossen sich Daimler und Maybach, den Fahrzeugmotor selbständig weiterzuentwickeln.

Schon ein Jahr später, 1883, konnte Daimler die Schutzrechte für einen Motor beantragen, der mit Benzin oder mit Leuchtgas lief. Bereits die erste Ausführung, mit liegendem Zylinder und einem massigen Schwungrad ausgestattet, erreichte 900 Umdrehungen je Minute und war damit »schneller« als sämtliche Gasmotoren. Ein in den Zylinder ragendes Röhrchen, das durch eine außen brennende Flamme zum Glühen gebracht wurde, entzündete das komprimierte Luft-Kraftstoff-Gemisch.

Für den Fahrzeugantrieb war auch dieser Motor noch zu klobig. Das folgende Modell, von Zeitgenossen wegen seines Aussehens »Standuhr« getauft, war schon besser geeignet. Bei 700 Umdrehungen je Minute

leistete es etwa 1,5 PS. Diesmal stand der Zylinder senkrecht. Die Kurbel, mit der die hin- und hergehende Kolbenbewegung in eine Drehbewegung verwandelt wurde, war völlig in ein luft- und öldichtes Gehäuse eingeschlossen.

Daimler und Maybach konzentrierten sich bei ihrer Arbeit vor allem auf den Motor. In ihm sahen sie den wichtigsten Bestandteil künftiger Kraftfahrzeuge; das übrige »Beiwerk« interessierte sie zunächst weniger. So erklärt sich auch, daß sie ihren Motor zuerst nicht in einen Wagen, sondern in ein Zweirad einbauten.

Das »Motor-Zweirad«, der »Reitwagen«, ein Vorläufer des Motorrads, hatte einen hölzernen Rahmen und Holzräder mit Eisenreifen. Zwischen Motor und Rad ließen sich zwei Übersetzungsverhältnisse einschalten. Das »Motor-Veloziped« erreichte eine Geschwindigkeit von etwa 12 km/h. An seiner Seite saßen zwei kleine, federnde Stützräder, damit der Fahrer trotz der geringen Geschwindigkeit nicht so leicht kippte.

Obwohl sich das langsame Motor-Veloziped, das seinen Fahrer auf den schlechten Straßen überdies gehörig durchschüttelte, nicht durchsetzen konnte, hatte es die Brauchbarkeit des Daimler-Maybachschen Motors für Fahrzeuge bewiesen.

Daimler ließ sich von einem Stellmacher eine Kutsche bauen, bei der statt der Deichsel eine Steuersäule zur Lenkung vorgesehen war. Der Motor trieb die Hinterräder an. Auf einigermaßen glatten und ebenen Straßen erreichte dieser Wagen eine Geschwindigkeit von fast 20 km/h.

1889 zeigten Daimler und Maybach ein neues Modell ihres Wagens auf der Pariser Weltausstellung. Es wurde bereits durch einen Zweizylindermotor getrieben. Der Rahmen war aus Stahl angefertigt, die Räder trugen Stahlspeichen und Vollgummibereifung. Lenkung des Wagens und Bedienung des Motors waren vereinfacht worden. Der »Stahlradwagen« erregte Aufsehen. Französische Firmen erwarben Bau-lizenzen.

Karl Benz (1844 bis 1895), dessen Name mit der Erfindung des Kraftwagens ebenfalls unlösbar verbunden ist, ging von einer anderen Grundkonzeption aus als Daimler und Maybach. Der Kraftwagen als Ganzes, nicht nur der Motor, bestimmte von Anfang an seine Erfinder- und Konstrukteurtätigkeit. Er begann mit einem Zweitaktmotor, der ihm 1879 patentiert wurde. Mit einem Teilhaber gründete Benz die »Rheinische Gasmotorenfabrik Benz & Co«, in der er zunächst einen verbesserten Zweitaktmotor herstellte. Durch den Gewinn dieser Firma erhielt er die nötigen Mittel, seine Automobilpläne weiterzuentwickeln.

Auch Benz mußte zunächst um einen Motor bemüht sein, dessen Dreh-

zahl die der üblichen Gasmotoren übertraf. Dabei bereitete ihm, wie schon Daimler und Maybach, die Zündung erhebliche Schwierigkeiten. Er entschied sich für eine elektrische Zündung mit Hochspannungsfunken, wie sie ähnlich auch heute noch allgemein üblich ist.

Das Fahrzeug, mit dem Benz seine ersten erfolgreichen Versuche anstellte, war ein Dreirad. Eine Tageszeitung berichtete darüber: »... es soll dieses Fahrzeug als Fuhrwerk dienen... , mit dem man nicht nur jeden halbwegs anständigen Weg befahren, sondern auch mit Überwindung größerer Steigungen entsprechende Lasten befördern kann; es soll zum Beispiel ein Geschäftsreisender mit seinen Mustern ohne Anstand darin fahren können... Wir glauben, daß dieses Fahrzeug eine gute Zukunft haben wird, weil dasselbe ohne viel Umstände in Gebrauch gesetzt werden kann und bei möglichster Schnelligkeit das billigste Beförderungsmittel, vielleicht sogar auch für den Touristen, werden wird.«

Aber es war nicht damit getan, Motorwagen zu bauen. Man mußte sie auch an den Mann zu bringen versuchen. Deshalb tauchten sowohl Daimlers als auch Benz' Wagen auf internationalen Ausstellungen auf, bei Vorführungen von Polizeibehörden und Fuhrwerkhaltern mißtrauisch beobachtet. Frau Benz startete ohne Wissen ihres Mannes zu einer Fernfahrt über 100 km, die sie nach mancherlei Pannen und Zwischenfällen glücklich zu Ende führte.

In Frankreich versuchte man, auf dem Umweg über den Sport Reklame für das Kraftfahrzeug zu machen. Eine Pariser Zeitung schrieb das erste Autorennen aus, für »Fahrzeuge aller und jeder Art, seien sie nun durch Dampf oder Gas, durch Benzin oder elektrisch betrieben«. Nachdem bereits in einem Vorlauf die meisten Wagen ausgeschieden waren, blieben noch 21 übrig. 15 davon erreichten ihr Ziel, unter ihnen 9 Wagen mit Motoren Daimlerscher Bauart. Ein Jahr später, 1895, fand ein Rennen Paris-Bordeaux-Paris statt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Siegers betrug immerhin fast 25 km/h.

Das alles war interessant und füllte die Spalten der Presse. Aber weder dem Kraftwagen noch seinen Produzenten war auf die Dauer damit gedient, daß man im Automobil zunächst mehr ein »benzinsaufendes Reitpferd« für reiche Sportsleute und weniger ein neues Verkehrsmittel und Transportmittel sah.

Dabei gab es durchaus genügend viele Anwendungsmöglichkeiten für schnelle, wirtschaftliche Fahrzeuge, die nicht an Schienenwege gebunden waren; denn abseits der Schienennetze hatte sich im Verkehrswesen noch kaum etwas geändert.

Trotz der Anschlußgleise, die zahlreiche Fabriken mit den nächsten

Bahnhöfen verbanden, gelangten Produkte nicht immer schnell genug zu Häfen oder wichtigen Bahnhöfen. Das galt besonders für landwirtschaftliche Erzeugnisse, die zumindest streckenweise nach wie vor mit Zugtieren befördert werden mußten. Der Reiseverkehr abseits der Schienenwege war gleichfalls noch immer viel zu langsam. Endlich waren auch militärische Stäbe an einem schienenunabhängigen Fahrzeug interessiert, das Truppen und Nachschub möglichst in jedem Gelände befördern konnte.

Bedarf für zuverlässige, robuste und von jedermann zu meisternde Kraftwagen war demnach vorhanden. Sie waren jedoch nicht zu schaffen, indem man bei herkömmlichen Fahrzeugen einfach das Pferd durch einen Motor ersetzte. Das Kraftfahrzeug mußte in allen Einzelheiten höheren Geschwindigkeiten und den Bedingungen angepaßt werden, die sein Motor stellte.

Man konnte dabei auf Erfahrungen anderer Erfinder zurückgreifen. Das ständige Rütteln und Stoßen auf den für höhere Geschwindigkeiten nur wenig geeigneten Straßen zum Beispiel beschleunigte den Verschleiß der Fahrzeuge und war für die Passagiere äußerst unangenehm. Abhilfe brachte die Erfindung des englischen Tierarztes John Boyd Dunlop (1840 bis 1921), der den luftgefüllten Reifen erdacht hatte.

Getriebe, mit denen sich verschiedene Drehzahlen der Räder einschalten ließen, entlehnte man bei den Werkzeugmaschinen. Für den Drehzahlausgleich der Innen- und Außenräder bei Kurvenfahrten hatten bereits die Dampfwagenkonstrukteure eine Lösung beschrieben, das *Differentialgetriebe*, die man jetzt nutzte. Die elektrische Zündung wurde so verbessert, daß sie auch bei hohen Motordrehzahlen einwandfrei funktionierte.

Noch im 19. Jahrhundert begann eine Spezialisierung der Kraftwagen. 1891 führte Daimler seinen ersten Lastkraftwagen vor. 1896 fuhren in Paris »Kraftdroschken« als Vorläufer unserer Taxis. 1904 konnte man hier und da schon einen Autobus benutzen. Die Feuerwehren begannen, selbstfahrende Motorspritzen einzusetzen.

Bald nach der Jahrhundertwende tauchten Motorpflüge auf. An ihre Seite traten wenig später – in Deutschland 1909 – die ersten Traktoren. Sie dienten zunächst ausschließlich als Ersatz für Zugtiere, wurden aber bald auch so konstruiert, daß sie Bodenbearbeitungsgeräte nicht nur ziehen, sondern auch antreiben konnten.

Autorennen waren nach wie vor beliebt und zogen stets Massen von Zuschauern an. 1904 wurde in den USA bereits eine Spitzengeschwindigkeit um 150 km/h erreicht. 1908 siegten deutsche Fahrer in einem »Auto-

rennen rund um die Welt«. Mit einem 30-PS-Wagen legten sie eine Strecke von fast 20 000 km zurück, deren größter Teil über Straßen führte, die diesen Namen gewiß nicht verdienten.

Trotzdem gewann der Kraftwagen nur langsam an Boden. Schuld daran waren unter anderem technische Mängel, die für größere Geschwindigkeiten wenig geeigneten Landstraßen und nicht zuletzt die hohen Preise für Automobile. »Der Normalwagen des Jahres 1905«, so lesen wir in einem verbreiteten technischen Sammelwerk der damaligen Zeit, »wog etwa 1 400 kg, hatte 35 bis 40 Pferdestärken, kostete 23 500 Mark und erreichte 80 bis 85 km pro Stunde«.

Der hohe Preis war nicht zuletzt eine Folge der Art und Weise, wie man Kraftwagen herstellte. Anfänglich wurde jedes Automobil Teil um Teil in »solider Handwerksarbeit« gebaut, oftmals in Mechanikerwerkstätten oder von Betrieben, die sich sonst mit anderen Aufgaben, beispielsweise dem Maschinenbau, befaßten. Solche Wagen mußten sehr teuer sein; außerdem war jede Reparatur, bei der Bauteile auszuwechseln waren, umständlich und ebenfalls nicht billig.

Sollte sich der Kraftwagen durchsetzen, genügte es nicht, daß er überhaupt fuhr und bald schon schneller war als Pferd, Fahrrad und sogar Schnellzug. Er mußte zu annehmbarem Preis auf den Markt kommen, ohne daß »der Betrieb pro Jahr einschließlich des Benzin- und Gummiverbrauches auf 10 000 bis 15 000 Mark zu veranschlagen« war.

Das aber hieß, Kraftwagen in großen Stückzahlen, mit untereinander austauschbaren Teilen, herzustellen, wie es sich bereits in anderen Industriezweigen bewährt hatte. Einer der ersten, die das erkannten, war der Amerikaner Henry Ford (1863 bis 1947). Er hatte schon 1892 sein erstes Benzinautomobil konstruiert. 1902 gründete er die »Ford Motor Company«, die sich zu einem der größten Automobilkonzerne der Welt entwickelte.

Ford suchte sich seinen Profit durch den Absatz großer Mengen billiger Wagen zu sichern. Dieses Ziel war nicht zu erreichen, wenn gleichzeitig die verschiedenartigsten Modelle hergestellt wurden. Deshalb beschränkte sich Ford auf die Produktion eines Typs. Er wendete dabei das *Fließbandsystem* an, das später für viele Industriezweige richtungweisend wurde:

Das Werkstück – bei Ford der Kraftwagen – wurde während seiner Herstellung von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz befördert. Die Fertigung war in eine große Zahl einzelner, leicht auszuführender Arbeitsschritte zerlegt, die einander so folgten, daß die Produktion in stetem Fluß und in der »natürlichen« technologischen Reihenfolge abließ.

Am Anfang und an bestimmten Stellen der Fließbänder wurden Rohmaterialien und vorgefertigte Baugruppen zugeführt; am Ende verließ der fertige, kontrollierte und aufgetankte Wagen das Band zur Probefahrt. Die Fertigungszeiten konnten durch dieses Verfahren entscheidend gesenkt werden. Sie verminderten sich zum Beispiel bei der Montage des Fahrgestells – selbst bei einer behelfsmäßigen Fließstrecke – auf etwa ein Drittel. Da die Arbeiter an den Bändern stets den gleichen, einfachen Arbeitsgang auszuführen hatten, konnte Ford auf wenig qualifizierte, niedrig entlohnte Arbeitskräfte zurückgreifen. Das Fließband, an dessen Arbeitsrhythmus sie gebunden waren, bestimmte das Tempo, in dem gearbeitet werden mußte.

Ford hatte sich nicht verrechnet. Sieben Jahre nach der Gründung seines Unternehmens verkaufte er bereits 10 000 Wagen im Jahr. Später verbreitete sich das »Blech-Lieschen«, ein robuster Wagen mit 22,5 PS Leistung und 60 km/h Höchstgeschwindigkeit, über die ganze Welt – bis 1927 in 15 Millionen Exemplaren. Auch in Deutschland, Italien, der Tschechoslowakei und in anderen Ländern wurden – teilweise noch im 19. Jahrhundert – große Automobilfabriken gegründet.

Die Automobilindustrie wirkte sich auch auf andere Industriezweige fördernd aus. Nicht nur, daß sie durch das von Ford zuerst angewandte Fließbandsystem neue Methoden zur Massenfertigung gewiesen hatte – sie war auch auf zahlreiche Zulieferbetriebe angewiesen.

Die Gummiindustrie mußte die Reifen liefern, Farbwerke hatten für den nötigen Lack zu sorgen, die elektrische Ausrüstung war bereitzustellen, neue Werkstoffe und Schmiermittel mußten entwickelt werden. Benzin, bislang kaum genutzter Abfall der Erdölindustrie, wurde innerhalb kurzer Zeit ihr begehrtestes Produkt.

Rund zwei Millionen Kraftwagen gab es 1914 auf der Welt. Das war viel für ein Fahrzeug, das knapp 20 Jahre zuvor zu rollen begonnen hatte; es war wenig im Vergleich zu den Abermillionen Fahrzeugen, die noch durch tierische Muskelkraft bewegt wurden. 25 Jahre später waren es 40 Millionen Kraftwagen, und in manchen Städten wurden Pferdedroschken bereits so bestaunt wie 40 Jahre zuvor die ersten Automobile.

Bis heute hat sich die Zahl der Kraftwagen erneut mehr als vervierfacht. Die Straßen, durch die Eisenbahn einst »entvölkert«, haben sich wieder gefüllt, und das oft in einem beängstigenden Ausmaße. Millionen Traktoren helfen in der Landwirtschaft, Lastkraftwagen sind im Straßenverkehr eingesetzt; Motoren nehmen dem Fischer, dem Sportler, dem Urlauber Ruder und Paddel aus der Hand.

Heute sind die meisten Hochseeschiffe sowie moderne Lokomotiven,

aber auch zahlreiche Traktoren und andere Fahrzeuge mit Antrieben ausgestattet, die auf die Arbeit des Ingenieurs Rudolf Diesel (1858 bis 1913) und seiner Nachfolger zurückgehen. Während die Erfinder der vorausgegangenen Epoche noch vorwiegend von Erfahrungen und Beobachtungen ausgegangen waren und sich an die Verwirklichung ihrer Ideen sozusagen herangetastet hatten, war Diesel einer der ersten Erfinder, der seine Aufgabe auf »moderne« Weise löste, nämlich mit Hilfe der Theorie. Er beschrieb zuerst seinen Motor und bewies die Möglichkeit, ihn zu verwirklichen, bevor er ihn baute.

1893 erschien Diesels Schrift »Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Verbrennungsmotoren«, in der die Grundgedanken entwickelt wurden, die Diesels Motor von den bekannten Verbrennungsmotoren unterscheiden:

Der Motor saugt kein Kraftstoff-Luft-Gemisch an, sondern nur Luft. Sie wird auf weit höheren Druck verdichtet als bei Ottomotoren und erwärmt sich dabei so stark, daß ihre Temperatur die Entzündungstemperatur des Brennstoffs übersteigt. Dieser wird in die verdichtete Luft eingespritzt, entzündet sich von selbst und setzt den Kolben in Bewegung.

Diesel hatte – nicht zuletzt auf Grund der Arbeiten Sadi Carnots – errechnet, daß sein Motor mit höherem Wirkungsgrad als die Ottomotoren arbeiten würde. Außerdem konnte man schwerer flüchtige, billige und kaum zu einer Explosion neigende Kraftstoffe verwenden. Auch der Verzicht auf die komplizierte Zündanlage würde sich als Vorteil erweisen.

Diese Voraussetzungen bestätigten sich. 1897 lief der erste 20-PS-Dieselmotor. Er war für ortsfesten Einsatz gedacht. Überhaupt dachte Diesel bei der Entwicklung seines Motors vor allem an »feste« Antriebsmaschinen; denn die wichtigsten Teile eines Dieselmotors mußten wegen der hohen Drücke und Temperaturen stärker als bei Benzinmotoren ausgebildet werden und waren daher auch viel massiger.

Erst viel später gelang es, kleine, leichte Dieselmotoren für den Fahrzeugantrieb zu bauen. Um so größere Bedeutung aber erhielt der Dieselmotor dort, wo es weniger auf Gewicht, sondern mehr auf wirtschaftlichen und »rauen« Betrieb ankam.

Noch vor Beginn des ersten Weltkrieges lief das erste Überseeschiff mit Dieselmotor aus, und im gleichen Jahr (1912) ging auch die erste Diesellokomotive auf Fahrt.

Vorstoß zu den Wolken

Am Abend des 6. Mai 1937 kreuzt, am Ende einer planmäßigen Atlantikfahrt, das deutsche Luftschiff »LZ 129« über Lakehurst in den USA. Passagiere und Besatzung müssen warten. Ein schweres Gewitter schließt eine gefahrlose Landung aus. Erst nach einer Stunde lassen die Sturm- und Regenböen nach, und »LZ 129« steuert den Ankermast an.

Es erreicht ihn nicht. Eine Explosion zerreißt das Heck des Schiffes, das sich in Sekundenbruchteilen in eine riesige, langsam zu Boden sinkende Fackel verwandelt. Durch verzweifelte Sprung in die Tiefe suchen sich Passagiere und Besatzungsmitglieder zu retten, kriechen, wälzen sich mit gebrochenen Gliedern aus dem Bereich der Flammenwand. Zwei Drittel der 98 Personen an Bord sind tot oder schwerverletzt.

Mit der Katastrophe von Lakehurst hatte die Passagierluftfahrt nach dem Prinzip »leichter als Luft« vorerst ihr Ende gefunden. Ihr Anfang reicht bis in das Jahr 1783 zurück. Damals ließen die Brüder Joseph und Étienne Montgolfier (1740 bis 1810, 1745 bis 1799) ihren ersten großen »Heißluftballon« aufsteigen. Seine Hülle, aus ineinandergeknüpften Leinwandbahnen bestehend, war innen mit Papier abgedichtet und faßte 600 m³ Luft, die durch ein Feuer erhitzt wurde. Der Ballon stieg – wenn auch zunächst ohne Passagiere – etwa 2000 m hoch und ging wenige Kilometer vom Startplatz entfernt zu Boden.

Weitere Aufstiege von »Montgolfieren« folgten. Nachdem ein Hamamel, eine Ente und ein Hahn einen gemeinsamen Flug gut überstanden hatten, kletterten der Franzose Pilâtre de Rozier (1756 bis 1785) und ein Begleiter in den Ballonkorb und überflogen Paris.

Als man statt erhitzter Luft Wasserstoff als Ballonfüllung wählte, wurden längere Ballonfahrten möglich. Alexandre Charles (1746 bis 1823), der die Wasserstofffüllung vorgeschlagen hatte, und Anne Jean Robert (1758 bis 1820) blieben über zwei Stunden in der Luft. Zwei Jahre später, 1785, überflog Jean-Pierre Blanchard (1753 bis 1809) den Ärmelkanal.

Der Mensch konnte also in einer Montgolfière oder einer »Charlière« den Erdboden verlassen. Wo er ihn wieder erreichte, hing weniger von seinem Willen, sondern mehr von der Gunst des Windes, von undichten Stellen in der Ballonhülle und manch anderen Umständen ab. Ein Verkehrsmittel konnte aus dem Ballon nicht werden. Wesentliche Fortschritte im Bau von Ballons wurden erst erzielt, als die Herstellung von Wasserstoff gesichert und ein Verfahren geschaffen worden war, leichte Stoffe mit flüssiger Gummilösung gasdicht zu machen.

Der Ballon bewährte sich für Sonderaufgaben. Während der französischen Revolutionskriege wurden Ballons für Aufklärungszwecke eingesetzt. Jahrzehnte später, während des Deutsch-Französischen Krieges, beförderten sie Menschen, Brieftauben und Post aus dem belagerten Paris.

Als Hilfsmittel der Forschung erlangte der Ballon ebenfalls Bedeutung. Luft- und Wolkenelektrizität, die Schallausbreitung und -geschwindigkeit, die Luftzusammensetzung, der Siedepunkt des Wassers und andere Daten und Erscheinungen wurden bei Ballonaufstiegen gemessen. Sie führten 20 Jahre nach den Flügen von Charles bereits in 7 000 m Höhe.

Den lenkbaren Ballon, das *Luftschrift* für Zielfahrten, unabhängig von Windrichtung und -stärke, gab es noch nicht. Erfinder vieler Länder beschäftigten sich mit ihm, und alle gingen davon aus, daß der lenkbare Ballon eine Antriebsquelle benötigte, die ihm gegenüber der Luft eine Eigengeschwindigkeit erteilte.

An dieser Kraftquelle scheiterten jahrzehntelang die Bemühungen um das Luftschrift. Ob man Luftschauben, Schaufelräder oder Paddel durch Muskelkraft bewegen wollte, ob man eine Dampfmaschine oder einen Elektromotor einbaute – stets war die Antriebskraft zu gering oder die Maschinerie zu schwer.

Erst nach der Erfindung des Benzinmotors änderte sich diese Situation. David Schwartz konstruierte ein Ganzmetallluftschrift, das 1897 aufstieg, wegen eines Maschinenschadens aber schon beim ersten Flug strandete und zerstört wurde. In Rußland ging Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski, der »Vater der Weltraumfahrt« (vgl. S. 297), ähnlichen Projekten nach, ohne Möglichkeiten zu ihrer Verwirklichung zu haben. In Paris machte der Brasilianer Alberto Santos-Dumont (1873 bis 1932) durch die Konstruktion mehrerer Luftschriften von sich reden, mit denen er Zielflüge über kürzere Entfernungen ausführte.

Der bekannteste Luftschriftfinder, Ferdinand von Zeppelin (1838 bis 1917), entschied sich, im Gegensatz zu den meisten seiner Vorläufer, für eine »starre« Bauform. Nicht das »Traggas« hielt die Schiffshülle prall, sondern ein Leichtmetallgerippe, in dessen Innerem mit Wasserstoff gefüllte »Ballonets« untergebracht waren. Motoren und Führerstand hingen unter dem Rumpf.

Im Juli 1900 stieg »LZ 1« zur Probefahrt über dem Bodensee auf. Nach mehreren Schleifen zwang ein Steuerungsdefekt das Schiff zur Landung. Im »LZ 2« waren bereits viele Mängel des ersten Luftschriftes beseitigt. Aber auch dieses Schiff brachte seinen Erbauern wenig Ruhm:

Bei einer Notlandung im Januar 1906 wurde es durch einen Sturm vernichtet.

Erst »LZ 3« bewies, daß sich Ferdinand von Zeppelin auf dem richtigen Wege befand. Im Oktober 1906 legte es in zwei Stunden über hundert Kilometer zurück.

Nun interessierten sich militärische Stellen, die sich vorher recht abwartend verhalten hatten, für das Luftschiff; denn es schien für die Aufklärung und vielleicht sogar als Waffe geeignet. So erhielt Zeppelins Werft den Auftrag zum Bau von zwei Militärluftschiffen.

Auf einmal galt der Erfinder nicht mehr als »verrückter Graf«, sondern als Nationalheld. Jede größere Luftschiffahrt wurde mit Fahnen, Musikkapellen und Ansprachen gefeiert, in denen Hinweise auf die militärischen Möglichkeiten des »Zeppelins« selten fehlten. Als »LZ 4« 1908 bei Echterdingen nach einer Notlandung zerstört wurde, kam durch geschickte Regie eine »spontane Hilfsaktion« zustande, in deren Verlauf die deutsche Bevölkerung 6 Millionen Mark aufbrachte, um das »Lebenswerk des Grafen« zu retten.

Von dieser Zeit an lief die Werft am Bodensee auf Hochtouren. Luftschiff auf Luftschiff entstand. Sogar ein Passagier-Luftverkehr wurde ins Leben gerufen. Die sieben Luftschiffe der »DELAG«, der ersten Luftfahrtgesellschaft der Welt, führten zwischen 1910 und 1914 16 000 Fahrten – wenn auch vorwiegend über kleinere Strecken – durch. Die meisten Luftschiffe freilich dienten militärischen Zwecken, ebenso wie die Luftschiffhallen und Gas-Abfüllstationen, die an geeigneten Plätzen errichtet wurden.

Der Kriegseinsatz der Zeppeline brachte der kaiserlichen Heeresleitung eine herbe Enttäuschung. Die Bombenlast, die ein Luftschiff nach London oder Paris tragen konnte, war gering. Das große, verwundbare Luftschiff bot Abwehrgeschützen ein geradezu ideales Ziel, und schon zu Beginn des Krieges zeigte sich das Flugzeug dem Luftschiff an Geschwindigkeit und Wendigkeit überlegen. Fast alle deutschen Militärluftschiffe gingen verloren, viele brachten es nicht einmal auf ein Dutzend »Feindfahrten«. Meistens verbrannte oder zerschellte das Fahrzeug mit der ganzen Besatzung.

Nach dem Kriege wurden neue Luftschiffe gebaut. Besonders für Fernflüge schienen sie gut geeignet. 1919 überquerte erstmalig ein englisches Luftschiff den Atlantik. 1924 wurde ein in Deutschland gebautes Luftschiff nach den USA überführt.

Später entstand das berühmt gewordene deutsche Luftschiff »Graf Zeppelin«, in dem alle bisherigen Erfahrungen vereint waren. Es unter-

nahm eine Weltreise, eine Forschungsfahrt in die Arktis, an der auch sowjetische Forscher beteiligt waren, und über 150 fahrplanmäßige Passagierflüge nach Südamerika. »LZ 129«, das Unglücksschiff, wurde 1936 fertiggestellt. Es beförderte seine Fahrgäste mit fast doppelter Schnellzugsgeschwindigkeit über den Atlantik – bis zum 6. Mai 1937, dem vorläufig letzten Tag des Passagier-Luftschiffverkehrs.

Trotz der Erfolge mit Ballonen und später mit Luftschiffen waren Pläne und Versuche, den Flug »schwerer als Luft«, den »Vogelflug«, zu verwirklichen, nie völlig zur Ruhe gekommen. Als man erkannte, daß der Ballon nicht alle Wünsche erfüllte, rückten sie verstärkt in den Vordergrund des Interesses.

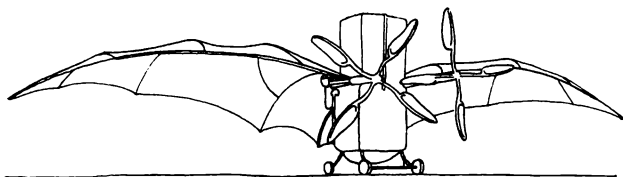
Einer der ersten, die sich ernsthaft mit dem *Flugzeug* beschäftigten, war George Cayley (1773 bis 1857). Er experimentierte am Beginn des 19. Jahrhunderts mit Gleitflugmodellen, beschrieb Methoden zur Steuerung eines Flugzeugs und gewann die richtige Erkenntnis, daß es beim Fliegen vor allem auf eine leichte und leistungsfähige Antriebsmaschine ankam, weil der Mensch zu schwach sei, sich mit Muskelkraft in die Luft zu erheben.

Als Motor stand vorerst nur die Dampfmaschine zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe versuchte, wenn auch vergebens, William Samuel Henson (1805 bis 1885) zu fliegen. Sein Flugapparat war mit mehr als 40 m Flügelspannweite ein Riese, den die eingebaute 25-PS-Dampfmaschine nicht einmal in Bewegung setzen konnte.

Der englische Fabrikant John Stringfellow (1799 bis 1883), der sich zunächst an Hensons Versuchen beteiligt hatte, war bescheidener. Er bastelte ein 5 kp schweres Flugzeugmodell mit Dampfantrieb, das 13 m weit flog.

1871 führte Alphonse Pénaud (1850 bis 1880) seinen »Planophore« vor, ein Motorflugzeugmodell mit dem heute weit verbreiteten Antrieb durch eine verdrehte Gummilitze. Es flog 60 m weit. Fünf Jahre später nahm Pénaud sogar ein Patent auf ein Flugzeug mit einziehbarem Fahrgestell. Es konnte erst ein Menschenalter später verwirklicht werden.

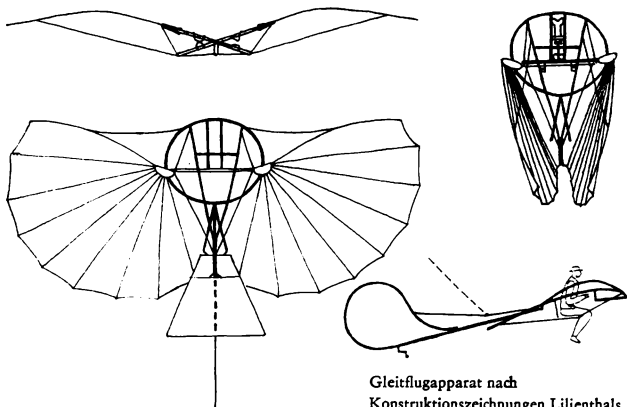
In Rußland befaßte sich vor allem Alexander Fjedorowitsch Moshaiski (1825 bis 1890) mit Flugversuchen. Er begann mit Studien des Vogelzugs, die er mit physikalischen Meßmethoden verknüpfte. Ein durch Gewichte gezogener »Meßwagen« half ihm, die günstigsten Anstellwinkel für die Flügel zu ermitteln. 1876 führte er ein Flugzeugmodell vor, das durch ein Uhrwerk getrieben wurde. Eine größere Ausführung rüstete er mit einer Dampfmaschine aus. Doch dem Erfinder konnte im zaristischen Rußland nur wenig Erfolg beschieden sein.



Flugapparat Clément Aders

Zu den großen Pionieren des Motorfluges gehört ferner der Franzose Clément Ader (1841 bis 1925). Er konstruierte seinen ersten Flugapparat nach dem Vorbild der Fledermäuse, deren Bewegungen er gründlich studiert hatte. Im Herbst 1890 wurde der Apparat, von einer vierflügeligen Luftschraube und einer 20-PS-Dampfmaschine angetrieben, ausprobiert. Er kam in Fahrt und hat sich nach manchen Berichten für einige Meter vom Boden gelöst.

Durch Vermittlung des Kriegsministeriums erhielt Ader Geld für weitere Versuche. Das bekannteste seiner Flugzeuge hatte eine Spannweite von 16 m und wurde von zwei 20-PS-Dampfmaschinen angetrieben. 1897 soll ein 300-m-Flug geglückt sein. Doch eine Bö ließ den Apparat zerschellen. Die Militärkommission, die dem Versuch beiwohnte, zeigte sich an weiteren Experimenten nicht interessiert, obwohl Ader in seinem



Gleitflugapparat nach
Konstruktionszeichnungen Lilienthals

Buch »L'aviation militaire« die künftige Bedeutung der Militärluftfahrt vorweggenommen hatte.

Unter den deutschen Flugpionieren wird Otto Lilienthal (1848 bis 1896) für immer unvergessen bleiben. Der Berliner Ingenieur, nach dessen Entwürfen Dampfkessel, Heißluftmotoren, Schrämmaschinen und auch der »Steinbalken« entstanden, hatte bereits als Oberschüler gemeinsam mit seinem Bruder Gustav mit Schwingenflügeln experimentiert. Er entwarf dann mehrere Flugapparate, meist Schwingenflugzeuge. Sein 1889 veröffentlichtes Buch »Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst« wurde zum Standardwerk einer ganzen Luftfahrergeneration. Lilienthal, der die Arbeiten und Mißerfolge seiner Vorläufer gründlich studiert hatte, war sich bewußt, daß nur streng systematisches Vorgehen zum Ziel führen könne. Der erste Schritt mußte der Gleitflug sein, bei dem die Schwerkraft für die Vorwärtsbewegung des Flugzeugs sorgte, während der Auftrieb das Sinken verzögerte. Beherrschte man den Gleitflug, konnte der zweite Schritt zum motorgetriebenen Flugzeug gewagt werden.

Lilienthal experimentierte daher zunächst mit Segelflugmodellen. Als sie einwandfrei flogen, vergrößerte er sie allmählich – bis sie den Erfinder tragen konnten. Nachdem im Garten erste »Sprünge« mit Lilienthal am Steuer gelungen waren, ließ er sich für den Abflug einen Hügel aufschütten. Langsam erhöhte sich die im Flug zurückgelegte Strecke. 350 m betrug sie schließlich.

Am 9. August 1896 fanden die Versuche ein jähes Ende. Eine Bö kippte den Gleiter Lilienthals und brachte ihn zum Absturz. Lilienthal wurde schwerverletzt aus den Trümmern geborgen; tags darauf starb er.

Lilienthals Arbeiten und Versuche waren auch den Brüdern Wilbur und Orville Wright (1867 bis 1912, 1871 bis 1948), Fahrradmechanikern im USA-Staat Ohio, bekannt. 1899 begannen sie mit Flugversuchen. Gleitermodelle bildeten den Anfang. Vor allem aber bauten sich die Wrights einen »Windkanal«, um durch Messungen die günstigsten Tragflächenformen und -profile zu finden.

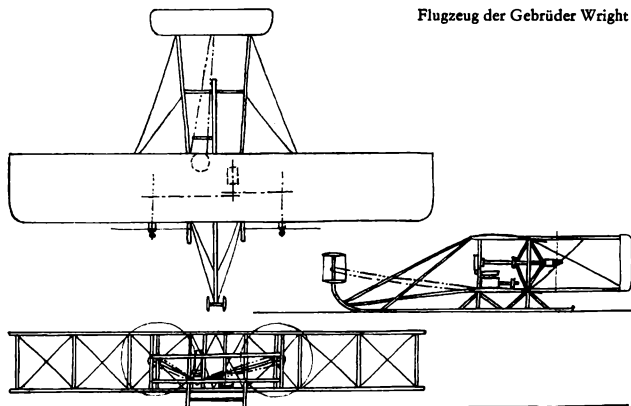
Als sie die nötigen Erfahrungen gesammelt hatten, konstruierten sie ein Gleitflugzeug. Mit diesem Doppeldecker, der einen Menschen tragen konnte, fuhren sie an die Küste von North-Carolina, wo sie auf günstige Windverhältnisse hoffen durften. Bei Flügen, deren Weite sich allmählich bis auf über 600 m erstreckte, lernten die Brüder ihren Doppeldecker beherrschen.

Jetzt konnte der Motorflug gewagt werden, dessen Verwirklichung Lilienthal nicht mehr vergönnt gewesen war. Aber nirgends gab es einen

Motor, leicht und leistungsfähig genug, einem Flugzeug die nötige Antriebskraft zu liefern. Ja, es gab zu dieser Zeit sehr viele »Fachleute«, die überhaupt bestritten, daß es möglich sei, eine derartige Antriebsmaschine zu bauen. So behauptete der Naturforscher Simon Newcomb im Jahre 1902: »Nicht nur die Kombination aller vorhandenen Materialien, auch alle Arten von Motoren und Energiequellen sind gänzlich ungeeignet, um aus ihnen und mit ihrer Hilfe eine Maschine zu konstruieren, die sich in die Lüfte hebt und fähig wäre, Menschen über größere Entfernungen zu transportieren.« Die Wrights ließen sich von derartigen »Feststellungen« nicht beeindrucken. Es gab ja zu dieser Zeit auch bereits sehr optimistische Prognosen, die von einer festen Zuversicht in die Möglichkeiten der schöpferischen Kräfte des Menschen getragen waren. Schon im Jahre 1892 hatte der französische Wissenschaftler und Publizist Charles Richet sehr überzeugt erklärt, daß es »1922 bereits Luftfahrzeuge geben wird, die ... sich in jeder beliebigen Richtung fortbewegen und auch den internationalen Verkehr erleichtern werden.« In der damaligen Zeit hatten die Gebrüder Wright wie auch andere Konstrukteure durchaus berechnete Hoffnung, ihre kühnen Pläne zu realisieren, da die materiellen Bedingungen dafür herangereift waren. Wollten sie ihre Idee verwirklichen, blieb ihnen aber nichts anderes übrig, als sich selbst an die Konstruktion eines Flugmotors zu wagen. Im Dezember 1903 war er zum Einbau bereit.

Mit dem 14. Dezember war der entscheidende Tag herangekommen.

Flugzeug der Gebrüder Wright



Wilbur Wright legte sich in sein Flugzeug, das von zwei Luftschrauben angetrieben wurde. Nach kurzem Anlauf – zur Erleichterung des Starts hatte man eine Schienenbahn vorgesehen – hob die Maschine vom Boden ab, flog etwa 30 m weit und setzte wieder auf. Drei Tage später waren die Brüder erneut am Startplatz. Diesmal waren die Ergebnisse schon besser: Die Wrights erreichten 4,5 m Flughöhe und legten eine Strecke von 260 m zurück.

Wilbur und Orville Wright gönnten sich keine Ruhe. Im folgenden Sommer flogen sie Runden von 1 km Länge. Der Motorflug war Wirklichkeit geworden! 1905 führten sie bereits Zielflüge über 40 km aus.

Anerkennung fanden die Versuche der Wrights zunächst kaum. Die Industriellen dachten nicht daran, sie zu unterstützen, denn Profite waren zunächst nicht abzusehen. Militärische Dienststellen waren seit Jahrzehnten mit sinnlosen Flugprojekten so eingedeckt worden, daß sie zur Ablehnung vorgedruckte Schreiben verwendeten. Erst 1908 kamen Verträge zwischen den Wrights und dem Kriegsministerium zustande. Den »Aviatikern« in Europa erging es nicht viel besser, zumal Luftschiffe allmählich Erfolge aufweisen konnten, denen gegenüber die Luftsprünge der ersten Flugzeuge lächerlich anmuteten.

Trotzdem gaben die »Flugzeugnarren« nicht auf. Santos-Dumont, der inzwischen vom Luftschiff zum Flugzeug hinübergewechselt war, gelangen im Spätherbst 1906 Flüge von mehr als 200 m Länge. Im folgenden Jahre flog – ebenfalls in Frankreich – Ferdinand Ferber (1862 bis 1909), ein Hauptmann der Luftschifftruppe. In Dänemark und Deutschland experimentierte man ebenfalls mit Motorflugzeugen, ohne jedoch an die Ergebnisse der Wrights heranzukommen.

Allmählich stiegen die Leistungen. Die Gebrüder Wright, die mit ihren Apparaten nach Europa gekommen waren, flogen an der Wende zum Jahre 1909 in zweieinhalb Stunden 135 km weit. In einem Zweisitzer nahmen sie auch erstmals Fluggäste mit.

Im Sommer 1909 überquerte Louis Blériot (1872 bis 1936) mit einem Eindecker den Ärmelkanal und gewann damit den von einer englischen Zeitung für einen solchen Flug ausgesetzten Preis. Wochen später stellte Orville Wright bei Berlin einen Höhenweltrekord mit 204,3 m auf und blieb am Tage darauf mit einem Passagier 1 h 35 min 47 s in der Luft. 1910 wagte sich ein kühner Pilot an einen Flug über die Alpen. Die Überquerung gelang, doch bei der Landung stürzte die Maschine ab, und der Pilot erlag seinen Verletzungen. Im Jahr darauf erreichten russische Piloten Geschwindigkeiten von mehr als 90 km/h und flogen von Sewastopol nach Petersburg (Leningrad) und von Petersburg nach Ber-

lin. 1912 wurden schon 5600 m Höhe, Geschwindigkeiten von mehr als 150 km/h und Streckenlängen von 1 200 km erreicht.

Das Flugzeug war kein »Selbstmordinstrument« mehr. Das zeigten nicht zuletzt die mehrmotorigen, mit geschlossener Kabine ausgerüsteten Flugzeuge, die seit 1913 von der »Russisch-Baltischen Waggonfabrik« in Riga gebaut wurden. Sie stiegen mit 6 bis 10 Passagieren bis auf 2 000 m und blieben mehr als sechs Stunden in der Luft.

In Frankreich, England, Rußland und Deutschland begannen Waggon- und Automobilwerke, sogar Elektrofirmen, Flugzeuge zu bauen. Daneben entstanden spezielle Flugzeugfabriken: Vickers in England, Blériot in Frankreich, Focke und Rumpler in Deutschland sowie zahlreiche kleinere Unternehmen, die im Konkurrenzkampf mit ihren »großen Brüdern« allerdings bald auf der Strecke blieben.

Auch die wissenschaftlichen Grundlagen der Luftfahrt wurden jetzt systematisch ausgearbeitet. Man erkannte, daß sich ein Flugzeug nach weit komplizierteren Gesetzmäßigkeiten als ein Drache in der Luft hielt und bewegte, und stellte die mathematisch-physikalische Theorie des Fluges auf. Der deutsche Physiker Ludwig Prandtl (1875 bis 1953) und sein russischer Kollege Nikolai Jegorowitsch Shukowski (1847 bis 1921) waren an der Begründung der *Aerodynamik* maßgeblich beteiligt.

Als Verkehrsmittel im eigentlichen Sinne des Wortes aber war das Flugzeug noch zu wenig betriebssicher und im Betrieb zu teuer. Weitreichende Verbesserungen waren nötig. Die kapitalistische Flugzeugindustrie indessen zeigte sich nicht bereit, Geld für ein Verkehrsmittel zu investieren, solange genügend Profit durch die Entwicklung und den Bau von Militärflugzeugen hereinkam.

Schon zu Beginn des ersten Weltkrieges setzten alle Beteiligten Flugzeuge ein. Ihre Zahl nahm während der Kriegsjahre rasch zu und brachte der Flugzeugindustrie Milliardengewinne. Allein auf deutscher Seite fielen dafür von 17 000 Flugzeugführern und Beobachtern 12 000. Hierin äußert sich ein weiteres Merkmal des reaktionären Monopolkapitals. Wie später bei der technischen Anwendung der Kernenergie begann die Entwicklung eines neuen Zweiges der Technik, hier die Luftfahrt, als Bestandteil der Kriegstechnik, als Mittel zur Zerstörung von Leben und gegenständlichen Werten.

Die Bauformen veränderten sich und trugen nun auch aerodynamischen Gesichtspunkten mehr Rechnung. An die Stelle offener Gitterrumpfe trat eine geschlossene, windschlüpfige Beplankung. Die »Spanntürme« verschwanden, das Gewirr der Spanndrähte lichtete sich. Motoren, Bewaffnung und übrige technische Ausrüstung wurden verbessert.

Neben Aufklärungsflugzeugen, die über Funk Beobachtungsergebnisse melden und das Artilleriefeuer leiten konnten, neben Maschinen, die mit speziellen Kameras auch weit im gegnerischen Hinterland fotografierten, tauchten schnelle Jagdflugzeuge und Bomber am Himmel auf. Gegen Kriegsende konnten sich Flugzeuge 600 km weit von ihren Heimathäfen entfernen, 7000 m hoch steigen und mit Geschwindigkeiten von mehr als 200 km/h operieren.

Nach dem Kriege wandte man sich endlich der Verkehrsluftfahrt zu. In vielen Ländern entstanden Luftfahrtgesellschaften, die Post und Passagiere beförderten: in den USA, in Frankreich und England, in der Schweiz, sogar im damaligen Belgisch-Kongo. In den Niederlanden wurde 1919 die noch heute bestehende »KLM« gegründet, in Deutschland flog im Februar 1919 die »Deutsche Luftreederei GmbH« zwischen Berlin und Weimar. Sie war unter Beteiligung von Banken und der HAPAG-Reederei in »weiser Voraussicht« des zu erwartenden Nachkriegsgeschäftes im Luftverkehr schon 1917 gegründet worden.

Einstweilen allerdings blieben die Erfolge der Luftfahrtgesellschaften mehr als bescheiden; viele Linien mußten wieder eingestellt werden. Weil man noch nicht mit Sicherheit wußte, ob sich die Verkehrsluftfahrt durchsetzen würde, versuchte man, mit möglichst geringem Aufwand auszukommen. Auf den Luftlinien flogen hauptsächlich umgebaute Militärmaschinen, hinter deren Steuerknüppel ehemalige Kriegspiloten saßen. Die dick ver mummt en Fluggäste konnten froh sein, wenn sie überhaupt ans Ziel kamen und nicht wegen eines Motorschadens auf irgendeinem Acker abgesetzt wurden.

Unter diesen Voraussetzungen hatte der Luftverkehr wenig Aussicht auf Erfolg. Er brauchte Maschinen, die zuverlässig waren, schnell und weit flogen und wenigstens ein gewisses Maß an Komfort boten. Andernfalls konnte man besser die Eisenbahn, das Schiff oder einen Kraftwagen benutzen.

Unter den ersten, die das nicht nur erkannten, sondern auch die Folgerungen daraus zogen, war der Techniker und Unternehmer Hugo Junkers (1859 bis 1935). Schon um 1910 war er mit Plänen hervorgetreten, die selbst Fachleuten zu gewagt erschienen: Er wollte von der herkömmlichen Flugzeugbauweise mit Holz- oder Metallgerippe, Leinwandverkleidung und Verspannungsdrähten völlig abgehen und statt dessen freitragende Ganzmetall-Eindecker bauen. Obwohl Junkers die Leistung seiner Maschinen dadurch erhöhen konnte, daß er Leichtmetall statt Stahlblech verwendete, lehnte man seine Entwürfe und Prototypen ab. Junkers baute im Kriege zunächst Doppeldecker, deren empfindlichste

Teile mit einer Panzerung versehen waren. Erst gegen Kriegsende kehrte er zum Eindecker zurück.

Bald danach entstand in den Junkerswerken der berühmt gewordene Typ »F 13«, das erste Ganzmetallflugzeug, das in allen Einzelheiten auf die Bedingungen des zivilen Luftverkehrs zugeschnitten war. Seine geschlossene Kabine bot vier oder fünf Fluggästen Raum; es flog mit einer Geschwindigkeit von 150 bis 170 km/h 500 km weit und war ein guter Ansatzpunkt für die Entwicklung von Verkehrsflugzeugen. Zahlreiche Maschinen dieses Typs wurden auch ins Ausland, selbst nach den USA, verkauft.

Unter der Sowjetmacht war 1918 das »Zentralinstitut für Aero- und Hydrodynamik« gegründet worden, eine der ersten Einrichtungen auf der Welt, die auf breiter Basis die wissenschaftlichen Voraussetzungen der Luftfahrt und ihrer weiteren Entwicklung erarbeiteten.

1924 konstruierte der heute weltbekannte sowjetische Konstrukteur Andrei Nikolajewitsch Tupolew (geb. 1888) das Kabinenflugzeug »Ant-2«. Ein Jahr darauf folgte die mit zwei 500-PS-Motoren ausgestattete »Ant-4«, die an Flughöhe und Geschwindigkeit alle ähnlichen Maschinen anderer Länder übertraf (1929 flogen sowjetische Piloten mit einer »Ant-4« von Moskau über Sibirien nach den USA).

Zahlreiche Weitstreckenflüge stellten unter Beweis, was Flugzeuge bereits zu leisten imstande waren: 1926 flogen zwei Junkersmaschinen in 72 Stunden reiner Flugzeit nach Peking. 1927 legten sowjetische Flieger auf der Strecke Moskau–Tokio–Moskau 22 000 km in 153 Stunden Flugzeit zurück. Im gleichen Jahr flog Charles Lindbergh (geb. 1902) in 33 Stunden allein von den Vereinigten Staaten nach Frankreich (mit Zwischenlandung auf den Azoren hatte schon 1919 ein Flugboot den Atlantik überquert). In der Gegenrichtung wurde der Ozean im folgenden Jahr bezwungen.

Das waren Rekordleistungen. Aber auch dem regulären Luftverkehr standen inzwischen bessere Maschinen zur Verfügung.

Am 1. Mai 1922 eröffnete die deutsch-russische »DERULUFT« (sie bestand bis 1931) den regelmäßigen Flugverkehr auf der Strecke Moskau–Königsberg (Kaliningrad). 1927 wurde die Streckenführung bis Berlin verlängert. Zusammen mit ihren Abzweigungen erreichte das Liniennetz der DERULUFT eine Länge von rund 2 600 km.

1927 wurde die sowjetische »AEROFLOT« gegründet. Sie ist heute die größte Luftfahrtgesellschaft der Welt mit einem Liniennetz von rund 200 000 km Länge.

Vor allem in der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre waren die Flug-

geschwindigkeiten ständig gestiegen. Leistungsfähige Motoren – mehr als hundertfach stärker als Flugmotoren von 1914 –, eine verbesserte aerodynamische Form der Maschinen, einziehbare Fahrgestelle waren zur Selbstverständlichkeit geworden. Es stand aber auch fest, daß der weiteren Geschwindigkeitssteigerung Grenzen gesetzt sein würden, solange Flugzeuge mit Kolbenmotoren und Luftschrauben flogen.

Man mußte zu einem anderen Antriebsprinzip übergehen. Versuche, einen Raketenantrieb oder ein Strahltriebwerk zu entwickeln, die insgeheim in mehreren Ländern schon in den dreißiger Jahren vorgenommen worden waren, wurden daher verstärkt vorangetrieben.

Im Jahre 1947 war es dann soweit. Erstmals überschritten Versuchsmaschinen mit Strahlantrieb die Schallgeschwindigkeit; gegenwärtig dürften die Höchstgeschwindigkeiten bei 3500 km/h liegen.

1952 setzte eine britische Luftfahrtgesellschaft die erste strahlgetriebene Verkehrsmaschine ein. Man hatte gehofft, damit die anderen kapitalistischen Fluggesellschaften im Konkurrenzkampf zu überrunden. Aber die übereilte Entwicklung der »Comet« rächte sich bitter. Nach mehreren Katastrophen mußte sie wieder aus dem Verkehr gezogen werden.

Das erste strahlgetriebene Verkehrsflugzeug, das sich im internationalen Luftverkehr bewährte, machte drei Jahre später von sich reden. Es war die »TU 104« Tupolews, die 70 Passagiere mit einer Reisegeschwindigkeit um 850 km/h befördern kann. 1956 flog sie von Moskau nach London, ein Jahr später landete sie nach 13stündigem Flug von Moskau in New York. Damit war der »Strahlflugverkehr« eröffnet. Heute gehören strahlgetriebene Flugzeuge und Turboprop-Verkehrsmaschinen zum Bild aller Flughäfen.

Vor dreißig Jahren spielte der Luftverkehr noch keine bedeutende Rolle, denn nur ein Fünftel der Passagiere und Frachten wurden auf dem Luftwege befördert. Inzwischen hat sich das Bild geändert. Heute zählt man jährlich über 500 Millionen Flugpassagiere in der Welt, und im Jahre 2000 wird sich der Umfang der Lufttransporte um das Fünffache erweitert haben.

Knapp dreißig Jahre nach Lindberghs Ozeanflug passierten den Atlantik mehr Menschen im Flugzeug als auf dem Schiff. In einer Woche befördert heute eine einzige große Verkehrsmaschine ebenso viele Passagiere über den Atlantik wie ein Schnelldampfer.

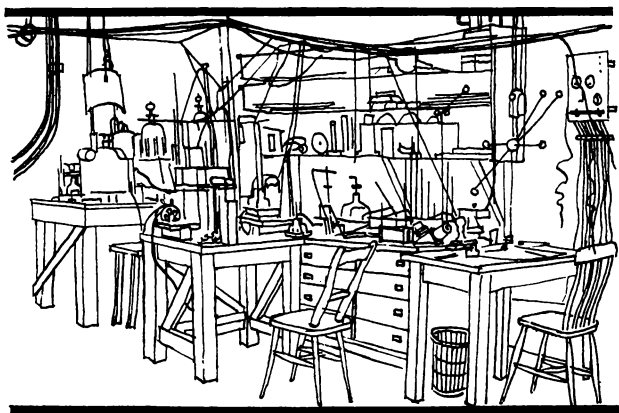
Trotzdem fahren die Ozeanriesen weiter; denn viele Menschen möchten die Freuden oder die Notwendigkeit einer Reise mit den Annehmlichkeiten des »schwimmenden Hotels« verbinden und sich nicht nur für Stunden, sondern einige Tage lang verwöhnen lassen.

Kann die Luftfahrt auch diesem Wunsch Rechnung tragen? Luftfahrtexperten bejahen diese Frage und verweisen auf das Luftschiff. Seit der Katastrophe von Lakehurst kam ihm nur noch eine bescheidene Rolle zu – als Kleinluftschiff flog es Eispatrouille, half der Fischerei oder diente Werbezwecken.

Heute könnte man bessere Luftschiffe als vor dreißig Jahren bauen: Sicherer, weil mit Helium gefüllt, schneller, weil von leistungsfähigeren Motoren getrieben. Sie könnten nahezu beliebig lange in der Luft bleiben, Touristen und Urlaubern die Schönheit einer Luftreise und den Komfort des Hotels bieten, schließlich aber auch als Transportmittel eingesetzt werden, etwa beim Transport von Baumaterialien oder beim Holzeinschlag in waldreichen, schwer zugänglichen Gebieten. Daher werden heute in Konstruktionsbüros und auf den Zeichenbrettern nicht nur neue Flugzeuge, sondern auch wieder Luftschiffe projiziert und entworfen.

Und die Flugzeuge des Jahres 2000? Professor A. A. Tupolew, der Sohn des berühmten Konstrukteurs, ist der Chefkonstrukteur des ersten Überschallpassagierflugzeuges der Welt, der »TU 144«, die in nur drei Stunden eine Entfernung von 7000 Kilometern durchfliegt. In dreißig Jahren, so meint Professor Tupolew, wird es Fluggiganten geben, die mit über 1000 Passagieren an Bord 10 000 Kilometer in 60 Minuten zurücklegen. In nur zwei Stunden wird man also einen Punkt auf der entgegengesetzten Erdhalbkugel erreicht haben. Doch bis dahin sind noch viele Probleme zu lösen. Wie wird man auf den Flughäfen mit derart riesigen Menschenströmen fertig werden? Und eine Geschwindigkeit von 10 000 km/h wird erst erreichbar sein, wenn es ein Atomtriebwerk gibt. Wie kompliziert aber die Konstruktion eines derartigen Triebwerks sein wird, läßt sich vielleicht daran ermesen, daß für ein relativ »kleines« Triebwerk wie das einer TU 104 immerhin 3 500 Einzelteile angefertigt werden mußten, für die 20 000 Konstruktionszeichnungen erforderlich waren. Die »AN 22«, eines der größten Flugzeuge unserer Zeit, hat vier Triebwerke mit je 15 000 PS. Und das Riesenflugzeug der Zukunft wird ja auch mit neuartigen Werkstoffen gebaut werden müssen. Dabei müssen neueste Technologien wie das Laserschweißen oder Diffusions-schweißen im Hochvakuum angewendet werden. Vielleicht wird man aber auch Metallbearbeitungsverfahren entwickelt haben, die es gestatten, die Zelle des Überschallflugriesen aus einem einzigen Teil herzustellen.

4. Kapitel • Neue Ideen



$$E=mc^2$$

An der Wende eines Weltbildes

Als der junge Max Planck bei dem Physiker Philipp von Jolly (1809 bis 1884) wegen seines Physikstudiums vorsprach, riet ihm dieser ab: Die Physik sei eine »voll ausgereifte« Wissenschaft, die wohl bald ihre endgültige, stabile Form erreichen würde und in der es allenfalls »in einem oder dem anderen Winkel« noch »ein Stäubchen oder ein Bläschen« zu prüfen oder einzuordnen gelte.

Jollys Meinung war nicht die eines Außenseiters. Er hatte lediglich ausgedrückt, wovon viele Naturwissenschaftler damals überzeugt waren.

Das Ziel, die »Einheit der Naturkräfte« nachzuweisen, das sich hervorragende Forscher am Jahrhundertbeginn gestellt hatten, war gegen Ende des Jahrhunderts im wesentlichen erfüllt. Die einzelnen Disziplinen waren ausgebaut und durch feste Querverbindungen verknüpft. Sie hatten im Satz von der Erhaltung der Energie für die Physik und im Satz von der Erhaltung der Masse für die Chemie einen deutlich sichtbaren und allgemeingültigen Ausdruck gefunden.

Mechanische Gesetze, deren wichtigste einst Newton formuliert hatte, schienen den Ablauf aller Naturerscheinungen zu bestimmen. Zahlreiche Entdeckungen kamen diesen Vorstellungen entgegen:

Wärme hatte sich als die Bewegung der kleinsten Teilchen der Körper erwiesen. Akustische Erscheinungen waren auf mechanische Schwingungen elastischer Stoffe zurückzuführen und nach den Gesetzen der Mechanik berechenbar.

Selbst das elektromagnetische Feld, das optische und elektrische Vorgänge unter einheitlichen Gesichtspunkten zu beschreiben gestattete, schien mechanischen Vorstellungen nicht zu widersprechen, sofern man voraussetzte, daß magnetische Änderungen sich im Raum vermittels eines elastischen Lichtäthers ausbreiteten.

Sehr viele Wissenschaftler stimmten der programmatischen These von Helmholtz zu: »Das letzte Ziel aller Naturwissenschaft ist, sich in Mechanik aufzulösen.« Sie waren ebenso überzeugt, daß sich Widersprüche und Lücken, die das von der Mechanik beherrschte Weltbild aufwies, beseitigen lassen würden. Sensationen waren kaum noch zu erwarten.

In der Chemie war die Lage ähnlich: Zahllose Forscher von Dalton über Liebig bis Mendeleejew hatten ein breites und festes Fundament gelegt, dessen »Baumaterial« – unteilbare, unveränderliche Atome – wohlgeordnet im Periodensystem zu überblicken war. Wenn man auch noch nicht wußte, warum das Periodensystem so und nicht anders aufgebaut war und worin die Beziehungen zwischen den Elementen bestanden, die

es offenbar widerspiegelte, so war es dem Chemiker doch ein Kompaß, der ihm Richtungen wies und verhinderte, daß er planlos und aufs Geratewohl forschte. Auch in der Chemie galt es, davon waren viele Chemiker überzeugt, mehr das Vorhandene auszubauen als nach grundsätzlich Neuem zu suchen.

An Arbeit fehlte es den Wissenschaftlern trotzdem nicht. Die Erkenntnisfront war im Laufe des 19. Jahrhunderts nicht nur breit und rasch vorangetrieben worden; immer wieder waren aus ihr auch die Spitzen sich schnell entwickelnder Spezialgebiete vorgeschellt.

Es gab keine Chemie schlechthin mehr, sondern eine organische und eine anorganische Chemie, jede in einzelne Zweige unterteilt, jede von Spezialisten betrieben. Kein Physiker konnte noch in der Mechanik, Optik, Wärme- und Elektrizitätslehre gleichermaßen beschlagen sein; er mußte sich auf ein Gebiet spezialisieren, wenn er Hervorragendes leisten wollte.

Gleichzeitig begannen neue Wissenschaften an den Nahtstellen verschiedener Disziplinen zu entstehen. Die *physikalische Chemie*, die *Geochemie*, die *Astrophysik* sind Beispiele hierfür.

Auch aus anderen Gründen jedoch mangelte es der Wissenschaft nicht an Aufträgen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte sich die Industrieproduktion in der Welt mehr als vervierfacht. Neue, umfangreiche Produktionszweige wie die chemische Industrie oder Fabriken für elektrotechnische Erzeugnisse waren ins Leben gerufen worden. Für sie waren die Resultate der wissenschaftlichen Forschung nicht mehr nur Hilfsmittel, sondern *unentbehrliche Voraussetzung*.

Die ersten Dampf- und Werkzeugmaschinen waren unter den Händen geschickter und erfahrener Mechaniker entstanden; aber niemand konnte ohne fundierte wissenschaftliche Kenntnisse einen Elektromotor oder eine Dynamomaschine konstruieren. Ebenso sinnlos und vergeblich wäre es gewesen, Chemikalien, Farben, Arzneien mit vorbestimmten Eigenschaften lediglich durch Probieren entwickeln zu wollen.

Man konnte daher Wissenschaftlern nicht mehr nur an Hochschulen oder in Privatlaboratorien begegnen. Sie erhielten nicht selten Lohn und Ausstattung unmittelbar von den Unternehmen, für die sie arbeiteten. Erste »Industriellaboratorien« entstanden. Sie waren oft großzügiger ausgerüstet als die Forschungsstätten an Universitäten und Hochschulen; ihre Tätigkeit war streng zielgerichtet und diente ausschließlich dem Kapitalisten, dem Fabrik und Laboratorium gehörten.

Jahrhunderte hindurch waren Erfindungen meistens von Außenseitern, von »Besessenen« und Amateuren gemacht worden. Jetzt neigte sich die

Zeit des »freien« Erfinders und Forschers ihrem Ende zu. Ein Dachkämmerchen und primitivste technische Hilfsmittel genügten nicht mehr, wo Neues gefunden und vorangetrieben werden sollte. Umfangreiche Apparaturen, Instrumente, Rohstoffe und nicht zuletzt Geld hatte nötig, wer die Technik entscheidend voranbringen wollte.

Beim einzelnen trafen diese Voraussetzungen selten zusammen. Er mußte seine Ideen verkaufen, und das häufig zu einem Preis, der der wirklichen Leistung keineswegs angemessen war.

Vorwiegend große Betriebe konnten sich Wissenschaftler leisten oder solchen Institutionen Zuwendungen zukommen lassen, die Wissenschaftler ausbildeten. Auch darin spiegeln sich die Veränderungen wider, die im Laufe der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer deutlicher sichtbar wurden.

Seit Beginn der industriellen Revolution waren zahllose kapitalistische Fabriken entstanden, deren Besitzer ihre Waren mit möglichst großem Profit loszuschlagen suchten. Ein heftiger Konkurrenzkampf entbrannte, in dessen Verlauf sich nur die stärksten Betriebe behaupteten, während die schwächeren zugrunde gingen oder als Zulieferer ihre Selbständigkeit einbüßten. Dieser Prozeß führte zu einer Konzentration der Produktion. Betriebe mit Tausenden von Arbeitern entstanden.

Die leistungsfähigsten, kapitalkräftigsten Großbetriebe hatten nur selten Möglichkeiten, einander im Konkurrenzkampf völlig auszuschalten. Sie beschritten einen anderen Weg, um sich ihren Profit zu sichern: Sie trafen Absprachen über Verkaufspreise, Absatzmärkte und Rohstoffquellen, organisierten den Verkauf ihrer Erzeugnisse und den Einkauf der Rohstoffe gemeinsam oder vereinigten ihre Betriebe unter einer Leitung. Produktionsumfang und Preise konnten von den Kapitalisten selbst bestimmt werden. Der Kapitalismus der »freien Konkurrenz« wurde durch das monopolistische Stadium des Kapitalismus abgelöst. Konkurrenz und Ruin nahmen größere Ausmaße an.

Die Entwicklung zum Monopolkapitalismus wirkte sich auch auf die Tätigkeit der Techniker und Wissenschaftler aus. In den ersten Jahrzehnten kapitalistischer Entwicklung waren die Unternehmer zwar vorsichtig und zurückhaltend gewesen, wenn es Neuerungen einzuführen galt (die Boulton-Wattsche Maschinenfabrik war hier nur ein Beispiel für viele). Trotzdem fand ein Erfinder, der eine gewinnversprechende Leistung vorweisen konnte, unter den vielen voneinander unabhängigen Fabrikanten meistens schließlich einen Interessenten, der sich von der Erfindung einen Vorsprung gegenüber der Konkurrenz erhoffte und sie ankaufte.

Gegen Ende des Jahrhunderts hatten kleinere Fabriken meistens gar nicht die Möglichkeiten, eine Erfindung zu finanzieren. Wenn sie es aber wagten und sich vielleicht sogar Erfolge abzuzeichnen begannen, rief das sofort die »Großen« auf den Plan, die keine Mittel scheuten, die sich anbahnende Konkurrenz auszuschalten. Die Kleinbetriebe blieben daher in der technischen Entwicklung zurück.

Die Großbetriebe gaben zwar Geld für Forschungen und Erfindungen aus, doch ihr Interesse an grundsätzlichen, umwälzenden Fortschritten war gering. Warum sollten sie die Technik fördern, solange sich genug Profit durch Preisvereinbarungen oder Erschließen neuer Absatzmärkte auf der Grundlage der alten Technik herausschlagen ließ? Durch neue Technologien wurden die installierten technischen Einrichtungen größtenteils entwertet. Erfindungen, die keinen unmittelbaren Profit verhießen, waren daher wenig gefragt, Risiken scheute man. Immer öfter mußten Erfinder erleben, daß Patente nicht gekauft wurden, um Neuerungen einzuführen, sondern um Neuerungen möglichst lange zu verhindern. Hatte der Kapitalismus die technische und wissenschaftliche Entwicklung Jahrzehnte hindurch gefördert, so wurde er jetzt oftmals zu ihrem Hemmschuh, obwohl die Monopole günstigere Möglichkeiten hatten als kapitalschwache Einzelbetriebe, wissenschaftlich-technische Neuerungen hervorzubringen und anzuwenden.

Nur wenige Wissenschaftler und Techniker verstanden diesen Widerspruch zwischen den Produktivkräften und den Produktionsverhältnissen, noch weniger erkannten, daß er nur durch eine gesellschaftliche Revolution würde gelöst werden können. Die meisten von ihnen fühlten sich mit der herrschenden Klasse durch ihre politisch-ideologische Erziehung an den bürgerlichen Hochschulen verbunden. Die weitaus meisten von ihnen fanden so nicht den Anschluß an die revolutionäre Arbeiterbewegung, sondern stellten sich in den Dienst des Imperialismus und Militarismus.

Gerade in den Naturwissenschaften aber bahnte sich eine Umwälzung an, die grundlegend mit herkömmlichen Vorstellungen brach, die Wissenschaft und Weltanschauung der Arbeiterklasse weiter bestätigte und es geradezu notwendig machte, die immer wirksameren Ergebnisse von Wissenschaft und Technik vor allem dem militaristischen Mißbrauch zu entziehen und ihre Entwicklung den friedlichen Interessen der Völker unterzuordnen.

Versuche, den Äther, »Träger« der elektromagnetischen Wellen, experimentell nachzuweisen, waren trotz aller Bemühungen und eines umfangreichen versuchstechnischen Aufwandes fehlgeschlagen.

Die Entdeckung des Elektrons als des kleinsten Elektrizitätsteilchens hatte die Vermutung nahegelegt, daß die bisherige Atomvorstellung zu einfach, wenn nicht falsch war. Wenig später zwangen die radioaktiven Erscheinungen dazu, das Bild des unveränderlichen, unteilbaren Atoms gänzlich aufzugeben und statt einfacher, winziger Teilchen vorerst rätselhafte, kompliziert aufgebaute Gebilde anzunehmen. Die Annahme von der Wellennatur des Lichtes im 19. Jahrhundert schien für alle Zeiten sichergestellt zu sein. Da zeigte sich auf einmal seine »körnchenhafte« Struktur – eine Struktur, wie sie im Bereich des Allerkleinsten überaschenderweise auch der Energie zukam. Zwischen den fundamentalen Sätzen von der Erhaltung der Masse und der Erhaltung der Energie offenbarten sich überraschende Beziehungen.

Nicht einmal mehr die Masse selbst blieb unangetastet. Es stellte sich heraus, daß sie davon abhing, wie schnell sich ein Körper bewegte.

Das alles waren Beobachtungen, Theorien, Tatsachen, die man noch ein Menschenalter vorher für undenkbar gehalten hätte.

Bisher hatten die meisten Naturwissenschaftler angenommen, daß ihre Resultate ein nur noch zu vervollkommnendes Abbild der Wirklichkeit seien. Jetzt zeigte es sich, daß viele Ergebnisse nur relativ aufzufassen waren. Ihr Geltungsbereich wurde stark eingeschränkt. Bedeutete das, daß die Naturwissenschaft gescheitert war, daß sie Dinge in die Welt hineingedeutet hatte, die es in Wirklichkeit überhaupt nicht gab?

Die Gegner der materialistischen Weltanschauung zögerten nicht, diese Schlußfolgerungen zu ziehen. Sie beriefen sich auf die Radioaktivität und schrieben von einer Auflösung, einem »Verschwinden« der Materie. Sie benutzten die Veränderlichkeit der Masse als Ansatzpunkt für eine Kritik an sämtlichen Grundlagen der Wissenschaft. Sie bezweifelten den Wert wissenschaftlicher Erkenntnisse überhaupt; denn schließlich habe es sich herausgestellt, daß die Welt im Grunde unerkennbar sei.

Viele Naturwissenschaftler waren bestürzt. Sie hatten sich in ihren Laboratorien mit der Materie, mit den realen Erscheinungen beschäftigt, aber meistens weniger mit philosophischen Überlegungen und Schlußfolgerungen. Das brachte viele in Gewissenskonflikte. Ein Beispiel dafür ist die Auffassung des bekannten Physikers Lorentz, der einmal dem sowjetischen Physiker Joffe gegenüber die Frage stellte, wo denn nun die Wahrheit sei, wenn man über die objektive Welt einander widersprechende Aussagen machen könne. Lorentz verlor sogar den Glauben an den Sinn seiner wissenschaftlichen Arbeit. Ist das nicht ein sehr sinnfälliges Beispiel dafür, was aus einem Wissenschaftler werden kann, wenn er nicht den dialektischen Materialismus kennt? Viele Physiker

sprachen damals von einer »Krise« ihrer Wissenschaft, von einer »Periode der Zweifel«, die alle als richtig erkannten Prinzipien in Frage stelle.

Fehlgeschlagen waren jedoch nur die Versuche, der Materie starre, für alle Zeiten unveränderliche Eigenschaften zuzusprechen. Gescheitert war das Weltbild, das sich die Natur in Gestalt einer riesigen Maschinerie aus einfachsten atomaren Bauklötzchen aufgebaut dachte, oder, wie der bekannte Physiker Werner Heisenberg (geb. 1901) es einmal ausdrückte, »das Bild, das wir aus der Kenntnis eines beschränkten Teils der Welt voreilig von ihren noch unerforschten Gebieten entwarfen«.

Die Abkehr von mechanistischen Betrachtungsweisen war unausweichlich geworden. Sie vollzog sich im erbitterten Kampf gegen alle Spielarten idealistischer Philosophie und leitete den Beginn der »neuen Physik« ein.

Es ist eine Physik, in der es keineswegs nur »Stäubchen« einzuordnen gilt, sondern die uns immer neue Gesetzmäßigkeiten und Wechselwirkungen der Materie erkennen läßt. Die neuen Entdeckungen der Physik konnten nur mit Hilfe der dialektisch-materialistischen Naturauffassung geklärt werden. In seinem Werk »Materialismus und Empirio-kritizismus« analysierte W. I. Lenin zu Beginn unseres Jahrhunderts grundlegende philosophische Probleme der Naturwissenschaft, indem er vor allem den Sinn des materialistischen Materiebegriffs erläuterte, und er gab damit den streitbaren Materialisten unter den Naturwissenschaftlern eine klare Orientierung im Kampf gegen Mystik und haltlose Spekulationen in ihrem Fachgebiet.

Das Elektron taucht auf

Als die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts begann, begleiteten Tausende Kilometer Telegrafleitungen Landstraßen und Bahnlinien; ein erstes Unterseekabel verband England und Frankreich. Hier und da gab es Elektromotoren, allerdings mehr als technisches Kuriosum denn als Antriebsquelle. Mit magnetelektrischen Maschinen wurde Elektroenergie, wenn auch in bescheidenstem Maße, gewonnen.

Niemand aber wußte: Was treibt den Motor, scheidet in einem elektrolitischen Bad Metalle ab, läßt Signale mit beinahe unvorstellbarer Geschwindigkeit durch Drähte eilen? Was ist eigentlich Elektrizität? Ist sie, der Wärme ähnlich, eine Energieform, die sich in besonderer Bewegung der Moleküle und Atome ausdrückt? Ist sie eine Art unsichtbarer, unwägbarer Flüssigkeit, ähnelt sie mehr einem Gas?

Vielleicht hatte Benjamin Franklin schon vor mehr als hundert Jahren das Richtige vermutet, als er schrieb: »Die elektrische Materie besteht aus äußerst feinen Partikeln, denn sie kann die gewöhnliche Materie durchdringen, sogar die dichtesten Metalle, und zwar so leicht und ungehindert, daß man keinen fühlbaren Widerstand nachweisen kann.«

Manches schien für diese Annahme zu sprechen, und zahlreiche Physiker – unter ihnen Gustav Theodor Fechner (1801 bis 1887), Wilhelm Eduard Weber (1804 bis 1891) und James Clerk Maxwell (1831 bis 1879) – setzten zur Erklärung elektrischer Erscheinungen solche Teilchen voraus. Auch die Gesetzmäßigkeiten, die Faraday und andere für die elektrochemischen Vorgänge gefunden hatten, schienen diese Hypothese zu unterstützen.

Die durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Stoffteilchen führten stets die gleiche, winzige Elektrizitätsmenge oder ein ganzzahliges Vielfaches davon mit sich. Waren diese unsichtbaren Passagiere kleinste Elektrizitätsteilchen, stellten sie etwa das Einfache oder Mehrfache einer elektrischen *Elementarladung* dar, die sich nicht weiter unterteilen ließ? Diese Vermutung lag nahe – doch eine Vermutung ist noch kein Beweis. Ihn zu führen, gelang mit Hilfe der elektrochemischen Vorgänge allein nicht.

Der Anstoß, der in einer Reihe scharfsinniger Versuche und Überlegungen zur Lösung des »Rätsels Elektrizität« führen sollte, wurde erst gegeben, als man sich ein bislang etwas stiefmütterlich behandeltes Gebiet vornahm: den Durchgang der Elektrizität durch Luft und durch Gase.

Man konnte an zahlreiche Beobachtungen anknüpfen. Jeder Blitz, jeder Funke ebenso wie der gleißende Lichtbogen zeigten, daß Luft für die Elektrizität keineswegs immer ein unüberwindbares Hindernis ist. Die fein verästelten Büschelentladungen an Bäumen, Mastspitzen und Blitzableitern waren – niemand zweifelte mehr daran – von gleicher elektrischer Natur wie die Sprühentladungen an Elektrisiermaschinen. Der Leipziger Gelehrte Johann Heinrich Winkler (1703 bis 1770) und andere Forscher hatten mit Hilfe einer Elektrisiermaschine den Innenraum von Glasröhren zum Leuchten gebracht, aus denen die Luft teilweise entfernt worden war. Die systematische Untersuchung all dieser Erscheinungen mußte dem Physiker ein weites und interessantes Arbeitsfeld eröffnen.

Auch der Bonner Universitätslehrer Julius Plücker (1801 bis 1868) stellte sich die Frage: Was geschieht, wenn Elektrizität durch Luft oder durch Gase unter verschiedenen Drücken geht?

Um sie beantworten zu können, benötigte Plücker geeignete Versuchseinrichtungen, vor allem Glasröhren, in die an den Enden Metallstücke zur Stromzuführung eingeschmolzen waren, und Pumpen, mit deren Hilfe sich der Druck in den Röhren bis auf sehr niedrige Werte vermindern ließ. Zur Anfertigung dieses Instrumentariums bedurfte es der Erfahrung und der geschickten Hände eines aufgeschlossenen, tüchtigen Mechanikers und Instrumentenbauers.

Plücker fand ihn in Heinrich Geißler (1814 bis 1879). Geißler, der aus einem Dorf bei Meiningen stammte und zunächst Glasbläser gelernt hatte, ließ sich nach mehreren Wanderjahren in Bonn nieder und gründete 1854 eine Werkstatt für physikalische und chemische Apparate.

Glasröhren verschiedener Form mit eingeschmolzenen Drähten oder Blechplättchen – der Auftrag Plückers hörte sich einfacher an, als er auszuführen war. Bereits beim Abkühlen wurden die Röhren an den Einschmelzstellen undicht, und wenn eine Röhre gelungen schien, zog sie oft nach längerer Zeit Luft durch mikroskopisch feine Sprünge an den Einschmelzstellen. Erst als Geißler für die Zuführungsdrähte Werkstoffe verwendete, deren Wärmeausdehnung sich nur wenig von der des Glases unterschied, hatte er Erfolg. Später entwickelte er noch eine einfache, zuverlässige Quecksilberpumpe, mit der man die Luft aus den Röhren entfernen konnte.

Die Versuche begannen im Jahre 1858. Ihre Resultate entschädigten Plücker und Geißler reichlich für die mühselige Arbeit und die vorausgegangenen Mißerfolge.

An die Stelle des knatternden Funkens, der unter normalem Luftdruck in der *Geißlerschen Röhre* bei genügend hoher Spannung von Metall zu Metall schlug, trat mit sinkendem Druck ein rotviolettcs, sanft geschwungenes Band. Es wurde breiter, sobald die Pumpe weiter wirkte, und füllte bald den ganzen Innenraum der Röhre aus. Nur um den negativen Anschluß, um die Katode, bildete sich ein dunkler Raum. Er vergrößerte sich bei zunehmender Druckverminderung; gleichzeitig zeigte die Lichterscheinung eine Schichtung, als schwebten leuchtende Wolken in der Röhre. Diese Erscheinungen wurden besonders farbenprächtig, wenn man statt Luft ein stark verdünntes Gas in die Röhre füllte.

Bald wandte man die Geißlerschen Röhren für Beleuchtungszwecke an; ihre Nachfahren begegnen uns heute in Leuchtschriften und Werbebeleuchtungen.

Für die Wissenschaft allerdings wurde eine weit weniger auffällige Beobachtung wichtig: Als Plücker eine Geißlersche Röhre auf ein Hunderttausendstel des Atmosphärendrucks und darunter leerpumpte, er-

losch das Leuchten im Röhreninneren. Statt dessen fluoreszierte die der Katode gegenüberliegende Glaswand. Plücker vertauschte die Stromzuführungen. Sofort schimmerte das andere Röhrenende in grünlichem Fluoreszenzlicht. Was ging in der Röhre vor?

Um das zu klären, waren neue Untersuchungen und Experimente nötig. Plücker, der 1868 starb, konnte sie nicht zu Ende führen. Andere Forscher, vor allem Plückers Schüler Johann Wilhelm Hittorf (1824 bis 1914) und der englische Physiker und Chemiker William Crookes (1832 bis 1919), setzten seine Arbeiten fort.

Versuche mit Röhren von Hittorf und Crookes erwiesen: Wo immer man die zweite Elektrode in der Röhre anbrachte, stets fluoreszierte das Glas an der der Katode genau gegenüberliegenden Seite. Ein kleiner, metallischer Körper warf, vor die Katode gebracht, einen deutlichen Schatten auf die fluoreszierende Glaswand. Diese und andere Beobachtungen zwangen zu dem Schluß: Von der Katode einer genügend luftleer gepumpten, an hoher Spannung liegenden Geißlerschen Röhre geht eine bisher unbekannte Strahlung aus. Man gab ihr wenig später den Namen *Katodenstrahlung*.

»Täusche ich mich nicht«, schrieb Hittorf, »so sind diese Verhältnisse äußerst günstig, um uns Schlüsse auf den Vorgang des elektrischen Stromes selbst zu gestatten.« Bis dahin aber war noch ein weiter Weg zurückzulegen. Zunächst bildeten sich, wie einst beim Licht, zwei Hypothesen über die Natur der Katodenstrahlen. Manche Forscher sahen in ihnen eine lichtähnliche Wellenstrahlung – unter ihnen zum Beispiel auch Heinrich Hertz (1857 bis 1894), der in den Katodenstrahlen die seit langem gesuchten Längsschwingungen des »Lichtäthers« vermutete. Andere Forscher hielten die Katodenstrahlen für einen dichten, dauernden Hagel kleinster Teilchen.

In der Tat schienen manche Beobachtungen auf eine lichtähnliche Wellenstrahlung zu deuten, zum Beispiel die Tatsache, daß die von einer hohlspiegelförmigen Katode ausgehenden Strahlen sich in einem »Brennpunkt« trafen. Andererseits gelang es nicht, die für Wellen charakteristischen Beugungs- und Interferenzerscheinungen nachzuweisen.

Das Material jedoch, das für eine aus einzelnen Teilchen bestehende Strahlung sprach, wurde immer reichhaltiger:

Das Glas erhitzte sich an der Aufschlagstelle der Strahlen, mitunter so sehr, daß die Röhrenwand erweichte. Metallteile, die man in den Strahlenweg brachte, begannen zu glühen oder schmolzen (der vor Jahren entwickelte »Elektronenstrahlöfen« beruht auf diesem Prinzip). Diese auffällige Wärmewirkung ließ sich am einfachsten mit der Annahme er-

klären, daß sie durch die Wucht zahlloser aufprallender Teilchen hervorgerufen werde. Daß Katodenstrahlen auch mechanische Wirkungen ausüben und beispielsweise ein kleines Flügelrad im Inneren der Röhre in Bewegung setzen konnten, legte diesen Schluß ebenfalls nahe.

Besonders eine Erscheinung war mit der Wellenhypothese überhaupt nicht in Einklang zu bringen. Die normalerweise geradlinigen Katodenstrahlen ließen sich durch magnetische und durch elektrische Kräfte krümmen und ablenken. Hittorf fand, daß sie auf einen Kreisbogen gezwungen werden konnten, wenn man die Röhre zwischen die Pole eines Magneten brachte. Cromwell Fleetwood Varley (1828 bis 1883) und Joseph John Thomson (1856 bis 1940) zeigten, daß sie auch zwischen zwei Platten abgelenkt werden, an denen eine elektrische Spannung liegt.

Heute beruht auf dieser Ablenkbarkeit eine große Zahl von elektrischen Geräten und Verfahren. Es gäbe ohne sie weder die Bildröhre des Fernsehempfängers noch ein Radargerät, weder Elektronenmikroskope noch die in jüngerer Zeit entwickelten »Elektronenstrahlwerkzeuge«.

Einen weiteren wichtigen Pluspunkt konnte die Teilchenhypothese verbuchen, als es die Geschwindigkeit der Katodenstrahlen zu messen gelang. Sie waren sehr schnell, legten in der Sekunde viele Tausende Kilometer zurück, aber sie erreichten niemals Lichtgeschwindigkeit. Außerdem hing ihre Geschwindigkeit von der Spannung an der Röhre ab.

Als man die Ablenkung im magnetischen und elektrischen Feld näher untersuchte, ergaben sich verblüffende Parallelen zum Verhalten elektrischer Ströme und Ladungen. Der Katodenstrahl wich im Magnetfeld nach den gleichen Gesetzen aus, die auch ein stromdurchflossener Leiter befolgt haben würde. Zwischen zwei an elektrischer Spannung liegenden Platten wurde der Katodenstrahl zur selben Seite gezogen, zu der sich auch eine zwischen die Platten gebrachte negative elektrische Ladung bewegt hätte.

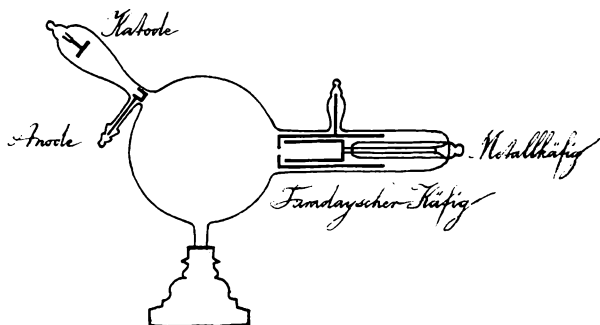
Eine zufällige Übereinstimmung? Oder trugen die Katodenstrahlen tatsächlich negative elektrische Ladungen, waren sie vielleicht negativ elektrisch geladene Atome, ähnlich den geladenen Teilchen, die bei elektrochemischen Vorgängen im Elektrolyten wanderten? Um welche Atome aber handelte es sich? »Natürlich« um die des Katodenmaterials – aber dem widersprach, daß die Katodenstrahlen in ihrem Verhalten vom Katodenmaterial völlig unabhängig waren. Auch zeigten Wägungen, daß in der Röhre kein feststellbarer »Materialtransport« stattfand. Waren

es gleiche, »überleichte« Teilchen, die in allen Stoffen vertreten waren, zwischen den Atomen oder gar in den für unteilbar gehaltenen Atomen?

Es war eine lange Liste von Fragen, die die Physiker aufstellen mußten. Die Antworten konnten nur gefunden werden, indem man die charakteristischen Daten der vermuteten Katodenstrahlteilchen – 1891 kam für sie der Name *Elektronen* auf – feststellte.

Zunächst galt es, die anscheinend negative Ladung der Katodenstrahlteilchen nachzuweisen. Das erreichte der französische Chemiker und Physiker Jean Perrin (1870 bis 1942). Er ließ die Strahlen im Inneren einer Geißlerschen Röhre in einen kleinen Metallkäfig eindringen. Nachdem störende Einflüsse beseitigt waren, zeigte sich das erwartete Resultat: Der Käfig lud sich durch das Einfangen der Katodenstrahlen negativ auf. Die Elektronen transportierten wirklich und, wie sich herausstellte, unter allen Umständen negative elektrische Ladung.

Wie groß war diese Ladung? Elektrochemische Untersuchungen hatten bereits einen ungefähren Wert für die *elektrische* Elementarladung ergeben, für das kleinste Elektrizitätsquantum also, das bei elektrochemischen Vorgängen transportiert wurde. Tauchte diese Elementarladung, die bisher nur in Verbindung mit Stoffteilchen aufgetreten war, in den Katodenstrahlen selbständig, frei, auf? Gab es so etwas wie ein Elektrizitätsatom, in der Elektrochemie mit »richtigen« Atomen verbunden, in den Katodenstrahlen hingegen »frei« vorkommend? Wenn das der



Perrins Röhre zum Nachweis der negativen Elektronenladung.

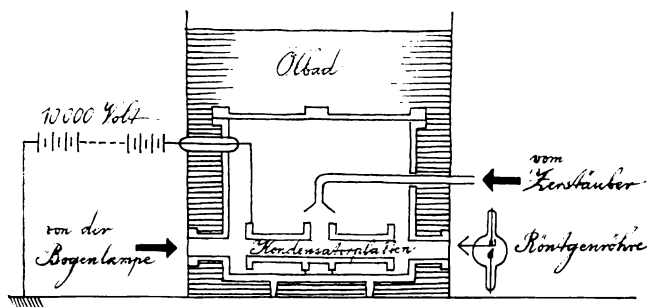
Die Anode ist an der Stirnfläche durchbohrt, um ein Katodenstrahlbündel durchzulassen. Der »Faradaysche Käfig« schirmt störende elektrische Felder ab. Der Metallkäfig dient zum Auffangen der Ladungen. Sobald mit Hilfe eines Magnetfeldes Elektronen auf die Bohrung des Faradayschen Käfigs gerichtet werden, lädt sich der Metallkäfig auf

Fall war, mußte man bei der Messung der Ladung von Katodenstrahlteilchen auf den gleichen Wert kommen wie bei der Bestimmung der Elementarladung aus elektrochemischen Vorgängen.

Mehrere experimentelle Methoden wurden ausgearbeitet, um zunächst die *spezifische Elektronenladung*, das heißt das Verhältnis aus Teilchenladung und -masse, festzustellen. Zwang man beispielsweise Elektronen durch magnetische Kräfte auf eine Kreisbahn, war die spezifische Ladung aus Elektronengeschwindigkeit, Abmessungen des Kreisbogens und Daten des ihn verursachenden Magnetfeldes abzuleiten. 1897 wurde dieses Verfahren durch Wilhelm Wien (1864 bis 1928), Emil Wiechert (1861 bis 1928) und Joseph John Thomson angewandt.

Das Ergebnis überraschte: Die spezifische Ladung des Katodenstrahlteilchens war rund 2000mal größer als die des leichtesten elektrisch geladenen Atoms, des Wasserstoffions. Das aber bedeutete: Entweder trug ein Katodenstrahlteilchen eine 2000mal größere Ladung als ein Wasserstoffion, oder es war 2000mal leichter als das Wasserstoffion. Weitere Experimente und Messungen ließen nur die zweite Deutung zu.

Das war eine Sensation! Bisher hatte man geglaubt, das Wasserstoffatom sei der leichteste Baustein der Materie. Nun auf einmal stellte sich heraus, daß die Elektronen noch viel leichter waren. Mehr noch: Diese Elektronen waren, zum Beispiel bei elektrochemischen Vorgängen, ent-



Millikans Versuch zur Bestimmung der elektrischen Elementarladung.

Die ganze Apparatur ist, um die Temperatur möglichst konstant zu halten, in ein Ölbad gesetzt. Ein Zerstäuber bläst Öltröpfchen zwischen die Platten des Kondensators. Sie werden durch die von der Röntgenröhre ausgehende Strahlung fortwährend geladen bzw. umgeladen und sinken oder steigen zwischen den Platten. Durch Verändern der angelegten hohen Spannung läßt sich nahezu der Schwebezustand erreichen. Um die Teilchen beobachten zu können, werden sie von einer seitlich angebrachten Bogenlampe beleuchtet

weder fest mit Atomen verbunden, oder sie traten, wie in den Katodenstrahlen, »frei« auf. Wo aber kamen sie her? Füllten sie den Raum zwischen den Atomen, waren sie Bestandteile der Atome? Es konnte nicht ausbleiben, daß man sich diese Fragen stellte und daß Zweifel daran auftauchten, ob die Atome wirklich unteilbar waren, wie man bisher stets vorausgesetzt hatte.

Der deutsche Physiker Philipp Lenard (1862 bis 1947) verstärkte diese Zweifel. Er bemühte sich, Katodenstrahlen auch in der Luft, nicht nur im mehr oder minder vollkommenen Vakuum einer Geißlerschen Röhre zu untersuchen. Das gelang ihm, indem er die Röhre durch ein Fenster aus hauchdünner Aluminiumfolie abschloß, die von den Katodenstrahlen durchdrungen wurde. Als man die Ergebnisse nachrechnete, gab es wiederum ein erstaunliches Resultat: Die Atome, die »Bausteine des Weltalls«, waren gar nicht die undurchdringlichen Teilchen, für die man sie bisher gehalten hatte. Nur ein sehr geringer Teil ihres Volumens war tatsächlich von Stoff erfüllt. Auch das war ein Resultat, das die weitere Beschäftigung mit den Atomen geradezu forderte. Lenard gab den Anstoß dazu.

Noch immer aber stand eine unmittelbare Messung der Elektronenladung aus. Um 1910 wurde sie nachgeholt. Der Amerikaner Robert Andrews Millikan (1868 bis 1953) brachte winzige, elektrisch geladene Öltröpfchen zwischen waagerechte Platten, die mit einer Spannungsquelle verbunden waren. Unter dem Einfluß der Schwerkraft sanken die Teilchen in der Luft ähnlich wie Schneeflocken nach unten. Die Spannungsquelle wurde so angeschlossen, daß auf die Teilchen eine nach oben gerichtete Kraft wirkte. Millikan regulierte die Spannung, bis die Teilchen in der Schwebelage blieben – Zeichen dafür, daß Schwerkraft und elektrische Anziehungskraft einander die Waage hielten. Aus diesem Gleichgewichtszustand ließ sich die Teilchenladung errechnen. Sie stimmte mit der aus elektrochemischen Untersuchungen erhaltenen überein. Das Elektron war tatsächlich rund zweitausendmal leichter als das Wasserstoffatom.

Als man schließlich noch nachweisen konnte, daß auch der elektrische Strom in Leitern nichts anderes ist als die Bewegung ungezählter Elektronen, hatte sich der Kreis geschlossen. Das Rätsel Elektrizität war enträtselt. Die Arbeit vieler Jahre hatte ihren Niederschlag in einigen nüchternen Zahlenwerten gefunden.

Zugleich aber war das Elektron Ausgangspunkt für das Vordringen in das Innere des Atoms und für eine Technik, die uns Jahr für Jahr, Monat für Monat neue Höhepunkte erleben läßt.

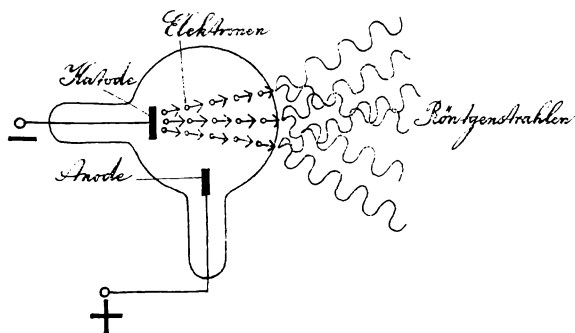
Eine Hand wird durchsichtig

»Hittorfsche Strahlen«, »Glimmstrahlen« – wie immer man die Katodenstrahlen nannte: Sie wurden überall untersucht, wo sich in einem Laboratorium ein Funkeninduktor, eine Vakuumpumpe und ein des Glasblasens Kundiger zusammenfanden. Diese Voraussetzungen waren auch in dem Würzburger Hochschulinstitut erfüllt, in dem seit 1885 der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen (1845 bis 1923) wirkte.

Röntgen beschäftigte sich wie viele seiner Kollegen mit Katodenstrahlen. Am 8. November 1895 verdunkelte er seinen Arbeitsraum und umhüllte die Geißlersche Röhre mit schwarzem, lichtundurchlässigem Papier. Als er den Funkeninduktor einschaltete, zwang ihn ein ungewohnter Lichtschimmer, den Blick zur Seite zu wenden: Ein mit Bariumplatinzyanür bestrichener Karton leuchtete auf, Kristalle auf dem Arbeitstisch fluoreszierten.

Röntgen unterbrach den Strom. Das Leuchten verschwand und erschien von neuem, sobald wieder Spannung an der Geißlerschen Röhre lag.

Was ging hier vor? Hatte man bei der Erforschung der Katodenstrahlen etwas übersehen? Traten noch andere, bisher unbekannte Strahlen auf? Oder wurde das Blatt von Katodenstrahlen getroffen? Das war unwahrscheinlich, denn Katodenstrahlen wurden bereits von dünnen Stoffschichten zurückgehalten und konnten, wie im Jahr zuvor Lenard demonstriert hatte, nur durch ein Fenster aus dünnster Aluminiumfolie ins Freie treten. Ein solches Fenster aber gab es in Röntgens Röhre nicht.



Elektronen, die auf eine Glaswand prallten, führten zur Entdeckung der Röntgenstrahlen

Röntgen nahm einen kräftigen Magnet und hielt ihn so an die Röhre, daß die Katodenstrahlen zur Seite gelenkt wurden. Im gleichen Augenblick leuchtete das Bariumplatinzyanür schwächer. Brachte Röntgen den Magnet dagegen zwischen Röhre und Schirm, war keine Veränderung zu bemerken. Es konnte demnach außerhalb der Röhre keine »übersehenen« Katodenstrahlen geben; denn auch sie hätten abgelenkt werden müssen.

Röntgen drehte den Schirm um. Das Leuchten verlor nicht an Intensität. Er hielt ein Stück Holz, ein Kartenspiel, dann den umfangreichen Band eines Nachschlagewerks zwischen die Röhre und das Kartonblatt. Das Leuchten blieb, doch auf dem Schirm zeichneten sich schwache Schatten der dazwischenliegenden Gegenstände ab.

Halb unbewußt versuchte Röntgen, die Strahlen mit der Hand abzublenden. Im ersten Augenblick glaubte er, Opfer einer Sinnestäuschung geworden zu sein. Doch so oft er die Hand hinhielt und wieder wegzog – das Ergebnis blieb:

Auf dem Karton zeichnete sich die Hand ab, schwach, undeutlich in den äußeren Konturen, dunkel und scharf umrissen das Knochengerüst. Röntgen krümmte die Finger. Das Bild auf dem Schirm folgte der Bewegung. Gehorsam beugten und streckten sich die Schatten.

Röntgen legte einen Nagel in eine Pappschachtel und hielt sie vor den Schirm. Das Metall zeichnete sich deutlich vom schwachen Schatten der Pappe ab. Münzen in der verschlossenen Geldbörse, Schrauben in einem Holzkloben wurden sichtbar. Es war, als seien viele Stoffe unter dem Einfluß der Geißlerschen Röhre durchsichtig geworden.

Wir wissen nicht, was Röntgen in jener Nacht empfand. Wir kennen auch die Gründe nicht, die ihn bewogen, seine Entdeckung zunächst für sich zu behalten und zu niemandem darüber zu sprechen. Sicher ist nur, daß Röntgen sich als gewissenhafter Forscher scheute, aus seiner Entdeckung voreilige Schlüsse zu ziehen. Erst nach einer langen Reihe von Kontrollversuchen, die er unermüdlich variierte, war er sich seiner Sache sicher:

Von der Stelle, an der die Katodenstrahlen aufprallten, ging eine Strahlung aus, die sich in ihrem Wesen grundsätzlich von den Katodenstrahlen unterschied und die meisten Stoffe mehr oder weniger durchdrang. Röntgen nannte sie *X-Strahlen*, damit zugleich andeutend, daß die Entdeckung nur der erste Schritt war und es nunmehr darauf ankam, Eigenschaften und Gesetze der neuen Strahlung zu ergründen.

Röntgen löste diese Aufgabe in fieberhafter Arbeit. In wenigen Wochen erledigte er ein gewaltiges Arbeitspensum und erforschte das Ver-

halten und die Eigenschaften der X-Strahlen so gründlich, daß auf Jahre hinaus den Physikern nach ihm auf diesem Gebiet kaum noch Grundsätzliches zu tun übrigblieb.

Röntgen erkannte, daß die X-Strahlen kräftigere Wirkungen ausübten, wenn man die Katodenstrahlen nicht auf die Glaswand der Röhre, sondern auf einen Metallklotz in der Röhre treffen ließ. Er untersuchte und maß, wie verschiedene Stoffe – feste Körper, Gase, Flüssigkeiten – von den Strahlen durchdrungen wurden. Er entdeckte bald, daß fotografische Schichten durch X-Strahlen belichtet wurden, und begriff sofort die Bedeutung dieser Beobachtung:

»... Man ist im Stande, manche Erscheinungen zu fixieren, wodurch Täuschungen leichter ausgeschlossen werden; und ich habe, wo es irgend anging, jede wichtigere Beobachtung, die ich mit dem Auge am Fluoreszenzschirm machte, durch eine photographische Aufnahme kontrolliert.«

Er fand heraus, daß die Strahlen durchdringender, »härter« wurden, wenn man die Spannung an der Röhre erhöhte, und sah Steinsalz, Kalkspat und andere Substanzen unter dem Einfluß der unsichtbaren Strahlen fluoreszieren.

In mehreren vorsichtig und zurückhaltend abgefaßten Mitteilungen berichtete Wilhelm Conrad Röntgen »Über eine neue Art Strahlen«. Kollegen und Freunden schickte er ein Foto, die erste von Millionen und aber Millionen *Röntgenaufnahmen*. Sie zeigte das Skelett einer feingliedrigen Hand mit einem scheinbar frei über den Fingerknochen schwebenden Ring – die Hand von Frau Röntgen.

Durch einen Freund des Forschers gelangte, ohne daß Röntgen davon wußte, ein Bericht über die »sensationelle Entdeckung« in eine Wiener Zeitung. Er wurde zum Ausgangspunkt eines regelrechten »Strahlenrummels«. Zeitungen und Zeitschriften in aller Welt berichteten über die X-Strahlen und fügten leider oft Kommentare und Auslegungen hinzu, die an der Wirklichkeit weit vorbeingingen. Vom »Photographieren durch Häuserwände« war da ebenso die Rede wie von Versuchen mit »strahlensicherer Unterwäsche«. Den Karikaturisten gar erschloß Röntgens Entdeckung ein neues, bis heute nicht ausgeschöpftes Thema.

Röntgen selbst kümmerte sich nicht um den breiten Widerhall, den seine Berichte fanden, und arbeitete weiter. Am 23. Januar 1896 legte er in einem Vortrag vor der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg die Ergebnisse seiner Untersuchungen vor. Atemlose Stille herrschte im Saal, konnte sich doch jeder der Anwesenden vorstellen, welche Bedeutung die Entdeckung gerade für die Medizin haben konnte.

Erst als der greise Anatom Kölliker nach dem Vortrag vorschlug, die X-Strahlen fortan *Röntgenstrahlen* zu nennen, brach lauter Beifall aus.

Röntgen ging es nicht um den Applaus, sondern um den Fortschritt in der Naturerkenntnis. So blieb er auch unnachgiebig, als ein Vertreter der AEG versuchte, ihm die sicherlich lukrative »Erfindung« abzukaufen. Enttäuscht berichtete der Bevollmächtigte seinen Auftraggebern: »Röntgen erklärt, daß er durchaus . . . der Auffassung sei, daß seine Erfindungen und Entdeckungen der Allgemeinheit gehören und nicht durch Patente, Lizenzverträge und dergleichen einzelnen Unternehmen vorbehalten bleiben dürfen . . .«

1901 wurde Wilhelm Conrad Röntgen als erstem deutschen Physiker der Nobelpreis für Physik zuerkannt. Man hätte schwerlich einen Würdigeren finden können.

Eine Flut von Veröffentlichungen in aller Welt – darunter allein 50 Bücher – berichtete noch im Jahre 1896 über Röntgenstrahlen. Sehr bald begann auch ihre praktische Anwendung. 1897 wurde in einem Dresdner Krankenhaus der erste *Röntgenapparat* aufgestellt – kurz nachdem eine pharmazeutische Zeitschrift medizinische Anwendungen der Röntgenstrahlen als »einen bei der Milde des Winters früh ausgekrochenen Aprilscherz« bezeichnet hatte. Noch im gleichen Jahr stand in einer chemischen Fabrik Dresdens ein Röntgenlabor »unter Leitung sachkundiger Herren« zur Verfügung.

In medizinischen Fachblättern erschienen immer häufiger Arbeiten über die Anwendung und Erfolge der Röntgenstrahlen in der Chirurgie, bei der Feststellung der Lage von Knochenbrüchen, beim Aufspüren von Fremdkörpern. Verfahren, die heute in jeder Klinik gebräuchlich sind, wurden in ihren Anfängen ausgearbeitet.

Diese Methoden und die zugehörigen Geräte wurden unaufhörlich verbessert. So sanken zum Beispiel innerhalb weniger Jahre die Belichtungszeiten bei Röntgenaufnahmen von manchmal mehr als einer Stunde auf wenige Sekunden, später auf Sekundenbruchteile. Bald war die Röntgentechnik soweit spezialisiert, daß nur besonders ausgebildete Fachkräfte sie handhaben konnten.

Bereits die ersten Röntgenspezialisten waren auf die physiologischen Wirkungen der Strahlung aufmerksam geworden. Sie beobachteten Veränderungen der Haut, die an eine Verätzung oder an einen Sonnenbrand erinnerten. Versuche, auf Grund dieser Beobachtungen Hauterkrankungen zu heilen, verliefen jedoch weniger erfolgreich, als man erwartet hatte. Auch der Gicht und dem Rheuma war nicht, wie manche Ärzte gehofft hatten, mit Röntgenstrahlen beizukommen.

So erfüllten sich die übertriebenen Hoffnungen nicht, die man anfänglich auf die Röntgentherapie gesetzt hatte. Im Gegenteil: Bestürzt erkannte man, daß der Umgang mit den neuen Strahlen sehr gefährlich sein konnte – eine Erfahrung, die mit zahlreichen Opfern erkaufte werden mußte. Allein dem Umstand, daß anfangs nur verhältnismäßig »weiche«, wenig energiereiche Strahlen erzeugt werden konnten, ist es zu verdanken, daß ihre Zahl nicht größer wurde. Erst als man gelernt hatte, Röntgenstrahlen genau zu dosieren und den Körper gegen eine unkontrollierte Strahlenwirkung zu schützen, gewann die therapeutische Anwendung der Röntgenstrahlen wieder an Bedeutung.

Neben den Medizinern interessierten sich vor allem Techniker für die Röntgenstrahlen. Anlaß dazu war unter anderem ein ebenfalls von Röntgen vorgelegtes Foto. Es zeigte ein Stück eines Gewehrlaufs, in dem außer der Patrone mit dem Zündhütchen auch fehlerhafte Stellen in der Laufwandung deutlich zu erkennen waren. Diese Aufnahme mußte geradezu Techniker und Ingenieure auf den Plan rufen, die seit langem nach einer Möglichkeit suchten, undurchsichtige Werkstoffe und Werkstücke schnell und ohne mechanischen Eingriff auf verborgene Fehler zu untersuchen.

Dazu brauchte man allerdings Röntgenstrahlen, die selbst dicke Metallschichten leicht durchdringen konnten. Noch im ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts standen verbesserte Röhren zur Verfügung. In ihnen wurden Elektronen auf einfache und regulierbare Weise aus einer *Glühkatode* (vgl. S. 254) freigesetzt und in dem möglichst weitgehend evakuierten Röhreninneren durch hohe Spannungen beschleunigt.

Materialprüfungen wurden durch das neue Verfahren vereinfacht, oft überhaupt erst ermöglicht. Fehler und Hohlräume in Gußstücken waren feststellbar, ehe diese eingebaut wurden. Gefährliche Risse und Bruchstellen zeigten sich, bevor sie von außen zu entdecken waren. Im Maschinenbau, auf Werften, für die Untersuchung von Rohr-, Kessel- und Zylinderwänden wurde die Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen bald ebenso gebräuchlich wie bei der Kontrolle von Brückenkonstruktionen und Stahlskeletten im Hochbau. Sie zählt auch heute zu den unentbehrlichsten Prüfverfahren, wenngleich als Strahlenquelle oftmals keine Röntgenröhre mehr, sondern die Strahlung radioaktiver Isotope verwendet wird.

Als nicht weniger wichtig erwiesen sich die Röntgenstrahlen für die Physik selbst; halfen sie doch, weitreichende neue Erkenntnisse und Einsichten zu gewinnen.

So fand Joseph John Thomson heraus, daß nicht nur Elektronen

Röntgenstrahlen, sondern umgekehrt Röntgenstrahlen Elektronen auslösen können, wenn sie auf einen Körper prallen. Sowohl die Elektronen in den Katodenstrahlen als auch die durch Röntgenstrahlen »herausgeschlagenen« hatten die gleiche spezifische Ladung. Das war ein wichtiger Beleg für die Richtigkeit der Elektronentheorie.

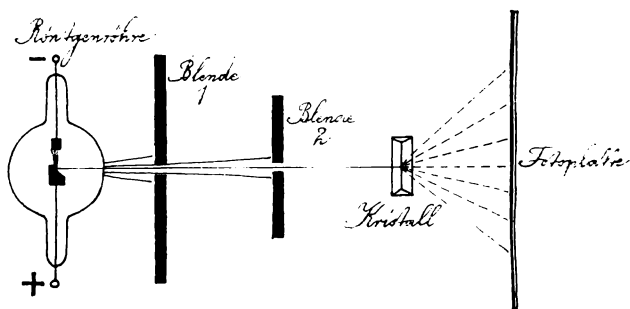
Was Röntgenstrahlen eigentlich waren, blieb zunächst ungewiß. Man vermutete zwar, daß es sich, im Gegensatz zu Katodenstrahlen, diesmal um eine lichtähnliche Wellenstrahlung handle; aber auf den Beweis mußte man anderthalb Jahrzehnte warten, weil die Versuchsergebnisse verschiedene Deutungen zuließen.

Beugungs- und Interferenzerscheinungen hatten einst Beweise für die Wellennatur des Lichts geliefert. Doch entsprechende Versuche mit Röntgenstrahlen schlugen fehl. Selbst mit feinsten optischen Beugungsgittern gelang es nicht, eine Beugung der Röntgenstrahlen nachzuweisen. Bedeutete das, daß die Wellenvorstellung falsch war, oder waren Röntgenstrahlen so kurzwellig, daß selbst die engmaschigsten Gitter für sie noch zu grob waren? Nur feinere Gitter konnten eine Entscheidung bringen – doch die gab es nicht, und niemand konnte sie herstellen.

Erst Jahre später kam man dank dem Zusammentreffen günstiger Umstände weiter voran: An der Münchner Universität beschäftigte man sich intensiv mit der Erforschung der Röntgenstrahlen, von deren Wellennatur zahlreiche Physiker – unter ihnen der bekannte Theoretiker Arnold Sommerfeld (1868 bis 1951) – überzeugt waren. Außerdem untersuchte man die wichtige Frage, ob die erstaunliche Regelmäßigkeit der Kristalle ihre Ursache in einer ebenso regelmäßigen Anordnung der Kristallbausteine habe, ob Kristallen eine (dreidimensionale) *Gitterstruktur* eigen sei. Man nahm das seit langem an; eine Bestätigung dieser Annahme stand jedoch noch aus.

Sommerfeld hatte Werte für die vermutlichen Wellenlängen der Röntgenstrahlen angegeben; seine über Kristalle arbeitenden Kollegen konnten aus der Dichte der kristallisierenden Stoffe den mutmaßlichen Abstand der Kristallbausteine abschätzen. Zwischen beiden Werten bestanden keine großen Unterschiede. »Lücken« gleicher Größenordnung wie die Wellenlänge waren in der Optik die Voraussetzung für das Auftreten von Beugungserscheinungen. Müßten sich dann nicht Kristalle als »natürliche« Beugungsgitter für Röntgenstrahlen verwenden lassen?

Max von Laue (1879 bis 1960) kam, durch ein Gespräch mit einem jungen Kollegen angeregt, auf diesen Einfall. Walter Friedrich (1883 bis 1968) und Paul Knipping (1883 bis 1935) unternahmen es, ihn in die Tat umzusetzen. Sie entwarfen eine Versuchsanordnung und durchstrahlten



Prinzip der Laueschen Anordnung zum Nachweis der Beugung von Röntgenstrahlen

einen Kupfersulfatkristall mit Röntgenstrahlen. Bald darauf konnten sie die ersten Ergebnisse in Gestalt belichteter Fotoplatten vorlegen.

Einem Laien hätten sie nichts gesagt; denn die Platten zeigten lediglich verwaschene Punkte, die nach einem ganz bestimmten Schema angeordnet schienen. Doch gerade das war das erwartete Resultat. Die Punkte stellten die Beugungsbilder dar, die die Strahlen nach dem Durchdringen des Kristalls auf die fotografische Platte gezeichnet hatten.

Im Sommer 1913 konnte Sommerfeld der Bayrischen Akademie der Wissenschaften die Ergebnisse vorlegen. Sie erregten kaum weniger Aufsehen als die ersten Berichte Röntgens, obwohl die Tagespresse diesmal kaum etwas mit ihnen anzufangen wußte.

Fachleuten jedoch war klar, daß die Versuche in zweifacher Hinsicht bedeutungsvoll waren: Einmal erwiesen sie, daß Röntgenstrahlen dem Licht wesensverwandt sind und sich von diesem lediglich durch eine zehntausend-, ja hunderttausendfach kürzere Wellenlänge unterscheiden. Zum anderen ließen sie keinen Zweifel daran, daß Kristalle tatsächlich aus einzelnen Bausteinen regelmäßig zusammengesetzt sind. Sie wurden damit zu einem wichtigen Stützpfiler für die Atomlehre.

Die Beugungsbilder ermöglichten es, sowohl die Bausteinabstände im Kristall als auch die Länge der Röntgenwellen zu bestimmen.

Diesen Fragen wandte sich vor allem der englische Forscher William Bragg (1862 bis 1942), später auch sein Sohn Lawrence Bragg (geb. 1890) zu. Mit der *Feinstruktur-Untersuchung* schufen sie ein Verfahren, das über den Bereich der Kristallographie weit hinausreicht. Man kann mit seiner Hilfe nicht nur den Kristallaufbau ergründen, sondern auch technisch wichtige Fragen beantworten.

So läßt sich die Größe submikroskopischer Teilchen feststellen, das Feingefüge der Festkörper untersuchen oder eine Werkstoffanalyse durchführen. Auch für die Plastechemie hat dieses Verfahren große Bedeutung erlangt.

Strahlendes Salz

Bei den ersten Versuchen Röntgens gingen die X-Strahlen von der fluoreszierenden Glaswand der Geißlerschen Röhre aus. Ihre Wirkung wurde sichtbar, indem man sie auf bestimmte Substanzen fallen ließ, die dann selbst fluoreszierten.

Was für ein physikalischer Zusammenhang bestand zwischen den Röntgenstrahlen und der Fluoreszenz? Sandten fluoreszierende Stoffe vielleicht ebenfalls Röntgenstrahlen aus, während oder nachdem sie von Licht getroffen wurden? War diese Strahlung so schwach, daß man sie bisher übersehen hatte?

Es war kein Zufall, daß sich der französische Physiker Henri Becquerel (1852 bis 1908) diese Fragen stellte, nachdem er im Januar 1896 von den Versuchen Röntgens erfahren hatte; denn Becquerels Arbeiten galten, wie schon die seines Vaters, seit längerem den Stoffen, die bei Lichteinfall selbst leuchteten (Fluoreszenz) oder nach dem Lichteinfall für längere Zeit nachleuchteten (Phosphoreszenz).

Röntgenstrahlen schwärzten Fotoplatten – von dieser bekannten Erscheinung ging Becquerel aus. Er suchte die zahlreichen fluoreszierenden und phosphoreszierenden Substanzen seines Laboratoriums zusammen, legte sie auf lichtdicht verpackte Fotoplatten und setzte anschließend das Ganze hellem Sonnenlicht aus. Traten unter dem Einfluß des Lichts aus den Stoffproben Röntgenstrahlen, so mußten sie sich durch die Schwärzung der fotografischen Platten nachweisen lassen.

Doch die meisten Platten blieben unbelichtet; nur diejenigen, auf denen Uranverbindungen gelegen hatten, zeigten eine geringfügige Schwärzung. Das war auffällig und schien verwickeltere Zusammenhänge anzudeuten, als Becquerel ursprünglich angenommen hatte. Besonders erstaunlich war, daß die Uranverbindungen auch dann noch strahlten, wenn das Sonnenlicht schon längst nicht mehr wirkte.

Becquerel konzentrierte seine Untersuchungen auf diese Erscheinung – doch gerade da zwang ihn trübes Wetter, die Versuche zu unterbrechen. Ärgerlich räumte er die lichtempfindlichen Platten beiseite und verwahrte sie zusammen mit den Uranverbindungen. Als die Versuche wieder auf-

genommen wurden, entwickelte er zur Kontrolle eine der Platten, mit denen er zuletzt, bei schon fehlendem Sonnenschein, experimentiert hatte.

Das Ergebnis war verblüffend. Die Platte, die tagelang mit der Uranverbindung im Dunkeln gelegen hatte, war viel stärker belichtet als diejenigen der Versuche im Sonnenlicht. Offensichtlich spielte das Licht keine so entscheidende Rolle, wie Becquerel anfänglich vermutet hatte. Oder hatte die von Uranverbindungen ausgehende Strahlung vielleicht überhaupt nichts mit dem Lichteinfall zu tun?

Becquerel experimentierte weiter und suchte die Quelle der Strahlung. Er arbeitete mit Uransalzproben, die lange im Dunkeln gelegen hatten, stellte im verdunkelten Laboratorium neue Stoffproben her, untersuchte Uranverbindungen, die überhaupt nicht merklich fluoreszierten, nahm sich das Element Uran vor, entwickelte Hunderte fotografischer Platten. Sie alle bewiesen:

Vom Uran und seinen Verbindungen geht ständig eine unsichtbare, den Röntgenstrahlen in mancherlei Hinsicht ähnliche Strahlung aus. Sie durchdringt alle Stoffe, manche allerdings nur in sehr dünnen Schichten, und läßt die Luft schwach elektrisch leitend werden. Sie verändert ihre Intensität scheinbar überhaupt nicht, ganz gleich, ob ein Präparat Wochen oder Monate hindurch untersucht wird.

Becquerels Entdeckung warf eine Fülle neuer Fragen auf: Woraus bestand die »Becquerel-Strahlung«? Wie konnten »unteilbare« Atome überhaupt strahlen, und wo nahmen sie die Energie dafür her? Wie kam es, daß die strahlenden Stoffe sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und in ihren Eigenschaften überhaupt nicht nachweisbar veränderten?

Hier setzte die Arbeit der aus Polen stammenden Physikerin Marie Sklodowska-Curie (1867 bis 1934) und des französischen Physikers Pierre Curie (1859 bis 1906) ein, des wohl berühmtesten Forscherpaares.

1897 entschied sich Marie Sklodowska-Curie für das Thema ihrer Doktordissertation. Sie wählte die Vertiefung und Weiterführung der Entdeckungen Becquerels:

»Auf interessante Ergebnisse brauchte ich nicht lange zu warten. Meine Untersuchungen zeigten, daß die Strahlung eine Atomeigenschaft des Urans ist, die von den physikalischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung des Uransalzes unabhängig ist. Sämtliche uranhaltigen Substanzen strahlen um so stärker, je mehr sie von diesem Grundstoff enthalten.«

Bei anschließenden Untersuchungen zeigte es sich, daß die geheimnisvollen Strahlen nicht nur vom Uran, sondern auch von Thorium ausgingen. Aber das war nicht die einzige Überraschung: Einige der von

Marie Sklodowska-Curie untersuchten Mineralien strahlten weit stärker, als es dem darin enthaltenen Uran oder Thorium entsprach.

Marie Sklodowska-Curie konnte nur eine Erklärung für dieses ungewöhnliche Verhalten geben: Die betreffenden Mineralien mußten Spuren eines stark strahlenden, bisher unbekannten Grundstoffes enthalten.

Der Suche nach diesem Grundstoff wandten sich die Curies zu. Als Ausgangsmaterial wählten sie Pechblende, ein uranhaltiges Material. Daraus mußte das Element abgesondert werden, dessen Eigenschaften – bis auf seine Strahlung – noch völlig unbekannt waren. Nach wenigen Wochen zeigte sich ein erster Erfolg: Die Proben strahlten intensiver; es war offensichtlich gelungen, die »radioaktive« Substanz anzureichern:

»Nach einigen Monaten gelang es uns, von der Pechblende eine Begleit-substanz des Wismuts abzusondern. Diese Substanz war um ein Vielfaches aktiver als das Uran und besaß sehr charakteristische chemische Eigenschaften. Im Juli 1898 gaben wir die Entdeckung dieser Substanz bekannt, die ich zu Ehren meiner Heimat Polonium nannte.«

Bei der Suche nach dem Polonium hatten die Curies Anzeichen dafür gefunden, daß die Pechblende Spuren einer weiteren stark radioaktiven Substanz enthielt. Auch die Suche nach diesem Element verlief erfolgreich:

»Nach weiteren Monaten beharrlicher Arbeit gelang es uns, diese zweite Substanz, die sich später viel wichtiger als das Polonium erwies, vom Barium zu trennen; im Dezember 1898 konnten wir die wissenschaftliche Welt von der Entdeckung dieses neuen, heute bereits berühmten Grundstoffes unterrichten. Diesen Grundstoff nannten wir Radium.«

Mit der Entdeckung des Radiums war erst ein Teil der Arbeit getan; denn zunächst war es nur physikalisch, auf Grund seiner Strahlung, nachgewiesen. Es kam nunmehr darauf an, es in wägbaren Mengen abzusondern, seine Eigenschaften, seine spezifischen Daten zu ermitteln.

Doch wie diese Arbeit anpacken? Die Curies verfügten über kein geeignetes Labor. Niemand half ihnen. Nicht einmal die nötigen Mineralien für ihre Untersuchungen hätten sie gehabt, wenn nicht Pierre Curie auf den Gedanken gekommen wäre, sich eine Waggonladung der damals als wertlos betrachteten Pechblendenabfälle zu beschaffen (Sie blieben bei der Gewinnung von Uransalzen übrig, die von der Glasindustrie verwendet wurden).

In einem Schuppen im Hof der Schule, an der Pierre Curie unterrichtete, improvisierten die Curies einen Laborraum. Er schützte weder vor Hitze noch vor Kälte, nicht einmal vor Feuchtigkeit. Doch sobald die Abfälle eingetroffen waren, gingen sie an die Arbeit.

Es war ein Suchen, das an Mühsal kaum seinesgleichen fand. Die Pechblendenrückstände mußten in großen Bottichen gekocht, mit Säure behandelt, eingedampft und stundenlang mit schweren Eisenstangen gerührt werden – eine Anstrengung, die die Curies oft an den Rand des körperlichen Zusammenbruchs brachte.

Unverdrossen teilte Marie Sklodowska-Curie ihren Tag zwischen Labor, Unterricht und Haushalt. Erst nach langen Versuchen begann die Strahlung der abgesonderten Stoffmengen an Intensität zuzunehmen; sie stieg weiter, je mehr die Curies die für sie uninteressanten Stoffe aus den Pechblendenabfällen abtrennten:

»Endlich kam der Augenblick, in dem die abgesonderte Substanz alle Eigenschaften eines chemisch reinen Körpers zeigte. Dieser Körper, das Radium, erzeugt ein eigenartiges Spektrum. Ich konnte auch sein Atomgewicht bestimmen, das wesentlich größer als das von Barium war. Das vollbrachte ich im Jahre 1902. Ich besaß damals ein Dezigramm sehr reines Radiumchlorid. Vier Jahre brauchte ich dazu, um den Forderungen der Chemie entsprechend nachzuweisen, daß das Radium tatsächlich ein neuer Grundstoff ist.« Und etwas bitter fügte Marie Sklodowska-Curie hinzu: »Hätten mir entsprechende Mittel zur Verfügung gestanden, so hätte dafür sicherlich ein Jahr gereicht.« Aber es war vorerst kein Profit absehbar, und so gab es diese Mittel eben nicht. Sie begannen in allen imperialistischen Ländern dieser Zeit zunehmend in die Rüstung zu fließen.

Das Radium war also nicht, wie manche gemeint hatten, das Hirngespinnst einer ehrgeizigen Physikerin. Es existierte, und es strahlte zweimillionenfach stärker als Uran. Zu den bekannten Eigenschaften radioaktiver Elemente kam nun noch eine hinzu, die man am Uran nicht hatte beobachten können: Die intensive Strahlung des Radiums rief physiologische Wirkungen hervor. Sie verbrannte die Haut, zerstörte Zellen, griff insbesondere kranke Zellen an. Sollte sich hier eine Möglichkeit ergeben, Geschwulstkrankheiten zu bekämpfen?

Noch während Pierre Curie mit Medizinern erste Tierversuche unternahm, sprach sich diese Wirkung des Radiums herum. Wie Jahre zuvor bei Röntgen ließen sich Vertreter verschiedener Firmen bei den Curies melden, um ihnen das »Rezept« der Radiumgewinnung abzukaufen. Doch die Curies, auch nach ihrer Heirat fast immer in finanzieller Bedrängnis, lehnten es ab, sich ihr Verfahren patentieren zu lassen.

1903 wird Marie und Pierre Curie, zusammen mit Becquerel, der Nobelpreis für Physik zuerkannt. Man beruft Pierre Curie als Professor für Physik an die Sorbonne; seine Frau wird als Assistentin bei ihm

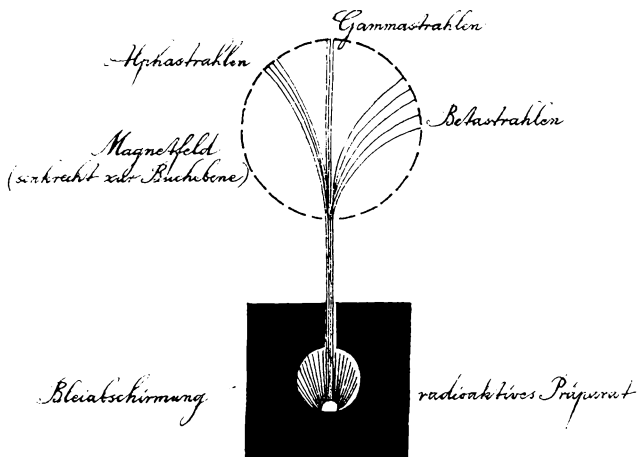
angestellt. Das Laboratorium aber, in dem die Curies weiterarbeiten, ist – wenn auch nicht mehr in einem Schuppen untergebracht – nach wie vor primitiv. Als am 19. April 1906 der Tod Pierre Curie aus seiner Arbeit reißt, ist der Curies größter Wunsch, ein großzügig eingerichtetes Laboratorium, noch immer unerfüllt.

Marie Sklodowska-Curies glücklichste Jahre sind vorüber. Trotzdem ringt sie sich durch, das gemeinsam begonnene Werk weiterzuführen. Als man ihr den Lehrstuhl ihres verstorbenen Mannes anträgt, nimmt sie an. 1911 erhält sie zum zweitenmal den Nobelpreis, diesmal für Chemie.

Endlich entschließen sich die Behörden, Marie Sklodowska-Curie ein modernes Institut einzurichten. Noch ehe es fertiggestellt ist, bricht der erste Weltkrieg aus. Marie Sklodowska-Curie unterbricht ihre Arbeiten und setzt alle Kräfte ein, um durch Einrichten von Röntgenstationen in Feldlazaretten wenigstens die Leiden lindern zu helfen, die der Krieg verursacht.

Erst nach Kriegsende bezieht sie das neue Institut und setzt ihre Arbeiten fort, verehrt von Gelehrten, Studenten und vielen einfachen Menschen in der ganzen Welt.

Noch einmal gibt es einen Höhepunkt in ihrem Leben: Anfang 1934 berichten ihre Tochter Irène (1897 bis 1956) und ihr Schwiegersohn



Die Strahlung eines radioaktiven Präparats

Frédéric Joliot (1900 bis 1958) in der Pariser Akademie über die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität. Als das Forscherpaar im folgenden Jahr mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wird, ist Marie Skłodowska-Curie bereits tot. Sie war im Juli 1934 gestorben – als Opfer der Strahlen, deren Erforschung ihre Tätigkeit gegolten hatte.

Die Arbeiten Becquerels und der Curies hatten ergeben, daß die radioaktiven Grundstoffe selbst die Quellen der rätselhaften Strahlung sind und daß die Strahlung unabhängig von allen chemischen Verbindungen ist, in denen diese Grundstoffe auftreten. Auch Hitze, Kälte oder Druck beeinflussten die Strahlung eines radioaktiven Elements nicht.

Was für Strahlen waren es überhaupt, die vom Uran, dem Thorium und vor allem vom Radium ausgingen? Wo stammten sie her? Bei den Katodenstrahlen hatte die Ablenkung durch magnetische oder elektrische Felder das Dunkel aufgehellert. Würde diese Methode auch bei radioaktiver Strahlung helfen können?

Ein erstes Ergebnis stellte sich sehr schnell ein: Trat die Strahlung, die sich mit Metallschichten abschirmen ließ, durch eine feine Blende, so wurde das übrigbleibende, engbegrenzte Strahlenbündel bereits durch ein schwaches Magnetfeld geteilt. Ein Teil der Strahlung ging scheinbar ohne Beeinflussung geradeaus weiter, der andere wurde auf einen Kreisbogen gezwungen. Eine solche Ablenkung kannte man bereits: Elektronen im Magnetfeld verhielten sich ebenso.

Hatte man es auch hier mit Elektronen zu tun? Viele Eigenschaften des abgelenkten Strahlenteils deuteten darauf hin. Für einen Beweis jedoch reichte das nicht aus. Deshalb bemühte man sich, die spezifische Ladung der vermuteten Teilchen zu bestimmen. Die Messung bestätigte die Erwartungen: Der Wert der spezifischen Ladung stimmte im Rahmen der Meßgenauigkeit mit dem von Elektronen überein. Die Folgerung war zwingend: Die radioaktive Strahlung enthielt Elektronen, die mit Hilfe des Magnetfeldes abgesondert wurden.

Was aber war mit der übrigen Strahlung? Ließ sie sich nicht ablenken, oder mußte man »robustere« Hilfsmittel, etwa vielfach stärkere Magnetfelder, einsetzen?

Mit der Beantwortung dieser Frage beschäftigte sich der Engländer Ernest Rutherford (1871 bis 1937). Das Resultat: Passierte der bisher nicht abgelenkte Rest der Strahlung ein starkes Magnetfeld, spaltete er sich nochmals. Wieder wurde nur ein Teil zur Seite gebogen, der diesmal jedoch, wie die Ablenkungsrichtung ergab, aus positiv geladenen Teilchen bestand; erneut blieb ein vom Magnetfeld unbeeinflusster Rest übrig.

Versuche, auch diesen Rest abzulenken oder zu spalten, schlugen fehl,

Seine genaue Untersuchung ließ keinen Zweifel daran, daß es sich um eine Wellenstrahlung handelte. Sie war den Röntgenstrahlen eng verwandt, unterschied sich aber von ihnen durch eine noch viel kleinere Wellenlänge.

Die radioaktive Strahlung war demnach, wie auch Versuche über ihr Eindringungsvermögen in feste Stoffe bestätigte, aus drei verschiedenen Komponenten zusammengesetzt; der aus negativen Elektronen bestehenden »Betastrahlung«, einer aus positiven, schwer ablenkbaren Teilchen bestehenden »Alphastrahlung« und den sehr kurzwelligen »Gammastrahlen«. Rutherford befaßte sich, unterstützt von seinem Mitarbeiter Frederick Soddy (1877 bis 1956), zunächst mit den Alphastrahlen. Bereits ihre positive Ladung überraschte. War man auf »positive Elektronen« gestoßen, deren Vorhandensein man seit der Entdeckung der negativen Katodenstrahlteilchen vermutete?

Ein erprobtes Verfahren mußte auch hier Auskunft geben können: Man bestimmte die spezifische Ladung der Alphastrahlenteilchen.

Das Resultat verursachte Rutherford und Soddy manches Kopfzerbrechen. So oft sie den Versuch auch wiederholten und die Ergebnisse durchrechneten – es blieb dabei: Die spezifische Ladung der Alphateilchen war etwa 3 600mal kleiner als die des Elektrons (allerdings mit positivem Vorzeichen).

Da die spezifische Ladung das Verhältnis von Teilchenladung und Teilchenmasse darstellt, gab es zwei Möglichkeiten, das Ergebnis zu deuten: Entweder war die Teilchenladung der Alphastrahlen 3 600mal geringer als die Elektronenladung, oder die Masse eines Alphateilchens war 3 600mal größer als die des Elektrons.

Die erste Annahme wurde durch keinerlei bekannte physikalische Tatsachen gestützt. Die zweite hingegen wies dem Alphateilchen die annähernd doppelte Masse eines Wasserstoffatoms zu.

Waren Alphateilchen elektrisch geladene Atome, »Ionen«? Ein naheliegender Schluß – aber man kannte kein Element mit der relativen Atommasse 2; und für einen noch unbekannten Stoff mit dieser Massenzahl war im Periodensystem Mendelejew's kein Platz.

Rutherford fand jedoch noch eine andere Möglichkeit, seine Meßresultate zu deuten: Setzte man Ionen eines Grundstoffes mit der Massenzahl 4 voraus, die jeweils zwei positive Ladungseinheiten trugen, kam man gleichfalls auf den gemessenen Wert der spezifischen Ladung. Einen Grundstoff mit der relativen Atommasse 4 aber gab es: das Edelgas Helium. Sollten Alphateilchen nichts anderes sein als positiv geladene Heliumatome?

Das war eine kühne Hypothese. Immerhin fand durch sie eine bekannte Erscheinung ihre Erklärung. In radioaktiven Mineralien waren stets auch Heliumspuren eingeschlossen, ohne daß man bisher ihre Herkunft hatte erklären können. Nahm man aber Rutherfords Hypothese an, mußte Helium geradezu als Begleiter radioaktiver Stoffe auftreten; denn diese strahlten auch unaufhörlich, während sie in der Erde ruhten.

Um seine Hypothese zu beweisen, ließ Rutherford Alphastrahlen durch ein dünnes Fenster in eine sorgfältig verschlossene Glasröhre eintreten, die außerdem ein verdünntes Gas enthielt. Nachdem der Versuch längere Zeit gelaufen war, ließen sich im Spektrum dieses Gases tatsächlich die Linien des Heliums nachweisen.

Rutherfords Hypothese hatte sich somit glänzend bestätigt. Aber wie sollte man die unumstößlichen Tatsachen in das Gebäude der Physik einordnen? Die radioaktiven Stoffe strahlten, die Strahlung entstammte ihren Atomen. Daran bestand kein Zweifel mehr. Aber konnte etwas aus unteilbaren Atomen »herauskommen«? Straften sie ihren Namen Lügen? Wie stand es um die Gültigkeit des Satzes von der Erhaltung der Masse, des Gesetzes von der Erhaltung der Energie, wenn man sie auf radioaktive Substanzen anzuwenden suchte, die sich nicht veränderten und doch ständig Teilchen und Wellen in den Raum strahlten?

Dieser Frage stellten Rutherford und Soddy eine weitere Hypothese entgegen: Die Atome der radioaktiven Substanzen bleiben nicht für alle Zeiten unveränderlich. Sie zerfallen nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten, mit verschiedenen Geschwindigkeiten und aus vorerst unbekannten Ursachen.

Dem Einwurf, daß bei Uran und Radium keine Veränderungen feststellbar seien, konnten Rutherford und Soddy mit zwei Argumenten begegnen: Einmal war seit der Entdeckung der Radioaktivität erst eine sehr kurze Zeitspanne verstrichen; es war ohne weiteres denkbar, daß der »radioaktive Zerfall« sich über einen viel längeren Zeitraum erstreckte und sich daher bis jetzt jeder Beobachtung entzogen hatte. Zum anderen aber gab es schon Belege dafür, daß die Strahlung nicht konstant blieb: Beim Polonium ging ihre Intensität jeweils nach etwa vier-einhalb Monaten auf die Hälfte zurück, bei einer von Rutherford gefundenen Thoriumart war sogar nach wenigen Tagen ein deutliches Absinken feststellbar.

Wie stand es mit anderen radioaktiven Stoffen? Die beiden Forscher nahmen sich eine noch unerklärte Beobachtung vor: Radioaktive Stoffe schienen stets Spuren unbekannter, radioaktiver Gase abzugeben, die bei genauen Messungen manchmal empfindlich störten.

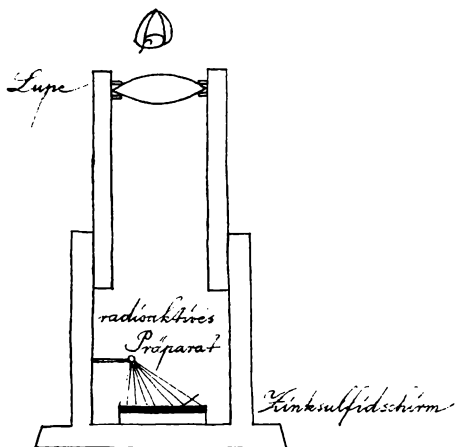
Es gelang den beiden Forschern, »Radium-Emanation« – später nannte man dieses Gas »Radon« – zu isolieren. Dieses Gas zeigte sich auch dann radioaktiv, wenn man es aus der Nähe des Radiums entfernte. Viel wichtiger für die Zerfallshypothese war eine andere Beobachtung: Als man das Spektrum eines abgeschlossenen Gemischs aus Luft und Radon mehrere Tage nacheinander untersuchte, traten anfänglich deutliche Linien auf, die man dem Radon zusprechen mußte. Sehr bald aber wurden diese Linien immer schwächer. Statt dessen traten neue Spektrallinien hervor – die des Gases Helium. In der Röhre hatte sich ein Grundstoff in einen anderen verwandelt! Was Alchimisten jahrhundertlang vergeblich versucht hatten, geschah hier von allein, ohne jedes menschliche Eingreifen.

Doch war Radon überhaupt ein chemisches Element? Wenn ja, mußte es sich in das Periodensystem einordnen lassen, und zwar in eine der noch bestehenden Lücken. Eine davon schien besonders geeignet, das Radon aufzunehmen: Sie befand sich zwischen Radium und Blei und mußte einen Grundstoff zugeteilt bekommen, der in seinem Verhalten einem Edelgas ähnelte.

William Ramsay (1852 bis 1916), dessen Tätigkeit seit jeher vor allem den Edelgasen gegolten hatte und der dabei gelernt hatte, auch mit winzigen Stoffmengen zu experimentieren, unternahm es, die Eigenschaften des Radon zu untersuchen. Ähnelte Radon einem Edelgas, mußte es ausgesprochen »verbindungsfeindlich« sein. Tatsächlich gelang es Ramsay trotz vieler Versuche nicht, irgendeine Radonverbindung darzustellen.

Um Radon unter die Elemente einordnen zu können, mußte seine relative Atommasse bestimmt werden. Auch diese Meisterleistung vollbrachte Ramsay. Der Wert, den er erhielt, stimmte annähernd mit dem überein, der nach dem Periodensystem zu erwarten war.

Die Rutherford-Soddysche Hypothese, die anfänglich stark angegriffen worden war, fand dank dieser Tatsachen allmählich Anerkennung. Man konnte durch Verfeinerung der Meßmethoden auch die Zerfallszeiten anderer radioaktiver Stoffe feststellen und führte den für die Atomphysik wichtigen Begriff der *Halbwertszeit* ein (das ist die Zeit, innerhalb der die Strahlungsintensität einer gegebenen radioaktiven Substanz sich um die Hälfte verringert). So fand man für das Uran eine Halbwertszeit von rund 4,5 Milliarden Jahren, während die Halbwertszeit des Radiums 1590 Jahre beträgt (daß es trotzdem noch Radium in nennenswerten Mengen gibt, liegt daran, daß es über mehrere Zwischenstufen ständig neu aus Uran gebildet wird).



Das Spinhartskop.

Mit diesem einfachen Hilfsmittel gelingt es, das Auftreffen einzelner Alphateilchen zu beobachten. Sie rufen auf dem Zinksulfidschirm winzige Lichtblitze hervor

Man erkannte, daß die radioaktiven Stoffe gewisse »Ketten« bilden, deren Glieder jeweils eines aus dem anderen hervorgehen. Uran, Thorium und Aktinium sind die Ausgangspunkte dieser *Zerfallsreihen*. In jüngster Zeit ist eine weitere Reihe hinzugekommen, die vom Neptunium ausgeht.

Aber die radioaktiven Stoffe »zerfielen« nicht nur und veränderten sich damit selbst, unbeeinflußbar durch alle chemischen und physikalischen Mittel, sondern gaben durch ihre Strahlung fortwährend Energie nach außen ab. Auch hatte man sehr bald festgestellt, daß radioaktive Präparate stets etwas wärmer sind als ihre Umgebung. Zwar ist diese Erwärmung oft gering, aber sie ist meßbar: 1 g Radium würde in einer Stunde eine Wärmemenge von 140 cal entwickeln. Das ist nicht viel, doch wird diese Energie über einen sehr langen Zeitraum abgegeben.

Galt der Satz von der Erhaltung der Energie im Bereich der Atome nicht mehr? Waren die radioaktiven Substanzen so etwas wie ein »atomares perpetuum mobile«?

Das Atom gab nicht unerschöpflich Energie ab, sondern nur für eine bestimmte, wenn auch sehr lange Zeit. Es schuf keine Energie aus dem

Nichts, sondern zehrte von einem Energievorrat in seinem Inneren. Ihn zu berechnen, bereitete keine großen Schwierigkeiten, wenn auch das Ergebnis immer wieder überraschte: 1 g Radium entwickelte im Laufe seines Zerfalls etwa hunderttausendmal mehr Energie als 1 g Wasserstoff beim Verbrennen.

Die Frage, wo und wie sich diese Energie verbirgt, warum sie nur sehr langsam freigesetzt wird und nicht längst alles Uran oder Radium in einer gigantischen Explosion zerfallen ließ, mußte vorerst unbeantwortet bleiben.

Quanten, Photonen, Energie

Das Elektron, die radioaktive Strahlung, die Zerfallsreihen waren mit den bisherigen physikalischen Erfahrungen nicht in Einklang zu bringen. Manches, was man für sicher gehalten hatte, wie die Unteilbarkeit und Unveränderlichkeit der Atome, schien auf einmal in Frage gestellt oder mußte von Grund auf neu durchdacht werden.

Doch schon im ersten Jahr des 20. Jahrhunderts entwickelte ein junger deutscher Wissenschaftler Gedanken, die – was zunächst nicht einmal ihr Urheber ahnte – zu noch einschneidenderen Korrekturen des physikalischen Weltbildes zwangen.

Max Planck (1858 bis 1947), der unter anderem bei Hermann von Helmholtz (1812 bis 1894) und Gustav Robert Kirchhoff studiert hatte, wandte sich vor allem der theoretischen Physik zu. Arbeitsplätze für theoretische Physiker waren damals dünn gesät, und Planck mußte warten, ehe ihm eine Stellung angeboten wurde, die seinen Fähigkeiten angemessen war und ihn befriedigen konnte. Als 31-jähriger wurde er auf den Lehrstuhl des inzwischen verstorbenen Kirchhoff nach Berlin berufen.

Neben seiner Vorlesungstätigkeit beschäftigte sich Planck vornehmlich mit der Theorie der Strahlung erhitzter Körper. Diese Strahlung, die einen weiten Wellenlängenbereich – von den verhältnismäßig langen infraroten Strahlen bis zum sichtbaren Licht – umfaßte, interessierte zahlreiche Physiker. Wie hängt, fragten sie, die ausgestrahlte Energie mit der Temperatur zusammen? Verteilt sich die Strahlung gleichmäßig über den ganzen Bereich des Spektrums, über sämtliche Wellenlängen, werden bestimmte Teile des Spektrums bevorzugt oder vernachlässigt?

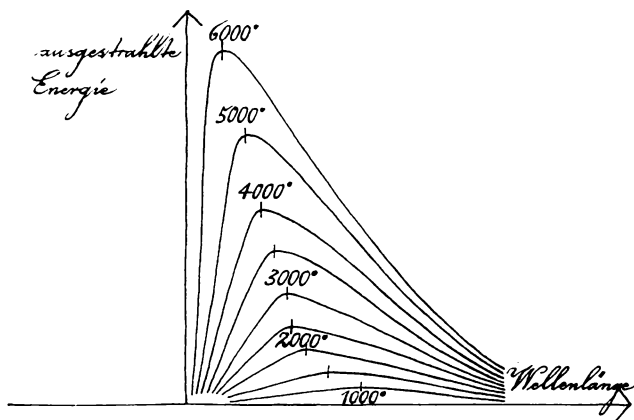
Sorgfältige Messungen ergaben, daß die Strahlungsenergie innerhalb eines schmalen Teils des Spektrums einen Höchstwert erreicht. Die Lage

dieses Maximums hängt von der Temperatur des strahlenden Körpers ab. Je heißer er ist, desto mehr verschiebt es sich in Richtung auf den kurzwelligen Teil des Spektrums.

Als man diese Zusammenhänge grafisch darstellte, erhielt man Kurven, deren Verlauf die Beschreibung durch eine mathematische Formel nahelegte. Sie zu finden war weit schwieriger, als man es sich anfänglich vorgestellt hatte.

1893 legte Wilhelm Wien (1864 bis 1928) einen mathematischen Ausdruck vor, der im kurzwelligen Teil des Spektrums zu einer brauchbaren Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Werten führte, jedoch im mittleren und langwelligen Teil des Spektrums versagte. Ein Gesetz für den langwelligen Teil wurde von anderen Physikern gefunden. Doch diese Formel gab den Kurvenverlauf im kurzwelligen und im mittleren Teil des Spektrums nicht richtig wieder. Ein Ausdruck, mit dessen Hilfe sich der gesamte Kurvenverlauf, die ganze Energieverteilung beschreiben ließ, fehlte.

Planck stellte sich die Aufgabe, dieses Gesetz zu suchen. Nach vielen vergeblichen Ansätzen gelang es ihm, eine Formel aufzustellen, die sich auf die Energieverteilung in allen Teilen des Spektrums anwenden ließ. Ihre theoretische Begründung stand zunächst aus. Sie konnte daher, wie Planck schrieb, für den Anfang nur die »... Bedeutung eines glücklich erratenen Gesetzes... besitzen. Daher war ich vom Tag ihrer Aufstel-



Wiensche Kurven

lung an mit der Aufgabe beschäftigt, ihr einen wirklich physikalischen Sinn zu verleihen . . .«

Innerhalb von zwei Monaten angestrengter Tätigkeit fand Planck diesen »physikalischen Sinn«. Er erläuterte die Strahlungsformel vor der Berliner Physikalischen Gesellschaft. Sein Vortrag rief ebensoviel Kopfschütteln wie Bewunderung hervor:

Um seine Formel begründen zu können, hatte Planck eine unveränderliche Größe, eine Konstante, einführen müssen – sie heißt heute *Plancksches Wirkungsquantum* –, die sich als Produkt aus Energie und Zeit ergab und damit, wie der Physiker es ausdrückt, die Dimension einer *Wirkung* hatte. Die Energieausstrahlung durch einen erhitzten Körper konnte, so forderten es Plancks Überlegungen, stets nur in ganzzahligen Vielfachen dieser Konstanten erfolgen.

Diese Behauptung stand in scharfem Widerspruch zu allen Erfahrungen und Ergebnissen der »klassischen« Physik. »Die Natur macht keine Sprünge«, ihre Erscheinungen verlaufen stetig – das war ein Grundsatz, dessen Gültigkeit von Naturwissenschaftlern kaum bestritten wurde. Die Mechanik, die Wärmelehre, das elektromagnetische Feld schienen ihn zu bestätigen. Die Differential- und Integralrechnung waren die ihm angemessene mathematische Methode.

Nach Planck hingegen erfolgte die Strahlung in Form einzelner, winziger »Portionen«, deren Energiebetrag sich errechnen ließ, indem man Plancks Konstante mit der Frequenz des strahlenden *Oszillators* multiplizierte.

Kam dem Wirkungsquantum physikalische Realität zu, oder war es nur eine Art Rechenhilfe? In seinem Vortrag anlässlich der Verleihung des Nobelpreises (1918) sprach Planck noch einmal die Gedanken aus, die damals ihn und viele Wissenschaftler bewegt hatten:

»Entweder war das Wirkungsquantum nur eine fiktive Größe; dann war die ganze Deduktion des Strahlungsgesetzes prinzipiell illusorisch und stellte weiter nichts vor als eine inhaltlose Formelspielerei, oder aber die Ableitung des Strahlungsgesetzes lag ein wirklicher physikalischer Gedanke zugrunde; dann mußte das Wirkungsquantum in der Physik eine fundamentale Rolle spielen, dann kündigte sich mit ihm etwas ganz Neues, bis dahin Unerhörtes an, das berufen schien, unser physikalisches Denken, welches seit der Begründung der Infinitesimalrechnung durch Leibniz und Newton sich auf der Annahme der Stetigkeit aller ursächlichen Zusammenhänge aufbaut, von Grund aus umzugestalten.«

Diese Vorstellung war so ungewohnt, daß viele Physiker sie zurückwiesen. Andere, unter ihnen Planck selbst, bemühten sich ohne Erfolg,

das Wirkungsquantum in den Rahmen der klassischen Physik einzuordnen. Rückschauend stellte Planck später fest:

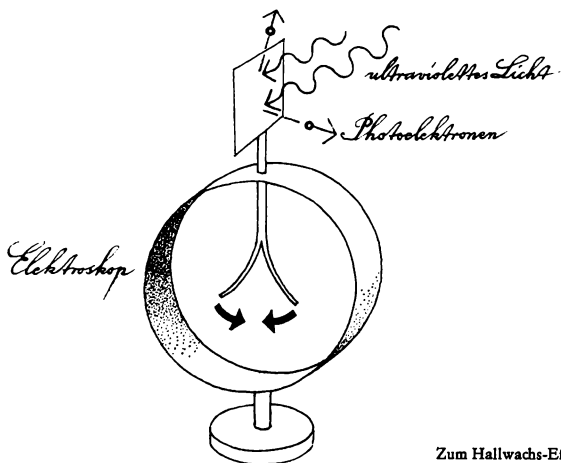
»Meine vergeblichen Versuche, das Wirkungsquantum irgendwie der klassischen Theorie einzugliedern, erstreckten sich auf eine Reihe von Jahren und kosteten mich viel Arbeit. Manche Fachgenossen haben darin eine Art Tragik erblickt. Ich bin darüber anderer Meinung. Denn für mich war der Gewinn, den ich durch solche gründliche Aufklärung davontrug, um so wertvoller. Nun wußte ich ja genau, daß das Wirkungsquantum in der Physik eine viel bedeutendere Rolle spielt, als ich anfangs geneigt war anzunehmen, und gewann dadurch volles Verständnis für die Notwendigkeit der Einführung ganz neuer Betrachtungs- und Rechenmethoden bei der Behandlung atomistischer Probleme.«

Die »neuen Betrachtungs- und Rechenmethoden« hatten sich, sollten sie anerkannt werden und Bedeutung erlangen, in der Praxis zu bewähren. Sie mußten es zum Beispiel ermöglichen, Erscheinungen zu klären, die nach den Vorstellungen der klassischen Physik unverständlich waren.

Diesem Aufgabenkreis wandte sich der Physiker Albert Einstein (1879 bis 1955) zu. Der gebürtige Ulmer hatte in Zürich studiert. Eine Stellung im Berner Patentamt ließ ihm genügend Zeit, physikalischen Problemen nachzugehen. Dabei beschäftigten ihn vor allem Fragen, die damals im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses standen.

Im Januar 1905 veröffentlichten die »Annalen der Physik« drei Aufsätze Einsteins, die seinen späteren Ruhm begründeten. Einer davon setzte sich mit einem Effekt auseinander, den 1887 Wilhelm Hallwachs (1859 bis 1922) entdeckt hatte: Bestrahlt man die Metallplatte eines negativ elektrisch geladenen Elektroskops mit ultravioletterem Licht, so entlädt sich das Elektroskop. Das Licht »schlägt« Elektronen aus dem Metall. Diese Erscheinung wird heute in Millionen Photozellen ausgenutzt.

Als man sie damals jedoch quantitativ untersuchte und die Energie der freigesetzten »Photoelektronen« bestimmte, zeigten sich Widersprüche. Man hatte in Übereinstimmung mit den Gesetzen der klassischen Physik erwartet, die Energie der Photoelektronen werde mit wachsender Lichtintensität zunehmen. Das war aber nicht der Fall. Bei größerer Lichtintensität wuchs lediglich die Zahl der Photoelektronen, ihre Energie blieb unverändert. Dagegen bestand überraschenderweise ein enger Zusammenhang zwischen der Energie der Photoelektronen und der Frequenz des einfallenden Lichts. Je höher die Lichtfrequenz war, desto energiereicher zeigten sich die Photoelektronen.



Zum Hallwachs-Effekt

Soweit die Ergebnisse, die Einstein vorfand. Der Zusammenhang zwischen der Energie der Photoelektronen und der Frequenz des auslösenden Lichts war für die klassische Theorie unerklärbar. Demgegenüber legte es die enge Verknüpfung zwischen Frequenz und Energie nahe, eine Deutung des *Photoeffekts* mit Hilfe des Planckschen Wirkungsquantums zu versuchen.

Das tat Einstein. Er ging dabei jedoch über Planck hinaus. Dieser hatte angenommen, Energie werde in Form kleiner Energiequanten ausgestrahlt oder aufgenommen. Was »unterwegs« geschah, ob die Quanten sich wellenförmig ausbreiteten oder erhalten blieben, hatte Planck zunächst nicht in seine Betrachtungen einbezogen. Einstein jedoch setzte voraus, daß auch die Ausbreitung der Energie in Quanten erfolge. Die Lichtstrahlung wie jede andere elektromagnetische Strahlung bestehe aus einzelnen, winzigen Teilchen, aus einer Art von »Energiepäckchen«, die mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum flögen und deren Energie sich als Produkt aus Frequenz und Wirkungsquantum ergäbe. Diese *Lichtquanten* oder *Photonen* träten beim Photoeffekt unmittelbar mit den Atomen in Wechselwirkung. Intensivere Lichtstrahlung bedeute mehr Photonen und infolgedessen mehr »angeregte« Atome. Strahlung höherer Frequenz entspräche energiereicheren Photonen und löse infolgedessen energiereichere Photoelektronen aus.

Einsteins Hypothese schockierte. Hatte Newton mit seinen Lichtkorpuskeln doch recht gehabt? War die durch zahlreiche Experimente gesicherte Wellenvorstellung falsch, von der Heinrich Hertz gesagt hatte: »... eine Widerlegung dieser Anschauung für den Physiker ist undenkbar. Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewißheit«? Oder verhielt sich das Licht unter bestimmten Voraussetzungen als Welle, unter anderen dagegen wie ein Strom kleinster Teilchen?

Zunächst mußten weitere Bestätigungen für Einsteins Behauptungen gefunden werden. Man brauchte nicht lange zu suchen. Da war zum Beispiel die seit mehr als 50 Jahren bekannte »Stokessche Regel« (Georg Gabriel Stokes, 1819 bis 1903): Wenn Licht auf eine fluoreszierende Fläche trifft, so ist die Frequenz des Fluoreszenzlichts fast immer niedriger, niemals jedoch höher als die Frequenz der auslösenden Strahlung (ein Röntgenschild zum Beispiel wird von kurzwelligen, unsichtbaren Röntgenstrahlen getroffen und strahlt sichtbares Licht größerer Wellenlänge zurück). Die Wellentheorie vermochte die Stokessche Regel nicht zu erklären. Unter der Voraussetzung von Lichtquanten wurde sie verständlich: Die auftreffenden Quanten geben einen Teil ihre Energie ab; infolgedessen ist die durch Frequenz und Wirkungsquantum bestimmte Energie der reflektierten Quanten geringer, ihre Frequenz vermindert sich.

Photochemische Erscheinungen bestätigen die Quantenhypothese ebenfalls: Bei der Belichtung von Fotoplatten wurden selbst bei geringster Lichtintensität noch immer einige Körnchen der lichtempfindlichen Schicht umgewandelt, während die übrigen Teile der Schicht unverändert blieben. Unter der Annahme von Photonen war diese Beobachtung leicht zu erklären. Nur solche Körnchen werden umgewandelt, auf denen Lichtquanten »Treffer« erzielten.

Einen experimentellen Beweis für die Existenz der Photonen lieferte auch der Amerikaner Robert Andrew Millikan (1868 bis 1953). Er ließ einfarbiges Licht bekannter Frequenz auf eine Platte fallen und maß so genau wie nur möglich die Energie der austretenden Photoelektronen. Auf diese Weise konnte er die von Einstein angegebene Beziehung nachprüfen. Einstein hatte den Photonen eine Masse zugesprochen. Sie unterschied sich allerdings in einem wesentlichen Punkt von der Masse normaler Stoffpartikeln: Ein ruhendes Photon gibt es nicht; stets fliegen Strahlungsquanten mit Lichtgeschwindigkeit, niemals langsamer und niemals schneller. Infolgedessen tritt die Photonenmasse nur als *Impuls-masse* in Erscheinung, zum Beispiel, wenn Photonen mit atomaren Teilchen zusammenstoßen.

Ein Experiment, das allerdings erst 1923 durchgeführt wurde, bestätigte auch diese Einsteinsche Überlegung. Der Amerikaner Arthur Compton (1892 bis 1962) nahm an, daß sich Photonen beim Zusammenstoß mit Elektronen ähnlich wie Bälle verhalten müßten: Das stoßende Quant würde einen Teil seines Impulses an das Elektron abgeben und es wegschleudern, selbst aber mit vermindertem Impuls reflektiert werden. Compton konnte zeigen, daß das tatsächlich eintrat, wenn man Elektronen, die lose an Metallatome gebunden waren, mit Röntgenlicht-Photonen beschloß. Die reflektierte Röntgenstrahlung hatte geringere Frequenz, ihr Impuls war vermindert. Die getroffenen Elektronen flogen unter dem vorausberechneten Winkel und mit der berechneten Geschwindigkeit weg. Dieses Experiment lieferte also einen deutlichen Beweis für den korpuskularen Charakter der Strahlung.

Ebenso eindeutig waren die Experimente des deutschen Forschers Walter Bothe (1891 bis 1957): Er ließ Licht in einen Körper dringen, der es nach allen Seiten streute. Zu beiden Seiten des Körpers brachte er hochempfindliche Instrumente an, mit denen sich sogar einzelne Lichtquanten »zählen« ließen. Nach der Wellenvorstellung hätten auch bei geringstem Lichteinfall stets beide Instrumente gleichzeitig ansprechen müssen. Das aber war nicht der Fall. Damit war erwiesen, daß es sich tatsächlich um einzelne Quanten handelte, die entweder nach der einen oder nach der anderen Seite abgelenkt werden konnten.

So hatte sich eine aller bisherigen physikalischen Erfahrung widersprechende Situation ergeben: Bestimmte Erscheinungen, zum Beispiel die Beugung, die Polarisierung und die Interferenz des Lichts, konnte man nur mit Hilfe der Wellentheorie erklären. Der Photoeffekt hingegen, die Versuche von Millikan und andere Erscheinungen waren nur unter der Annahme einzelner Photonen zu verstehen.

Das Licht, elektromagnetische Strahlung überhaupt, war also nicht entweder Welle oder Teilchen, sondern sowohl Welle als auch Teilchen. Es war kontinuierlich und diskontinuierlich. Beide Erscheinungsweisen schlossen einander nicht aus, sondern ergänzten sich bei der Beschreibung und Erklärung der physikalischen Vorgänge.

Diese dialektische Einheit, die später durch die Feststellung ergänzt und erweitert wurde, daß auch bewegten Teilchen Welleneigenschaften zukommen, erwies – wie so viele Beobachtungen seit der Entdeckung des Elektrons – nur einmal mehr, daß mechanische Vorstellungen nicht hinreichten, Naturvorgänge zu erklären.

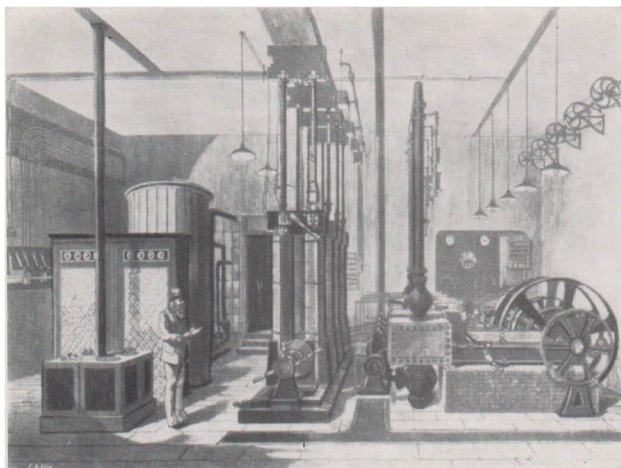
Nur der dialektische Materialismus vermag die Beziehungen zwischen Wesen und Erscheinung, die objektiv existieren, in der richtigen Weise



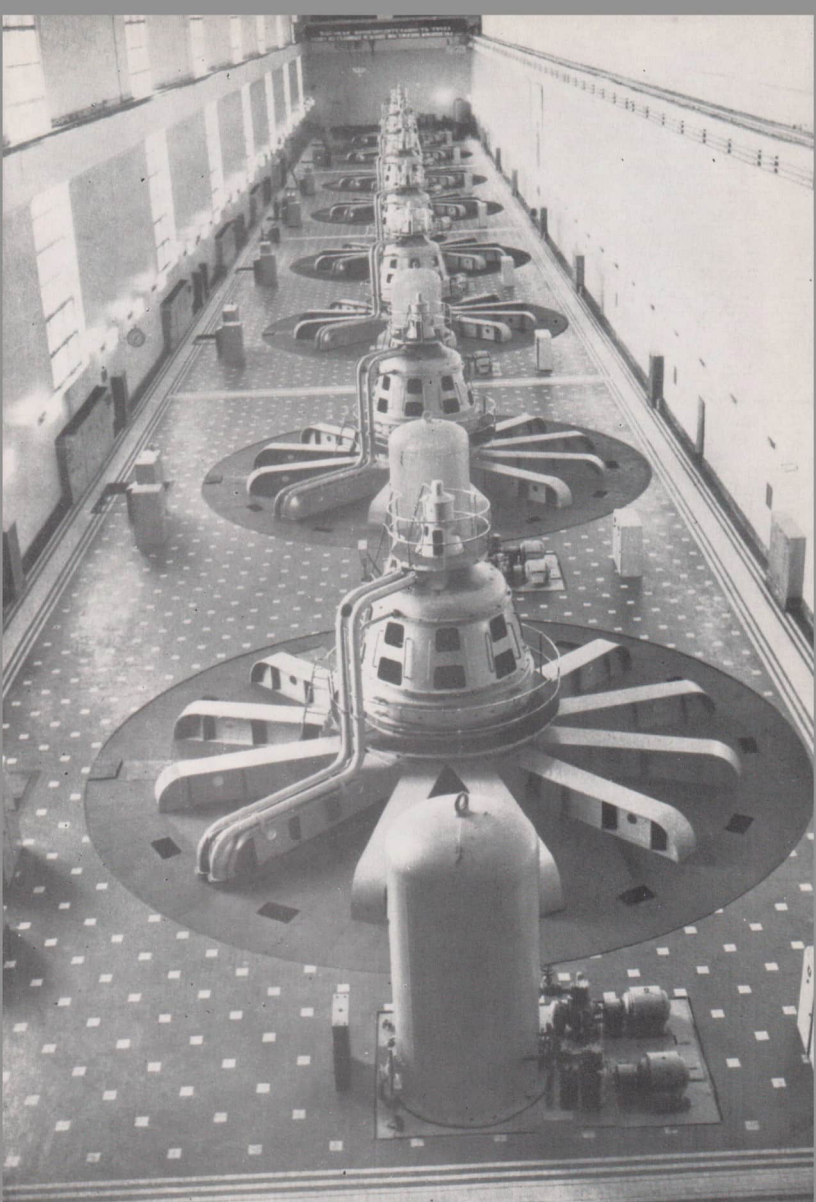
1899 fuhr in Berlin versuchsweise die erste elektrische Droschke. Doch die große Zeit des Elektromobils dürfte erst anbrechen. Im Stadtverkehr werden sich Elektrofahrzeuge schon bald durchsetzen müssen



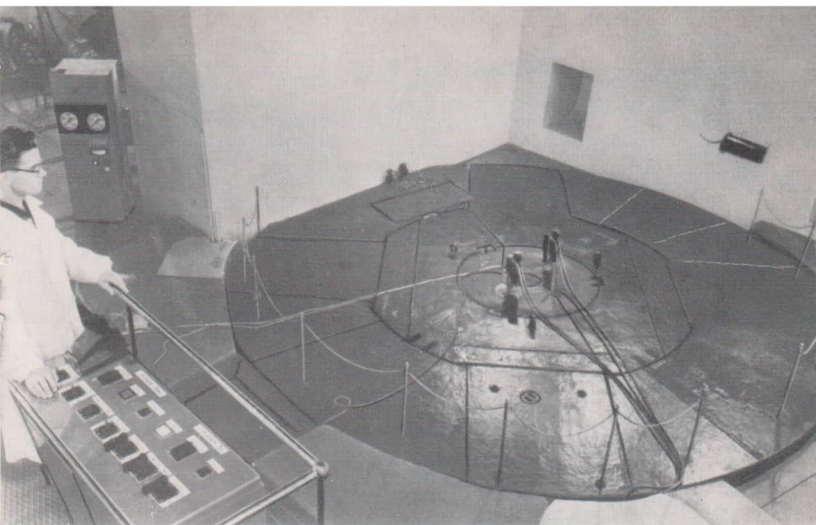
Mit 130 km/h
übers Wasser:
ein Luftkissenboot
für 66 Passagiere



Vier Dampfmaschinen mit je 65 PS betrieben im Jahre 1884 das Elektrizitätswerk im Keller des Hauses Friedrichstraße 55 in Berlin. Jede von ihnen brachte über einen Gleichstromgenerator etwa 450 Glühlampen zum Aufleuchten



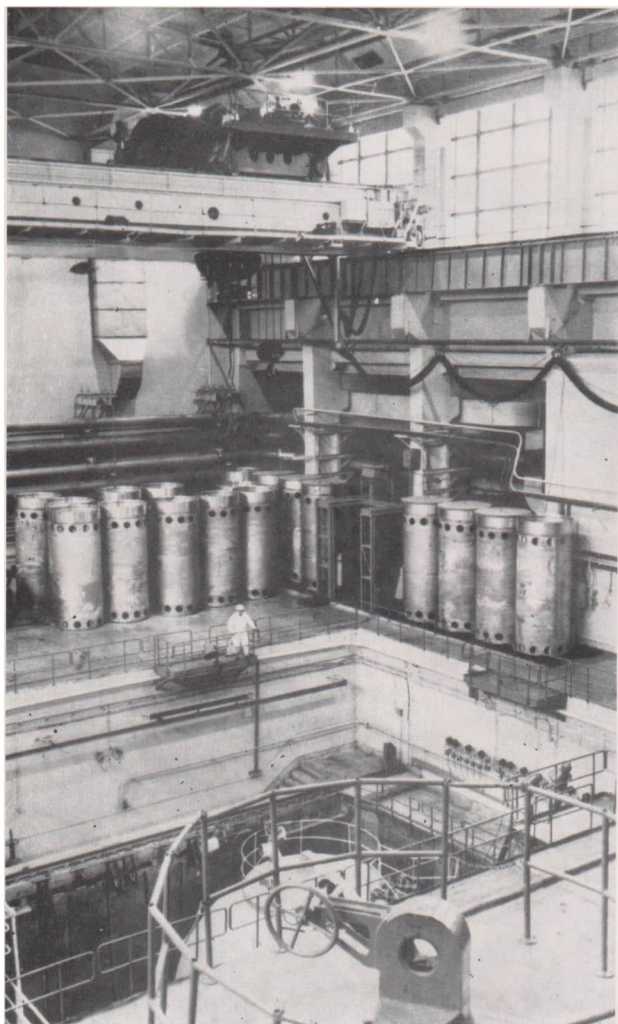




Das war der erste Kernreaktor der Welt, der Elektroenergie erzeugte. Im sowjetischen Kernkraftwerk Obninsk

Linke Seite: Laboratorium für hohe Energien inmitten des Beschleunigers in Dubna
Atomforscher



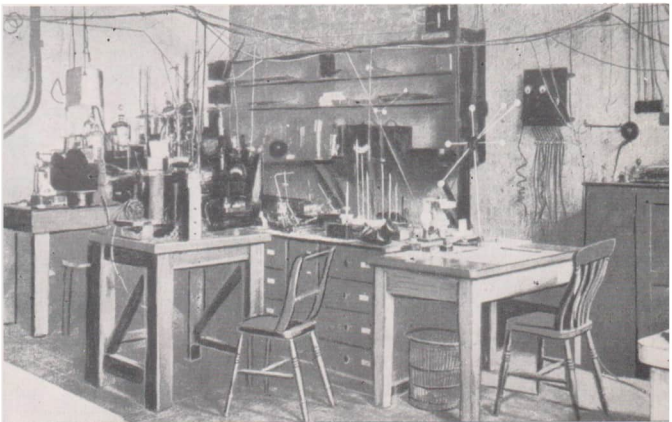


Pierre Curie in seinem Labor

Linke Seite: Eines der größten
Kernkraftwerke der Welt arbeitet
in Nowo-Woronesh



Ernest Rutherfords Labor





In einem Forschungslabor der Gegenwart

zu erfassen, den dialektischen Charakter der Natur zu begreifen und, indem er von der materiellen Einheit der Welt ausgeht, den objektiven dialektischen Zusammenhang aller Naturprozesse zu erkennen. Er lehrt, »daß es keinen materiellen Bereich gibt, der nicht durch materielle Prozesse mit einem anderen Bereich verbunden ist«.

Wir wissen bereits, daß die Versuche gescheitert waren, einen Äther als Träger elektromagnetischer Wellen nachzuweisen. Zwar wurden mehrere Hypothesen ausgearbeitet, die das Mißlingen der Versuche erklären sollten, doch sie wurden sämtlich widerlegt oder vermochten nicht zu befriedigen.

Wieder war es Einstein, der einen von der herkömmlichen Denkweise völlig abweichenden Weg einschlug. Er unterzog als völlig sicher geltende physikalische Grundbegriffe einer kritischen Untersuchung und kam dabei zu erstaunlichen Resultaten. Wir müssen uns hier darauf beschränken, einige seiner wichtigsten Gedanken und Ergebnisse zu streifen.

Newton hatte, als er die Grundlagen seiner Mechanik ausarbeitete, Raum und Zeit als etwas Absolutes, Unveränderliches, von allem Geschehen völlig Unabhängiges angenommen. Raum und Zeit waren für ihn eine Art Behälter, die unbeeinflusst davon blieben, ob in ihnen Naturvorgänge abliefen, ob sie von Materie »erfüllt« waren oder nicht. Diese Vorstellung trennte den absoluten Raum und die absolute Zeit von der Materie. Religiösen Lehren kamen solche Gedanken entgegen, boten sie doch genügend Platz für einen außerhalb des Kosmos vorhandenen Weltenlenker und -schöpfer.

Einstein entkleidete sowohl den Raum als auch die Zeit ihres absoluten Verhaltens. Er wies, ohne diese Bezeichnungen zu gebrauchen, den dialektisch-materialistischen Charakter von Raum und Zeit nach und arbeitete wichtige Gesetze dieser Zusammenhänge aus. Sie machten nicht nur die Annahme eines Äthers überflüssig, sondern hatten auch Folgerungen, die für den Fortgang von Wissenschaft und Technik unentbehrlich waren:

Die Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/s im Vakuum ist die größte mögliche Geschwindigkeit im Weltall. Kein Körper kann sie erreichen oder gar überschreiten. Sie behält außerdem stets ihren Wert, unabhängig davon, ob sich eine Lichtquelle relativ zu einem Beobachter bewegt oder nicht.

Die Masse eines Körpers ist keine unveränderliche Größe. Sie hängt vielmehr davon ab, mit welcher Geschwindigkeit sich ein Körper bewegt. Bei Geschwindigkeiten, wie sie normalerweise auf der Welt und

bei technischen Vorgängen auftreten, ist die Massenänderung so gering, daß man ihr keine Beachtung zu schenken braucht. Sie beginnt jedoch eine Rolle zu spielen, wenn Körper auf Geschwindigkeiten gebracht werden, die der Lichtgeschwindigkeit nahekommen.

Dafür gab es bereits damals einen experimentellen Beleg: Bei Versuchen mit schnellfliegenden Elektronen hatte – 1902 – Walter Kaufmann (1871 bis 1947) die überraschende und zunächst unerklärliche Feststellung machen müssen, daß die Elektronenmasse mit wachsender Geschwindigkeit zunimmt. Einstein gab hierfür einen mathematischen Ausdruck an, der mit den Messungen übereinstimmte. In der modernen Kernforschung, in der Teilchenströme höchster Geschwindigkeit benutzt werden, gehört die Formel für die Massenzunahme zum täglichen Handwerkszeug jedes Physikers.

Das gilt noch mehr für eine weitere von Einstein aufgedeckte Beziehung: Masse und Energie eines Körpers sind nicht unabhängig voneinander, sondern unmittelbar miteinander verknüpft. Jede Änderung der Energie eines Körpers wird von einer Massenänderung begleitet und umgekehrt, wobei bereits kleinen Massenänderungen sehr große Energieänderungen entsprechen.

Die »Einsteinsche Formel«, die diesen Zusammenhang mathematisch faßt, stieß anfangs wie die anderen Ideen Einsteins auf heftigen Widerspruch. Sogar Physiker lehnten sie ab. Auch in diesem Falle aber sprachen Messungen und Experimente ein gültiges Urteil. Zahlreiche Vorgänge in den Atomkernen belegten die Wechselwirkung zwischen Masse und Energie. Der eindringlichste und weitestreichende Beweis der Einsteinschen Formel aber ist die Erschließung der Kernenergie. Bereits Einstein hatte ihre Möglichkeit in einem Aufsatz angedeutet.

Der Aufbau des Atoms

Wie konnte die Entdeckung des Elektrons, der radioaktiven Strahlung und des radioaktiven Zerfalls mit der Atomlehre vereinbart werden? Diese Frage bewegte am Beginn des 20. Jahrhunderts viele Forscher. Die Vorstellung vom unteilbaren, unzerstörbaren Atom mußte endgültig aufgegeben werden. Offenbar war es aus noch kleineren Teilchen aufgebaut, und eine äußerst wichtige Aufgabe bestand darin, den »Bauplan« zu ergründen.

Völlig neu war der Gedanke des »zusammengesetzten« Atoms nicht. Wir erinnern uns, daß Prout bereits am Anfang des 19. Jahrhunderts

die Vermutung ausgesprochen hatte, alle Atome bestünden letztlich aus der »Urmaterie« Wasserstoff. Das Periodensystem Mendelejews schien ebenfalls auf Zusammenhänge hinzudeuten, die leichter erklärbar sein würden, wenn man annahm, daß Atome auf verschiedene Weise aus kleineren Bausteinen zusammengesetzt seien.

Mehrere Wissenschaftler unternahmen es, ein Modell zu entwerfen, das die neuen Erkenntnisse berücksichtigte.

Das erste *Atommodell*, das größere Bedeutung erlangte, wurde von William Thomson (Lord Kelvin) vorgeschlagen und von Joseph John Thomson ausgearbeitet. Man hat es »Rosinenkuchenmodell« genannt: Das kugelförmig gedachte Atom besteht aus einer Art positiver elektrischer Flüssigkeit. In sie sind, wie Rosinen in einen Kuchen, negative Elektronen eingebettet. Wenn sich positive und negative Ladungen die Waage halten, erscheint das Atom unelektrisch. Fehlen »Rosinen« oder sind sie im Überschuß vorhanden, wird das Atom zum positiven oder negativen Ion. Seine Ladung tritt dann auch nach außen hin in Erscheinung.

Manche Tatsachen und Beobachtungen sprachen für das Thomsonsche Modell. So ließen sich mit seiner Hilfe die elektrische Leitfähigkeit der Metalle und der Elektronenaustritt aus Metallen erklären. Auch versuchte Thomson, die Zahl der Elektronen, für die er bestimmte Gesetzmäßigkeiten errechnete, in Beziehung zur Anordnung der Elemente im Periodensystem zu setzen. Wenn das auch nur zum Teil und unter bestimmten Vereinfachungen gelang, so war es doch ein ernsthafter Versuch, dem vermuteten Zusammenhang zwischen Periodensystem und Atomaufbau näherzukommen.

Andere Beobachtungen ließen sich mit dem Thomsonschen Modell nicht oder nur schlecht in Einklang bringen. Sollte ein Atommodell sinnvoll sein, mußte es die Frage beantworten können, wie die Lichtstrahlung der Atome zustande kommt. Thomson nahm Schwingungen der Elektronen innerhalb des Atoms an. Aber selbst beim Wasserstoffatom, dem leichtesten und – wie man infolgedessen richtig vermutete – einfachsten Atom, versagte diese Annahme. Mit ihrer Hilfe war nicht zu erklären, wie das aus zahlreichen einzelnen Linien zusammengesetzte Spektrum des Wasserstoffs entstand.

Es gab noch andere Widersprüche: Die Elektronen des Thomsonschen Modells waren gegen Einwirkungen von außen durch den »positiven Kuchenteig« geschützt. Wie kam es dann, daß manche Atome leicht Elektronen aufnahmen oder abgaben? Wie sollte man den radioaktiven Zerfall deuten?

Lenard hatte Katodenstrahlen untersucht, indem er sie durch ein Fenster aus dünner Aluminiumfolie ins Freie treten ließ. Obwohl abzuschätzen war, daß in der Folie noch Tausende Aluminiumatome »hintereinander« lagen, wurden die Elektronen wenig behindert. Auch das vertrug sich schlecht mit dem Rosinenkuchenmodell.

Um die Ladungsverteilung in Atomen aufzuklären, stellten Rutherford und seine Mitarbeiter ähnliche Versuche wie Lenard an. Als »Geschosse«, die sie auf eine Aluminiumfolie prallen ließen, benutzten sie jedoch keine Elektronen, sondern die von radioaktiven Präparaten ausgehenden Alphastrahlen. Vor und hinter die Folie stellten sie Leuchtschirme, die auftreffende Alphastrahlen durch winzige Lichtblitze anzeigten. Durch diese Anordnung ließen sich sowohl Alphastrahlen beobachten, die die Folie durchdrangen, als auch solche, die von ihr reflektiert wurden.

Die Auswertung der Versuche zeigte, daß die meisten Alphateilchen durch die Folie hindurchflogen und dabei nur geringfügig abgelenkt worden waren, obwohl sie, wie die Rechnung ergab, Atome »durchbohrt« haben mußten. Einige wenige Teilchen dagegen waren, wie der zweite Schirm durch sein Aufblitzen signalisierte, von der Folie zurückgeprallt.

Die schwache Ablenkung der Mehrzahl der Teilchen ließ sich durch die anziehenden Kräfte der negativen Elektronen erklären, an denen die Teilchen vorbeiflogen. Die Ablenkung um große Winkel dagegen konnte nicht von Elektronen verursacht worden sein. Als Ursache kam nur die Abstoßung durch eine größere positive Ladung in Betracht. Diese mußte überdies, wie nähere Untersuchungen ergaben, auf engstem Raum konzentriert sein und nahezu die gesamte Masse des Atoms enthalten.

Es blieb nichts übrig, als das Thomsonsche Atommodell grundlegend zu revidieren: Im Inneren des Atoms waren die positive Ladung und der größte Teil seiner Masse auf engstem Raum zusammengedrängt. Die Elektronen befanden sich außerhalb dieses »Kerns«, und zwar verhältnismäßig weit davon entfernt. Der Raum zwischen dem Kern und den Elektronen war leer. Alphastrahlen konnten ein solches Atom leicht durchqueren und wurden nur dann nennenswert abgelenkt, wenn sie in unmittelbare Nähe eines positiven Atomkerns gerieten.

Allerdings genügte diese Vorstellung nicht: Normalerweise wären die außerhalb des Kerns befindlichen Elektronen dazu verurteilt, auf Grund der elektrischen Anziehungskräfte in den Kern zu »stürzen«. Rutherford mußte daher Gegenkräfte annehmen, die die Anziehung aufhoben. Auf Grund dieser Überlegungen entwickelte er sein »Planetenmodell«. 1911 trat er damit an die Öffentlichkeit.

Das Zentrum des Atoms bildet danach der Atomkern, der die ganze positive Ladung und fast die gesamte Masse des Atoms enthält. Um diesen Kern kreisen, wie Planeten um die Sonne, Elektronen. Ihre Umlaufgeschwindigkeit ist, je nach dem Abstand vom Atomkern, gerade so groß, daß sich die zum Kern gerichtete elektrische Anziehungskraft und die nach außen wirkende Zentrifugalkraft aufheben.

Den Atomkern dachte sich Rutherford aus kleinen, positiv geladenen Masseteilchen zusammengesetzt. Jedes dieser Teilchen sollte eine der Elektronenladung entsprechende positive Elementarladung tragen. Das einfachste Atom, das Wasserstoffatom, bestand demnach aus einem positiven Kernteilchen, einem »Proton«, das von einem Elektron umkreist wurde.

Sobald man Atome anderer Grundstoffe nach dem gleichen Schema »aufbauen« wollte, tauchten allerdings Schwierigkeiten auf. Bereits das nächstschwerere Element, das Edelgas Helium, forderte, seiner relativen Atommasse entsprechend, einen aus vier Protonen zusammengesetzten Kern, während man auf Grund anderer Untersuchungen wußte, daß diesen Kern nur zwei Elektronen umkreisten. Trotzdem erschien das Heliumatom nach außen elektrisch neutral. War bereits das ein Widerspruch, so war noch weniger einzusehen, warum die positiven Kernteilchen beisammenblieben. Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab. Das galt offensichtlich auch im atomaren Bereich; denn die positiven Alphateilchen wurden in Atomkernnähe stark abgelenkt. Der Atomkern hätte demnach auseinanderfliegen müssen.

Rutherford nahm deshalb »Kernelektronen« im Atominneren an. Diese kompensierten, so meinte er, einerseits einen Teil der im Kern konzentrierten Ladung und trugen auf der anderen Seite dazu bei, den Kern trotz der sich abstoßenden Protonen zusammenzuhalten.

Das Kohlenstoffatom beispielsweise stellte sich Rutherford so vor: Im Kern sind 12 Protonen vereint. Die Ladung von 6 dieser Protonen wird durch 6 Kernelektronen kompensiert. So bleibt nach außen nur eine *Kernladung* von 6 Ladungseinheiten übrig, denen durch 6 Elektronen auf Bahnen um den Kern das Gleichgewicht gehalten wird. Andere Atome ließen sich entsprechend entwerfen. Dabei stieß man auf die Beziehung, daß bei vielen Elementen die Kernladungszahl, das heißt die Zahl der im Kern nicht kompensierten Protonen und zugleich auch die Zahl der den Kern umkreisenden Elektronen, ungefähr dem halben »Atomgewicht« entspricht.

Wir wissen heute, daß die Annahme von Kernelektronen falsch war. Der Atomkern enthält keine Protonen, deren Ladung durch Kern-

elektronen gewissermaßen abgefangen wird, sondern unelektrische Masseteilchen, *Neutronen*. Ihre Masse stimmt mit der der Protonen nahezu überein. Sie wurden jedoch erst 1932 von dem Engländer James Chadwick (geb. 1892) entdeckt.

Trotzdem ließen sich mit Hilfe des Rutherfordschen Atommodells viele bekannte Erscheinungen erklären und Beziehungen voraussagen, die sich später bestätigten.

Man erkannte, daß an chemischen Vorgängen nur die aus den kreisenden Elektronen gebildete *Elektronenhülle* beteiligt ist, während radioaktive Erscheinungen ihren Ursprung im Atomkern haben. Besonders wichtig war die Feststellung, daß die Kernladungszahl den Platz bestimmt, an den ein Grundstoff im Periodensystem gehört. Kernladungszahl und »Ordnungsnummer« im Periodensystem stimmen überein. Während man anfänglich hatte annehmen müssen, die relative Atommasse sei die für die Natur der Elemente entscheidendste Größe, erkannte man jetzt, daß diese Rolle der Kernladung zukam.

Damit konnten Unstimmigkeiten im Periodensystem beseitigt werden. Kobalt und Nickel, Jod und Tellur zum Beispiel hatten scheinbar ihre Plätze vertauscht. Legte man dagegen nicht die Massenzahl, sondern die Kernladungszahl als Ordnungsprinzip zugrunde, klärte sich dieser Widerspruch auf.

Auch eine andere überraschende Beobachtung fand ihre Erklärung. Endglied jeder radioaktiven Zerfallsreihe war Blei. Dieses Blei unterschied sich, gleichgültig, ob es aus der Uran-, der Thorium- oder der Aktiniumreihe stammte, in nichts von natürlichem Blei, was die chemischen Eigenschaften anbelangte. Nur etwas war merkwürdig: Während natürliches Blei eine relative Atommasse von 207,2 besaß, erhielt man bei »Uranblei« 206, bei »Thoriumblei« 208 und bei »Aktiniumblei« 207.

Mit Hilfe der Gesetze des radioaktiven Zerfalls und der Rutherfordschen Thesen kam man auf die Lösung: Die Kernladung aller drei aus radioaktivem Zerfall entstehenden Bleisorten ist gleich, und damit sind auch alle drei chemisch »dasselbe« Blei – nur in der *Kernmasse* unterscheiden sie sich: Bei jeweils 82 Protonen enthält Thoriumblei 126 Neutronen (bzw., wie man damals annahm, Protonen-Kernelektronen-Paare), Aktiniumblei 125 Neutronen und Uranblei 124 Neutronen. Wir haben also drei Bleisorten vor uns, die an die gleiche Stelle des Periodensystems gehören – daher spricht man von *Isotopen* – und sich nicht chemisch, dagegen im Aufbau ihrer Atomkerne unterscheiden. Das natürliche, in Mineralien gefundene Blei ist ein Gemisch aus den drei genannten und einem weiteren Bleiisotop mit der Massenzahl 204.

Man fragte sich, ob auch andere Elemente Isotope besäßen; denn viele Massenzahlen wichen erheblich von ganzen Zahlen ab und waren daher mit dem Rutherford'schen Atommodell nicht in Einklang zu bringen. Die Vermutung lag nahe, daß auch diese Elemente Isotopenmische seien.

Wie aber sollte man das experimentell nachweisen? Da sich Isotope chemisch in nichts unterscheiden, konnten sie mit chemischen Methoden auch nicht getrennt werden. Man mußte zu physikalischen Verfahren greifen. Hierfür bot die unterschiedliche Kernmasse der Isotope den einzigen Ansatzpunkt.

Die Forscher gingen davon aus, daß elektrisch geladene Atome – Ionen – wie Elektronen durch magnetische und elektrische Kräfte abgelenkt werden, wobei die Größe der Ablenkung nicht allein von den Daten der Felder, sondern auch von der Teilchengeschwindigkeit und -masse abhängt. Darauf bauten Joseph John Thomson und vor allem Francis William Aston (1877 bis 1945) die *Massenspektrographie* auf, ein empfindliches Verfahren zur Trennung von Isotopen.

Eine luftleer gepumpte Röhre enthält eine Katode, die in Längsrichtung der Röhre mit einer feinen Bohrung versehen ist. Füllt man den zu untersuchenden Stoff als Gas oder Dampf unter niedrigem Druck in die Röhre und löst in dieser eine elektrische Entladung – ähnlich wie bei den Versuchen Geißlers – aus, so werden positive Gasionen gebildet. Ursache sind die unter dem Einfluß der elektrischen Spannung in der Röhre beschleunigten Elektronen, die weitere Elektronen aus den Gas-Teilchen herausschlagen. Diese positiven Ionen werden von der Katode angezogen, einige durchfliegen die Bohrung. Bei geeigneter Versuchsanordnung erhält man ein eng begrenztes Strahlenbündel. Es wird durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld geschickt. Dabei wird der Strahl, je nach Geschwindigkeit und Masse der Teilchen, aufgefächert.

Durch einen Kunstgriff läßt sich erreichen, daß sich Geschwindigkeitsunterschiede nach der Ablenkung nicht mehr auswirken. Auf der fotografischen Platte, die zum Auffangen der *Kanalstrahlen* benutzt wird, erfolgt daher (gleiche Teilchenladung vorausgesetzt) die Trennung nur noch nach Unterschieden in der Teilchenmasse. Auf diese Weise lassen sich die Isotope eines Elements »sortieren«.

Um 1910 benutzte Thomson dieses Verfahren mit Erfolg bei der Suche nach Isotopen des Edelgases Neon. Etwa ein Jahrzehnt später hatte Aston die Methode weiter ausgebaut und so verfeinert, daß der *Massenspektrograph* zu einem der wichtigsten Hilfsmittel der Atomphysik wurde. Er ermöglichte es, die Masse von Atomkernen mit einer

bis dahin unerreichten Genauigkeit zu bestimmen und Hunderte Isotope zu entdecken. Die erhaltenen Stoffmengen sind allerdings winzig. Erst weitere Jahrzehnte später gelang es durch Abwandlung des Verfahrens und auch durch Anwendung anderer physikalischer Methoden, technisch nutzbare Isotopenmengen voneinander zu trennen.

Rutherfords Atommodell hatte die Grenzen unseres Wissens vom Aufbau der Atome um ein weites Stück hinausgeschoben. Es führte jedoch sofort auf neue Fragen:

Elektronen, die den Atomkern umkreisen, hätten nach den Gesetzen der Elektrodynamik elektromagnetische Strahlung aussenden, dadurch Energie verlieren und auf Spiralbahnen in den Atomkern stürzen müssen. Rutherfords Atom war aber »stabil«, seine Elektronen sollten ständig kreisen.

Es gab noch mehr, was unerklärlich blieb: Nach Rutherford mußten je nach der Geschwindigkeit der umlaufenden Elektronen beliebig viele Elektronenbahnen möglich sein. Warum aber strahlten Atome, wie die Spektren erwiesen, nur Licht bestimmter Wellenlänge aus, und warum wurde überhaupt Licht ausgestrahlt?

Der Däne Niels Bohr (1885 bis 1962) wagte es, zur Erklärung der Vorgänge im Atom einen völlig neuen Weg einzuschlagen. Er wandte die Planckschen Erkenntnisse auf das Atom an und behauptete:

Ein Elektron kann sich nicht in beliebigem Abstand um den Atomkern bewegen. Vielmehr sind ihm bestimmte Bahnen vorgeschrieben. Auf ihnen bewegt es sich »stabil«, ohne Energie auszustrahlen. Wird dem Atom von außen Energie zugeführt, die einen bestimmten, durch die Plancksche Theorie gegebenen Betrag erreicht, so werden Elektronen von einer dichter am Kern gelegenen, energieärmeren Umlaufbahn auf eine weiter außen befindliche, energiereichere Bahn gehoben. Ein auf diese Weise »angeregtes« Atom verbleibt aber nicht in diesem Zustand. Es springt vielmehr auf eine energieärmere Bahn zurück und gibt dabei die aufgenommene Energie in Form elektromagnetischer Strahlung – zum Beispiel als winzigen Lichtblitz – wieder ab.

Das waren so neuartige und ungewöhnliche Gedankengänge, daß sich viele Physiker nicht mit ihnen anzufreunden vermochten. Bohr jedoch, der seine Hypothesen 1912/13 ausgearbeitet hatte, lieferte schon bald einen – wenn auch vorerst theoretischen – Beweis für ihre Richtigkeit.

1885 hatte der Schweizer Lehrer Johann Jakob Balmer (1825 bis 1898) das Linienspektrum des Wasserstoffs untersucht und sich bemüht, eine Gesetzmäßigkeit für die Lage der einzelnen Spektrallinien zu fin-

den. Tatsächlich konnte er eine Formel aufstellen, die mit der Lage der einzelnen Linien gut übereinstimmte. Sie war allerdings durch Probieren entstanden. Weder Balmer noch andere konnten sie begründen (später wurden noch weitere »Serien« im unsichtbaren Teil des Spektrums gefunden). Bohr hingegen berechnete auf Grund seiner Voraussetzungen und Annahmen das Spektrum des Wasserstoffatoms, wobei sich die Balmerische Formel als ein Sonderfall der von Bohr formulierten allgemeineren Gesetzmäßigkeit herausstellte.

Die Berechnung der Wasserstofflinien war ein großer Erfolg der Hypothese Bohrs. 1914 wurde für sie auch ein experimenteller Beleg erbracht. Gustav Hertz (geb. 1887) und James Franck (1882 bis 1964) zeigten, daß Atome tatsächlich nur in bestimmten Portionen Energie aufnehmen und abgeben können, für deren Größe das Wirkungsquantum die entscheidende Rolle spielt. Umgekehrt ließ sich aus den Versuchsergebnissen die Plancksche Konstante ableiten.

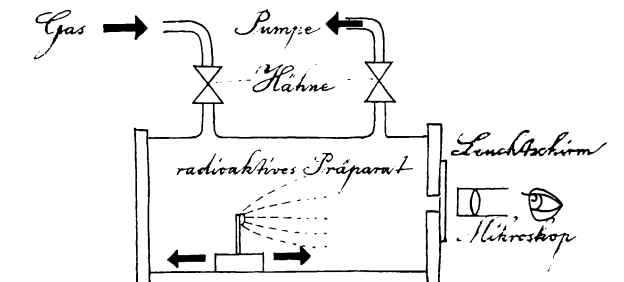
Bei komplizierter zusammengesetzten Atomen bereitete die Berechnung der Spektren und Daten der *Elektronenhülle* zwar große Schwierigkeiten, doch bestätigten die Resultate die Theorien Bohrs. Je mehr Einzelheiten man allerdings über den Atomaufbau erfuhr, desto deutlicher zeigte es sich, daß das Atommodell von Rutherford und Bohr zwar den Vorzug großer Anschaulichkeit besaß, aber nicht ausreichte, die komplizierten Vorgänge im Atom zu beschreiben. Ständige Verbesserungen und Verfeinerungen waren nötig. Bei ihrer Einführung leistete die Quantentheorie wertvolle Hilfe. Dabei ging zwar die Bildhaftigkeit des Planetenmodells mehr und mehr verloren, doch wurde dies durch eine immer tiefere und genauere Einsicht in die Gesetze des Atomaufbaus aufgewogen.

Den nächsten großen Erfolg bei der Erforschung des Atomkerns verdankt die Wissenschaft wiederum Rutherford.

Man hatte die natürliche Radioaktivität inzwischen eingehend studiert. Wie aber verhielten sich die Kerne anderer Atome? Waren sie wirklich so unveränderlich, wie es den Anschein hatte?

Rutherford knüpfte an eine Beobachtung an, die ihm und seinen Kollegen immer wieder begegnet war: Die von Rutherford aufgestellte »Streuformel« für den Zusammenstoß zwischen Alphateilchen und Atomkernen versagte mitunter. Wurden schwere Atome als Ziel gewählt, stimmten Messung und Rechnung gut überein. Beschoß man dagegen leichtere Atome mit Alphateilchen, zeigten sich deutliche Abweichungen.

Die Ursache dieser Erscheinung mußte mit der Kernladung der beschossenen Grundstoffe zusammenhängen. Bei schweren Kernen bildete



Rutherford's Versuchsanordnung zur Kernspaltung

offenbar die Abstoßung durch die positive Kernladung eine Art von Schutzwall, der Alphateilchen ablenkte, bevor sie den Kern erreichen konnten. Wurde dieser Schutzwall bei leichteren und damit schwächer geladenen Kernen von Alphateilchen durchbrochen? Gerieten sie in unmittelbare Kernnähe, durchbohrten sie die Kerne? Blieben vielleicht sogar Alphateilchen in getroffenen Kernen stecken?

Rutherford führte seine Untersuchungen mit einer ebenso einfachen wie sinnreichen Anordnung fort: Eine weite Glasröhre wurde mit zwei Hähnen versehen. Über den einen konnte die Röhre evakuiert werden, über den anderen ein zu untersuchendes Gas einströmen. Ein Röhrendende wurde durch einen Leuchtschirm abgeschlossen, in der Röhre ein radioaktives Präparat als Alphastrahlenquelle verschiebbar angebracht. Den Abstand zwischen Leuchtschirm und Präparat und den Gasdruck regulierte Rutherford so ein, daß die vom Präparat ausgehenden Alphateilchen den Schirm nicht erreichen konnten.

Rutherford begann, verschiedene Gase zu untersuchen. Füllte man Gase aus schweren Molekülen – zum Beispiel Sauerstoff oder Kohlendioxid – in die Röhre, so waren, wie zu erwarten, keine Lichtblitze zu beobachten. Die Alphateilchen flogen nicht bis zum Leuchtschirm. Als der Forscher die Röhre jedoch mit Stickstoff füllte, meldete der Schirm das Auftreffen elektrisch geladener Teilchen.

Alphateilchen schieden wegen ihrer begrenzten Reichweite aus. Als man den Flugweg der Teilchen durch elektrische und magnetische Kräfte beeinflusste, ergab sich, daß es Protonen, Wasserstoffkerne, sein mußten.

Wo kamen sie her? Enthielt der Stickstoff Wasserstoffspuren, deren Atome durch die Alphateilchen ionisiert und durch den Zusammenprall

zum Schirm geschleudert wurden? Doch auch sehr sorgfältig gereinigter Stickstoff änderte nichts am Versuchsergebnis.

Es blieb nur eine Deutungsmöglichkeit übrig: Die freigesetzten Protonen entstammten Stickstoffatomen. Das aber hieß: Die von den Alchimisten vergeblich gesuchte, beim radioaktiven Zerfall von allein auftretende Umwandlung chemischer Elemente war hier durch einen vom Menschen kontrollierten Anstoß verwirklicht worden. Das schien zunächst kaum glaubhaft, doch weitere Experimente und Berechnungen ließen keinen Zweifel:

Stickstoff mit der relativen Atommasse 14 und der Kernladungszahl 7 wurde durch Beschießen mit Alphateilchen (Atomgewicht 4, Kernladungszahl 2) in Sauerstoff umgewandelt, und zwar in ein Sauerstoffisotop mit der Kernladungszahl 8 und der relativen Atommasse 17. Dabei wurde ein Wasserstoffkern frei und brachte den Leuchtschirm zum Aufblitzen.

Wenn sich auch die Umwandlung bei Rutherfords Versuch gewissermaßen »Atom für Atom« vollzog, in derart geringen Mengen, daß an eine praktische Nutzung vorerst nicht zu denken war, so war das Ergebnis doch sensationell: Nicht nur die Umwandelbarkeit der nicht radioaktiven Elemente war erwiesen, sondern diese Umwandlung war von Menschenhand bewußt hervorgerufen worden.

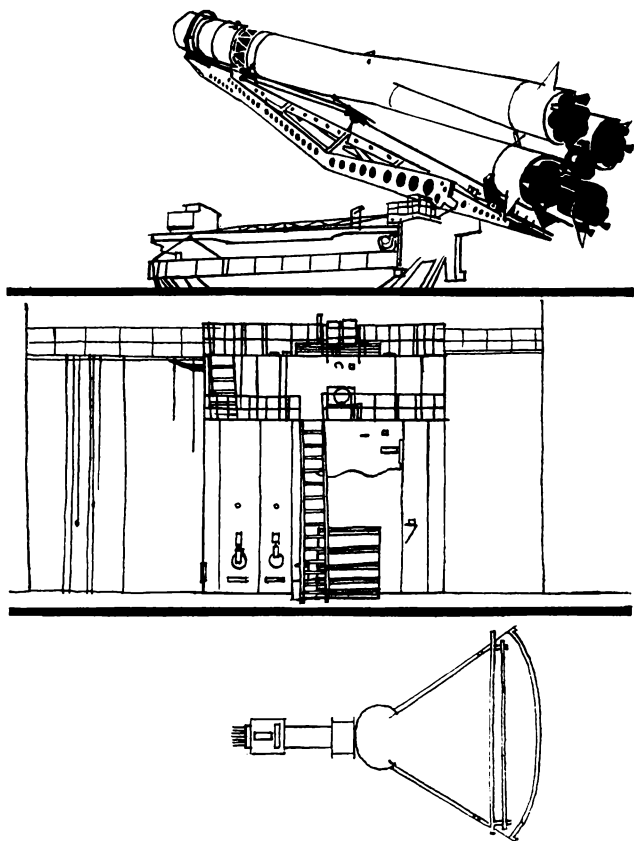
Man versuchte an anderen chemischen Grundstoffen, was 1919 bei Stickstoff geglückt war. Rutherford fand aus dem Kern stammende Protonen bei Fluor, Bor und Aluminium, um nur einige Elemente zu nennen. Zahlreiche weitere Grundstoffe konnten später ebenfalls durch Beschuß mit Alphateilchen umgewandelt werden.

Es blieb nicht bei der einfachen Versuchsanordnung Rutherfords. Die experimentelle Ausrüstung, die den Forschern zur Verfügung stand, wurde Schritt um Schritt verbessert und erleichterte ihre Arbeit. Man konnte in der *Nebelkammer* einzelne Teilchen verfolgen und ihre Bahnen im Bilde festhalten (auch Rutherfords »Atomzertrümmerung« wurde später unmittelbar fotografiert). Man konnte mit *Zählrohren* einzelne Ladungsteilchen registrieren und die Ergebnisse zur Grundlage genauer Berechnungen machen.

Das Atom mußte sich der Experimentierkunst unterwerfen! Das war eine Erkenntnis, die für eine ganze Generation von Physikern zum Arbeitsprogramm wurde. Je weiter sie aber in der Erforschung des Atoms vorankamen, als desto unerschöpflicher erwies es sich. Aus dem »Bauklötzchen«, mit dem einst Chemiker ihre Verbindungen zusammengesetzt hatten, war ein kompliziertes Gebilde geworden, das immer neue Über-

raschungen bot, immer neue Fragen aufwarf und auch gegenwärtig im Mittelpunkt der physikalischen Forschung steht. Denn alle physikalischen Vorgänge, bei denen sich Energie- und Stoffumwandlungen vollziehen, sind letztlich aus dem Atomaren zu erklären. Außerdem trägt die Erforschung des Atoms sowohl durch neue Erkenntnisse als auch durch die Übertragung der diesem Gebiet eigenen Arbeitsmethoden auf viele Bereiche der Naturwissenschaft und der Technik in erheblichem Maße zur Verbesserung des Lebens der Menschen bei.

5. Kapitel • Neue Horizonte



Naturwissenschaft und Technik heute

Alles, was Wissenschaft und Technik in Jahrtausenden erreichten, verblaßt gegenüber den Ergebnissen und Erfolgen unseres Jahrhunderts, besonders im Verhältnis zu den Leistungen der sozialistischen Wissenschaft und Technik der Sowjetunion, seitdem sie in wenigen Jahrzehnten in die Spitzenpositionen auf diesen Gebieten eindrang.

An seinem Beginn standen unklare, umstrittene Vorstellungen vom Aufbau des Atoms und von der radioaktiven Strahlung. Heute verbrauchen wir Strom aus Kernkraftwerken. Sie sind mehr als eine weitere Energiequelle, sie sind eine prinzipiell *neue* Energiequelle. Die Energie, die sie liefern, ist nicht, wie die der Wärme- und Wasserkraftwerke, letztlich umgewandelte Sonnenenergie, sondern Energie, die bei inneratomaren Prozessen freigesetzt wird.

Vor einem Menschenalter gab die Strahlung radioaktiver Stoffe den Forschern Rätsel über Rätsel auf. Heute werden radioaktive Substanzen künstlich hergestellt. Sie helfen dem Arzt, dem Biologen, dem Physiker, dem Chemiker, sogar dem Historiker bei seiner Arbeit.

1901 überquerte ein Morsebuchstabe mit Hilfe elektromagnetischer Wellen den Atlantik. Heute hören wir Rundfunk, telefonieren drahtlos, sitzen wir vor dem Fernsehgerät. Funkwellen begleiten Schiffe, Flugzeuge und stellen die Verbindung zu Satelliten und Raumfahrzeugen her.

Die Elektronik – vor vierzig Jahren gab es für dieses Gebiet nicht einmal den Namen – erstreckt sich in ihrer Anwendung von der Fernmeßtechnik bis zu medizinischen Geräten, von der Nachrichtenübermittlung bis zur Steuerung von Werkzeugmaschinen und ganzen Produktionsanlagen. Ihr ist es auch zu verdanken, daß uns heute nicht nur körperliche, sondern auch eintönige und ermüdende Geistesarbeit mehr und mehr abgenommen wird: Elektronische Rechenautomaten setzen ganze Scharen von Rechnern für befriedigendere, schöpferische Tätigkeiten frei. Sie sind dem Wissenschaftler Werkzeug bei Aufgaben, deren Lösung ihm bisher viel Zeit raubte oder überhaupt nicht möglich war. Sie helfen leiten, organisieren, planen, produzieren. Ohne sie wäre der Vorstoß des Menschen in den Weltraum nicht möglich.

In der Chemie haben die Fachleute gelernt, Stoffe aufzubauen, für die es kein natürliches Vorbild, sondern nur vorgeschriebene, für bestimmte Aufgaben notwendige Eigenschaften gibt. Diese Stoffe werden in Anlagen produziert, die mit den »Giftküchen« aus der Zeit des beginnenden 19. Jahrhunderts so gut wie nichts mehr gemein haben und sie an Produktivität oft um das Hundertfache und mehr übertreffen.

Ohne die Leistungen der Chemie herrschte heute in manchen Industriezweigen Rohstoffmangel. Während in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts die Gesamtindustrieproduktion auf das rund Zweieinhalbfache stieg, versechzehnfachte sich die Produktion der chemischen Industrie.

Jahrtausende hindurch hatten Menschen die Sterne nur mit dem Auge beobachten können. Heute umkreisen künstliche Satelliten die Erde und den Mond. Raumflugkörper werden zum Mond, zum Mars und zur Venus geschickt. Sie forschen für uns und erfüllen Aufgaben, die mit einem großen praktischen Nutzen verbunden sind. Raumsonden übermitteln Meßwerte aus den Weiten unseres Planetensystems. Radioteleskope fangen Strahlung auf, die Milliarden Jahre unterwegs war.

Neue Begriffe, neue Wissensgebiete entstanden. Keine zweihundert Jahre sind vergangen, seit Watt an der Dampfmaschine eine einfache Vorrichtung zur Regelung der Drehzahl vorsah. Heute gibt es die *Regelungstechnik*, deren Aufgabengebiet zunehmend mehr Produktionszweige einschließt. Von der Anwendung einzelner Maschinen zu Beginn der maschinellen Produktion führte der Weg zur Anwendung eines Systems von Maschinen. Er mündet in der Perspektive in eine automatisierte Produktion, in der der Mensch aus dem unmittelbaren Fertigungsprozeß heraustritt.

Vor dreißig Jahren waren Maschinenbauer stolz auf die von ihnen entworfenen Werkzeugautomaten – komplizierte Maschinen, die eine Reihe von Arbeitsgängen mit verschiedenen Werkzeugen selbsttätig ausführen.

Heute sind bereits ganze Fertigungsketten, aus zahlreichen Maschinen und Transporteinrichtungen, aus komplizierten Meß-, Steuerungs- und Regelungsapparaturen bestehend, automatisiert. Es werden Erzeugnisse hergestellt, die während ihres ganzen Produktionsablaufs von keiner Hand berührt wurden. Die Arbeitsproduktivität wird durch solche Einrichtungen oftmals nicht nur gesteigert, sondern vervielfacht; sie konnte beispielsweise in einigen Bereichen der elektronischen Industrie durch die technologischen Verfahren der Mikroelektronik mehr als ver Hundertfacht werden. Auch können automatisierte Anlagen Arbeitsgänge übernehmen, für die unsere Fähigkeiten und Fertigkeiten nicht ausreichen würden. Manche Aufgaben zum Beispiel, die die moderne elektronische Industrie stellt, müssen Automaten ausführen, weil unsere Hände und Sinne dazu viel zu »grob« wären.

Die Kybernetik läßt uns Zusammenhänge, Gemeinsamkeiten und Wechselwirkungen erkennen, nach denen physikalische, technische und auch biologische und psychologische Vorgänge ablaufen.

Doch nicht nur wegen dieser weitreichenden Umwälzungen sprechen wir von einer *wissenschaftlich-technischen* Revolution: Das Tempo, in dem Wissenschaft und Technik voranschreiten, nimmt ständig zu; die Zeitspanne zwischen einer jeweils verwertbaren Entdeckung und ihrer Anwendung wird immer kürzer.

Hundert Jahre fast dauerte es, ehe aus der Dampfmaschine Saverys die doppelwirkende Dampfmaschine wurde. Fünfzig Jahre verstrichen von der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion bis zum Bau des ersten Elektrizitätswerkes.

Fünfundzwanzig Jahre nach Popows erstem Funkspruch gab es auf der Welt die ersten Rundfunkhörer. Fünfundzwanzig Jahre nach den »Luftsprüngen« der Gebrüder Wright überflogen mutige Piloten den Atlantik.

1938 wurde die Kernspaltung des Urans entdeckt; sechzehn Jahre danach floß »Atomstrom« in das sowjetische Energienetz. Als 1956 die Erfinder des Transistors den Nobelpreis entgegennahmen, wurden jährlich schon viele Millionen Halbleiterbauelemente produziert – knapp zehn Jahre, nachdem man sich ernsthaft mit den technischen Möglichkeiten der Halbleiter zu beschäftigen begonnen hatte.

Bei Entdeckungen und Erfindungen aus den letzten Jahrzehnten – erwähnen wir nur die elektronischen Rechenautomaten, den LASER, die Halbleiterblocktechnik – hat sich diese Zeitspanne weiter verkürzt. Das so oft zitierte Wort »Die Wissenschaft von heute ist die Technik von morgen« gilt oft nur noch, wenn man es wörtlich nimmt.

Bemerkenswert ist z. B. auch, daß die Verdopplung der Zahl neuer Forschungsergebnisse von einem rapiden Wachstum des Umfangs an wissenschaftlichen Informationen begleitet war. Sie wuchsen immerhin um das Achtfache an. Dabei vergrößerte sich auch die Anzahl der Wissenschaftler um das Sechzehnfache, während die Aufwendungen für Forschungsarbeiten um das Dreißigfache zunahmen. Wie umfangreich die wissenschaftlich-technische Information heute ist, beweist allein die Tatsache, daß jeder Spezialist eines eng begrenzten Fachgebietes täglich etwa 2000 Druckseiten Text lesen müßte, wenn er das auf seinem Fachgebiet Geschriebene verfolgen wollte.

Mehr Wissenschaftler als je zuvor waren also an diesem stürmischen Vorwärtsdrängen beteiligt. Rund 50 000 gab es gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts auf der Welt. Gegenwärtig schätzt man ihre Zahl auf mehr als 2 Millionen. In der Sowjetunion hat sich z. B. die Zahl der Wissenschaftler in 7 Jahren verdoppelt, während diese Verdopplung in den kapitalistischen Ländern Westeuropas in 15 Jahren erfolgte.

Ihre Arbeitsweise und ihre Beziehungen zur Technik unterscheiden sich grundsätzlich von denen ihrer Kollegen aus dem 19. Jahrhundert. Nicht nur die zunehmende Spezialisierung der einzelnen Disziplinen, auch ihre wachsende »Vernetzung«, die zahlreichen, immer dichter werdenden Querverbindungen setzen die Arbeit im Kollektiv voraus. Sie ist, wie die Kernphysik erweist, oft nicht einmal mehr im Rahmen eines Landes durchführbar, sondern fordert internationales Zusammenwirken.

Es gibt heute kein großes wissenschaftliches oder technisches Vorhaben, an dem Wissenschaftler und Spezialisten nur eines Fachgebietes beteiligt sind. Die Raumfahrt beschäftigt Astronomen und Mathematiker, Chemiker und Physiker, Mediziner und Biologen, Werkstoff- und Nachrichtenfachleute. Ehe der Bau eines Wasserkraftwerkes begonnen wird, muß Rat von Ökonomen und Geologen, von Wasserwirtschaftlern und Agrarspezialisten, von Meteorologen und Klimatologen eingeholt werden – ganz abgesehen von den Technikern verschiedenster Fachrichtungen, die die Ausführung übernehmen. Bei anderen Projekten ist es ähnlich. Die Zeiten, da die Gebrüder Wright einen Flugapparat von der ersten bis zur letzten Schraube selbst konstruieren konnten, sind endgültig vorüber.

Die Technik ist immer »wissenschaftlicher« geworden. Der Maler Morse konstruierte einen der ersten Telegrafen. Das Kabel- und Leitungsnetz aber konnte erst gebaut werden, nachdem Wissenschaftler die Gesetze der Signalübertragung in Leitungen und Kabeln untersucht hatten. Ein Schmied baute einen der ersten Elektromotoren, aber wissenschaftlich ausgebildete Ingenieure begründeten die Elektrotechnik. Die Luftfahrt überwand ihr »Bastelstadium« erst, als ihre Pioniere die Gesetze der Aerodynamik anwandten.

Heute ist die unlösbare, unmittelbare Verbindung von Wissenschaft und Technik, von Forschung und Anwendung selbstverständliche Notwendigkeit.

Nur Wissenschaftler konnten – gemeinsam mit erfahrenen Technikern – die Verfahren der chemischen Großproduktion ausarbeiten; nur wissenschaftlich ausgebildete Menschen können sie in ihrer Kompliziertheit übersehen und leiten. Die Elektronik, die Steuerungs- und Regelungstechnik, die Hochfrequenz- und Halbleitertechnik, die Erschließung der Kernenergie und die Nutzung radioaktiver Isotope – kurz, alle weitreichenden Entwicklungen der Gegenwart waren von Anfang an »wissenschaftliche Technik«.

Welch ein Wandel! Einst war die Wissenschaft gelegentliche Helferin der Produktion, später ihre Dienerin, ausgenutzt, aber oft mißachtet.

Heute könnte man sie eher »Mutter« der Produktion nennen. Sie schafft ihre Grundlagen, sie ist unentbehrlich bei ihrer Durchführung, sie ist unmittelbar zur Produktivkraft geworden. Und das in dem Maße, wie die Wissenschaft selbst »ökonomischer« wurde und wird, indem die Organisation der Wissenschaftsarbeit, die Leitung der wissenschaftlichen Arbeit zu einer entscheidenden Frage wird, das *Gesetz der Ökonomie der Zeit* auch im Bereich der Wissenschaften (ja einschließlich der gesellschaftswissenschaftlichen Disziplin) selbst zu wirken begann und seine bewußte Durchsetzung verlangt.

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt, aufbauend auf einem Fundament, das Generationen von Forschern vieler Länder gelegt haben, erfaßt alle Industriestaaten. Er erfaßt alle Bereiche. Er ist keine Sache nur der Techniker und Ökonomen, Ingenieure oder Psychologen, sondern eine gesamtgesellschaftliche Erscheinung. In welcher Weise diese wissenschaftlich-technische Umwälzung wirksam wird, wie ihre Möglichkeiten ausgenutzt werden und in wessen Interessen sie in erster Linie vorangetrieben wird, das ist eine Frage der Gesellschaftsordnung.

In dieser Richtung allein ist auch die eigentliche Ursache dafür zu suchen, daß der wissenschaftlich-technische Fortschritt besonders seit den fünfziger Jahren sprunghaft hervorbrach und sich seitdem mit zunehmendem Tempo und immer umfassender durchsetzt. Die auffälligste Erscheinung dabei ist die Tatsache, daß die sozialistische Sowjetunion – vor reichlich fünf Jahrzehnten aus einem der rückständigsten Länder Europas und Asiens hervorgegangen – seit der Mitte unseres Jahrhunderts zunehmend die Führung auf entscheidenden Gebieten von Naturwissenschaft und Technik übernahm und heute eine Spitzenposition auf diesen Gebieten einnimmt, die sie immer stärker ausbaut. Beispielsweise wird das auch an der Tatsache deutlich, daß die USA – trotz aller forcierten Bemühungen – in der Weltraumfahrt und im Flugzeugbau ständig an Boden verlieren.

Berücksichtigt man den großen Abstand, mit dem solche imperialistischen Staaten wie Deutschland, die USA, England und Frankreich bis 1917 und lange Jahre danach wirtschaftlich und technisch vor allen anderen Ländern rangierten, so wird deutlich, daß die wirklich treibende Kraft für den raschen wissenschaftlich-technischen Fortschritt unseres Jahrhunderts in der revolutionären Arbeiterbewegung besteht. Die Monopole nutzten demgegenüber die wissenschaftlich-technischen Potenzen der gesamten Gesellschaft nur dazu, ihre wirtschaftliche, militärische und politische Macht zu stärken, ihre Stellung als Ausbeuter der Völker zu bewahren und auszubauen. Von 1914 bis 1918 gipfelte dieses reaktio-

näre Treiben im mörderischen Kampf aller beteiligten imperialistischen Staaten um die gewaltsame Neuaufteilung der Welt. Dieser Politik, die auf die Erhöhung des Profits gerichtet ist, sind Wissenschaft und Technik im Kapitalismus stets unterworfen.

Mit der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution kam eine neue Klasse, die Arbeiterklasse, zur Macht. Wie ihre Verbündeten, die werktätigen Bauern und die Intelligenz, kann sie ihren Lebensunterhalt nicht durch die Ausbeutung des Menschen durch den Menschen erwerben – wie die Monopolbourgeoisie –, sondern ausschließlich durch eigene Arbeit. Die Produktivität dieser Arbeit zu erhöhen und damit den eigenen Lebensstandard zu verbessern – dazu sind Wissenschaft und Technik die einzigen unerschöpflichen Mittel. Deswegen wurde der Kampf um eine friedliche und optimale Entwicklung von Wissenschaft und Technik im Dienste der Arbeiterklasse und ihrer Verbündeten zu einem entscheidenden Merkmal der gesamten sowjetischen Innen- und Außenpolitik von Anfang an – und das trotz der verheerenden Kriege, mit denen der Imperialismus das Sowjetland wiederholt überzog, trotz des jahrelangen wirtschaftlichen, wissenschaftlich-technischen Boykotts durch die imperialistischen Mächte.

Bedeutendes wurde erreicht, da die Arbeiterklasse, geführt von einer konsequent revolutionären marxistisch-leninistischen Partei, die stärkste gesellschaftliche Kraft unserer Epoche ist. Die Erfolge dieses Kampfes treten seit dem Ende des zweiten Weltkrieges für jeden erkennbar zunehmend deutlicher hervor. Sie zeigen, daß der Sozialismus auch und gerade für Wissenschaft und Technik die bestimmende Kraft unserer Epoche ist und daß die Große Sozialistische Oktoberrevolution den entscheidenden Wendepunkt der Geschichte auf dem Wege zur klassenlosen, zur kommunistischen Gesellschaft darstellt.

Energie auf weiten Wegen

Wir wissen, welche widersprüchliche Lage nach dem Bau der ersten Elektrizitätswerke entstanden war: Elektroenergie ließ sich nach der Erfindung der Dynamomaschine in nahezu beliebigen Mengen gewinnen. Ihre Anwendung und die wirtschaftliche Nutzung ihrer vielfältigen Möglichkeiten aber setzten voraus, daß sie ohne hohe Verluste nicht nur über zwei, drei Kilometer, sondern über große Entfernungen fortgeleitet werden konnte.

Sollte man doch auf Wechselstrom zurückgreifen? Er war zwar in der

Nachrichtentechnik und in der Elektrochemie kaum zu gebrauchen, besaß aber, was die Fernleitung anbelangt, einen unschätzbaren Vorteil: Seine Spannung oder seine Stromstärke konnte mit *Transformatoren* auf einfache und wirtschaftliche Weise in weiten Grenzen herauf- und herabgesetzt werden. Das Prinzip »niedrige Spannung am Erzeugungs- und Verbrauchsort – hohe Spannung beim Transport« war also realisierbar, wenn man von Gleichstrom zu Wechselstrom überging. Für den Wechselstrom sprach auch, daß sich Glühlampen mit Gleichstrom und mit Wechselstrom speisen ließen und daß Wechselstromgeneratoren einfacher als Gleichstromgeneratoren aufgebaut waren.

Bereits 1885 richtete Ziano de Ferranti (1864 bis 1930) in England eine Wechselstromübertragung ein. Er transformierte den Maschinenstrom von 2 500 V auf 10 000 V und setzte ihn am Ende der Leitung (deren Länge allerdings nur wenige Kilometer betrug), im Zentrum Londons, wieder herab. Auch in Odessa wurde wenig später (1887) eine Wechselstromanlage in Betrieb genommen, ebenso in Bad Reichenhall (1890).

Gleichzeitig mit den Arbeiten zur Einführung des Wechselstromes beschäftigten sich zahlreiche Physiker, Techniker und Erfinder mit der Konstruktion von speziellen Wechselstrommotoren.

Zu den Pionieren des Wechselstrommotors zählt der italienische Physiker und Elektrotechniker Galileo Ferraris (1841 bis 1897). Er untersuchte das magnetische »Drehfeld«: Ordnet man Spulen auf einem Kreis strahlenförmig an und leitet man ihnen Wechselströme zu, die in der Frequenz übereinstimmen, in ihren Spannungs- und Stromwerten aber zeitlich gegeneinander verschoben sind, so bildet sich im Raum zwischen den Spulen ein rotierendes Magnetfeld aus. Es kann Metalle »mitnehmen« und so in Drehung versetzen.

Auf dieser Grundlage ließen sich Elektromotoren bauen, die viel einfacher als Gleichstrommotoren waren. Vor allem hatten sie den Vorzug, daß ihrem Läufer von außen kein Strom zugeführt zu werden brauchte. Der störanfällige Kommutator und die »Bürsten« für die Stromzuführung entfielen.

Im Frühjahr 1888 berichtete Professor Ferraris vor der Turiner Akademie der Wissenschaften über seine Versuche. Der Wirkungsgrad des Motors war jedoch gering. Ferraris selbst glaubte nicht, daß er größere Bedeutung erlangen könne. Er nutzte seine Entdeckung daher nur zum Bau von Wechselstrom-Elektrizitätszählern.

Der in Kroatien geborene, später in den Vereinigten Staaten lebende Physiker und Elektrotechniker Nikola Tesla (1856 bis 1943), ein sehr

vielseitiger Erfinder, beantragte 1887 ebenfalls ein Patent auf einen Wechselstrommotor. Dieser funktionierte ähnlich wie der von Ferraris, zeichnete sich aber durch einen höheren Wirkungsgrad aus. Tesla, der damals bei der Edison-Gesellschaft angestellt war, machte sich selbständig und gründete noch im gleichen Jahr die »Tesla-Electric-Company«. Er konnte sich jedoch gegen die Konkurrenz seiner ehemaligen Firma und gegen die der »Westinghouse-Electric-Company« nicht durchsetzen, zumal die Motoren noch erhebliche Mängel aufwiesen.

Trotzdem fürchtete man bei Westinghouse, Tesla könne durch Verbesserung seiner Motoren zu einem ernsthaften Konkurrenten werden. Deshalb erwarb die Gesellschaft seine Patente für 1 Million Dollar und eine Lizenzgebühr von 1 Dollar je Pferdestärke verkaufter Motorleistung. Tesla mußte sich außerdem verpflichten, der Firma ein Jahr als Berater zu helfen. Dies erwies sich allerdings als Fehlspekulation; denn innerhalb dieses Zeitraumes erlangte der Motor noch keine Betriebsreife.

Ferraris und Tesla hatten mit zwei »phasenverschobenen« Wechselströmen experimentiert. Auf Grund eingehender Überlegungen war zu erwarten, daß sich bei der Verwendung von drei zeitlich verschobenen Wechselströmen weitere Vorteile für die Konstruktion von Motoren und Generatoren ergeben und zur Fortleitung dieser Ströme nur drei bzw. vier Leitungen erforderlich sein würden.

Als erster führte im Jahre 1887 der Ingenieur Friedrich August Haselwander (1859 bis 1932) eine Anlage mit *Dreiphasenwechselstrom* (wegen des rotierenden Drehfeldes auch *Drehstrom* genannt) aus. Sie wies bereits alle Kennzeichen einer modernen Drehstromübertragung auf: den Generator für die Erzeugung des Dreiphasenstromes, einen Drehstrommotor und Transformatoren am Beginn und Ende der Dreifachleitung zur Fernübertragung.

Haselwander, der seine Anlage 1889 patentiert erhielt, stieß auf schärfste Gegnerschaft der AEG. Sie war inzwischen einer der führenden Elektrokonzerne Deutschlands geworden, sah diese Vormachtstellung aber gefährdet, falls es Haselwander gelingen sollte, seine Anlagen in größerem Umfange zu produzieren. Daher strengte sie einen Prozeß an, in dessen Verlauf sie unter Berufung auf Patente von Ferraris, Tesla und anderen die Löschung der Haselwanderschen Schutzrechte verlangte. Haselwander, der sich inzwischen mit einer kleineren Elektrofirma zusammengesetzt hatte, konnte das langwierige und teure Verfahren nicht durchstehen. Seine Patente wurden gestrichen.

An der weiteren Entwicklung der Wechselstromtechnik hatte der russische Ingenieur Michael Ossipowitsch Doliwo-Dobrowolski (1862

bis 1919) maßgeblichen Anteil. Er knüpfte an die Arbeiten seiner Vorgänger an – ohne deren Verdienste zu verschweigen – und konnte daher Umwege und Irrtümer vermeiden. So richtete er sein Interesse von vornherein auf Dreiphasenströme, deren Verwendung er für besonders aussichtsreich hielt.

Doliwo-Dobrowolskis wichtigste Erfindung war im Jahre 1889 der Drehstrommotor mit »Käfigläufer«, der erste praktisch brauchbare Drehstrommotor, der sich durch gute Betriebseigenschaften und einfachen Aufbau auszeichnete. Er ist heute der verbreitetste Wechselstrommotor.

Die Wechselstromtechnik sollte nun auch vor möglichst breiter Öffentlichkeit zeigen, wie sehr sie Gleichstrom-Übertragungsanlagen überlegen war. Die 1891 veranstaltete »Internationale Elektrotechnische Ausstellung« in Frankfurt/Main schien für eine solche Vorführung besonders geeignet:

In Lauffen am Neckar trieb eine Wasserturbine einen Drehstromgenerator mit einer Leistung von etwa 220 kW. Er lieferte einen Strom niedriger Spannung, aber hoher Stromstärke, der in Hochspannung von nahezu 15 000 V transformiert wurde. Durch Kupferleitungen von nur 4 mm Durchmesser, die über mehr als 3 000 Masten geführt waren, floß dieser Strom nach Frankfurt. Am Ende der 175 km langen Leitung trat er wiederum in Transformatoren ein, die ihn auf etwa 100 V Spannung herabsetzten. 1 000 Glühlampen, einige Drehstrommotoren und ein künstlicher Wasserfall wurden mit diesem Strom gespeist. Messungen und Berechnungen ergaben, daß der Gesamtwirkungsgrad der Anlage zwischen Erzeuger und Verbraucher bei 74 Prozent lag. Nur ein Viertel der ursprünglichen Leistung ging also durch verschiedene Verluste verloren. Ein solcher Wirkungsgrad war für damalige Verhältnisse außergewöhnlich hoch und stellte die Ergebnisse aller vorausgegangenen Versuche, Gleichstrom zu übertragen, weit in den Schatten.

Weitere Drehstromanlagen entstanden. 1893 wurde in Schweden eine Übertragung zwischen Hellsjön und Grängesberg eingerichtet, die in ihrer Leistung die Lauffener Anlage weit hinter sich ließ. 1898 stieg in Colorado (USA) eine 56 km lange Drehstromleitung bereits in Höhen über 3 000 m, wobei eine Spannung von 40 000 V benutzt wurde.

Trotzdem vollzog sich der Übergang zur Wechselstromtechnik langsamer, als es den technischen Möglichkeiten entsprochen hätte. Die meisten Stromerzeugungs- und Verteilungsanlagen waren für Gleichstrom eingerichtet. Die Umstellung auf Wechselstrom forderte von der Elektroindustrie hohe Investitionen, die man hinauszuschieben suchte. Die Aktionäre der zahlreichen kleinen Kraftwerke waren, um ihren Profit, ja

um ihre Existenz fürchtend, ebenfalls erbitterte Gegner einer Stromart, die Energie auf größere Entfernungen würde liefern können.

So erklärt es sich zum Beispiel, daß die AEG, obwohl sie in Lauffen den Nutzen des Wechselstroms und ihre »Aufgeschlossenheit gegenüber dem technischen Fortschritt« demonstriert hatte, erst am Beginn des 20. Jahrhunderts dazu überging, sich auf die Wechselstromtechnik einzustellen. Die letzten Gleichstromnetze hielten sich auf deutschem Gebiet bis in die Zeit nach dem zweiten Weltkrieg, oft neben Wechselstromnetzen am gleichen Ort.

Die Fernübertragung von Elektroenergie lenkte das Interesse auf eine Kraftquelle, die mit dem Aufkommen der Dampfmaschine an Bedeutung verloren hatte: Jetzt konnte man Wasserkräfte auch dort ausnutzen, wo nicht gleichzeitig günstige Voraussetzungen für die Errichtung von Betrieben bestanden.

Das seit Jahrhunderten gebräuchliche Wasserrad allerdings kam wegen seiner geringen Leistung und seiner niedrigen Drehzahl als Antriebsquelle für Generatoren nicht in Betracht.

An seine Stelle trat die Wasserturbine. Ihre theoretischen Grundlagen hatte neben anderen bereits Leonhard Euler geschaffen, mit ihrem Entwurf und ihrer Konstruktion befaßten sich im Verlaufe des 19. Jahrhunderts viele Erfinder und Techniker: Ignatij Safonow (1806 bis 1857) in Rußland, Claude Burdin (1790 bis 1873), sein Schüler Benoît Fourneyron (1802 bis 1867) und Dominique Girard (1815 bis 1892) in Frankreich, Lester Allen Pelton (1829 bis 1918) in den USA, Viktor Kaplan (1876 bis 1934) in Österreich und andere.

Zwar standen bereits um die Jahrhundertmitte Wasserturbinen für Leistungen von mehr als 500 Pferdestärken und Turbinentypen für verschiedene Fallhöhe des Wassers zur Verfügung. Ihr Anwendungsbereich blieb jedoch zunächst sehr begrenzt. Erst mit der elektrischen Energiefernübertragung begann ihre große Zeit, ausgehend von den 4000-kW-Turbinen, die im Großkraftwerk an den Niagarafällen noch im 19. Jahrhundert anliefen. Gegenwärtig sind Turbinenleistungen von mehr als 100 000 kW keine Seltenheit mehr.

In den Block- und Zentralstationen hatte man durchweg Dampfmaschinen eingesetzt. Sobald man aber die Kraftwerke vergrößerte, machten sich Mängel immer deutlicher bemerkbar: Der Wirkungsgrad der Dampfmaschine war zu gering, die Fundamente wurden durch die hin- und hergehende Kolbenbewegung übermäßig beansprucht; die niedrige Drehzahl schloß die Verwendung einfacher, schnellaufender Stromerzeuger aus; über Leistungen von 20 000 kW kam man selten hinaus.

Die Dampfmaschine mußte daher durch ein wirtschaftlicheres Aggregat abgelöst werden, das – wenn möglich – eine Drehbewegung ohne Umweg über Kurbeltrieb und Schwungrad erzeugte. Dieses Aggregat war die Dampfturbine.

Ernsthafte Versuche mit Dampfturbinen hatten erst im 19. Jahrhundert begonnen und gezeigt, daß die Dampfturbine im Gegensatz zur Dampfmaschine ein Schnellläufer ist. Die Beherrschung der auftretenden Drehzahlen setzte hochbeanspruchbare Werkstoffe und einen Maschinenbau voraus, der Werkstücke mit größter Genauigkeit bearbeiten kann. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts waren diese Voraussetzungen erfüllt.

Die Entwicklung leistungsfähiger Dampfturbinen ist gleichfalls keine Einzelleistung, sondern geht auf zahlreiche Techniker zurück, zum Beispiel auf den Schweden Carl Patrick Gustav de Laval (1845 bis 1913), den Franzosen Auguste Rateau (1863 bis 1930) und den Amerikaner Glenn Curtis (1878 bis 1930).

Eine Turbine für den Antrieb von Generatoren entwickelt zu haben ist besonders das Verdienst des englischen Ingenieurs Charles Parsons (1854 bis 1931). Bereits sein erstes Modell war mit einem Stromerzeuger gekuppelt. Die danach entstandenen Turbinen wurden auf Schiffen und in Werkanlagen installiert, wo sie den ohnehin vorhandenen Dampf nutzten.

Immer häufiger wurde die Dampfturbine zur Stromerzeugung, aber auch für den Schiffsantrieb herangezogen. Bald nach der Jahrhundertwende übertraf sie die Kolbendampfmaschine an Leistungsfähigkeit. *Turbogeneratoren*, bei denen Dampfturbine und Stromerzeuger zu einer konstruktiven Einheit zusammengefaßt sind, setzten sich von da ab in den Wärmekraftwerken durch.

Zahlreiche kleinere und größere Kraftwerke wurden gebaut. In Deutschland zum Beispiel vervierfachte sich der Stromverbrauch von 1907 bis 1913 von 250 Millionen Kilowattstunden auf 1 Milliarde Kilowattstunden (DDR 1969: 65,5 Milliarden kWh).

Schon vorher hatte sich eine Verschiebung in der Verwendung der Elektrizität abgezeichnet: An die Seite des »Lichtstromes« war der »Kraftstrom« getreten.

Während 1893 in Berlin nur 217 Elektromotoren mit einer Gesamtleistung von knapp 500 kW liefen und über 90 Prozent des verbrauchten Stromes durch Bogen- und Glühlampen flossen, hielten sich Licht- und Kraftstrom fünf Jahre später die Waage. Die Zahl der Motoren war inzwischen auf fast 3 000 mit einer Gesamtleistung von etwa 8 000 kW

gestiegen. Dort, wo neue Fabriken entstanden, verzichtete man im allgemeinen auf eigene Kraftanlagen und bezog statt dessen Elektroenergie.

Nicht minder wichtig als der Austausch der Dampfmaschinen gegen Turbinen war die Verminderung des »spezifischen Dampfverbrauchs«. 1913 benötigte man zur Erzeugung einer Kilowattstunde nur noch ein Drittel der Dampfmenge, die man 1900 gebraucht hatte. Auch erkannte man, daß die Wirtschaftlichkeit mit weiterer Vergrößerung der Leistungen steigen würde. Kraftwerke, die eine Großstadt oder einen ganzen Industriebezirk mit Energie versorgten, hätten eine relativ billige Stromerzeugung ermöglicht. Doch dieser Vorteil wurde dadurch aufgewogen, daß jetzt – trotz des geringen spezifischen Dampfverbrauchs – der Transport des erforderlichen Brennstoffes zu teuer und zu umständlich war. Er lohnte überhaupt nicht, wenn weniger energiereiche Brennstoffe, etwa Braunkohle, über größere Strecken zum Kraftwerk befördert werden mußten.

Der einzige Ausweg war, ähnlich wie bei der Nutzung von Wasserkraft vorzugehen. Das hieß: Verlegung der Großkraftwerke in die Nähe der Brennstoffvorkommen und statt dessen Transport des »Produkts«, des elektrischen Stromes, zu den Verbrauchszentren.

Bei einem solchen Transport waren weit größere Entfernungen und Leistungen zu bewältigen als bei den bisher bekannten Fernleitungen. Daraus ergab sich eine Fülle neuer technischer Aufgaben und Probleme:

Die verlustarme Übertragung großer Leistungen setzte eine weitere Steigerung der Spannung auf den Fernleitungen voraus. Ehe sie sich verwirklichen ließ, waren von der Elektroindustrie umfangreiche Vorarbeiten zu leisten. Transformatoren und Isoliermaterialien für sehr hohe Spannungen mußten entwickelt werden. Schalteinrichtungen, die beim Schalten großer Leistungen die gefährlichen Lichtbogen vermieden oder innerhalb kürzester Zeit löschten, waren ebenso unentbehrlich wie Isolatoren und Blitzschutzeinrichtungen für die Freileitungen.

Schritt für Schritt ging man zu höheren Übertragungsspannungen über. Während man 1903 60 kV erreichte, existierten noch vor Beginn des ersten Weltkrieges Fernleitungen für 150 kV; 1923 begannen sich 220-kV-Leitungen durchzusetzen (etwa seit 1950 sind für große Entfernungen 380 kV üblich, Spannungen von 525 kV und darüber werden heute bereits angewandt).

Technikern und Wirtschaftlern konnte nicht verborgen bleiben, daß sich weitere Vorteile ergeben würden, wenn man nicht jedem Kraftwerk besondere Fernleitungen zuordnete, sondern mehrere Werke und alle

Übertragungseinrichtungen zu einem gemeinsamen Netz verband. Auf diese Weise würden sich die vorhandenen Brennstoffvorkommen besser ausnutzen lassen, Wasser- und Wärmekraftwerke konnten zusammenwirken, Bedarfsschwankungen und Havarien in Kraftwerken waren leichter auszugleichen.

Von vornherein war man sich im klaren darüber, daß Verbundnetze großzügig und weiträumig angelegt werden mußten, wenn sie wirklich Sinn haben sollten. Gerade eine solche Großzügigkeit war unter kapitalistischen Verhältnissen ausgeschlossen. Kraftwerke waren dort entstanden, wo sie möglichst hohen Gewinn abwarfen. Eine einheitliche, die gesamte Wirtschaft berücksichtigende Planung gab es nicht. Selbst beim Zusammenschluß der vorhandenen Werke prallten die Interessen der zahlreichen Elektrizitätsgesellschaften aufeinander. So entstanden zunächst lediglich Verbundnetze, die eine Provinz oder Landesteile umfaßten. Alle weiterreichenden Pläne, wie der eines Verbundnetzes, das die leistungsfähigsten Kraftwerke von Warschau bis Portugal, von Norwegen bis Italien zusammenfassen sollte, waren zum Untergang verurteilt, längst bevor sie fertig ausgearbeitet waren.

So bestätigte sich, was Lenin geschrieben hatte: »... daß die moderne fortgeschrittene Technik eine Elektrifizierung eines ganzen Landes – und einer Reihe von Nachbarländern – nach einem einheitlichen Plan dringend erforderlich macht; daß, solange der Kapitalismus und das Privateigentum an den Produktionsmitteln bestehen bleibt, die Elektrifizierung eines ganzen Landes und einer Reihe von Ländern erstens nicht schnell und planmäßig und zweitens nicht zugunsten der Arbeiter und Bauern verwirklicht werden kann.«

Die Große Sozialistische Oktoberrevolution hatte die Voraussetzungen für die planmäßige und rasche Elektrifizierung des Landes geschaffen – eines Landes allerdings, das technisch sehr rückständig war und im Jahre 1913 keine zwei Milliarden Kilowattstunden Strom erzeugt hatte. Bereits in den Wochen und Monaten nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution ergingen daher die ersten Anweisungen zur Errichtung von Kraftwerken. Noch in den Jahren des Kampfes gegen Konterrevolutionäre und Interventen wurden kleinere Kraftwerke in Betrieb genommen.

Zum Aufbau einer sozialistischen Volkswirtschaft aber mußte die Energieversorgung nach einem einheitlichen Konzept entwickelt werden. Diese Zielstellung fand Ausdruck im »GOELRO-PLAN« (Plan der Staatlichen Kommission für die Elektrifizierung Rußlands), der Ende 1920 vom VIII. Allrussischen Sowjetkongreß angenommen wurde.

20 Wärmekraftwerke und 10 Wasserkraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 1 750 000 kW sollten innerhalb der nächsten zehn bis fünfzehn Jahre erbaut werden. Der englische Schriftsteller H. Wells, der durch seine utopisch-phantastischen Romane berühmt wurde, schrieb nach einem Besuch bei Lenin ein Buch, das er angesichts der Trümmer, die der Krieg gegen die Interventen und Konterrevolutionäre hinterlassen hatte, »Rußland im Dunkeln« nannte. In der Tat – damals betrug die Gesamtjahreserzeugung an Elektroenergie in der Sowjetunion nur 0,5 Milliarden kWh. Und Wells, der Lenin einen »Träumer im Kreml« nannte, schrieb: »Kann man sich ein verwegeneres Projekt vorstellen in diesem gewaltigen, ebenen, mit Wäldern bedeckten Land, bevölkert mit ungebildeten Bauern, das keine technisch gebildeten Menschen hat, in welchem Handel und Industrie fast erloschen?« – Und überzeugt davon, daß Lenins Plan eine Phantasterei sei, sagte er: »In welchen Zauberspiegel ich auch sah, ich kann dieses Rußland der Zukunft nicht erblicken...«

Mit einer Kapazität von 12 000 kW wurde in der Sowjetunion ein bescheidener Anfang gemacht, und Lenin sagte damals: »Es kann sein, daß ein Ausländer, der die amerikanische, deutsche oder schwedische Elektrifizierung kennt, hierüber lächelt, aber wer zuletzt lacht, lacht am besten.« Der Plan, den auch viele Techniker und Wissenschaftler des Auslandes für eine bloße Utopie gehalten hatten, wurde schneller erfüllt, als die ursprünglichen Zahlen vorgesehen hatten.

Bereits 1927 erzeugten die Kraftwerke der UdSSR mehr als doppelt soviel Elektroenergie wie im letzten Vorkriegsjahr. 1931 war der GOELRO-Plan in seinen wesentlichen Positionen – um vier Jahre früher als vorgesehen – erfüllt. Der irische Schriftsteller Bernard Shaw schrieb im Jahre 1931 nach einer Reise durch die Sowjetunion: »Der erste Staatsmann, der in der Elektrizität mehr erblickte als ein Wunder, war ein Russe – Lenin... Mit einer Geschwindigkeit, wie sie überhaupt nur möglich war, verwandelte die Elektrifizierung die russischen Steppen und asiatischen Wüsten in blühende, zivilisierte Städte ohne Elendsviertel, und die wilden Nomaden wurden qualifizierte Arbeiter.«

Die von Lenin proklamierte »Elektrifizierung des ganzen Landes« ging planmäßig weiter. In der Sowjetunion wurden die mächtigsten energetischen Systeme der Welt errichtet. Lenins berühmte Losung »Kommunismus – das ist Sowjetmacht plus Elektrifizierung des ganzen Landes« faßte die Erkenntnis zusammen, daß die Elektrifizierung eine Hauptvoraussetzung des Aufbaus der neuen Gesellschaft ist, daß von ihr die Veränderung des Lebens der Werktätigen entscheidend mit-

bestimmt wird. Sie befreite sie von schwerer körperlicher Arbeit und eröffnete ihnen den Zugang zu den Errungenschaften der Kultur selbst in den entlegensten Gebieten. Im Jahre 1971 betrug die Kapazität der Kraftwerke der UdSSR mehr als 166 Millionen kW. Ihre Jahresproduktion erreichte 750 Milliarden kWh. Dieses rapide Wachstum, das sich schon in den nächsten Jahren in einer jährlichen Zunahme der Kapazität der Kraftwerke um etwa 20 Millionen kW ausdrückt, übertrifft die Zuwachsraten aller anderen Industrieländer der Welt beträchtlich. Allein Zentralasien erzeugt im Jahr gegenwärtig an die 90 Milliarden kWh. Bis zum Jahre 1980 wird sich diese Zahl für dieses Gebiet mehr als verdoppelt haben.

Die Bedeutung der Elektroenergie nahm innerhalb weniger Jahrzehnte sehr rasch zu. Was mit Gleichstrom ein Wunschtraum hätte bleiben müssen, ermöglichte die Wechselstromtechnik. Elektrischer Strom konnte über Hunderte Kilometer fortgeleitet und beliebig »fein« verteilt werden.

Nicht nur in Haushalten und Fabriken sollte die »saubere«, jederzeit verfügbare und leicht zu handhabende Elektroenergie Arbeit leisten und Licht spenden. Für Fernbahnen begann man die Vorzüge der Elektrolokomotive – höherer Wirkungsgrad, leichtere Bedienbarkeit, größere Leistung, Wegfall des Brennstofftransports und der schweren Arbeit des Heizers – ebenfalls zu nutzen.

Der Verbrauch von Elektroenergie in der Welt stieg schnell. Er erreichte vor dem ersten Weltkrieg etwa 40 Milliarden kWh im Jahr und näherte sich 25 Jahre später der 500-Milliarden-kWh-Grenze, 1950 der 1 000-Milliarden-kWh-Grenze. Gegenwärtig rechnet man mit einer Verdopplung des Elektroenergiebedarfs jeweils innerhalb von acht bis zehn Jahren.

Die Technik der Kraftwerke und der Verteilungsanlagen, ständig verbessert und ausgefeilt, schuf die Voraussetzungen für dieses Entwicklungstempo.

Edisons erstes New Yorker Kraftwerk brachte es, wenn alle Dampfmaschinen liefen, auf rund 550 kW. Um 1930 gab es fast tausendfach leistungsfähigere Kraftwerke, heute sind die »Spitzenreiter« mehr als 6 000fach größer.

Leisteten die Turbogeneratoren im ersten Jahrzehnt des Jahrhunderts bis 20 Megawatt, so waren dreißig Jahre später 200-MW-Aggregate in Betrieb. Gegenwärtig werden Turbinensätze installiert, deren Leistung bei 500 und 800 MW liegt. Auf der Tagesordnung stehen Blockeinheiten mit 1 200 MW, die mit einem Dampfdruck von 240 at und einer Tem-

peratur von 560 °C arbeiten. Ein Turbogenerator dieser Größe kann eine Stadt mit 2 Millionen Bewohnern versorgen.

In den ersten Kraftwerken – um 1885 – wurden 5 kg Steinkohle verbrannt, um eine Kilowattstunde zu gewinnen. Bis heute sank dieser Wert auf rund ein Zehntel; seine weitere Verbesserung wird für möglich gehalten.

In vielen Ländern entstanden oder entstehen gigantische Wärme- und Wasserkraftwerke, zum Beispiel in der Sowjetunion (Wasserkraftwerk Krasnojarsk mit 5 000 MW, Wasserkraftwerk Sajano-Schuschenskoje mit über 6 000 MW), in der VAR das Assuan-Wasserkraftwerk mit 2 100 MW oder in der DDR (Wärmekraftwerk Lübbenau 1 300 MW, Wärmekraftwerk Boxberg 3 000 MW). In Sibirien wird im Gebiet um das Kohlevorkommen von Itat ein Komplex errichtet, dessen Leistung das zur Zeit größte Wasserkraftwerk der Welt, das von Krasnojarsk, um das Zehnfache übertreffen soll.

Auch solche Energiegiganten aber werden auf die Dauer den wachsenden Bedarf an Elektroenergie nicht decken können. Mehr noch: Bereits in naher Zukunft wird die Menschheit gezwungen sein, die herkömmlichen Wärme- und Wasserkraftwerke durch andere Stromerzeugungsanlagen zu ergänzen und zu ersetzen.

Über 90 Prozent der Elektroenergie entstammen gegenwärtig Wärmekraftwerken, deren Kessel mit natürlichen Brennstoffen geheizt werden. Der Verbrauch ist enorm: Über 2 100 t Braunkohle benötigt das Großkraftwerk Lübbenau in jeder Stunde. Zwar sind die Brennstoffvorräte der Welt groß, aber sie sind keineswegs unbegrenzt. Außerdem können Kohle, Öl und Erdgas in der chemischen Industrie mit so hohem Nutzen verarbeitet werden, daß es im Grunde Raubbau ist, sie zu verbrennen. Das gilt in besonders hohem Maße für unser Land, das bereits in den nächsten Jahrzehnten gezwungen sein wird, die Braunkohle als Hauptenergieträger abzulösen.

Die Wasserkräfte der Welt werden bis heute zwar verhältnismäßig wenig genutzt; aber sie sind häufig schwer zugänglich oder liegen zu weit von den Verbrauchszentren entfernt. Jedenfalls könnten auch sie den wachsenden Energiehunger der Menschheit nicht stillen.

Daher suchen Wissenschaftler und Techniker nach bisher nicht oder nur wenig erschlossenen Energiequellen. Die Sonnenenergie, die Wärme des Erdinneren, die Energie der Höhenwinde und der Gezeiten sind Themen wissenschaftlicher Untersuchungen oder, wie die Gezeitenkraftwerke in Frankreich und im Norden der Sowjetunion, Gegenstand großangelegter Experimente. Vor allem aber werden Kernkraftwerke in der

Zukunft eine führende Stellung in der Energieversorgung übernehmen.

Die Zeit, da nur regionale Kraftwerke zusammengeschlossen wurden, ist vorüber. Vielerorts fließt heute Strom über Staatsgrenzen, ja unter Meeresarmen hinweg.

Das vereinigte internationale Energiesystem »Mir« (»Frieden«), das durch Hochspannungsfernleitungen die Energiesysteme der Sowjetunion, Ungarns, Polens, Rumäniens, der Tschechoslowakei, Bulgariens und der Deutschen Demokratischen Republik miteinander verknüpft und von einer Zentrale aus, die sich in Prag befindet, geleitet und kontrolliert wird, ist ein großartiges Beispiel für die Zusammenarbeit innerhalb des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe.

Die Ausweitung der Verbundnetze und die zunehmenden Übertragungsentfernungen stellten Forschung und Technik wiederum vor neue Probleme: Wechselstrom läßt sich nicht über beliebig große Entfernungen fortleiten. Es ist noch nicht lange her, daß Leitungslängen von 600 bis 800 km den Energietransport unwirtschaftlich und unstabil machten. Dann gelang es, 500-Kilovolt-Leitungen von 1000 km Länge zu schaffen, und heute bereits beträgt die Gesamtlänge derartiger Leitungen in der Sowjetunion mehr als 8 000 km.

Ein seit Jahrzehnten diskutiertes Projekt rückte dabei in den Vordergrund: die Übertragung von Elektroenergie mittels Gleichstrom sehr hoher Spannung.

Die »Gleichstrom-Höchstspannungsübertragung« bedeutet keine Rückkehr zu den Übertragungsverfahren aus den Anfangszeiten der Elektrotechnik. In den Kraftwerken wird nach wie vor Wechselstrom erzeugt, auch der Verbraucher bezieht Wechselstrom. Zur Fortleitung über die Fernstrecke jedoch wird der Wechselstrom in Gleichstrom von Spannungen um 1 Million Volt verwandelt. Dadurch entfallen die Mängel einer Wechselstromübertragung auf sehr große Entfernungen. Heute gehören zu den Fernübertragungsleitungen in der Sowjetunion Hauptleitungen von 2 000 bis 2 500 km Länge für Spannungen von 800 bis 1 500 Kilovolt. Solche Leitungen sollen jährlich etwa 300 Milliarden kWh aus Sibirien und Kasachstan in die europäischen Gebiete der Sowjetunion übertragen. Sie sind für Gleichstrom ausgelegt, und es ist vorgesehen, Leitungen für Gleichstrom mit einer Spannung bis 2 Millionen Volt zu bauen. Darüber hinaus werden Forschungen betrieben, die das Ziel haben, Fernübertragungsleitungen auch für Drehstrom mit einer Spannung bis zu 1 Million Volt zu errichten.

Vom Experimentiertisch zum Kernkraftwerk

Im Jahre 1903 hatten Marie Sklodowska-Curie und Pierre Curie den Nobelpreis für die Entdeckung und Erforschung der radioaktiven Elemente Radium und Polonium entgegengenommen.

32 Jahre danach wurden Irène Joliot-Curie (1897 bis 1956) und Frédéric Joliot (1900 bis 1958), Tochter und Schwiegersohn Marie Sklodowska-Curies, für die Entdeckung der »künstlich radioaktiven Isotope« mit der gleichen Auszeichnung bedacht.

Drei Jahrzehnte Atomphysik liegen dazwischen, reich an Mühen, an geistreichen Hypothesen, an Irrtümern, Erfolgen, vor allem an neuen Erkenntnissen.

Wir kennen den Weg, der von einfachen Vorstellungen bis zu Bohrs Atommodell führte, kennen die Kette der Experimente und Untersuchungen bis zu dem Tage im Jahre 1919, da Rutherford erstmalig Atomkerne zur Umwandlung zwang.

Die Jahre danach waren für die Erforschung des Atoms nicht weniger ertragreich:

Die Vorstellung, daß bewegten Teilchen auch Welleneigenschaften zukommen, wurde von Louis de Broglie (geb. 1892), Erwin Schrödinger (1887 bis 1961) und anderen zur *Wellenmechanik* ausgebaut. Auch experimentelle Beweise für diese Welleneigenschaften wurden erbracht.

Der Engländer James Chadwick (geb. 1891) entdeckte als drittes Elementarteilchen 1932 das *Neutron*, ein Teilchen von ungefährrer Protonenmasse, aber ohne elektrische Ladung. Damit war die Frage nach sogenannten Kernelektronen, die Protonenladungen kompensieren und den Atomkern zusammenhalten sollten, beantwortet – diese Funktion kommt den ladungsfreien Neutronen zu. Der Atomkern bestand aus Protonen und »unelektrischen« Neutronen.

Es blieb nicht bei einem dritten Elementarteilchen. Der englische Physiker Paul Adrien Maurice Dirac (geb. 1902) hatte auf Grund theoretischer Untersuchungen einen positiven Gegenspieler des Elektrons, das *Positron*, gefordert. Es wurde entdeckt, als der von schwedischen Eltern abstammende, in den USA arbeitende Carl David Anderson (geb. 1905) die aus dem Weltraum stammende kosmische Strahlung mit den experimentellen Mitteln der Atomphysik untersuchte.

Die Entdeckung des Positrons war mehr als die Bestätigung einer Vermutung. Sie lieferte einen unwiderlegbaren Beweis für die neuen physikalischen Theorien:

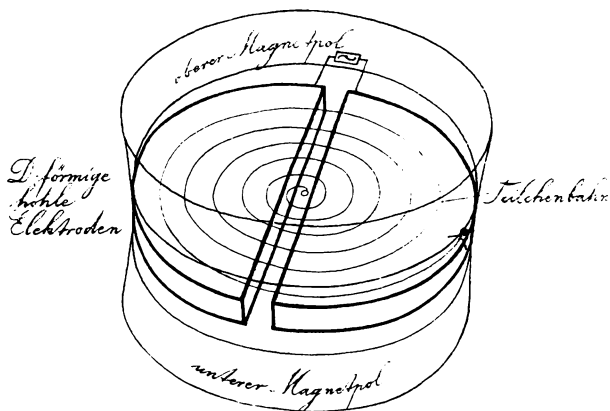
Sobald ein Positron mit Atomen in Wechselwirkung trat, vereinigte

es sich mit einem Elektron. Dabei wurde die Masse der beiden Teilchen nach der Einsteinschen Formel in ein Gammastrahlungs-Quant verwandelt. Die Teilchen »zerstrahlten«, indem stoffliche Materie in elektromagnetische Strahlung überging. Auch der umgekehrte Vorgang wurde beobachtet. Beim Zusammenprall eines energiereichen Gammaquants mit einem Atomkern konnte es zur Bildung eines Elektrons und eines Positrons kommen.

Die »Bombardierung« des Atomkerns – sei es durch die Strahlung radioaktiver Elemente, sei es durch die kosmische Strahlung – hatte sich als äußerst nützlich für die Forschung erwiesen. Der Umgang mit diesen Strahlungsquellen war aber recht umständlich. Daher wandten sich Forscher und Techniker der Aufgabe zu, Geschosse mit technischen Mitteln so weit zu beschleunigen, daß sie in Atomkerne eindringen konnten.

Auch das wurde erreicht. John Cockroft (1897 bis 1967) und Ernest Walton (geb. 1903) erzeugten extrem hohe Spannungen. Mit ihrer Hilfe konnten Wasserstoffkerne so beschleunigt werden, daß sie Lithiumkerne in Heliumionen spalteten. Damit war erstmals eine Kernumwandlung durch künstlich beschleunigte »Geschosse« gelungen.

Ein anderes Verfahren zur Teilchenbeschleunigung geht mit auf den Amerikaner Ernest Orlando Lawrence (1901 bis 1958) zurück. In seinem *Zyklotron* (1932) wurden atomare Teilchen durch magnetische und elektrische Felder auf eine Spiralbahn gezwungen, bei deren Durch-



Zur Arbeitsweise des Zyklotrons

laufen sie ständig an Geschwindigkeit gewannen. Moderne Beschleuniger, wie das *Synchrozyklotron*, das *Protonen-Synchrotron* oder das *Synchrophasotron* gehen auf Lawrence' Gedanken zurück. Sie zählen zu den umfangreichsten und kostspieligsten Apparaturen, die die Forschung – von der Raumfahrt abgesehen – derzeit kennt. Man projiziert sie gegenwärtig für Teilchenbahnen von 200 m und mehr im Durchmesser und für Teilchenenergien, die einer durchlaufenden Spannung von vielen Milliarden Volt entsprechen.

Die Resultate, für die Irène Joliot-Curie und Frédéric Joliot den Nobelpreis erhielten, wurden allerdings mit weit bescheideneren experimentellen Hilfsmitteln erzielt:

Im Pariser Radiuminstitut Marie Sklodowska-Curies beschloß das Forscherpaar Aluminiumfolie mit Alphateilchen und beobachtete in der Nebelkammer die Bahnen, die nach Treffern in Aluminiumkernen entstanden.

Neben den kräftigen Spuren ausgeschleuderter Protonen zeichneten sich vereinzelt dünne, perlschnurartige Bahnen ab. Als man sie mit Hilfe eines Magnetfeldes krümmte, stellte sich heraus, daß sie von Positronen verursacht worden waren.

Das war zunächst nicht besonders bemerkenswert; denn auch Anderson hatte Positronen im Labor freisetzen können, indem er Blei mit Gammastrahlen beschloß. Um so überraschter waren die Joliot-Curies, als sie die Alphastrahlenquelle entfernten: Die Aluminiumfolie strahlte auch weiterhin Positronen aus, stundenlang und, wie Messungen ergaben, nach dem gleichen Gesetz, wie man es für den Zerfall natürlich radioaktiver Substanzen festgestellt hatte.

Die Aluminiumfolie war radioaktiv, aber – sie war erst durch die Beschießung mit Alphateilchen radioaktiv geworden. Das hieß: Man konnte Radioaktivität künstlich hervorrufen! Sie war einem Eingriff nicht grundsätzlich entzogen, sondern ließ sich, wie man bald erkannte, auch bei anderen Elementen, z. B. bei Magnesium und Bor, auslösen.

Die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität veranlaßte eine Welle von Experimenten in zahlreichen Forschungsstätten. Man stellte fest, daß nicht nur Alphateilchen für die Erzeugung radioaktiver Isotope geeignet waren. Mit *Deuteronen*, den Kernen des inzwischen entdeckten schweren Wasserstoffs, und mit Protonen ließen sich ähnliche Resultate erzielen. Auch Neutronen erwiesen sich als geeignete Geschosse – insbesondere deshalb, weil sie keine elektrische Ladung trugen und daher vom »Ziel« nicht abgestoßen wurden. Innerhalb weniger Jahre wurden Hunderte radioaktiver Isotope entdeckt.

Radioaktive Isotope verhielten sich chemisch ebenso wie ihre stabilen »Geschwister«, das heißt die Grundstoffe gleicher Ordnungszahl. Nur in einem unterschieden sie sich von ihnen: Wo immer sie auftraten, verrieten sie ihr Vorhandensein durch die von ihnen ausgehende Strahlung. Sie machen sich dank einer hochentwickelten Meßtechnik selbst dann noch bemerkbar, wenn sie nur in geringsten Spuren existieren.

Die durch ihre Strahlung *markierten* Atome wurden zu einem hervorragenden Werkzeug in der Forschung und auf vielen Gebieten der Technik. In der Chemie und Biologie, bei der Aufklärung von Stoffwechselvorgängen und für die Strahlentherapie sind sie in jüngster Zeit ebenso unentbehrlich geworden wie für die Metallurgie, die Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung.

Viele dieser Möglichkeiten wurden schon in den dreißiger Jahren erkannt. Sie konnten jedoch noch nicht genutzt werden, weil die gewonnenen Mengen an radioaktiven Isotopen für solche Zwecke viel zu gering waren.

Die Joliot-Curies hatten leichte Elemente untersucht und dabei radioaktive Isotope erhalten. Was wird geschehen, fragte sich der Italiener Enrico Fermi (1901 bis 1954), wenn man Atome schwerer Elemente beschießt? Welche Geschosse sind dafür am besten geeignet?

Neutronen können sich Atomkernen ungehindert nähern, da sie nicht abgestoßen werden. Aber sie lassen sich wegen ihrer fehlenden elektrischen Ladung nicht unmittelbar beschleunigen. Immerhin konnte man auf einem Umweg Neutronen hoher Geschwindigkeit freisetzen, indem man beispielsweise Beryllium intensiver radioaktiver Strahlung aussetzte.

Mit einer solchen Neutronenquelle arbeitete Fermi. Das Ergebnis war besser, als er gehofft hatte. Von etwa 70 bestrahlten Stoffen wurden fast 50 radioaktiv. Ein besonders interessantes Resultat erhielt Fermi, als er Uran, den schwersten Stoff im Periodensystem, der Neutronenstrahlung aussetzte. Es entstanden, wenn auch nur in geringsten Mengen, Stoffe, die sich nicht in das Periodensystem einordnen ließen, Stoffe, deren Ordnungszahl über der Ordnungszahl des Urans zu liegen schien. Waren diese Stoffe *Transurane*, Elemente, die in der Natur nicht oder nicht mehr vorkamen? Fermi war davon überzeugt und zweifelte nicht daran, daß Versuche anderer Wissenschaftler zum gleichen oder zu ähnlichen Ergebnissen führen würden.

In Deutschland widmete sich solchen Untersuchungen ein Forschertrio, dessen Namen in der Geschichte der Atomphysik unvergessen bleiben dürften: Otto Hahn (1879 bis 1968), die in Berlin tätige Österreicherin Lise Meitner (1878 bis 1968) und der über zwei Jahrzehnte jüngere Fritz

Straßmann (geb. 1902). Auch sie beschossen Uran, das durch die Arbeiten Fermis in den Mittelpunkt des Interesses gerückt war.

Die Versuchsergebnisse schienen diejenigen Fermis zu bestätigen. Auch Hahn und seine Mitarbeiter glaubten an die Existenz der Transurane. Sie stellten eine Theorie der beobachteten Erscheinungen auf, entwickelten ähnliche Zerfallsreihen, wie man sie einst für natürlich radioaktive Stoffe gefunden hatte, und alles schien in schönster Ordnung – bis 1938 in einer wissenschaftlichen Zeitschrift Einwände gegen Hahns Schlußfolgerungen erhoben wurden.

Die Kritik war gut begründet, ihre Ernsthaftigkeit unterlag keinem Zweifel, kam sie doch aus einer weltbekannten Forschungsstätte. Bei ihren Versuchen in Paris waren Irène Joliot-Curie und ihre Kollegen zu Resultaten gelangt, die sich in Fermis und Hahns Vorstellungen nicht einordnen ließen.

Hahn und Straßmann überprüften die Einwände aus Paris. Lise Meitner war an den Ergebnissen nicht mehr unmittelbar beteiligt. Als »Nicht-arierin«, die sich bisher nur wegen ihrer österreichischen Staatsangehörigkeit an einem deutschen Institut halten können, mußte sie ihren Arbeitsplatz verlassen, nachdem die Faschisten die Reihe ihrer verbrecherischen Überfälle mit der »Angliederung« Österreichs begonnen hatten. Sie hatte sich durch die Flucht nach Schweden gerettet.

Wie aber sahen die Ergebnisse Hahns aus? Zunächst schienen sich die Einsprüche aufzuklären. Neu war allerdings, daß neben den vermeintlichen Transuranen nun auch Elemente beobachtet werden konnten, die im Periodensystem vertreten waren, nämlich ein Radiumisotop und Aktinium.

Wieso entstand Radium bei der Beschießung von Uran? War es überhaupt Radium? In manchen Eigenschaften stimmte das gefundene Radiumisotop mit Radium nicht überein – eher schon mit Barium. Wie aber sollte bei der Beschießung des schweren Urankerns das fast um die Hälfte leichtere Barium entstehen? Das war allenfalls denkbar, wenn das Uran durch den Neutronenbeschuß in Stücke geschlagen, wenn es gespalten wurde. Hahn und Straßmann zögerten zunächst, diese Hypothese anzunehmen. Schließlich hatte man noch nie zuvor beobachtet, daß Atomkerne schwerer Elemente in annähernd gleichgroße Stücke »platzen«.

Die Sprache der Experimente aber wurde immer eindringlicher. Je genauer man die radium- oder bariumähnliche Substanz untersuchte, desto unwiderlegbarer mußte man schließen: Der gefundene Stoff ist Barium. Durch den Beschuß mit Neutronen werden Uranatome gespal-

ten. Die von Fermi beobachteten Transurane waren in Wirklichkeit Splitter, Teile der zerschlagenen Atomkerne.

Noch ehe die neuen Arbeitsergebnisse veröffentlicht wurden, unterrichtete Hahn seine ehemalige Mitarbeiterin Lise Meitner davon. Die Versuche wurden wiederholt, die Berechnungen nachgeprüft. Das Resultat blieb: Die Kernspaltung war Gewißheit geworden! Im Januar 1939, während einer Physikertagung in den Vereinigten Staaten, war sie das am heftigsten diskutierte Thema des Kongresses.

Außenstehende verstanden diese Aufregung kaum. Physiker aber erkannten, daß man mit der Entdeckung der Spaltung des Urankerns am Beginn einer außerordentlich wichtigen Etappe in der Erforschung des Atoms angelangt war: Von nun an konnte die Kernphysik unmittelbare technische Bedeutung erlangen.

Seit der Entdeckung der Radioaktivität wußte man, daß an Vorgängen in Atomkernen große Energiemengen beteiligt sind. Es waren, wenn auch vorerst theoretisch, zwei Möglichkeiten bekannt, wie diese Energie nach außen in Erscheinung treten könnte: Beim Aufbau leichter Atomkerne und bei der Spaltung schwerer Atomkerne erfolgten Massenänderungen, die sich in der Freisetzung von Energie ausdrückten.

Die Größe dieser Energiebeträge ließ sich mit der von Einstein angegebenen Formel berechnen. Das Ergebnis war erstaunlich: Alle bekannten Energiequellen würden wie spärliche Rinnsale anmuten, wenn es gelang, die bei der Kernspaltung freiwerdende Energie zu nutzen.

Sicherlich hatten die in den Januartagen 1939 in den USA versammelten Physiker, aber auch ihre Kollegen in Kopenhagen, in Moskau und Leningrad, in Berlin und anderswo Visionen einer Welt des Energieüberflusses, einer Welt bewässerter Wüsten, einer Welt ohne schwere psychische oder gesundheitsschädliche Arbeit. Gleichzeitig aber erkannten sie, daß der Weg zur »Atomenergie«, zur »Kernenergie«, noch weit und mit Hindernissen übersät war.

Wie sollte man zum Beispiel so viele Urankerne spalten, daß genügend Energie für technische Zwecke frei wurde? Die Mengen, die man im Labor gespalten hatte, reichten zwar für den Nachweis, daß die aufgestellte Energiebilanz stimmte – aber bereits bei diesen Versuchen war ein erheblicher Aufwand nötig, um die nötigen Neutronengeschosse zu erhalten. Für eine Energiegewinnung in größerem Umfang würde man, wie jeder Fachmann ausrechnen konnte, solche gewaltigen Neutronenströme benötigen, daß die Energiefreisetzung jeden Sinn verlor.

Wieder nahm man sich die Urankernspaltung vor. Die Bruchstücke eines Urankerns mußten, soviel war über die Aufbauprinzipien der

Atomkerne bekannt, einen gewissen Überschuß an Neutronen enthalten. Sollten diese Neutronen, oder doch einige davon, nicht bei der Spaltung oder unmittelbar danach davonfliegen? War es nicht denkbar, daß diese Neutronen selbst weitere Urankerne zertrümmern konnten? Und wenn das so wäre – müßte sich dieser Vorgang nicht lawinenartig, als *Kettenreaktion*, fortpflanzen und dabei eine gewaltige Energiemenge – 25 Millionen Kilowattstunden je Kilogramm Uran – freisetzen?

Im März 1939 legte Frédéric Joliot die entscheidenden Resultate vor, die er mit seinen Mitarbeitern erhalten hatte: Bei der Spaltung des Uranatoms werden tatsächlich Neutronen frei – zwei oder drei im Mittel; diese Neutronen können weitere Urankerne spalten. Die Spaltungs- und Energielawine, die Kettenreaktion, ist im Prinzip möglich!

Diese Feststellung war der Ausgangspunkt neuer Fragen: Wenn eine Kettenreaktion möglich ist, wenn ein Neutron sie auslösen kann, warum ist dann nicht alles Uran längst gespalten? Neutronen, die den Vorgang einleiten könnten, treten ständig und überall auf, zum Beispiel als Folge der Einwirkung der kosmischen Strahlung.

Als man die Vorgänge bei der Spaltung näher untersuchte, stellte sich heraus, daß nicht alle Uranatome gut für eine Spaltung durch Neutronenbeschuß geeignet sind. Vor allem werden Atome des Uranisotops mit der Massenzahl 235, kurz »U 235« genannt, gespalten. Dieses Isotop ist im natürlichen Uran nur in starker »Verdünnung«, etwa im Verhältnis 1:140, enthalten. Soll der Vorgang der Urankernspaltung von selbst weiterlaufen, muß jedes gespaltene U-235-Atom durch Neutronenausendung die Spaltung eines weiteren verursachen. Gerade das ist aber normalerweise nicht der Fall, und diesem Umstand verdanken wir auch, daß keine spontane Kettenreaktion eintritt. Zwar setzt jedes U-235-Atom bei der Spaltung 2 bis 3 Neutronen frei, doch sie gehen meistens verloren und sind an weiteren Kernspaltungen nicht beteiligt. Sehen wir von Verlusten ab, die durch nach außen entweichende Neutronen entstehen, hat das vor allem folgenden Grund:

Die Atome des Uranisotops »U 238«, die den größten Anteil des in der Natur vorkommenden Urans stellen, fangen die Mehrzahl der freiwerdenden Neutronen ein, ohne selbst Neutronen auszusenden. Sie verwandeln sich über mehrere Zwischenstufen in *Plutonium*, ein echtes Transuran. Plutonium ist zwar ebenfalls ein spaltbarer Stoff und deshalb heute sehr wichtig, steht aber zunächst für den Vorgang nicht zur Verfügung. Nur *langsame* Neutronen, deren Geschwindigkeit bei wenigen Kilometern in der Sekunde liegt, werden selten von U-238-Atomen eingefangen und können weitere U-235-Atome spalten.

Mit dieser Erkenntnis war der Weg für die weitere Arbeit vorgezeichnet: Man konnte eine Kettenreaktion hervorrufen, indem man das spaltbare U 235 isolierte und so den Neutronenverlust durch U 238 verhinderte. Auch dabei war allerdings zu verhindern, daß die meisten Neutronen wirkungslos entkamen. Um das zu erreichen, mußte eine bestimmte, *kritische* Mindestmenge U 235 vereint werden, die so bemessen war, daß jedes freiwerdende Neutron oder doch die überwiegende Zahl neue Atomkerne spaltete.

Eine U-235-Menge, die den kritischen Wert überschritt, würde unter dem Einfluß der stets vorhandenen Neutronen sofort durch eine innerhalb winziger Sekundenbruchteile ablaufende Kettenreaktion gespalten werden. Eine Explosion wäre die Folge, der gegenüber die Wirkungen herkömmlicher Sprengstoffe vergleichsweise harmlos waren.

Die zweite Möglichkeit, zur Kettenreaktion zu kommen, bestand darin, die freiwerdenden Neutronen unmittelbar nach jeder Kernspaltung soweit abzubremsen, daß sie von den U-238-Kernen nicht eingefangen wurden, aber noch schnell genug waren, weitere U-235-Kerne zu spalten. Aber wie sollte man Neutronen abbremsen? Ein Lösungsweg konnte es sein, die freiwerdenden Neutronen mit anderen Atomkernen zusammenstoßen zu lassen, die selbst keine Neutronen aufnahmen, jedoch durch den Zusammenprall die Neutronengeschwindigkeit verminderten. Als Bremsmittel, als *Moderator*, würden besonders Grundstoffe niedriger relativer Atommasse geeignet sein, sofern sie nicht selbst Neutronen wegfangen. Aus diesem Grunde kam Wasserstoff nicht in Frage. Weit besser geeignet schienen Graphit und vor allem schwerer Wasserstoff, ein Wasserstoffisotop, dessen Kerne aus einem Proton und einem Neutron zusammengesetzt sind. Als Sicherung gegen einen explosiven Ablauf der Kettenreaktion mußte man außerdem Stoffe in ihren Ablauf schalten, die Neutronen begierig wegfangen.

So taten sich schon bald nach der Entdeckung der Uranspaltung und der Kettenreaktion zwei Wege auf. Die Herbeiführung einer Reaktion mit einer die kritische Masse überschreitenden Spaltstoffmenge bedeutete eine gigantische Explosion. Ihre »Nutzung« konnte vorerst vor allem auf militärischem Gebiet liegen, in der Entwicklung einer *Atombombe* von furchtbarer Wirkung. Der andere Weg, der einer Reaktion mit »langsamen«, durch einen Moderator gebremsten Neutronen, konnte völlig neue Methoden der Energiegewinnung erschließen.

Welches der beiden Ziele zuerst und vor allem verfolgt wurde, hing von den politischen Verhältnissen in den Staaten ab, in denen diese Forschungen betrieben wurden.

Das faschistische Deutschland bereitete damals den zweiten Weltkrieg vor. Es würde – davon waren die aus Deutschland und Italien vertriebenen Physiker überzeugt – nicht davor zurückschrecken, eine Waffe einzusetzen, deren Grundlage die Kernspaltung bildete.

Im Juli 1939 wies Albert Einstein, der die Rücksichtslosigkeit und Skrupellosigkeit des Faschismus selbst kennengelernt hatte, auf Bitten in die USA emigrierter Kollegen in einem Brief an den amerikanischen Präsidenten nachdrücklich auf die Gefahren hin, die aus der Anwendung der Kernenergie durch die faschistischen Machthaber erwachsen könnten.

Viele Monate hindurch geschah nichts. Die USA betrieben eine Politik, die darauf gerichtet war, die kriegführenden Staaten ausbluten zu lassen und danach dem scheinbar Schwächeren zu helfen, um auf diese Weise die Rolle eines Weltgendarmen übernehmen zu können. Erst unter dem Eindruck des faschistischen Überfalls auf Polen, des »Blitzkrieges« gegen Frankreich, der Besetzung Dänemarks und Norwegens entschloß sich die amerikanische Regierung, die Erforschung der Kernspaltung vorrangig zu fördern – mit dem Ziel, eine Atombombe zu entwickeln. Sie sollte vor allem ein wesentliches Mittel der Monopole der USA werden, die Welt zu beherrschen. Zunächst galt es, nachzuweisen, daß die Kettenreaktion sich überhaupt verwirklichen ließ. Unter Enrico Fermis Leitung leistete eine Gruppe von Wissenschaftlern und Technikern die nötigen Vorarbeiten und begann mit dem Aufbau des ersten Kernreaktors. Seine aktive Zone wurde aus Urankugeln und Graphit zusammengesetzt. Kadmiumstäbe, die in den Innenraum ragten, sollten ein »Durchgehen« und damit eine Explosion verhindern und die Steuerung der Kettenreaktion ermöglichen.

Im Dezember 1942 war die Anlage unter einer Sportplatztribüne in Chikago betriebsbereit. Würden sich die immer wieder überprüften Berechnungen bestätigen? Würden Einflüsse, die noch nicht erkannt waren, den Reaktor in die Luft fliegen lassen? Niemand vermochte das mit völliger Sicherheit zu sagen, und die bereitstehenden Eimer mit Kadmiumlösung zum »Löschen« des Reaktors waren, das wußten alle Beteiligten, eine zusätzliche Sicherheitsmaßnahme von sehr fragwürdigem Wert.

Als man anfang, die Kadmiumstäbe vorsichtig aus dem Reaktorkern zu ziehen, schlugen die Meßinstrumente aus. Das Wagnis war gelungen, der Kernreaktor funktionierte. 0,5 Watt betrug die Leistung zunächst, weniger, als für den Betrieb einer Taschenlampe nötig ist. Aber als man nach zehn Tagen, ausgefüllt mit Berechnungen, Kontrollen, Prüfungen,

die Stäbe weiter herauszog, stieg die Leistung auf 200 Watt. Die Atomenergie war freigesetzt!

Jetzt hätte man daran gehen können, diese Energiequelle zu erschließen, sie den Menschen nutzbar zu machen. Auf der Tagesordnung jedoch stand allein »Manhattan District«, die Atombombe.

Ausgedehnte Fabrikationsstätten waren nötig. »Dupont de Nemours« und andere Chemiekonzerne bauten sie nur zu gern auf. Der Profit der Großaktionäre stieg. Die großen Elektrofirmen leisteten Hilfestellung, die sich für sie ebenfalls bezahlt machte. Bald arbeiteten in Oak Ridge gewaltige Anlagen, in denen das für die Atombombe erforderliche Uranisotop U 235 gewonnen wurde. Am Columbia-River wurden die Hanford-Werke aus dem Boden gestampft. Sie erzeugten in einer Batterie von Kernreaktoren Plutonium, das die »Sprengladung« für die neue Waffe abgeben sollte. 1 Million Kilowatt wurden in den Hanfordwerken nebenbei als Wärmemenge frei. Niemand dachte daran, sie zu nutzen. Sie wurden abgeführt, indem man das Wasser des Columbia-River als Kühlmittel durch die Reaktoren strömen ließ.

In Neu-Mexico, nahe der Stadt Santa Fé, entstand das Forschungszentrum Los Alamos, von wo aus die Arbeiten an der Atombombe geleitet und koordiniert wurden.

Die Anlagen produzierten Tag für Tag und Nacht um Nacht. Milligramm um Milligramm, Gramm für Gramm sammelte sich der todbringende spaltbare Stoff an.

Würde die Bombe funktionieren? Würde sich der Milliardenaufwand »lohlen«? Man konnte es nicht ausprobieren. Solange die kritische Menge an Uran 235 nicht vereint wird, ist eine Explosion ausgeschlossen. Vereinigt man aber die nötige Masse, erfolgt die Atomexplosion in ihrer ganzen Gewalt. »Übungsbomben« gibt es nicht.

Im Sommer 1945 waren zwei Uranbomben und eine Plutoniumbombe fertiggestellt. Eine militärische Notwendigkeit, sie einzusetzen, bestand nicht mehr. Das faschistische Deutschland, über dessen Städten man sie abwerfen wollte, hatte kapituliert. Der Krieg gegen Japan neigte sich seinem Ende zu.

Im Jahr vorher bereits hatte Niels Bohr davor gewarnt, die Bomben einzusetzen. Jetzt wandten sich sieben bekannte Kernphysiker, an ihrer Spitze James Franck (1882 bis 1964), an das amerikanische Kriegsministerium. Sie schlugen vor, die Kernwaffe einer Abordnung der Vereinten Nationen vorzuführen und so Japan ohne unnötige weitere Opfer zur Kapitulation zu zwingen.

Die Warner hatten die Rechnung ohne jene Gruppe von imperialisti-

schen Politikern im Weißen Haus und im Pentagon gemacht, die in der Sowjetunion bereits den »Gegner von morgen« sahen. Ihm vor allem, aber auch anderen Völkern, wollte man zeigen, wie groß die »militärische Überlegenheit« des USA-Imperialismus sei, und für diese Demonstration war man bereit, Menschenleben zu opfern, deren Zahl niemand abzuschätzen wagte.

In den Morgenstunden des 16. Juli 1945 wurde in der Wüste von Alamogordo von einem Bunker aus die erste Atombombe gezündet. Der Feuerball, die in die Atmosphäre aufsteigende Explosionssäule und Hunderte von Meßinstrumenten kündeten vom Gelingen des Experiments.

Drei Wochen später, am 6. August 1945 um 15 Uhr, rollte die »Enola Gay« auf der Piste des USA-Stützpunktes Tinian aus. Die erste Atombombe war abgeworfen.

Hiroshima brannte. 80 000 Tote lagen unter den Trümmern. Zwischen den zerstörten Häusern irrten die verzweifelte Überlebenden umher, suchten ihre Angehörigen – und ahnten nicht, daß sie tödlicher radioaktiver Strahlung ausgesetzt waren, die noch Opfer forderte, als Hiroshima längst wieder aufgebaut war.

Drei Tage später stieg der nächste Atompilz zum Himmel, Signal des Untergangs von Nagasaki. Diesmal waren es 70 000 Tote. Die schrecklichen Bilder von Hiroshima wiederholten sich.

Die Kriegsschäden waren noch nicht beseitigt, die Zahl der Neuerkrankungen von Bewohnern Hiroshimas und Nagasakis noch kaum abgeklungen, als die USA neue Bomben erprobten. Sprengkraft und Strahlenwirkung waren vielfach stärker als die ihrer Vorläufer. Nicht nur die bei der Kernspaltung freiwerdende, sondern die vielmals größere Energie der Kernverschmelzung wurde jetzt zur Herstellung neuer Zerstörungsmittel mißbraucht, der Wasserstoffbomben.

Das »Kernwaffenmonopol«, von dem sich der USA-Imperialismus ein Übergewicht des Schreckens erhofft hatte, blieb trotzdem ein Wunschtraum.

Das Land, das unter dem Krieg am meisten zu leiden gehabt hatte, dessen erste Atombomben westliche Experten nicht vor 1952 glaubten erwarten zu können, machte in einer gewaltigen Kraftanstrengung die Erfolgchancen jedes Angreifers zunichte. Am 25. Dezember 1946 lief der erste sowjetische Kernreaktor an; der Physiker Igor Wassiljewitsch Kurtschatow (1902 bis 1960) und seine Mitarbeiter hatten ihn entwickelt. Vier Jahre nach Kriegsende besaß auch die Sowjetunion Kernwaffen; zusammen mit einer überlegenen Raketentechnik könnten sie jeden angreifenden Gegner auf seinem eigenen Territorium vernichten.

Die Sowjetunion nutzte ihre Stärke aber niemals, um anderen Staaten zu drohen, sondern verband ihre Entwicklung auf diesen Gebieten immer mit der sozialistischen Politik der Verständigung der Völker untereinander und mit speziellen Aufforderungen an die Machthaber imperialistischer Staaten, das Wettrüsten und speziell den Bau und die Lagerung von Kernwaffen einzustellen. Diese Politik wurde, getragen vor allem von den kommunistischen und Arbeiterparteien der sozialistischen Staatengemeinschaft und der ganzen übrigen Welt, zur Grundlage der Weltfriedensbewegung. Sie gewann zunehmend an Bedeutung. Zum ersten Präsidenten des Weltfriedensrates wurde nicht von ungefähr der Kommunist, Kernphysiker, Lenin- und Nobelpreisträger Frédéric Joliot gewählt.

Noch vor Hiroshima und Nagasaki hatten Wissenschaftler ihre Stimme gegen den Mißbrauch der Kernenergie erhoben. In der Nachkriegszeit nahm auch ihre Zahl unter dem Eindruck der Weltfriedensbewegung von Monat zu Monat, von Kernwaffenversuch zu Kernwaffenversuch zu. Selbst Robert Oppenheimer (1904 bis 1962), während der Kriegsjahre Forschungsleiter in Los Alamos, lehnte die Mitarbeit an der Wasserstoffbombe ab – und wurde deswegen als »Kommunist« verdächtigt. Nur wenige bezeichneten die Kernwaffenexperimente noch als »schöne Physik« oder setzten sich für die Entwicklung immer furchtbarer Waffen ein.

Im Sommer 1955 unterzeichneten 52 Nobelpreisträger eine Erklärung an alle Nationen, in der es hieß: »... Mit Freuden haben wir unser Leben in den Dienst der Wissenschaft gestellt. Sie ist, so glauben wir, ein Weg zu einem glücklicheren Leben der Menschen. Wir sehen, daß eben diese Wissenschaft der Menschheit Mittel in die Hand gibt, sich selbst zu zerstören... Alle Nationen müssen zu der Entscheidung kommen, freiwillig auf die Gewalt als letztes Mittel der Politik zu verzichten. Sind sie dazu nicht bereit, so werden sie aufhören zu existieren.«

Im April 1957 veröffentlichten 18 führende westdeutsche Forscher, unter ihnen Otto Hahn, Max Born und Werner Heisenberg, einen Appell, in dem sie vor einer atomaren Bewaffnung der westdeutschen Bundeswehr warnten und zugleich jede Beteiligung bei der Herstellung von Kernwaffen ablehnten.

Ein knappes Jahr danach überreichte der amerikanische Chemiker und Nobelpreisträger Linus Pauling (geb. 1901) dem Generalsekretär der Vereinten Nationen eine von mehr als 11000 Wissenschaftlern aus nahezu 50 Ländern unterzeichnete Erklärung:

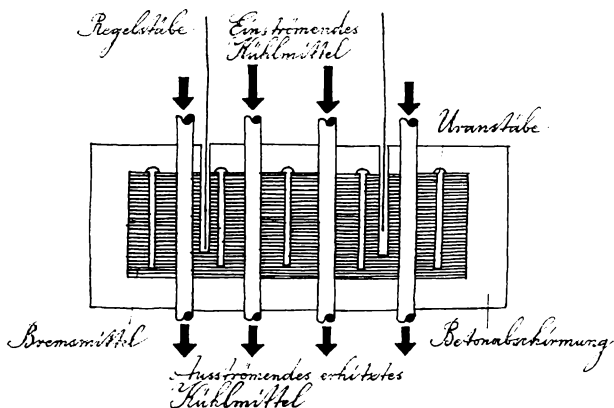
»... Wir, die unterzeichneten Wissenschaftler, verlangen dringend,

daß sofort ein internationales Abkommen zur Einstellung der Kernwaffenversuche getroffen wird . . .

Ein internationales Abkommen zur sofortigen Einstellung der Kernwaffenversuche würde als ein erster Schritt zu einer allgemeinen Abrüstung und zur endgültigen und vollständigen Abschaffung von Kernwaffen dienen und die Möglichkeit eines Kernkrieges abwenden, der eine Katastrophe für die ganze Menschheit bedeuten würde.«

Alle friedliebenden Menschen stimmten diesen von Sachkenntnis wie von Verantwortungsbewußtsein gleichermaßen getragenen Worten zu. Die Regierungen der sozialistischen Staaten, ihnen voran die Sowjetunion, ließen es nicht an Vorschlägen fehlen, deren Ziel nicht nur eine atomare, sondern die vollständige, allgemeine und kontrollierte Abrüstung ist. Daß in den vergangenen Jahren Abkommen über die Einstellung der gefährlichsten Kernwaffenversuche und weitere Verträge gegen eine Verbreitung von Kernwaffen erzielt werden konnten, sind bedeutende Erfolge der konsequenten Friedenspolitik der Sowjetunion, der ganzen sozialistischen Staatengemeinschaft und aller friedliebenden Kräfte der Welt.

Erst nach dem Kriege wandte man sich verstärkt den friedlichen Anwendungsmöglichkeiten der Kernspaltung zu. In mehreren Ländern wurden Kernreaktoren entwickelt und in Betrieb genommen. Sie sollten in erster Linie dazu dienen, Erfahrungen zu sammeln, hatten aber auch schon Aufgaben, die der Praxis unmittelbar zugute kamen:



Schematische Darstellung eines mit langsamen Neutronen arbeitenden Kernreaktors

Radioaktive Isotope, über deren mannigfache Verwendungsmöglichkeiten sich alle Wissenschaftler klar waren, konnten in Kernreaktoren in weit größeren Mengen und billiger gewonnen werden als bisher. Ihrer Anwendung stand damit nichts mehr im Wege, ihre Bedeutung stieg von Jahr zu Jahr. Heute sind sie aus der Forschung, aus vielen Zweigen der Technik sowie aus der Medizin nicht mehr wegzudenken.

Immer mehr aber rückte auch die Energiegewinnung aus der Kernspaltung in den Vordergrund des Interesses. Der ständig und rasch wachsende Energiebedarf der Menschheit ließ keinen Zweifel daran, daß die natürlichen Brennstoffvorkommen und damit zugleich wichtigste Rohstofflager der chemischen Industrie sich bereits in naher Zukunft erschöpfen würden, wenn man sie nicht durch andere Energiequellen ergänzte und später überhaupt ablöste.

Diese Tatsache zwang selbst brennstoffreiche kapitalistische Länder, den Fragen der Kernenergiegewinnung Aufmerksamkeit zu widmen. Doch während man noch debattierte, ob und wie lange sich Profit leichter aus natürlichen Brennstoffen als aus Atomkernen erzielen ließe, zeigte die Sowjetunion, welcher Leistungen eine sozialistisch geplante und geleitete Wirtschaft fähig ist:

Keine acht Jahre nach dem Anlaufen des ersten sowjetischen Kernreaktors wurde am 27. Juni 1954 in der Sowjetunion das erste Kernkraftwerk der Welt an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Es war zunächst ausschließlich für Versuchszwecke gedacht und seine Leistung demzufolge bescheiden (5 000 kW); doch bereits in den ersten beiden Betriebsjahren ersparte es der sowjetischen Volkswirtschaft 75 000 t Kohle und verbrauchte dafür nur einige Kilogramm Uran.

Dem ersten Kernkraftwerk folgten in der Sowjetunion, in England, den USA, in anderen Ländern und 1966 auch in der DDR weitere, mit verbesserten Einrichtungen und vielfach höherer Leistung. Ihr Anteil an der Energieversorgung der Welt ist vorerst noch gering, wächst jedoch von Jahr zu Jahr. 1970 arbeiteten in der Welt bereits etwa 80 Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von etwa 20 000 Megawatt; bis 1980 dürfte sie bei 200 000 Megawatt liegen; um die Jahrtausendwende wird ungefähr die Hälfte des Weltbedarfs an Energie aus Kernkraftwerken gedeckt werden.

Als Antriebsquelle für Schiffsschrauben hat sich die Kernenergie inzwischen gleichfalls bewährt. Während die USA, ihrer imperialistischen Politik getreu, als erstes ein »Atom-Unterseeboot« auf Kiel legten, lief im Dezember 1957 der sowjetische Atomeisbrecher »Lenin« vom Stapel, der mit seinen 44 000-PS-Maschinen die nördlichen Seewege der Sowjet-

union freihalten hilft. 1962 trat der erste »Atomfrachter«, die nordamerikanische »Savannah«, seine erste Reise an.

Die Kerntechnik hat ihre ersten Erfolge errungen. Aber die Wissenschaftler blicken bereits weiter in die Zukunft: An die Seite der Kernspaltung wird eines Tages die *Kernfusion* treten, die Verschmelzung leichter zu schwereren Atomkernen. Manche Mängel, die Kernkraftwerken heute anhaften und sich prinzipiell nicht umgehen lassen, wird es beim *Kernfusionskraftwerk* nicht mehr geben. Das in gewöhnlichem Wasser enthaltene Deuterium wird als »Brennstoff« dienen.

Die Kernfusion ist heute noch Forschungsthema; aber sie ist bei weitem nicht das einzige Thema der Atomphysiker. Die Unerschöpflichkeit des Atoms zeigt sich um so deutlicher, je mehr seiner Geheimnisse enträtselt werden. War man in den Jahren, da Otto Hahn seine große Entdeckung machte, noch überzeugt, daß es nur einige wenige Elementarteilchen gäbe, so hat sich dieses Bild inzwischen gründlich gewandelt. An die Seite der Protonen, Neutronen und Elektronen sind weitere Teilchen getreten, wie Mesonen, Neutrinos, Hyperonen. Über 80 kennt man heute, Teilchen, die nur milliardste Teile einer Sekunde »leben«, ehe sie zerfallen, sich in andere Teilchen oder elektromagnetische Strahlung umwandeln. Ihren Eigenschaften, ihrem Verhalten, vor allem aber ihren gegenseitigen Wechselbeziehungen gilt gegenwärtig ein großer Teil der Tätigkeit der Kernforschungsinstitute.

Otto Hahn baute seine Apparate auf einem Holztisch auf. Heute stehen den Forschern riesige Anlagen zur Verfügung – Beschleuniger, die die Fläche eines Sportfeldes einnehmen, Laboratorien, in deren Räumen sich die Bewohner einer kleinen Stadt unterbringen ließen. Kein kleines Land kann allein sich solchen Aufwand leisten. Die Forschung zwingt, soll sie nicht stagnieren, zu internationaler friedlicher Zusammenarbeit. Das 1956 von den Ländern der sozialistischen Staatengemeinschaft in der Nähe Moskaus gegründete Kernforschungszentrum Dubna ist dafür das berühmteste Beispiel.

Funkwellen an alle

Sollte die Funktechnik nicht nach vielversprechenden Anfängen auf der Stelle treten, mußte ihr ein Bauelement zur Verfügung gestellt werden, mit dem sich auch schwächste Wechselspannungen und -ströme verstärken lassen. Eine zufällige Beobachtung Thomas Alva Edisons (1847 bis 1931) war der Ausgangspunkt seiner Entwicklung.

Bei Experimenten, deren Ziel die Verbesserung der Glühlampe war, beobachtete er mitunter eine elektrische Aufladung der Wand des gläsernen Lampenkolbens. Um dieser Erscheinung auf den Grund zu gehen, brachte Edison im Inneren einer Glühlampe ein Blechplättchen an und verband es über ein empfindliches Meßinstrument mit der Batterie, die den Leuchtdraht speiste.

Sobald die Lampe brannte und das Meßinstrument mit dem positiven Batteriepol verbunden war, zeigte es einen schwachen Strom an. Schaltete man es an den negativen Batteriepol, setzte dieser Strom sofort aus.

Aus dem glühenden Leuchtdraht traten Elektronen. Lag das Blechplättchen am positiven Batteriepol, zog es Elektronen an. Sie wanderten über das Instrument und die Batterie zum Leuchtdraht zurück. War das Plättchen dagegen an den negativen Batteriepol angeschlossen, stieß es die gleichfalls negativen Elektronen ab. Infolgedessen konnte kein Strom fließen.

Damit erschloß sich der physikalischen Experimentiertechnik eine leicht zugängliche Elektronenquelle. Während man bisher, zum Beispiel in Geißlerschen Röhren oder in Röntgenröhren, *freie* Elektronen nur unter Zuhilfenahme hoher Spannungen erhalten hatte, gelang dies bei Ausnutzung der *Glühemission* bereits bei sehr niedrigen Spannungen. Der Elektronenstrom floß stets vom Leuchtdraht zum Plättchen. Die Lampe wirkte also wie ein Ventil. Von einem Wechselstrom sperrte sie jeweils den Strom in einer Richtung ab, während sie ihn in Gegenrichtung passieren ließ. Das bedeutete: Mit Hilfe des Edison-Effektes konnte man Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln.

Im Jahre 1904 meldete der deutsche Physiker Arthur Wehnelt (1871 bis 1944) seine auf dem Edison-Effekt beruhende *Ventilröhre* zum Patent an. Sie enthielt statt eines einfachen Glühdrahtes eine *Oxidkatode*, die bereits bei verhältnismäßig niedriger Temperatur reichlich Elektronen freisetzte, und wurde dazu benutzt, den für Röntgenröhren nötigen Gleichstrom hoher Spannung bereitzustellen.

Ventilröhren konnten auch Wechselströme sehr hoher Frequenz gleichrichten. Da eine solche Gleichrichtung vom Detektor jedes Funkempfängers zu leisten war, lag es nahe, ihn durch Ventilröhren zu ersetzen.

Das versuchte als erster der Engländer John Ambrose Fleming (1849 bis 1945). Ebenfalls 1904 wurde ihm ein Patent auf den *Gasdetektor* erteilt. In einem teilweise evakuierten Glaskolben waren zwei Elektroden, die *Anode* und die *Katode*, ein Glühdraht, untergebracht. Die Röhre wurde statt des Elektrolyt- oder Kristalldetektors in die Empfängerschaltung eingefügt.

Mit dem Gasdetektor war die *Radoröhre* geboren. Größere Bedeutung erhielt sie jedoch zunächst nicht. Es gelang nicht, Gasdetektoren gleicher Qualität in großen Stückzahlen zu produzieren, die Empfänger wurden durch ihren Einbau komplizierter. Vor allem aber lösten Gasdetektoren nicht das wichtigste Problem, das der Verstärkung.

Ließ sich der Elektronenstrom in einer Ventiltröhre nicht auf irgendeine Weise steuern? Wenn das gelang, würde sich die Ventiltröhre vielleicht zu einer *Verstärkerröhre* weiterentwickeln lassen.

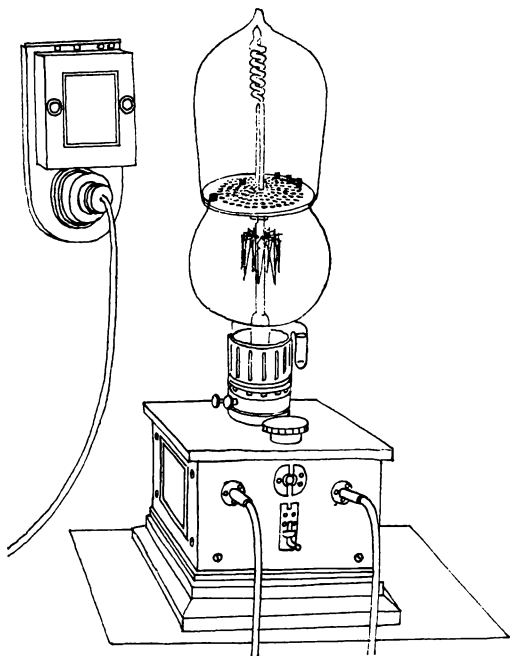
Von solchen Überlegungen ging der Österreicher Robert von Lieben (1878 bis 1913) aus. Er knüpfte an bekannte Erscheinungen an, nämlich an die Beeinflussbarkeit eines Elektronenstromes durch magnetische oder elektrische Kräfte. Doch solange Lieben Magnetspulen außen auf der Röhre anbrachte, war die Steuerwirkung zu gering. Von einer Verstärkung konnte nicht die Rede sein. Wenn man nun die steuernde Anordnung den Elektronen unmittelbar in den Weg stellte, zum Beispiel als siebartig durchlöcherter Platte zwischen Katode und Anode?

Dieser Gedanke wurde nahezu gleichzeitig von Lieben und von dem Amerikaner Lee de Forest (1873 bis 1961) in die Tat umgesetzt. Die Anordnung funktionierte. Damit war die Verstärkerröhre erfunden, deren Prinzip auch heute noch gültig ist:

Der Elektronenstrom aus einer Glühkatode passiert ein *Gitter* und wird dabei – je nach der zwischen dem Gitter und der Katode vorhandenen Steuerspannung – behindert oder gefördert. Läßt man ihn außerhalb der Röhre einen Widerstand durchfließen, ruft er an diesem kräftige Spannungsschwankungen hervor, die die Änderung der Steuerspannung übertreffen können. Die Röhre »verstärkt« also die Spannungsänderungen am Gitter.

Es dauerte jedoch Jahre, ehe die Verstärkerröhre allgemein eingeführt wurde. Die ersten Röhren waren ausschließlich in Laboratorien entstanden. Ihre industrielle Fertigung bereitete große Schwierigkeiten. Auch enthielten sämtliche Röhren anfänglich Gasreste, so daß neben Elektronen Ionen an den Vorgängen beteiligt waren. Das hatte unter anderem den Nachteil, daß die Röhren ihre Daten während des Betriebes ständig veränderten.

Der entscheidende Schritt wurde vollzogen, als der amerikanische Physiker und Physikochemiker Irving Langmuir (1881 bis 1957) alle Luft- und Gasreste so sorgfältig wie nur irgend möglich aus dem Röhrenkolben entfernte. Er schuf damit die *Hochvakuumröhre*, die bis heute – von Sonderzwecken abgesehen – in der Verstärkertechnik neben den später entwickelten Transistoren das Feld behauptet. Mit der Entwick-



Einer der ersten Röhrenverstärker für Fernsprechzwecke

lung wirkungsvollerer Hochvakuum pumpen und entsprechender technologischer Verfahren konnte allmählich auch die Röhrenfertigung verbessert werden, so daß noch vor 1914 größere Röhrenmengen auf den Markt kamen.

Die Auswirkungen auf die drahtlose Nachrichtentechnik waren größer als die aller Fortschritte aus den vorangegangenen Jahren. Reichweite und Betriebssicherheit von Funkverbindungen stiegen schlagartig an. Funkzeichen, die man vorher kaum hatte aufnehmen können, wurden laut und deutlich, sobald man dem Detektor eine Verstärkerröhre nachschaltete. Genügte die so erzielte Verbesserung nicht, konnte man mehrere Röhrenstufen vorsehen.

Neben der Verstärkung *nach* dem Detektor, der »Niederfrequenzverstärkung«, bestand noch eine andere Möglichkeit: Mitunter waren die

aufgenommenen Signale bereits zu schwach, um vom Detektor verarbeitet zu werden. In diesem Fall konnte man die Röhre als »Hochfrequenzverstärker« vor dem Detektor anordnen. Schließlich bewährten sich Röhren auch statt des Detektors, so daß Empfänger gebaut werden konnten, deren Stufen ausschließlich mit Röhren bestückt waren.

Eine weitere wichtige Etappe der drahtlosen Nachrichtentechnik begann, als es gelang, die Röhren nicht nur zur Verstärkung, sondern auch zur Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen zu benutzen.

Im Frühjahr 1913 beantragte der deutsche Physiker Alexander Meißner (1883 bis 1958) das Patent auf die »Rückkopplungsschaltung«, die das ermöglichte. Mit ihr ließen sich auf einfache Weise ungedämpfte elektromagnetische Wellen verschiedenster Frequenzen erzeugen. Meißner selbst baute die ersten »Röhrensender«. Nach dem Kriege setzten sie sich auf der ganzen Welt durch.

Die Auswirkungen der Rückkopplungsschaltung auf die Funkempfangstechnik waren nicht weniger wichtig; denn sie führten zur Entwicklung des »Rückkopplungsaudions«, einer sehr empfindlichen Empfängerschaltung. Der »Superhet«, ein heute auf allen Gebieten der Funktechnik eingeführter Empfänger, benutzt in seiner wichtigsten Baustufe ebenfalls eine Rückkopplungsanordnung.

Seit elektromagnetische Wellen zur Nachrichtenübermittlung dienten, versuchte man, mit ihrer Hilfe nicht nur zu telegrafieren, sondern auch zu telefonieren. 1907 hatte man versuchsweise drahtlos Gespräche zwischen Berlin und Dresden geführt; in New York waren 1908 und 1913 Konzerte durch Funk übertragen und eigens dazu Empfänger in einigen Wohnungen aufgestellt worden. Die verfügbaren Sender – Lichtbogensender – und auch die Empfänger waren jedoch für die Funktelefonie wenig geeignet. Röhrensender boten der Funktelefonie weit bessere Möglichkeiten. Noch während des ersten Weltkrieges tauchten beiderseits der Fronten »Sprechfunkgeräte« auf.

Nach Kriegsende wurden die Funktelefonieversuche unter besseren technischen Voraussetzungen weitergeführt, nicht zuletzt, weil die während der Kriegsjahre ständig erweiterte Funkindustrie sich einen neuen, möglichst großen und stabilen Kundenkreis zu schaffen suchte.

Sollte es nicht möglich sein, relativ einfache und billige Empfänger zu verkaufen und ihren Besitzern von günstig gelegenen Sendern aus »Programme« zuzustrahlen? Wenn man nur für eine geschickte Mischung aus Unterhaltung und Information sorgte, wenn man den Farmern Wetterberichte und Weizenpreise, den Sportanhängern die neuesten Baseballresultate, der Hausfrau Kochrezepte, den Musikliebhabern Konzerte

drahtlos ins Haus schickte, würden sich wahrscheinlich genügend viele Interessenten des »Broadcasting«, des »Breitstreuens«, wie man den Rundfunk anfänglich nannte, finden. Es ergaben sich aber noch weitere verlockende Möglichkeiten: Durch Nachrichtensendungen und Kommentare, die naturgemäß noch aktueller als Presseveröffentlichungen sein konnten, durch die gesamte Programmauswahl und -gestaltung ließ sich die öffentliche Meinung wirkungsvoll beeinflussen.

Anfang 1920 begann, auf Anregung und mit Unterstützung der Westinghouse-Electric-Company, in Pittsburgh die erste »Broadcasting-Station« mit regelmäßigen Sendungen. Es wurden Musikprogramme, Vorträge, Nachrichten und Reklamesendungen gebracht.

Die Initiatoren des Senders hatten sich nicht verrechnet. Das »technische Wunder« sprach sich schnell herum. In zahlreichen anderen Städten wurden gleichfalls Sender errichtet. Der Absatz von *Radioapparaten* aber ließ sich so gut an, daß nicht nur die vorhandenen Firmen mit Aufträgen voll eingedeckt waren, sondern daß darüber hinaus Betriebe gegründet wurden, die von vornherein auf den Bau von Rundfunkempfängern spezialisiert waren.

Unter der Sowjetmacht begann man sich unmittelbar nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution intensiv mit Arbeiten zu befassen, deren Ziel der Rundfunk war. 1918 wurden durch Dekrete Lenins die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Funktechnik zusammengefaßt. Wenig später wurde ein zentrales Forschungsinstitut für das gesamte Gebiet der Hochfrequenztechnik gegründet.

1921/22 entstand in Moskau der Sender »Komintern«. Etwa um die gleiche Zeit nahmen auch in England die ersten Rundfunksender ihren Betrieb auf.

In Deutschland verstrich noch eine lange Zeit, ehe der Rundfunk eröffnet wurde. Verschiedene Interessengruppen der Bourgeoisie stritten um seine Zielsetzung und Organisation. Eine Zeitlang bedurfte es auch einer besonderen Genehmigung, wenn man einen Empfänger benutzen wollte.

Trotzdem unternahm man auch in Deutschland bescheidene Rundfunkversuche, beispielsweise von der Funkstation Königs Wusterhausen aus. Sogar an eine Übertragung aus der Staatsoper wagte man sich. Die Sendungen erfreuten sich regen Zuspruchs – nicht nur im Ausland, sondern trotz des Mithörverbots auch in Deutschland. Zahlreiche Bastler, die sich voller Begeisterung der neuen Technik zugewandt hatten, verfolgten die Programme mit primitiven Empfängern, die sie aus altem Heeresmaterial und improvisierten Bauelementen zusammengesetzt hatten.

Endlich fiel auch in Deutschland die Entscheidung für den Rundfunk. Im September 1923 wurde das Empfangsverbot aufgehoben, wenige Wochen später, am 29. Oktober 1923, meldete sich aus dem Berliner »Voxhaus« der erste deutsche Rundfunksender.

Im Laufe des Jahres 1924 wurden regionale Rundfunkgesellschaften gegründet, die Sender in den Großstädten betrieben. Obwohl an diesen Gesellschaften der bürgerliche Staat stets mehr oder weniger versteckt beteiligt war, strebte die Reichsregierung eine noch engere Bindung an. Deswegen gründete man im Mai 1925 die »Reichsrundfunkgesellschaft« als Dachorganisation für alle deutschen Sender. Wenig später wurde eine besondere Institution zur Lenkung und Überwachung aller Nachrichtensendungen ins Leben gerufen. Das anfangs verbreitete Märchen vom »unpolitischen«, »über den Klassen« stehenden Rundfunk war damit ausgeträumt. Viele Jahre später schrieb einer der Initiatoren des deutschen Rundfunks über diese Zeit:

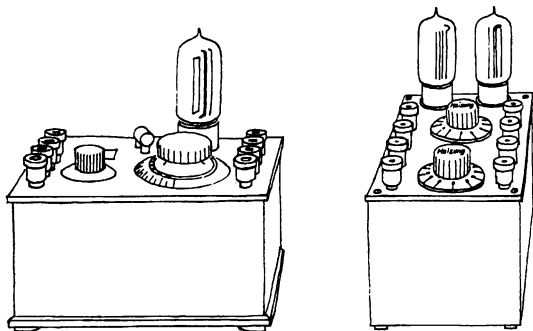
»Hätte man unter Verkennung der Volksstimmung den Rundfunk gleich am Anfang als Instrument der politischen Meinungsbildung abgekündigt, so würde diese Absicht unbestreitbar auf starken Widerspruch gestoßen sein, die Entwicklung würde sich dadurch verzögert haben. Deshalb mußte man Schritt für Schritt vorgehen und durch Erfüllung des Verlangens nach guten und unterhaltenden Darbietungen eine möglichst große Verbreitung zu erreichen suchen und abwarten, bis die Stellung des Rundfunks sich so weit gestärkt hatte, daß man ohne Schaden auch an die politische Arbeit herangehen konnte.«

Diese »politische Arbeit« im Dienste des deutschen Imperialismus wurde konsequent aufgenommen und half mit, dem deutschen Faschismus den Boden zu bereiten.

Die ersten Rundfunkempfänger waren denkbar einfach. Sie enthielten einen Abstimmkreis zum Einstellen des Senders, einen Detektor und einen Kopfhörer. Eine Verstärkung gab es zunächst nicht. Sollte ein solches Gerät brauchbaren Empfang des nächstgelegenen Senders liefern, mußte es an eine Antenne angeschlossen werden, die möglichst hoch und frei ausgespannt wurde.

Der Rundfunkempfang mit Hochantenne, Detektor und Kopfhörer genügte den Ansprüchen nicht lange; die Verstärkerröhre fand daher schnell auch in die Rundfunktechnik Eingang. Sie gestattete es, die Kopfhörer durch einen Lautsprecher zu ersetzen und mit einfacheren Antennen auszukommen.

Der nächste Schritt folgte sehr rasch: Wenn man Verstärkerröhren benutzte, konnte man auf den Kristalldetektor verzichten und an seiner



Audionempfänger und zweistufiger Niederfrequenzverstärker aus den Anfangszeiten des Rundfunks

Stelle gleichfalls eine Röhre einsetzen. Damit bestand die Möglichkeit, die empfindliche Rückkopplungsschaltung anzuwenden und nicht nur einen oder einige wenige, sondern zahlreiche Sender zu empfangen.

Der Weg, den viele Radiofirmen beschritten, kam dem schmalen Geldbeutel der Mehrzahl der Kunden entgegen: Sie fertigten einzelne Empfängerstufen, die sich der Rundfunkhörer nacheinander kaufen und selbst zu einem immer leistungsfähigeren Empfänger zusammenstellen konnte.

Der Detektorempfänger benötigte keine zusätzliche Spannungsquelle; bereits der einfachste Röhrenempfänger aber brauchte zwei, eine »Heiz-« und eine »Anodenbatterie«. Das war ein Nachteil, denn Batterien und Akkumulatoren waren nicht billig und erschöpften sich um so schneller, je öfter ihr Besitzer sein Gerät einschaltete. Mit der Produktion von Empfängern, die vier, fünf oder noch mehr Röhren enthielten, stiegen die Betriebskosten teilweise so erheblich an, daß der Absatz von größeren Rundfunkempfängern merklich behindert wurde.

Hatten es die ersten Rundfunkhörer als eine Art Sport betrachtet, vor und beim Empfang eine Vielzahl von Knöpfen verstellen zu müssen, so sah man das als um so lästiger an, je mehr der Rundfunkempfänger zu einem Gebrauchsartikel des täglichen Lebens wurde.

Damit war die Richtung für die Rundfunkindustrie vorgezeichnet: Sie mußte Geräte auf den Markt bringen, die leicht zu bedienen waren und sich an die Steckdose anschließen ließen.

Dieses Ziel zu verwirklichen, war weit schwieriger, als man es sich

im Anfang vorgestellt hatte. Erst um 1930 kamen – nach einigen unbefriedigenden Zwischenlösungen – »Netzempfänger« auf den Markt. Wer über einen Stromanschluß verfügte, konnte sie aufstellen. Ihre Empfindlichkeit war so groß, daß man auch ohne Hochantenne befriedigenden Empfang erzielen konnte.

In der Zwischenzeit hatten zahlreiche neue Sender ihren Betrieb aufgenommen. Die Leistung bestehender Stationen war erhöht worden. Das Problem, weit entfernte Stationen zu empfangen, bestand nicht mehr in erster Linie darin, empfindliche, sondern vor allem darin, trennscharfe Geräte zur Verfügung zu haben. Die vorhandenen Empfänger genügten diesen Ansprüchen nicht.

Man griff daher auf eine Schaltung zurück, die schon vor 1920 bekannt gewesen war, wegen ihres verhältnismäßig hohen technischen Aufwandes aber für Rundfunkempfänger vorerst selten benutzt worden war.

Der Überlagerungsempfänger, der *Superhet*, verband den Vorteil hoher Empfindlichkeit mit dem großer Trennschärfe und leichter Bedienbarkeit. Er wurde mit dem mannigfachsten Bedienungskomfort ausgestattet und setzte sich allgemein durch.

Der Rundfunk war jedoch nur eine Seite der drahtlosen Nachrichtentechnik. Auch zahlreiche neue Funklinien und Funkstationen wurden eingerichtet. Trotzdem reichten sie bald nicht mehr aus, zumal im Langwellenbereich die Frequenzkanäle knapp wurden. Außerdem stieg das Bedürfnis nach kleinen Funkgeräten großer Reichweite, die auf Schiffen, Flugzeugen usw. eingesetzt werden konnten. Langwellenanlagen schieden schon wegen ihres technischen Aufwandes für solche Zwecke aus.

Ganz neue Möglichkeiten eröffneten sich durch die Kurzwellentechnik. Sie verdankt ihre Anfänge Radioamateuren und ist ein Beispiel dafür, daß die Anwendung der Wissenschaft auch die Mitarbeit des interessierten Laien nicht ausschließt. Man hatte ihnen nach dem ersten Weltkrieg für ihre Versuche den für kommerzielle Zwecke, wie man glaubte, nutzlosen Wellenbereich unterhalb von 200 m Wellenlänge zugewiesen. Sehr bald jedoch zeigten die Amateure, daß gerade auf kurzen Wellen mit einfachsten Geräten und winzigen Sendeleistungen größte Entfernungen zu überbrücken waren – eine Folge der besonderen Ausbreitungsbedingungen kurzer Wellen.

Unverzüglich wandte sich die kommerzielle Nachrichtentechnik gleichfalls dem neu erschlossenen Wellenbereich zu. Kurzwellenstationen, die oft nur einen Bruchteil einer Langwellenstation kosteten, entstanden in vielen Ländern. 1924 wurde die erste Kurzwellenfunklinie zwischen Nauen und Buenos Aires eingerichtet. Vier Jahre später gab es auf der

Welt bereits mehr Kurzwellensender als Langwellenstationen. Verfahren, die eine bessere Ausnutzung der Telegrafentelegraphenleitungen und -kabel ermöglicht hatten, wurden – entsprechend abgewandelt – in den Funkbetrieb übernommen: Mechanisierte Übermittlungsmethoden, mehrfache Ausnutzung eines Frequenzkanals, die Einführung des Funkfernschreibens waren Etappen dieses Weges.

Auch Telefongespräche konnten auf Kurzwellen über größte Entfernungen geführt werden. Das Jahr 1927 brachte die Eröffnung des Funkfernsprechers New York–London; 1928 konnten deutsche Fernsprechteilnehmer nach den USA telefonieren. 1932 wurden die ersten Bildfunktelegramme zwischen Deutschland und den Vereinigten Staaten gewechselt. Hunderttausende von Kurzwellen-Kleingeräten waren für die verschiedensten Zwecke eingesetzt. Rundfunksender begannen gleichfalls, Programme auf Kurzwellen auszustrahlen. Das wiederum war Anlaß, Rundfunkempfänger auch für Kurzwellenempfang einzurichten. Sehr bald war der Kurzwellenbereich ebenfalls lückenlos mit Sendern belegt.

Die Nutzung des Kurzwellenbereichs leitete das bis heute nicht abgeschlossene Vordringen zu immer höheren Frequenzen ein. Nach 1930 begann man, sich intensiv mit Ultrakurzwellen und später auch mit Dezimeter- und Zentimeterwellen zu befassen. Die Ursache hierfür war neben der Notwendigkeit weiterer Nachrichtenkanäle vor allem die Erkenntnis, daß drahtlose Fernsehübertragungen nur im Ultrakurzwellenbereich sinnvoll sein würden und daß Versuche, reflektierte Funkwellen zur Entfernungs- und Richtungsbestimmung auszunutzen (das ist die Aufgabe der Radartechnik) nur Aussicht auf Erfolg haben könnten, wenn man mit möglichst kurzen Wellen arbeitete.

Das Fernhören, wie es der Rundfunk ermöglichte, förderte den Wunsch, auch drahtlos fernsehen zu können. Wie man beim Fernsehen würde vorgehen müssen, hatte man bereits im 19. Jahrhundert erkannt: Die zu übertragenden Bilder waren in einzelne, möglichst kleine Bildelemente zu zerlegen, diese in elektrische Werte – etwa in Strom- oder Spannungsstöße bestimmter Größe – umzusetzen, die elektrischen Werte in die Ferne zu übertragen und beim Empfänger wieder in Bildelemente zurückzuverwandeln und zum Bild zusammenzufügen.

Von den beiden Möglichkeiten, die Bildelemente entweder gleichzeitig oder aber sehr schnell nacheinander zu übermitteln, schied die erste wegen ihrer technischen Undurchführbarkeit aus. Für eine Übertragung nacheinander hatte schon 1883 Paul Nipkow (1860 bis 1940) als Student eine technische Lösung gefunden:

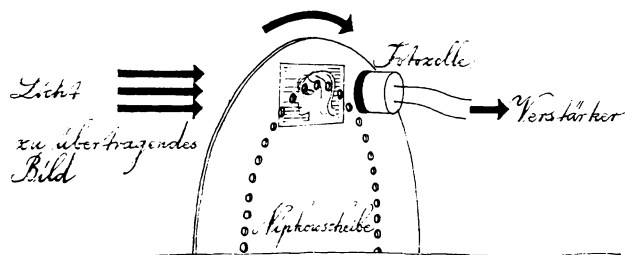
Die Bilder wurden zeilenweise mit einer »Spirallochscheibe« abge-

tastet. Das durch die vorrückenden Löcher fallende Licht traf eine Fotozelle und verursachte entsprechende Strom- und Spannungsschwankungen. Im Empfänger sollten diese Schwankungen die Helligkeit einer elektrischen Lampe steuern, vor der eine gleiche Spirallochscheibe wie beim Sender rotierte und das Bild auf einer Mattglasscheibe wieder zusammensetzte.

Als Nipkow sein Verfahren zum Patent anmeldete, ließ es sich noch nicht verwirklichen. Die technischen Voraussetzungen – zum Beispiel die Möglichkeit, schwache Spannungs- und Stromänderungen zu verstärken – fehlten noch. Später aber wurde die Nipkowscheibe von den meisten Fernsehponieren benutzt.

Fernsehversuche wurden um die Mitte der zwanziger Jahre in vielen Ländern aufgenommen. Abweichend von vorher vereinzelt durchgeführten Experimenten auf Drahtleitungen orientierte man sich jetzt auf das drahtlose Fernsehen, das als optischer Partner des Rundfunks gedacht war. 1925 gelangen in den USA, in England und in Deutschland die ersten Fernsehübertragungen, bei denen einfache Gegenstände abgebildet wurden.

Der Öffentlichkeit wurde das Fernsehen vor allem durch die in vielen Ländern veranstalteten Funkausstellungen bekannt. So waren auf der 5. Großen Deutschen Funkausstellung (1928) Fernsehgeräte mit einem 3×4 cm großen Bild zu sehen. Ein Jahr später begann die Reichspost, während der Nachtstunden über Rundfunksender Fernsehversuchssendungen auszustrahlen. Sie konnten mit Rundfunkempfängern aufgenommen werden, an die ein Zusatzgerät mit Nipkowscheibe angeschlossen wurde. Einen Begleitton gab es noch nicht. Ähnliche Versuche fanden in der UdSSR, in Frankreich, den USA und in England statt. Doch die



Die Nipkowscheibe

Folgerungen, die man aus ihnen zu ziehen gezwungen war, lauteten überall gleich: Auf dem eingeschlagenen Wege würden sich keine entscheidenden Verbesserungen erzielen lassen.

Ausschlaggebend für die Qualität eines Fernsehbildes ist die Zahl der Bildelemente, der »Bildpunkte«, in die es zerlegt wird. Die 30 und später 48 Zeilen, mit denen zum Beispiel die bei der Deutschen Reichspost benutzten Nipkowscheiben die Bilder »abtasteten«, reichten nicht einmal für die Wiedergabe grober Einzelheiten aus. In wieviele Elemente man aber auch das einzelne Bild zerlegte, sie mußten in winzigen Sekundenbruchteilen übertragen werden. Jede Erhöhung der Zeilen- und damit der Bildelementzahl bedeutete deshalb größere und schneller rotierende Nipkowscheiben. Das führte zu unüberwindlichen technischen Schwierigkeiten.

Daneben aber hatte jede Erhöhung der Bildelementzahl ein Breiterwerden des vom Fernsehsender belegten Frequenzkanals zur Folge. Man mußte den künftigen Fernsehstationen einen anderen Frequenzbereich zuweisen als Rundfunksendern, und dafür blieb aus bestimmten Überlegungen nur der Ultrakurzwellenbereich übrig.

So hing die Verwirklichung des Fernsehens von der Lösung zweier Aufgaben ab: Es kam darauf an, eine Methode zu finden, die es gestattete, Fernsehbilder schnell in viele Tausende Bildelemente zu zerlegen und aus diesen Elementen wieder aufzubauen; außerdem mußte man die Ultrakurzwellentechnik beherrschen lernen, um das Ausstrahlen und den Empfang der Sendungen zu ermöglichen. Daher gab man die Versuche mit Nipkowscheiben und ähnlichen Einrichtungen auf und wandte sich elektronischen Verfahren zu, die ohne mechanisch bewegte Teile auskamen.

Zur Bildwiedergabe griff man auf die seit langem bekannte und in der Meßtechnik benutzte *Braunsche Röhre* zurück. In ihr bestreicht ein feines, durch elektrische oder magnetische Kräfte geführtes Elektronenbündel einen Spezialschirm, der jeweils an der Stelle des Elektronenaufpralls leuchtet. Durch entsprechende Ablenkung und Steuerung des Elektronenstrahls kann man ein Bild »aufzeichnen« lassen.

Die vorhandenen Braunschen Röhren waren allerdings für den Fernsehempfang noch nicht geeignet – dies war einer der Gründe, weswegen hier und da schon vorher angestellte Versuche, »elektronisch« fernzusehen, gescheitert waren.

Besonders Manfred von Ardenne (geb. 1907) vervollkommnete die Braunsche Röhre. Zugleich hatte er entscheidenden Anteil an der Entwicklung der für das Fernsehen und für viele andere Zwecke unentbehr-

lichen *Breitbandverstärker*, mit denen sich ein ausgedehntes Frequenzspektrum gleichmäßig und verzerrungsfrei übertragen läßt.

Im Jahre 1931 führte von Ardenne das elektronische Fernsehen auf der Berliner Funkausstellung vor. Die Bilder waren kontrastreicher und schärfer als alle, die man mit mechanischen Übertragungsverfahren erhalten hatte. Laien und Fachleute waren gleich begeistert. Von nun an arbeiteten alle ernstzunehmenden Fernsehpioniere mit elektronischen Mitteln.

Auf der Senderseite war ein höherer Aufwand vertretbar. Deshalb wurde die Nipkowscheibe hier zunächst noch weiter benutzt. Bald aber tauchten auch beim Sender elektronische Methoden auf. Nach 1930 erfand Wladimir Zworykin (geb. 1889) die »Bildfängerröhre«. Ihre vielfach verbesserten und abgewandelten Nachfolger sind heute in jeder Fernsehkamera zu finden.

In der Ultrakurzwellenteknik war man in der Zwischenzeit gleichfalls vorangekommen. Bereits im Frühjahr 1934 wurden Fernsehsendungen mit Begleitton über Ultrakurzwellensender ausgestrahlt. 1935 sendete man in Deutschland an drei Abenden in der Woche ein Fernsehprogramm. Es konnte, da Fernsehempfänger noch nicht im Handel waren, vorerst nur in öffentlichen »Fernsehtuben« verfolgt werden. Auch in der Sowjetunion, in England, Frankreich und den USA liefen die ersten Fernsehsendungen. In Europa wurde die Entwicklung des Fernsehens durch den zweiten Weltkrieg jäh unterbrochen.

Ultrakurzwellen waren in Deutschland versuchsweise auch für Rundfunkübertragungen benutzt worden. Die Erwartungen, die man an diese Versuche geknüpft hatte, erfüllten sich. Auf *Meterwellen* war ein störungsfreier und in der Tonqualität besserer Empfang möglich als auf anderen Wellenbereichen. Doch die vielversprechenden Vorarbeiten und Versuche zur Einführung des Ultrakurzwellenrundfunks wurden bald zugunsten militärischer Anwendungen der Ultrakurzwellen aufgegeben oder nicht weiter verfolgt.

Im zweiten Weltkrieg wurde die Funktechnik nur auf den Gebieten vorangetrieben, die unmittelbare Bedeutung für die Kriegführung hatten. Die Radartechnik, die in den Vorkriegsjahren unter strengster Geheimhaltung entstanden war, bildete den Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Es kamen Geräte zum Einsatz, die gegnerische Flugzeuge auf Hunderte Kilometer ausmachen konnten; es wurden spezielle Radarzielgeräte für Luftabwehrbatterien entwickelt und Anlagen, die es Flugzeugen ermöglichten, Bombenziele bei Nacht und durch die Wolkendecke auszumachen. Auch drahtlose Ortungsverfahren, die für die Navi-

gation zur See und in der Luft eine unschätzbare Hilfe hätten sein können und schon vor dem Kriege bekannt waren, tauchten erst jetzt aus den Tresoren auf und dienten ausschließlich militärischen Zwecken.

Nach 1945 wurde die durch den Krieg unterbrochene technische Entwicklung fortgesetzt. Anfang der fünfziger Jahre begannen zahlreiche europäische Länder, deren Rundfunkhörer unter der übergroßen Zahl an Mittelwellensendern besonders zu leiden hatten, mit dem Ausbau eines Ultrakurzwellen-Sendernetzes.

Das Fernsehen wurde wieder aufgegriffen und mit neuen, betriebssicheren und besseren Geräten weitergeführt. 1952 wurden in der DDR die ersten Fernsehsendungen ausgestrahlt.

Radargeräte wurden auf Handelsschiffen und in Verkehrsflugzeugen installiert. Sie gehörten bald auch zur Ausstattung großer Flughäfen.

Die Funknavigationssysteme wurden ausgebaut, »Kursschreiber«, die den Fahrt- oder Flugweg selbsttätig aufzeichnen, an Bord eingeführt. Doch das Bedürfnis nach Nachrichten- und Informationsaustausch wächst ständig. Nach wie vor stehen die Wissenschaft und die Technik vor der Aufgabe, neue Nachrichtenwege zu erschließen.

»Richtfunkstrecken«, die gleichzeitig zahlreiche Ferngespräche, Fernschreiben oder Funkprogramme übertragen, »Hohlleiterkabel«, die dem gleichen Zweck dienen, vor allem aber Nachrichtensatelliten, schon 1904 von einem englischen Techniker vorgeschlagen, kennzeichnen die jüngste Entwicklung.

Trotz des riesigen »Spinnennetzes« der heutigen Nachrichtenkanäle, das die ganze Erde umgibt, werden die allgemeinen Informationssysteme in der Zukunft noch größere Bedeutung erlangen als bisher. So wird z. B. die Mikrominiaturisierung der Sende- und Empfangsgeräte die Möglichkeiten der Informationsmittel vergrößern. Ein erdumfassendes Nachrichtensystem wird sich auch für Fernsehsendungen einrichten lassen. So werden bereits seit längerer Zeit Fernsehsendungen über Satelliten in weit entfernte Gebiete ausgestrahlt. Es dürfte in nicht allzu ferner Zukunft möglich sein, daß ein Fernsehteilnehmer an jedem beliebigen Ort das ihn interessierende Programm empfangen kann. Voraussetzung dazu sind Satellitensender von sehr großer Leistung und Fernsehempfangsgeräte, die direkt auf die Welle eines beliebigen Relais-Satelliten eingestellt werden können.

Mit miniaturisierten Sende- und Empfangsgeräten, die jeder mitführen kann, wird man sich auch privat über Entfernungen von einigen Kilometern – wie das heute schon möglich ist – verständigen können.

Eine direkte Kommunikation mit einem beliebigen Punkt unserer

Erde über sehr große Entfernungen wird über entsprechende Apparate unter Einbeziehung der Erdsatelliten vorstatten gehen. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß dies – vor allem auch im Hinblick auf die millionenfache Beanspruchung eines dafür geeigneten Vermittlungssystems – nur mit Hilfe von Elektronenrechnern möglich sein wird.

Der sowjetische Wissenschaftler Murad Kaplanow stellt sich die Zukunft der Informationssysteme so vor:

»Der Handel wird automatisiert sein. Die Waren werden über videotelefonische Verbindungen ausgewählt. Ein Elektronenrechner ermittelt den Betrag, teilt ihn dem Kunden direkt mit oder bucht ihn von dessen Konto ab.

Bücher, Zeitungen, Zeitschriften und die neuesten Nachrichten werden hauptsächlich über den Bildschirm zum Leser kommen. Ihr Inhalt wird in Speichern fixiert sein und Seite für Seite – auf Abruf – übermittelt werden. Vorlesungen im Fernsehen werden üblich sein, und es wird möglich werden, durch das persönliche Empfangs- und Sendegerät weitere Informationen einzuholen. Zugleich wird der Postdienst in seiner Eigenschaft als ‚Nachrichtentransporteur‘ an Bedeutung verlieren. Es ist nicht erforderlich, zu Konferenzen zu fahren. Eine videotelefonische Konferenzschaltung macht den eigenen Schreibtisch zum Konferenzort.«

Die Elektronenröhre macht sich nützlich

Die »Verstärkerröhre«, die »Elektronenröhre«, verstärkte kleine und kleinste Wechselspannungen und -ströme. Sie war daher für die Funktechnik und das Fernsprechen wichtig. In der Tat hatte von Lieben vor allem an den Fernsprechtweitverkehr gedacht, als er seine Röhre entwickelte, während es Fleming und de Forest in erster Linie auf die Verbesserung der Funkverbindungen angekommen war.

Daher wurden Verstärkerröhren von Anfang an sowohl in der Funk- als auch in der Fernsprechtechnik eingesetzt. Die Entfernungsgrenzen, die den Fernsprechingenieuren soviel Sorgen bereitet hatten, entfielen. Man konnte, um nur zwei Beispiele zu nennen, nunmehr quer durch den nordamerikanischen Kontinent oder, während des ersten Weltkrieges, zwischen der deutschen Ost- und Westfront telefonieren.

Allerdings stellte sich das Einschalten von Verstärkern in Fernleitungen nicht billig. Die Geräte waren an sich schon teuer. Da sie aber nur in einer Richtung arbeiten konnten, waren zu einem Gespräch entsprechend viele Verstärker für beide Richtungen nötig.

Die hohen Anlagekosten und vor allem der zunehmende Fernspreverkehr regten zu Bemühungen an, über eine Fernsprechleitung mehrere Gespräche gleichzeitig zu führen.

Es war bekannt, daß die meisten Leitungen und Kabel ein verhältnismäßig breites Frequenzband, das heißt Wechselströme der verschiedensten Frequenzen, übertragen konnten, daß dieses Frequenzband aber bei einem Telefongespräch nur zu einem kleinen Teil ausgenutzt wurde. An diese Tatsache knüpfte man an und suchte nach Möglichkeiten, weitere Gespräche in die freien Teile des übertragbaren Frequenzbandes zu legen.

Mit dem um 1920 ausgearbeiteten *Trägerfrequenzverfahren* wurde dieses Ziel erreicht. Es vereinte die Fernsprechtechnik mit Methoden und Geräten, die der Funktechnik entlehnt und entsprechend abgewandelt waren:

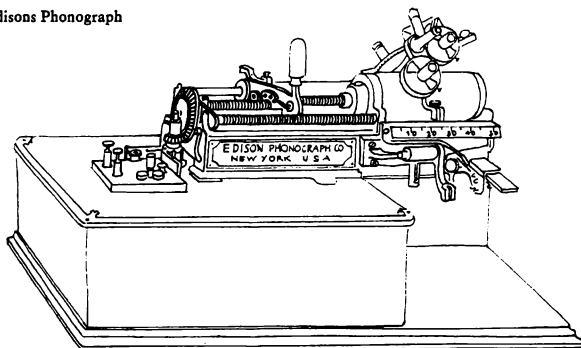
Ferngespräche gehen nicht mehr unmittelbar als Mikrofonströme über die Leitungen. Sie werden vorher in den Hochfrequenzbereich umgesetzt. Dazu dienen Geräte, die leistungsschwachen Funksendern entsprechen, ihre Hochfrequenzenergie aber keiner Antenne, sondern der Fernsprechleitung zuführen. An dieser »laufen« die Funkwellen entlang. Sie erleiden dabei weit weniger Verluste als bei der Ausbreitung im freien Raum. An der Empfangsstelle werden sie mit Anlagen abgenommen, die Funkempfängern im Prinzip gleichen.

Das scheint kompliziert, bringt aber Vorteile mit sich, die den technischen Aufwand weit aufwiegen. Man kann Wellen verschiedener Frequenzen über *eine* Leitung schicken, ohne daß sie sich stören oder beeinflussen. Jeder dieser Wellen kann man ein Ferngespräch oder andere Signale »aufladen«.

Auch jetzt sind unterwegs Verstärker nötig. Teilweise rücken sie sogar bis auf wenige Kilometer zusammen. Trotzdem vermindert sich, insgesamt gesehen, der relative technische Aufwand; denn jeder Verstärker verarbeitet nicht nur einen Gesprächskanal, sondern das gesamte, aus vielen einzelnen Kanälen bestehende Frequenzband.

In den ersten Jahren der Trägerfrequenztechnik war man zufrieden, wenn sich vier oder zwölf Gespräche gleichzeitig führen ließen. Heute gelingt es mit Hilfe von Spezialkabeln und -verstärkern, 960, ja 2 700 Ferngespräche gleichzeitig über eine Kabelstrecke zu leiten. Auch Rundfunk- und Fernsehprogramme, Fernschreibzeichen und Kontroll- und Meßwerte werden mit Hilfe der Trägerfrequenztechnik übermittelt. Ihr Prinzip findet auch in den Richtfunkstrecken Verwendung, die an die Stelle der Kabel gebündelte Dezimeter- oder Zentimeterwellen setzen.

Ein ganz anderes Gebiet verdankt seine Entwicklung ebenfalls der



Elektronenröhre. Mit Edisons *Phonographen* – 1877 erfunden – hatte die Schallaufzeichnung begonnen. Der Phonograph war von seinem Erfinder zunächst vor allem als eine Art Diktiergerät gedacht. Wegen der Unzulänglichkeit der benutzten Wachswalzen, in die ein Stichel die Tonschwingungen einrüb, und der Kompliziertheit der Apparate setzte er sich aber nicht durch.

Erst als Emil Berliner (1851 bis 1929) die Edisonsche Wachswalze durch die dauerhafte, flache *Schallplatte* ersetzte, erlangte die Schallaufzeichnung Bedeutung, wenn auch nicht im Büro, sondern zur »Konservierung« von Musik. Noch im 19. Jahrhundert kamen die ersten *Grammophonplatten* in den Handel; wenige Jahre später konnte man ganze Sinfonien und Opern auf Schallplatten kaufen.

Im Anfang störte man sich wenig daran, daß der Schallplattenwiedergabe Mängel anhafteten. Die Tonqualität ließ viel zu wünschen übrig, der Besitzer eines Grammophons konnte nicht einmal die Lautstärke beliebig verändern, weil er auf mehr oder weniger dicke Abspielnadeln angewiesen war. Sie mußten außerdem nach jeder Platte gewechselt werden.

Mit dem Aufkommen des Rundfunks wurden diese Nachteile zunehmend als unangenehm empfunden; denn schon die ersten Konzertübertragungen über Radiostationen erwiesen sich der Grammophonplatte an Qualität überlegen.

Wollten sich die Schallplatten- und Grammophonproduzenten durch den Rundfunk nicht zurückdrängen lassen, mußten sie sich der gleichen Mittel bedienen, die dieser benutzte.

Es begann damit, daß man zur *elektrischen* Schallplattenaufnahme übergang. An die Stelle des mehrere Meter im Durchmesser betragenden und mit dem Schneidstichel mechanisch verbundenen Trichters, vor dem das Orchester saß, traten Mikrophone, ein Röhrenverstärker und ein Schneidstichel, dessen Bewegungen von elektromagnetischen Kräften ausgelöst wurden.

Die Aufnahmequalität der Platten stieg durch dieses Verfahren erheblich an. Nichts lag näher, als eine ähnliche Methode auch für die Wiedergabe zu benutzen. Da viele Musikfreunde inzwischen einen Rundfunkempfänger mit seinem Verstärker ihr eigen nannten, war für die elektrische Wiedergabe von Schallplatten lediglich eine Vorrichtung nötig, die die Schwingungen der in den Plattenrillen geführten Abspielnadel in elektrische Spannungen verwandelte. Diese konnten dann im Empfänger verstärkt und vom Lautsprecher als Töne abgestrahlt werden.

Die ersten elektrischen »Tonabnehmer« ähnelten Telefonhörern, an deren Membran die Abspielnadel mit Hilfe eines Steges befestigt war. Später schuf man leichtere, die Platten schonende »Tonarme«. Sie erlaubten es, auf einer Platte mehr »Rillen« als vorher unterzubringen und die Drehzahl zu senken. Die moderne Langspielplatte ist das Ergebnis dieser Entwicklung.

Die Anfänge eines weiteren Tonaufnahme- und Wiedergabeverfahrens gehen bis in die achtziger Jahre des 19. Jahrhunderts zurück. Waldemar Poulsen ließ in seinem *Telegraphon* einen Stahldraht zwischen den eng beieinanderstehenden Polen eines Elektromagneten durchlaufen. Der Magnet lag in einem Stromkreis mit einem Mikrophon und magnetisierte den Stahldraht im Rhythmus der Sprachschwingungen. Führt man den Draht, nachdem er zurückgespult worden war, an »Lesemagneten« vorbei, wurden in diesen der wechselnden Magnetisierung entsprechende Spannungen hervorgerufen. Ein mit den Spulen der Lesemagneten zusammengeschalteter Telefonhörer gab das Gespräch wieder.

Die gut verständliche Wiedergabe des Telegraphons überraschte. Versuche der Reichspost zwischen Berlin und Frankfurt/Main ergaben, daß Gespräche auf diese Entfernungen noch aufgezeichnet werden konnten.

Trotzdem erlangte das Telegraphon, das als Diktiergerät und für die Konservierung von Telefongesprächen gedacht war, zunächst keine Bedeutung. Bereits zur Speicherung kurzer Gespräche waren große Drahtlängen erforderlich. Außerdem machte sich auch hier das Fehlen einer Verstärkungsmöglichkeit störend bemerkbar.

Erst nach 1930 tauchte das Telegraphon wieder auf, nunmehr aber in wesentlich verbesserter Ausführung. Die Tonfrequenzspannungen wur-

den bei der Aufnahme und bei der Wiedergabe verstärkt. An die Stelle des Stahldrahtes oder Stahlbandes trat ein Azetylzelluloseband, das mit einer dünnen Schicht aus Eisenverbindungen belegt war.

Nach der Mitte der dreißiger Jahre wurden die ersten dieser neuartigen *Tonbandgeräte* eingesetzt, und zwar zunächst fast ausschließlich in Rundfunkstudios. Dort dienten sie dazu, das umständliche und unwirtschaftliche Aufzeichnen von Sendungen auf Schallplatten abzulösen. Auch in Reportagewagen und später als tragbare Geräte bewährten sie sich. In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden sie so vervollkommenet und in ihrer Bedienung vereinfacht, daß man sie wie einen Plattenspieler an Rundfunkgeräte anschließen konnte.

Der Einsatzbereich der »magnetischen Aufzeichnung« erstreckte sich bald auch auf andere Gebiete. Diktiergeräte und Miniaturtonbandgeräte wurden entwickelt, die den Stenogramm- oder Notizblock entbehrlich machten. Fernsehsendungen werden heute auf *Magnetbändern* aufgezeichnet. In der Steuer- und Rechentechnik speichern Magnetbänder große Mengen von Daten oder umfangreiche Arbeitsprogramme.

Die Schallplatte konnte künstlerische Darbietungen oder aktuelle Ereignisse »akustisch« aufbewahren. Aber auch eine der Fotografie überlegene Möglichkeit zur optischen Speicherung stand inzwischen zur Verfügung. Aus den Arbeiten von Ottomar Anschütz (1846 bis 1907), Max Skladanowsky (1863 bis 1939), Auguste und Louis Lumière (1862 bis 1954, 1864 bis 1948), Oskar Messter (1866 bis 1943) und vielen anderen war der *Kinematograph* entstanden, der »lebende« Bilder präsentierte.

Optische Eindrücke beim Film, akustische beim Grammophon: Konnte man nicht beides vereinen und Personen, die sich auf der Leinwand bewegten, auch sprechen lassen?

Schon Edison hatte zu einem kurzen Filmstreifen eine Phonographenwalze besprechen und beides zusammen abspielen lassen. Von Oskar Messter wurde diese Methode weiterentwickelt. 1903 führte er die ersten *Tonfilme* vor, wenn auch vorerst nur in Variétéprogrammen. Zur Tonwiedergabe dienten Schallplatten, die gleichzeitig mit dem Filmstreifen liefen. Um auf die nötige Lautstärke zu kommen, hatte Messter mehrere Apparate an einen gemeinsamen großen Schalltrichter angeschlossen.

Dieses primitive Verfahren konnte anfänglich nicht mehr als eine Attraktion sein. Man griff es erst wieder auf, als die elektrische Schallplattenwiedergabe über Verstärker und Lautsprecher eingeführt wurde.

Sollte sich der Tonfilm durchsetzen, mußte er Bild und Ton auf einem Filmstreifen vereinen, so daß der Gleichlauf beider sichergestellt war.

Technische Hilfsmittel hierfür standen nach 1900 zur Verfügung. Man

konnte einen Lichtstrahl so steuern, daß er Schwärzungen eines Filmstreifens hervorrief, die den Schallschwingungen entsprachen. Auch verfügte man über Möglichkeiten, Lichtschwankungen in Änderungen elektrischer Ströme und Spannungen umzusetzen.

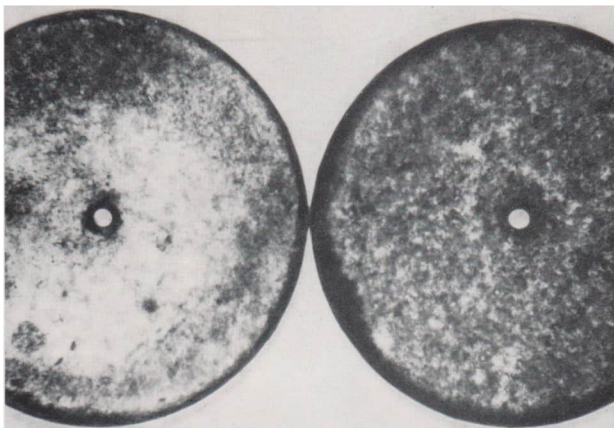
Der deutsche Physiker Ernst Ruhmer (1878 bis 1913) arbeitete seit 1901 an seinem *Photographon*, das wir als Vorläufer des heutigen Tonfilms ansehen können. Daß er nicht zum Ziel kam, lag hauptsächlich daran, daß es noch an der Möglichkeit fehlte, schwache Spannungen zu verstärken. Aus dem gleichen Grunde hatte auch der erst in jüngster Zeit verwirklichte Gedanke, den Ton mittels einer magnetisierbaren Schicht auf dem Filmstreifen festzuhalten, damals keine Aussicht auf Verwirklichung.

Nach Ende des ersten Weltkrieges gründeten der Werkzeugmacher Joseph Masolle (1889 bis 1957), der Physiker Jo Engl (1893 bis 1942) und der Techniker Hans Vogt (geb. 1890) das »Tri-Ergon, Laboratorium für Kinematographie« in Berlin. Im Sommer 1920 gab ihr Tonfilm, der jetzt schon die Ergebnisse der Verstärkertechnik ausnutzen konnte, die ersten verständlichen Worte wieder. Im Februar 1921 wurde erstmals ein längerer Tonfilmstreifen gezeigt.

Die größten technischen Schwierigkeiten waren damit überwunden, aber der weitere Ausbau des Verfahrens erforderte umfangreiche Geldmittel. Obwohl im September 1922 in einem Berliner Filmtheater ein Tri-Ergon-Film öffentlich gezeigt und beifällig aufgenommen wurde, fand sich niemand bereit, die Erfinder zu unterstützen – es blieb bei leeren Versprechungen. Die Inflation, die Millionen Menschen in bittere Not stürzte, drohte auch die Arbeit des Erfinderdreigespanns zunichte zu machen. Selbst nach der Stabilisierung der deutschen Währung wollte niemand Geld in ein so unsicheres Projekt investieren. Schließlich verkauften die Erfinder ihre Schutzrechte für 1 Million Franken in die Schweiz.

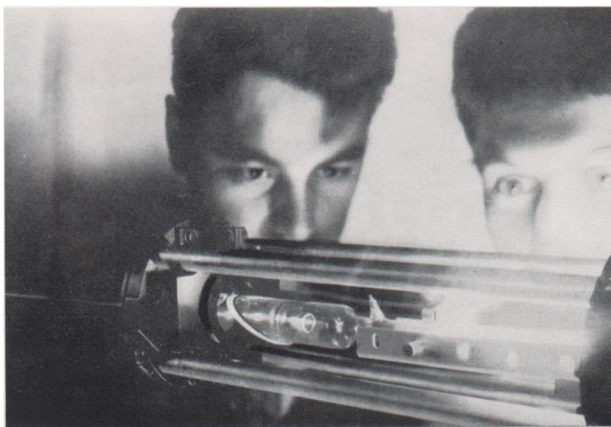
Auch dort kamen die Arbeiten nicht voran, hauptsächlich, weil die Käufer am Lichttonfilm zwar möglichst schnell verdienen, aber kein Geld für seine Entwicklung ausgeben wollten. Sie verkauften daher die Tonfilmrechte weiter, und zwar an den Amerikaner William Fox. Dieser brachte bald darauf seine ersten Tonfilme auf den Markt, zunächst eine »tönende Wochenschau«, später Spielfilme.

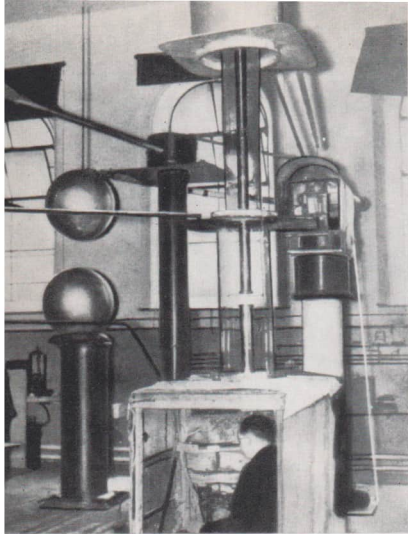
Fox drehte Filme – doch wer baute die Apparate? Fox traf ein entsprechendes Abkommen mit der »Western Electric Company«. Deren Aktionäre waren ebenfalls geschäftstüchtig, und so versuchten sie durchzusetzen, daß mit ihren Anlagen nur Filme vorgeführt werden dürften,



Von Laserstrahlen durchbohrte Uhrensteine, deren Durchmesser nur drei Zehntel Millimeter beträgt

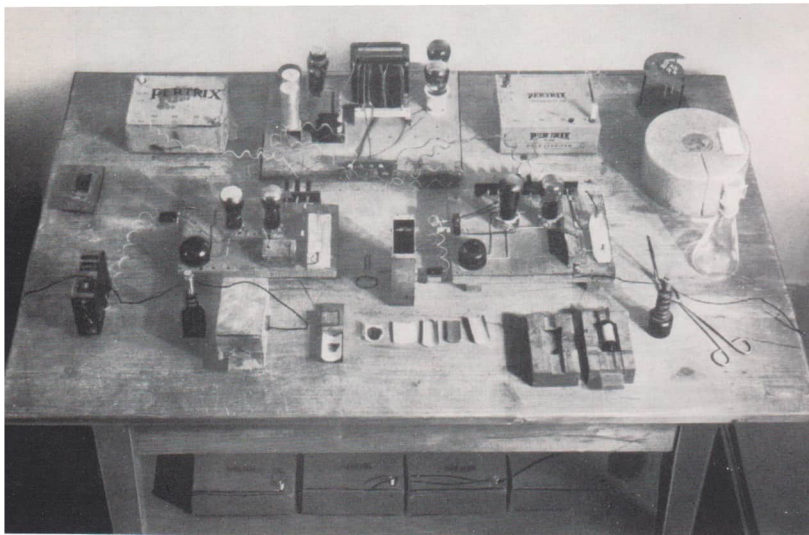
Forschungen mit Hilfe eines Gaslasers





Cockcroft und Walton bauten diesen Teilchenbeschleuniger aus Knetmasse, Keksdosen und Kisten

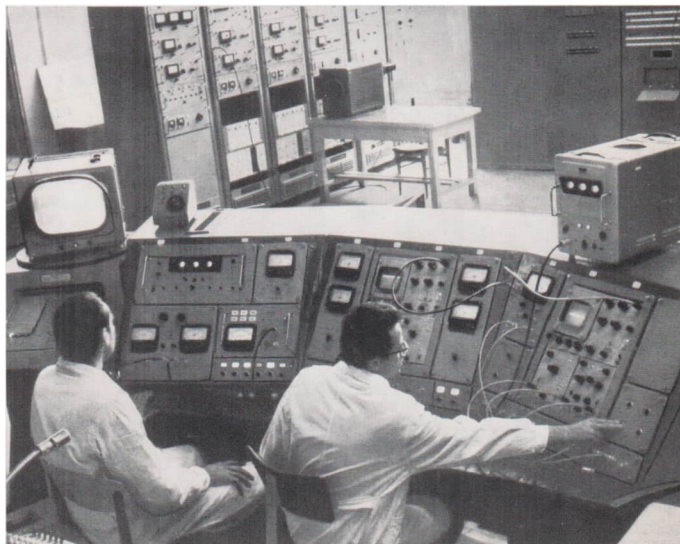
Apparate, mit denen Otto Hahn im Jahre 1938 die Urankernspaltung entdeckte (Deutsches Museum, München)

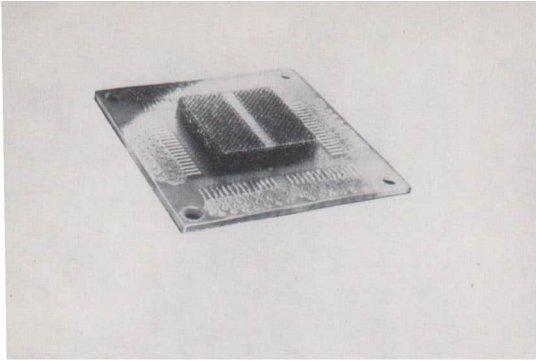


Aus diesen riesigen Teilen
wurde der Protonen-
ringbeschleuniger
in Serpuchow gebaut



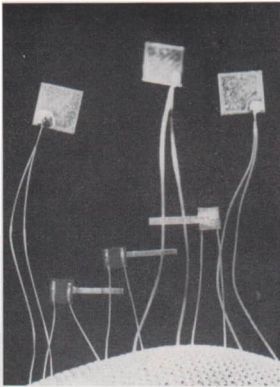
Forschung heute: Am Steuerpult eines Linearbeschleunigers



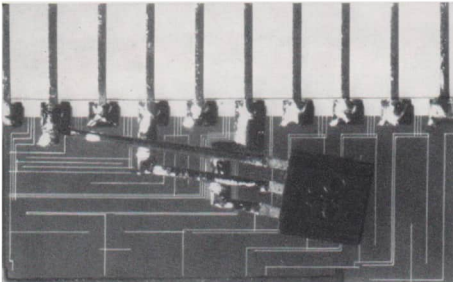


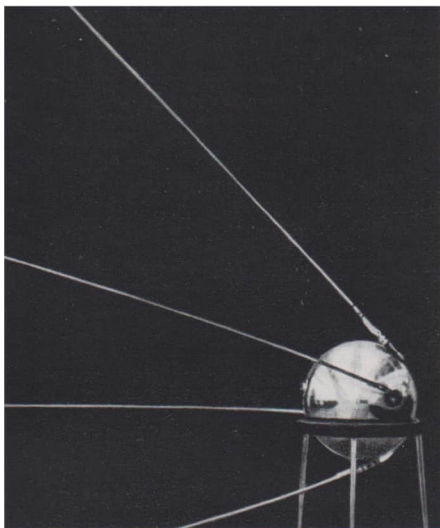
Dieser Speicher für 10000 Impulse
hat die Größe eines Markstückes

Planartechnik : Silizium-Fotodioden



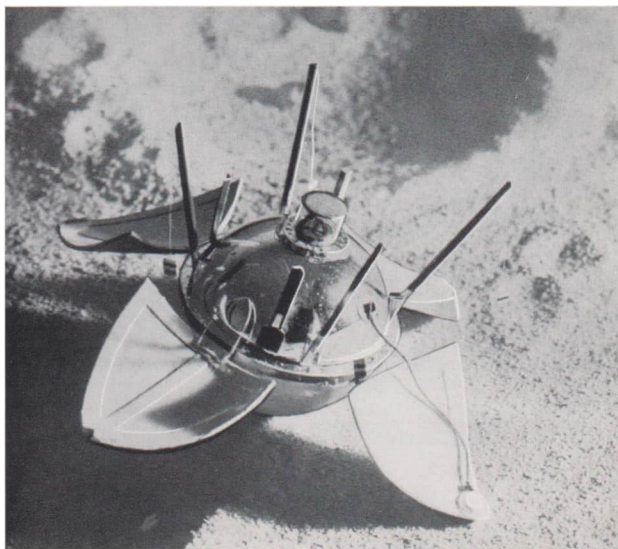
Bestückter Schaltkreis
für elektronische Anlagen

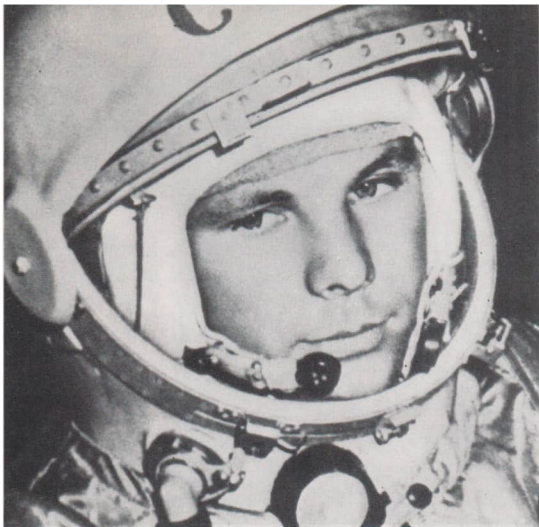




Der erste Sputnik,
gestartet
am 4. Oktober 1957

»Luna 9« führte zu Beginn des Jahres 1967 als erster Raumflugkörper eine weiche Landung auf dem Mond aus. Er funkte die ersten Panoramaaufnahmen mit Einzelheiten in der Größenordnung von weniger als einem Millimeter zur Erde

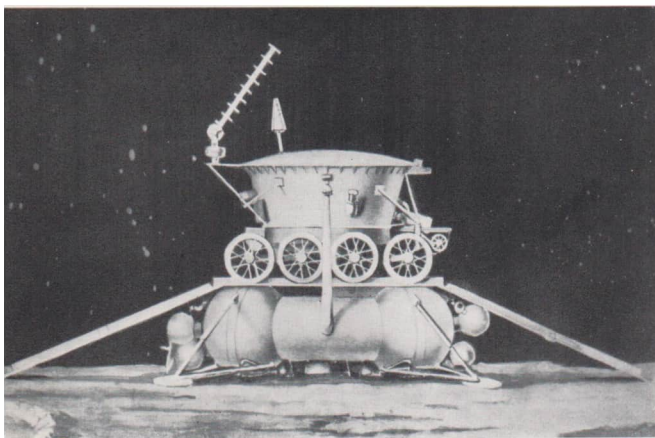


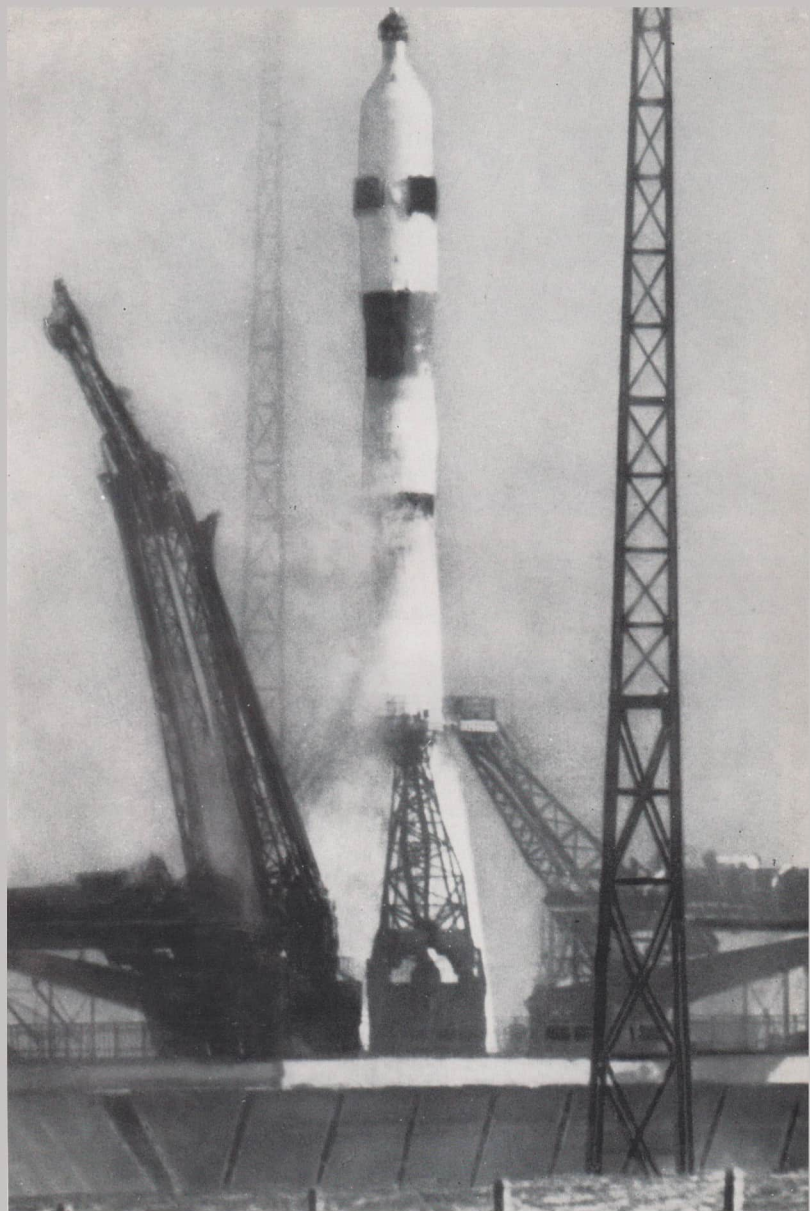


Der sowjetische Kosmonaut Juri Gagarin, der »Kolumbus unseres Jahrhunderts«

Rechte Seite: Start vom sowjetischen Kosmodrom

»Lunochod 1« – ein überragender Erfolg der sowjetischen Raumfahrttechnik

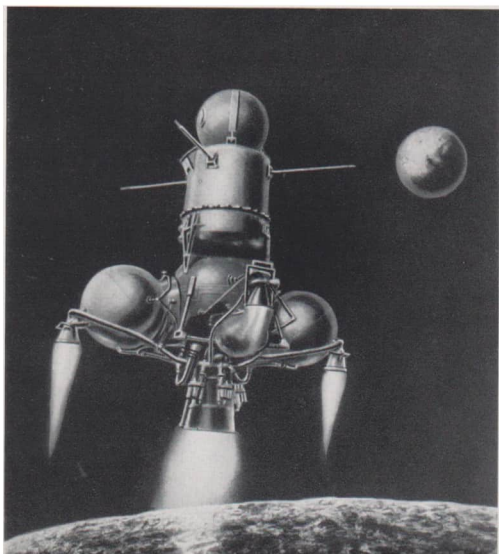






Die Erde am Mondhorizont – ein Foto, das der sowjetische Raumflugkörper »Sonde 7« im August 1967 zur Erde übermittelte

Rückstart von »Luna 16«. Dieses automatische Mondlandegerät brachte Mondgestein zur Erde



die auch mit Geräten der Western Electric Company aufgenommen waren.

Das wiederum paßte Mister Fox nicht, der nach wie vor Inhaber der amerikanischen Schutzrechte für den Tonfilm war. Er fühlte sich in der Nutzung dieser Rechte beeinträchtigt und strengte mehrere Schadenersatz- und Lizenzprozesse gegen seine »Partner« an. Als sie zu Ende gegangen waren, hatte Fox allein an Schadenersatz ein Vielfaches von dem eingestrichen, was ihn die Patente einst gekostet hatten.

Nach Deutschland kam der Tonfilm – um 1930 – erst auf dem Umweg über die USA. Jetzt waren es deutsche Firmen, die die amerikanische Konkurrenz erbittert bekämpften und mit alten Patenten operierten, an deren Nutzung vorher kaum jemand gedacht hatte.

Wie unentbehrlich die Elektronenröhre in der Funk- und Fernsprechtechnik, beim Tonfilm und für Schallplattenaufnahmen war, wußte bald jedermann. Weniger bekannt blieb lange, daß die Möglichkeit, geringste Spannungen zu verstärken, zunehmend auch auf anderen Gebieten wichtig wurde.

Geringfügige Spannungen oder Widerstandsänderungen traten bei vielen Vorgängen auf: beim Beleuchten gewisser Stoffe, beim Verbiegen oder Dehnen anderer, bei chemischen und biologischen Vorgängen, beim Erwärmen oder Abkühlen. Hier bot sich eine Möglichkeit an, nichtelektrische Größen wie Deformierungen, Temperaturunterschiede usw. auf elektrischem Wege festzustellen und zu messen. Doch in den meisten Fällen waren die auftretenden Spannungs- oder Stromänderungen zu klein, um übliche Meß- oder Registriergeräte ansprechen zu lassen.

Die Elektronenröhre schloß diese Lücke; denn sie konnte auch kleinste Spannungs- und Stromänderungen verstärken, gleich, ob diese von einem Mikrophon, einem fernen Funksender oder von biologischen Vorgängen ausgelöst wurden.

Meßverstärker – oft in einfachstem Brett Aufbau – entstanden in Laboratorien verschiedener Forschungsrichtungen. Sie erleichterten Beobachtungs- und Meßreihen oder machten sie oft überhaupt erst möglich. Temperaturdifferenzen von Tausendsteln eines Grads, Konzentrationsänderungen von Bruchteilen eines Promille in Flüssigkeiten, Farbänderungen, die dem empfindlichsten Auge entgingen, ließen sich deutlich an Instrumentenzeigern ablesen. Selbst schwächste radioaktive Strahlung wurde im Lautsprecher hörbar, die Zahl der Teilchen konnte mit Zählwerken registriert werden.

Schnelle Schwingungsvorgänge, deren Form und Verlauf man bisher nur durch langwierige mathematische Verfahren hatte rekonstruieren

können, wurden auf dem Schirm von Braunschen Röhren unmittelbar sichtbar, konnten beobachtet, ausgemessen und fotografiert werden.

Die Industrie ließ sich diese neuen Hilfsmittel und Methoden nicht lange entgehen. Im dritten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts begann man, sie in der Produktion anzuwenden. Eine neue technische Disziplin, die *industrielle Elektronik*, wurde geboren.

Zunächst wurden elektronische Geräte hauptsächlich für Meß- und Kontrollaufgaben herangezogen. Mit *Fernthermometern*, bei denen die Widerstandsänderung eines *Temperaturfühlers* durch einen Verstärker ausgewertet und auf ein Meßgerät übertragen wurde, konnten Temperaturen nicht nur auf große Entfernungen angezeigt, sondern auch an schwer zugänglichen Stellen gemessen werden. Außerdem ließen sich die Angaben vieler Meßstellen zentral ablesen.

Der Füllstand von Behältern, die Zusammensetzung von Flüssigkeiten und Gasen konnte mit Geräten überwacht werden, in denen Verstärkerrohren arbeiteten. Blech- und Papierdicken, die Breite von Papier- und Textilbahnen, Transportbänder und Aufzüge wurden elektronisch kontrolliert und überwacht.

In Kraftwerken, in chemischen und metallurgischen Betrieben war es dank den elektronischen Fernmeßeinrichtungen möglich, Leitstände und Warten einzurichten, an denen Hunderte Meßwerte zusammenliefen und einen ständigen Überblick über das Betriebsgeschehen vermittelten.

Man gab sich nicht lange mit bloßen Anzeigen zufrieden, die das Eingreifen eines Beobachters auslösten. Man übertrug das Handeln den elektronischen Geräten selbst.

Das Gerät, das den Füllstand eines Tanks maß und anzeigte, wurde so erweitert, daß es ein Ventil öffnete, sobald der Füllstand einen Sollwert unterschritt, und daß es dieses Ventil selbsttätig schloß, wenn die gewünschte Füllhöhe wieder erreicht war.

Ähnlich war ein Temperaturfühler in Verbindung mit einem Verstärker in der Lage, Heizvorrichtungen so ein- und auszuschalten, daß eine bestimmte Solltemperatur ständig eingehalten wurde.

Die auf dem *Hallwachs-Effekt* beruhenden Fotozellen erwiesen sich im Zusammenwirken mit Verstärkerrohren als besonders vielseitig: Sie schalteten Maschinen aus, wenn menschliche Körperteile in gefährliche Nähe kamen, zählten Produkte – von der Zigarette bis zur Konservenbüchse, von der Tablette bis zum meterlangen Brett –, sortierten diejenigen aus, deren Daten von vorgegebenen Werten abwichen, unterschieden Tausende Farbtöne.

Sie öffneten und schlossen Türen, setzten Transportanlagen in Bewe-

gung oder brachten sie zur Ruhe, überwachten Tresore, Geschäftsräume oder Schaufenster. Sie rückten Werkzeuge ein, sobald der zu bearbeitende Werkstoff sich in der richtigen Stellung befand, und lernten, Bleche oder Sperrholzplatten nach vorgelegten Zeichnungen selbsttätig auszuschneiden.

Innerhalb weniger Jahre entstanden mannigfache elektronische Meß-, Steuerungs- und Regelungseinrichtungen. Sie entlasteten den Menschen von sich ständig zu wiederholenden, mechanischen Handgriffen oder der stundenlangen Beobachtung verschiedener Meßinstrumente, kannten keine Ermüdung und arbeiteten oftmals schneller, zuverlässiger und genauer als der Mensch. Doch so verschieden auch ihre Aufgaben waren, stets zählten Verstärkerröhren zu ihren wichtigsten Bauelementen.

Allerdings mußte man bald erkennen, daß nicht alle Aufgaben der industriellen Elektronik mit den in der Funktechnik üblichen Röhren zu erfüllen waren. Stöße, Erschütterungen und Vibrationen – in Maschinen-sälen oder im Transport- und Verkehrswesen unvermeidlich – vertrugen diese Röhren schlecht. Auch ihre Lebensdauer genügte oft nicht; denn jetzt waren die Röhren oft 24 Stunden täglich in Betrieb, nicht, wie im Rundfunkgerät, zwei oder drei. Deshalb wurden für die Zwecke der industriellen Elektronik besonders langlebige, stoß- und vibrationssichere Röhren entwickelt.

Ein weiterer Mangel war durch konstruktive Veränderungen der Elektronenröhren nicht zu beheben und schränkte den Anwendungsbereich elektronischer Geräte ein: Die Ströme, die durch Elektronenröhren fließen, sind im Vergleich zu den in der Technik sonst gebräuchlichen verhältnismäßig schwach. Sie reichten oft nicht aus, Geräte unmittelbar zu steuern.

Es bereitete zum Beispiel keine Schwierigkeiten, aus einer Temperaturänderung eine entsprechende Spannungsänderung herzuleiten und diese zu verstärken. Trotzdem konnte man Verstärker und Wärmequelle nicht so zusammenschalten, daß die Wärmequelle unmittelbar gesteuert wurde. Dazu waren zusätzliche elektromechanische Bauelemente nötig, zum Beispiel Relais. Die Möglichkeiten einer stetigen Regelung aber gingen durch ihr Zwischenschalten verloren.

Auch Elektromotoren, deren Drehzahl in Abhängigkeit von einer elektronisch gemessenen Größe geändert werden sollte, ließen sich nicht unmittelbar in die Röhrenstromkreise eines Verstärkers schalten; denn die Röhrenströme waren für Elektromotoren zu schwach. Selbst bei Kontroll- oder Alarmanlagen erwiesen sich die Röhrenströme oft als zu niedrig.

Um diesen Mangel zu beheben, kehrte man zu Röhren mit einer Füllung verdünnten Gases zurück und entwickelte, aufbauend auf den mit Elektronenröhren gewonnenen Erfahrungen, die sogenannten *Ionenröhren*, zum Beispiel das »Thyratron« und das »Ignitron«.

Während Ionen in Elektronenröhren vermieden werden müssen, sind sie bei diesen Röhren ausschlaggebend für die Wirkungsweise. Ionenröhren lassen – je nach Röhrenart und -typ – Ströme bis zu vielen Ampere fließen. Zur Steuerung dieser Ströme genügt, wie bei Elektronenröhren, eine verhältnismäßig geringe Steuerspannung. Man kann in die Stromkreise von Ionenröhren unmittelbar Motoren, Licht- und Wärmequellen oder andere Stromverbraucher schalten. Die Steuerspannung läßt sich über große Entfernungen zuführen; sie kann von Temperaturfühlern, Fotozellen usw. bereitgestellt werden.

Die Elektronenröhre war ursprünglich entwickelt worden, um eine eng umrissene Aufgabe der Nachrichtentechnik zu lösen. Knapp drei Jahrzehnte nach ihrer Erfindung war sie zu einem geradezu universalen Hilfsmittel geworden, das sich überall bewährte, wo man es mit schwächsten Spannungen und Strömen zu tun bekam.

Zwerge werden Riesen

Während des zweiten Weltkrieges wurden bei allen Truppenteilen auch elektronische Mittel eingesetzt. Flugzeuge suchten ihr Ziel, fanden es, wurden abgeschossen mit Hilfe elektronischer Geräte. Elektronische Anlagen richteten Geschütze, spürten U-Boote auf, steuerten Torpedos und Luftabwehrgeschosse, zündeten Sprengladungen, führten Stoßtrupps an den Feind, sicherten die Nachrichtenverbindungen zwischen den eigenen militärischen Einheiten und überwachten oder störten diejenigen des Gegners.

Alle diese Geräte waren nicht im Krieg und schon gar nicht durch den Krieg entstanden. Gerade als die Elektronik – dank dem in der Mitte der dreißiger Jahre erreichten Stand von Wissenschaft und Technik – in vielen Bereichen der Produktion helfend einzugreifen begonnen hatte, waren einige ihrer aussichtsreichsten Entwicklungen mit dem Stempel »geheim« versehen und nur noch für Angriffs- und Verteidigungszwecke vorangetrieben worden.

Das Radargerät, in seinem Grundprinzip seit 1904 bekannt, warnte keine Schiffsbesatzungen vor Hindernissen und Gefahren, sondern half den Gegner suchen. Funknavigationssysteme leiteten keine Passagier-

flugzeuge sicher ans Ziel, sondern führten Bomber und Flottenverbände. Elektronische Steuer- und Regeleinrichtungen halfen nicht produzieren, sondern ermittelten Richtwerte in Geschützstellungen.

Erst nach 1945 konnte man die Elektronik in großem Umfange auf allen Gebieten einsetzen, und jetzt erst ging es auch in der industriellen Elektronik weiter voran. Aufgabenstellung und Ausführung der elektronischen Geräte freilich hatten sich gewandelt. Ein Jahrzehnt zuvor hatte man hier eine Temperatur »elektronisch« gemessen, dort den Füllstand eines Kessels überwacht, ein Förderband bei Gefahr stillgesetzt, bei Rauchentwicklung in einem Lagerraum eine Alarmeinrichtung auslösen lassen. Die Geräte waren zusätzlich und nachträglich angebracht worden und ergänzten vorhandene maschinelle Anlagen.

Jetzt bezog man elektronische Geräte von vornherein in die Betriebsanlagen ein. Sie wurden nicht mehr nachträglich hinzugefügt, sondern waren Bestandteile der Kesselanlage, der Fördereinrichtung, der Werkzeug-, Textil- oder Papiermaschine. Die Aufgaben, die man ihnen anvertraute, waren umfangreicher und komplexer geworden. In der Chemieindustrie, in Hüttenbetrieben oder Großkraftwerken übertrugen sie Meßdaten, steuerten sie die Rohstoffzufuhr, Brennerflammen oder das Strömen von Kühlmitteln. Nach Befehlen, die sie von Magnetbändern oder Lochstreifen erhielten, bedienten sie Werkzeugmaschinen und stellten sie nach, sobald die Bearbeitungstoleranzen überschritten wurden.

Die ersten elektronischen Geräte in der Industrie waren mit fünf oder zehn Röhren ausgekommen. Nun waren fünfzig, hundert oder noch mehr nötig.

Mängel, mit denen man sich hatte abfinden können, solange Geräte mit nur wenigen Röhren bestückt waren, durften nicht mehr übersehen werden:

Röhren verbrauchten ständig Strom, auch dann, wenn sie nur betriebsbereit sein mußten. Dabei wurden teilweise erhebliche Wärmemengen frei, die durch Kühleinrichtungen abzuführen waren und einer möglichst kompakten Bauweise im Wege standen. Die Lebensdauer der Röhren zählte nur nach Tausenden oder allenfalls Zehntausenden Stunden – aber bereits ein Röhrendefekt konnte eine ganze Produktionsanlage ausfallen lassen. Daran konnten im Prinzip auch die für die industrielle Elektronik entwickelten Spezialröhren nichts ändern. Daß Röhren sich nicht beliebig verkleinern ließen, störte ebenfalls oft.

Eine ähnliche Lage war in der drahtlosen Nachrichtentechnik entstanden. Hier war das Bedürfnis an betriebssicheren, billigen Kleingeräten gestiegen, die auf Baustellen, im Verkehrswesen, in Großbetrie-

ben ortsunabhängige und ortsveränderliche Verständigungsmöglichkeiten schaffen konnten. Versuche, dieses Ziel mit röhrenbestückten Geräten zu erreichen, führten zwar zu Erfolgen, gelangten aber bald an eine Grenze, die durch Stromverbrauch, Masse, Abmessungen und auch durch die mechanische Empfindlichkeit gezogen wurde.

Die Elektronikspezialisten und Nachrichtenfachleute horchten daher auf, als im Juni 1948 ein verstärkendes *Halbleiterbauelement* unter dem Namen *Transistor* zum Patent angemeldet wurde, dessen wichtigster Bestandteil ein winziger, besonders behandelter Germaniumkristall war.

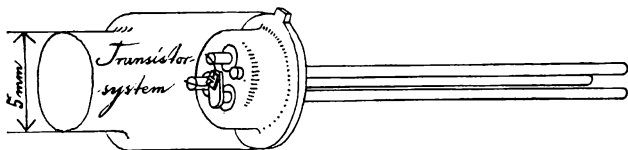
Völlig neu war der Gedanke eines »Kristallverstärkers« jedoch nicht. Nach 1920 hatte ein sowjetischer Techniker den seit langem bekannten Kristalldetektor benutzt, um Hochfrequenzspannungen zu verstärken und sogar – ähnlich wie in einem Röhrensender – zu erzeugen. Allerdings hatten sich fast ausschließlich Radioamateure mit diesen »Chrystadyneschalungen« beschäftigt. Der Industrie stand in den Elektronenröhren ein bewährtes Bauelement als Gleichrichter, Verstärker und Schwingungserzeuger zur Verfügung. Auch fehlte es an Voraussetzungen für systematische Entwicklungsarbeiten; man wußte ja noch nicht einmal, was eigentlich im Kristalldetektor vorging.

Erst als man sich den Meter- und Dezimeterwellen zuwandte, rückte auch das Interesse am Kristalldetektor wieder mehr in den Vordergrund; denn Röhren konnten in Dezimeterwellen- und Radargeräten nicht alle Aufgaben übernehmen.

Inzwischen wußte man mehr über die Stoffe, die für Detektoren verwendet wurden und zu denen beispielsweise Silizium, Germanium, Selen, aber auch manche Kupfer- und Kadmiumverbindungen zählten: Sie nahmen eine Zwischenstellung zwischen Leitern und Isolatoren ein, weswegen man sie *Halbleiter* nannte; die Stromleitung erfolgte in ihnen nach besonderen Gesetzmäßigkeiten, die sich mit Hilfe der Quantenphysik erklären ließen. Damit waren wichtige Voraussetzungen für eine zielstrebige Entwicklung von Halbleiterbauelementen erfüllt.

Zuverlässige Dezimeterwellen-Detektoren machten den Anfang. Sie enthielten nicht mehr natürliche, stets mehr oder weniger verunreinigte Mineralien, deren Eigenschaften sich nie genau voraussagen ließen, sondern Plättchen aus sehr reinen, »gezüchteten« Germanium- oder Siliziumkristallen. Sie bewährten sich später auch in anderen Zweigen der Hochfrequenztechnik.

Der Transistor geht vor allem auf die Arbeiten der späteren Nobelpreisträger John Bardeen (geb. 1908), Walter Brattain (geb. 1902) und William Shockley (geb. 1910) zurück. Er war anfänglich ein »Spitzen-



Transistor

transistor«: Einem Germaniumplättchen saßen in sehr geringem Abstand zwei feinste Drahtspitzen auf.

Diese Anordnung wirkte ebenso wie die um ein Vielfaches größere Röhre. In entsprechender Schaltordnung verstärkte sie Wechselspannungen oder erzeugte sie elektrische Schwingungen.

Erste Transistorverstärker und -empfänger wurden konstruiert und erregten Aufsehen. Sie benötigten im Gegensatz zu Röhrengeräten nur eine Spannung von wenigen Volt; ihr Stromverbrauch war sehr gering, ihre Abmessungen nicht größer als die einer Kleinbildkamera.

Der Weg zu völlig neuartigen elektronischen Geräten, zu einer fast unabsehbaren Ausweitung ihrer Anwendungsmöglichkeiten war damit offen. Es gab wohl keinen Betrieb der elektronischen und nachrichtentechnischen Industrie, der das neue Bauelement nicht in seine Entwicklungsarbeiten und Pläne einbezog.

Der Spitzentransistor wies noch Mängel auf; seine Serienfertigung stieß auf große Schwierigkeiten. Aber schon zwei Jahre später tauchten »Flächentransistoren« auf, bei denen sich die entscheidenden elektrischen Vorgänge nicht mehr zwischen Kristall und Drahtspitze, sondern im Inneren des besonders behandelten Kristallstücks abspielten.

Zunächst hatte man angenommen, Transistoren würden nur für kleinste Leistungen und verhältnismäßig niedrige Frequenzen brauchbar sein, während hohe Frequenzen und große Leistungen ausschließlich den Röhren vorbehalten seien. Dank der Arbeit der Festkörperphysiker, die die Vorgänge in Halbleitermaterialien untersuchten, und dank den Technologen, die immer bessere Produktionsverfahren für Halbleiterbauelemente ausarbeiteten, konnten die Grenzen ständig verschoben werden.

Heute stehen Transistoren für die höchsten in der Nachrichtentechnik benutzten Frequenzen zur Verfügung. Andere verarbeiten Leistungen, die sich mit denen von kleineren Senderöhren vergleichen lassen. Die Maße sind auf Stecknadelkopfgröße und darunter gesunken, die Lebensdauer ist so hoch, daß ihre Grenzen seit der Erfindung des Transistors noch nicht einmal exakt festzustellen waren. Transistoren, die bald nach

1950 zum Dauerversuch angeschlossen wurden, funktionieren noch heute einwandfrei.

Silizium und zahlreiche andere Halbleiterstoffe sind an die Seite des Germaniums getreten. In jüngster Zeit werden sogar organische Verbindungen für Halbleiterbauelemente erprobt. In knapp zwei Jahrzehnten erreichte der Transistor – gemessen an seinen Einsatzmöglichkeiten – einen Entwicklungsstand, für den die Elektronenröhre vierzig Jahre benötigte.

Überholt ist die Elektronenröhre trotzdem nicht. Gerade durch die Erfindung der Halbleiterbauelemente erhielten die Röhrentechniker Impulse, sich eindringlich mit den Mängeln »ihres« Bauelements auseinanderzusetzen. Auch diese Mühe machte sich bezahlt. Heute ergänzen Röhre und Transistor einander. Zumindest in naher Zukunft wird sich an diesem Verhältnis nichts ändern.

Der Halbleitergleichrichter hat gleichfalls eine stürmische Entwicklung durchlaufen. Ursprünglich als »Spitzengleichrichter« Nachfahre des Kristalldetektors, erwies er als »Flächengleichrichter« sehr rasch seine Eignung zur Gleichrichtung von Netzwechselströmen. Sprunghaft stiegen die Stromstärken, die er bewältigte: Bruchteile eines Ampere zuerst, dann wenige Ampere, heute Hunderte Ampere.

Der Halbleitergleichrichter ist hundert-, oft tausendfach kleiner als die noch vor zwei Jahrzehnten üblichen Gleichrichter gleicher Leistung. Er arbeitet ohne Wartung, übertrifft sie an Lebensdauer und vor allem an Wirtschaftlichkeit. Allein in einem elektrochemischen Großbetrieb konnte durch den Einsatz der wirtschaftlichen Halbleitergleichrichter jährlich ein Betrag von mehr als 1 Million Mark an Energiekosten eingespart werden.

Selbst die Ionenröhren der industriellen Elektronik haben seit einigen Jahren mehr als ebenbürtige Partner in Halbleiterbauelementen gefunden. Der »Thyristor« zum Beispiel ist ein »steuerbarer« Halbleitergleichrichter – ein Gleichrichter, dessen Ausgangsstrom sich (unter anderem durch elektronische Geräte) leicht in weiten Grenzen verändern läßt.

Ein Zeitunterschied zwischen Forschung und Anwendung ist bei den Halbleiterbauelementen kaum noch festzustellen. Elektronische Geräte des Nachrichtenwesens, der Industrie, der Meß- und Laboratoriumstechnik schrumpften auf einen Bruchteil ihres früheren Rauminhalts, ihrer früheren Masse und ihres Stromverbrauchs, waren zugleich aber widerstandsfähiger und betriebssicherer geworden. Kleinstfunkgeräte für Kurzstrecken-Nachrichtenverbindungen, Kleinstverstärker für die verschiedensten Aufgaben der Meß- und Regelungstechnik entstanden. Komplizierte

elektronische Anlagen, die einst mehrere Schränke beansprucht hatten, waren, mit Halbleitern bestückt, nicht mehr größer als ein Fernsehgerät. Die Konstruktion moderner Rechanlagen wurde überhaupt erst durch die konsequente Anwendung von Halbleiterbauelementen sinnvoll.

Im Bereich der Medizin wurden zahlreiche neuartige Hilfsmittel für die ambulante und klinische Behandlung geschaffen, zum Beispiel winzige, verschluckbare Sender, die über Druck- und Säurewerte im Magen-Darm-Kanal berichten, Geräte, die den Herzschlag kontrollieren oder seinen Rhythmus bei Operationen und bestimmten Herzerkrankungen stimulieren. Hörhilfen, die hinter dem Ohr verborgen bleiben oder sogar schon in den Gehörgang eingeführt werden, verdanken ihre Existenz ebenso der Halbleitertechnik wie »bioelektrische Prothesen«, künstliche Hände zum Beispiel, die von den winzigen Gehirnspannungen gesteuert werden.

Geradezu unentbehrlich sind Halbleiterbauelemente für die Raketentechnik und für die Raumfahrt geworden. Wie auf keinem anderen Gebiet der Technik spielen in der Raumfahrt Masse, Größe und Widerstandsfähigkeit der benutzten Geräte eine entscheidende Rolle. Mit Elektronenröhren waren diese Forderungen nicht zu erfüllen, zumal die in kosmischen Flugkörpern benutzten Geräte immer umfangreicher und komplizierter geworden sind.

Durch die Raumfahrt ist auch eine andere Anwendungsmöglichkeit der Halbleitertechnik bekannt geworden: Die auf Halbleiterbasis geschaffenen *Fotoelemente* wandeln Lichtenergie unmittelbar in Elektrizität um. Satelliten und Weltraumsonden sind mit Batterien aus Fotoelementen ausgestattet, die zur Stromversorgung der Bordgeräte beitragen oder sie völlig übernehmen. Auch auf der Erde bewähren sich solche Batterien. Sie speisen Funkgeräte, Fernsprechverstärker, Kühlanlagen und in jüngster Zeit sogar Fernsender für einen kleineren Versorgungsbereich.

Das seit mehr als hundert Jahren bekannte Thermoelement, das Wärme unmittelbar in elektrische Energie verwandelt, erfuhr durch die Verwendung von Halbleitermaterial so wesentliche Verbesserungen, daß man gegenwärtig seine Eignung für die Energiegewinnung untersucht. »Thermobatterien« versorgen bereits Funkanlagen mit Strom; schon einer der ersten sowjetischen »Thermogeneratoren«, der die bei der Kernspaltung freiwerdende Wärme ausnutzte, leistete 800 Watt – genug, um eine Wohnung mit Strom zu versorgen.

Die dem Thermoeffekt entgegengesetzte Erscheinung, die Abkühlung der Verbindungsstelle verschiedener leitender Materialien durch den elektrischen Strom, erlangte ebenfalls erst durch die Benutzung von

Halbleiterstoffen technische Bedeutung. Wir erleben gegenwärtig die Anfänge einer *Halbleiterkühltechnik*, die die bisher gebräuchlichen Kühlmethoden an vielen Stellen ablöst. Halbleiterkühlrichtungen arbeiten ohne mechanische Hilfsmittel wie Kompressoren und ohne Kühlmittel. Sie lassen sich daher auf engem Raum zusammendrängen und zeichnen sich durch große Lebensdauer aus.

Solange elektronische Geräte mit Elektronen- und Ionenröhren bestückt wurden, waren diese Röhren größer als die meisten anderen Bauelemente. Als man Transistoren und Halbleitergleichrichter an die Stelle der Röhren setzte, kehrten sich die Verhältnisse um; jetzt übertrafen die übrigen Bauelemente Transistoren und Gleichrichter an Größe.

Wollte man die durch die Halbleitertechnik mögliche Verkleinerung elektronischer Geräte konsequent ausschöpfen, mußten alle Bauelemente »miniaturisiert« werden. Die Halbleitertechnik mit ihren niedrigen Spannungen und Strömen und der geringen Wärmeentwicklung durch die Bauelemente kam diesem Streben entgegen. Gleichzeitig mit der Verbesserung der Halbleitergleichrichter und Transistoren wurde daher ein breites Sortiment an Miniaturbauelementen geschaffen, das den Bedürfnissen der Halbleitertechnik angemessen war.

Auch die Fertigungsweise elektronischer Geräte erfuhr eine grundsätzliche Wandlung. Bislang hatte man sie im wesentlichen in einer Ebene, auf einem Metallchassis, montiert. Durch diese Bauweise wurde nicht nur oft Raum »verschwenkt«. Sie machte es auch nahezu unmöglich, die Fertigung zu mechanisieren oder zu automatisieren – mußte doch beispielsweise jede der oft nach Hunderten zählenden Drahtverbindungen einzeln gelötet werden. Nach 1945 ging man dazu über, die Chassis dort, wo es auf geringe Abmessungen ankam, in gleichgroße Teilplatten zu trennen und diese übereinander zu stapeln. Jeweils ein solcher Stapel stellte eine Baustufe des betreffenden Gerätes dar.

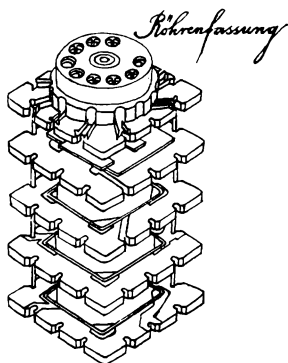
Mit dieser *Modultechnik* wurde mehr erreicht als lediglich eine Raumeinsparung. Auch wenn elektronische Geräte ganz verschiedenen Zwecken dienen, treten in ihnen immer wieder bestimmte gleiche Kombinationen aus wenigen Bauelementen – zum Beispiel aus Widerständen und Kondensatoren – auf. Bringt man jeweils eine solche Kombination auf einem Plättchen unter, ersetzt man außerdem die Drahtleitungen durch aufgedruckte oder eingebrannte metallische Leitungszüge, so kann man die einzelnen Plättchen in großer Stückzahl in halbautomatischen oder automatischen Fertigungseinrichtungen produzieren. Wird ein aus mehreren Plättchen bestehender Modul defekt, tauscht man lediglich das betreffende Plättchen gegen ein neues aus.

Das Modulsystem wurde in mehreren Ländern erprobt und eingeführt, wobei die Moduln zunächst noch mit Elektronenröhren bestückt waren. Hatten diese Moduln noch etwa das Volumen von zwei übereinandergelegten Streichholzschachteln, so ermöglichte die mit Halbleiterelementen arbeitende »Mikromodultechnik« eine Verkleinerung der Baugruppen auf Würfelzuckergröße.

Bei Mikromoduln sind nicht nur Transistoren oder Halbleitergleichrichter an die Stelle der Röhren getreten. Auch die Bauelemente haben sich geändert.

Während man bei der Modultechnik noch normale Bauelemente verwendete, sind in Mikromodulbausteinen konventionelle Bauelemente kaum noch vertreten. Widerstände, Kondensatoren, sogar Spulen werden als hauchdünne Schichten auf die Plättchen aufgetragen. Transistoren und Gleichrichter sind oft unmittelbar in die Plättchen eingearbeitet. Diese werden an den Rändern durch Drähte verbunden. Der fertige Baustein ist luft- und feuchtigkeitsdicht eingebettet. Elektronische Geräte, die aus solchen Bausteinen zusammengesetzt sind, zeichnen sich durch große Lebensdauer und Betriebssicherheit aus und haben eine weitere Verringerung der Abmessungen elektronischer Geräte zur Folge.

Die vorerst letzte Stufe der Verkleinerung ist die »Halbleiterblocktechnik«. Einzelne Bauelemente gibt es bei ihr nicht mehr. Vielmehr werden kleine Stückchen homogenen Halbleitermaterials so bearbeitet, daß sie die Funktion einer ganzen elektronischen Baugruppe, etwa eines Verstärkers oder eines Bausteins für Rechner übernehmen. Solche Baugruppen, die oft nicht einmal die Größe einer Streichholzkuppe erreichen,



Modul für
Röhrenbestückung

werden heute nicht mehr nur als Einzelstücke, sondern in großen Serien produziert. Sie tauchen bereits in Funkempfängern, Tonband- und Fernsehgeräten auf.

Seit fast drei Jahrzehnten sind wir berechtigt, von einer Halbleitertechnik zu sprechen. In diesem Zeitraum hat sie eine Bedeutung erlangt wie kaum eine einzelne technische Disziplin zuvor. Trotzdem ist sie noch jung. Kein Wissenschaftler, kein Halbleitertechniker bezweifelt, daß sie den größten Teil ihres Weges noch vor sich hat.

Maschinen rechnen für uns

Bald nachdem die Menschen rechnen gelernt hatten, begannen diejenigen, die viel mit Zahlen zu tun bekamen, sich nach Hilfsmitteln umzusehen, die das Rechnen erleichterten und beschleunigten.

Rechenbretter, auf denen Steinchen, Fruchtkerne oder Metallstücke nach leicht zu merkenden Regeln verschoben wurden, waren im Altertum in Europa ebenso wie im Orient und in den fernöstlichen Ländern verbreitet.

Tabellen für häufig wiederkehrende Berechnungen wurden aufgestellt. Schon im alten Ägypten und im Zweistromland bedienten sich ihrer nicht nur Astronomen und Landmesser, sondern auch Kaufleute, Geldwechsler und Wucherer. Seit Anfang des 17. Jahrhunderts die Logarithmentafeln aufkamen, sind solche Tafelwerke für Mathematiker, Techniker und Wissenschaftler zu unentbehrlichen Rechenhilfsmitteln geworden.

Im Jahre 1624 entwarf und konstruierte der Engländer Edmund Gunter (1581 bis 1626) den *logarithmischen Rechenschieber*. Seine Arbeitsweise war neuartig: Es wurden keine Steine oder Metallscheibchen verschoben, sondern den Zahlen entsprechende Längen aneinandergereiht. An die Stelle des Zählens trat beim Rechenschieber das Messen. Wegen seiner logarithmischen Skalenteilung konnte mit ihm multipliziert und dividiert, später auch radiziert und potenziert werden.

An die Konstruktion maschineller Einrichtungen, die das Rechnen erleichtern sollten, wagte man sich ebenfalls frühzeitig. Johannes Kepler (1571 bis 1630) entwarf eine Rechenmaschine für astronomische Berechnungen. Sie konnte multiplizieren und dividieren und war mit einer selbsttätigen Vorrichtung zum Übertragen der Zehner ausgestattet. Wahrscheinlich wurde die Maschine in drei Exemplaren ausgeführt, doch blieb keines davon erhalten.

Der Mathematiker und Philosoph Blaise Pascal (1623 bis 1662) entwarf gleichfalls eine Rechenmaschine. Sie sollte die eintönige und zeitraubende Rechenarbeit seines Vaters, der in einer Heeresintendantur beschäftigt war, erleichtern und verkürzen. Pascals Maschine addierte und subtrahierte; auch bei ihr erfolgte der Übergang zur nächsthöheren Zehnerstelle selbsttätig.

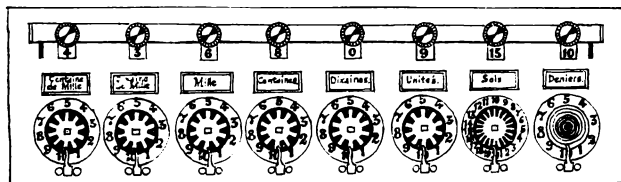
An einer Rechenmaschine für alle vier Grundrechenarten versuchte sich Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 bis 1716). 1673 führte er das erste Modell vor. Doch obwohl er auf seine Konstruktion viel Mühe und für damalige Zeiten auch ungewöhnlich hohe Geldmittel aufwandte, kam sie über die Versuchsausführung nicht hinaus.

Die erste Rechenmaschine, die in größeren Stückzahlen serienmäßig produziert wurde, erfand um 1820 der Versicherungsunternehmer Carl Thomas (1785 bis 1870) aus Kolmar, um seinen Gewinn zu erhöhen. In Thomas' Pariser Büros waren zahlreiche Rechner beschäftigt. Ihre Zahl und ihren Lohn gedachte er zu verringern, indem er einige von ihnen durch Maschinen ersetzte.

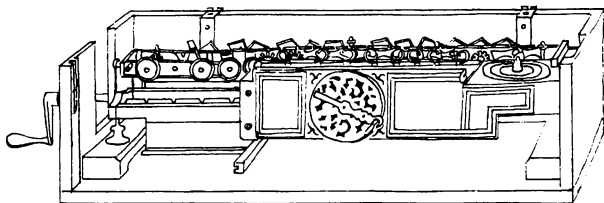
Sein *Arithmometer* funktionierte tatsächlich, und er verbesserte es im Laufe der Zeit wesentlich. Schließlich benötigte ein Rechner nur noch 18 Sekunden, um zwei 16stellige Zahlen miteinander zu multiplizieren.

Zu den bekanntesten Rechenmaschinen-Konstrukteuren zählt der Petersburger Mechaniker Wilgodt Odhner (1845 bis 1905). Von ihm stammen wichtige Bauelemente, die auch heute noch in zahlreichen Rechenmaschinen zu finden sind. 1874 führte Odhner seine Maschine vor; in den 80er Jahren nahm er ihre Produktion in einer eigenen Fabrik auf. Tausende Exemplare wurden verkauft, auch ins Ausland, und erhielten mehrfach Auszeichnungen auf internationalen Ausstellungen.

Alle diese Rechenmaschinen, deren Nachfolger uns heute in zahlreichen Tischrechenmaschinen begegnen, arbeiteten auf mechanischer Grundlage. Ihre Bauelemente waren Zahnräder, besonders geformte



Pascals Rechenmaschine



Rechenmaschine von Leibniz

Walzen und Hebel. Sie wurden durch eine Handkurbel, später durch einen Elektromotor angetrieben.

Das zu verarbeitende Zahlenmaterial mußte von Hand eingegeben werden; die Maschine selbst führte jeweils nur die vorher eingestellte Operation aus. Fand bei zusammenhängenden Rechnungen ein Operationswechsel statt, etwa vom Addieren zum Dividieren, war vorher das Zwischenresultat abzulesen und dann erneut einzugeben. Auch die Endresultate mußten abgelesen werden. Die Arbeitsgeschwindigkeit und der Nutzen einer Rechenmaschine hingen daher von der Geschicklichkeit und Zuverlässigkeit des Rechners ab. War er geübt, brachte er es auf zwei, mitunter auf drei Multiplikationen oder Divisionen in der Minute.

Das war zwar viel schneller, als sich mit Stift und Papier rechnen ließ, aber sobald große Zahlenmengen zu verarbeiten waren, genügte diese Geschwindigkeit trotzdem nicht. Dazu braucht man Maschinen, die das Material selbst zuverlässig und schnell »lesen«, eine Reihe verschiedener Rechenvorgänge nach einem bestimmten, der Maschine aufgetragenen Programm selbsttätig ausführen, sich Zwischenergebnisse »merken« und schließlich das Endresultat fixieren.

Daß Maschinen nach einem ihnen auferlegten Programm selbsttätig arbeiten konnten, war seit dem Ende des 18. Jahrhunderts bekannt. Der französische Weber Joseph-Marie Jacquard (1752 bis 1834) hatte Webstühle mit einer *Lochkartensteuerung* ausgerüstet und so die Handgriffe des Webers ersetzt. Eine endlose Kette von Pappkarten, die nach einem bestimmten System mit Löchern versehen waren, wurde von Nadeln abgetastet. Je nachdem, ob die Spitzen auf ein Loch trafen oder nicht, wechselte die Fadenführung. Auf diese Weise konnten auch komplizierte Stoffmuster schnell und fehlerfrei gewebt werden. Wechselte man die Karten aus, ergab sich ein anderes Dessin. Wurde ein nicht mehr produziertes Muster erneut verlangt, brauchte man lediglich auf die alten Karten zurückzugreifen.

Den Gedanken, dieses System zum Bau einer Rechenmaschine zu benutzen, verfolgte als erster der englische Mathematiker Charles Babbage (1792 bis 1871). Als Herausgeber einer verbreiteten Logarithmentafel stieß er immer wieder auf die Schwierigkeiten, ein solches umfangreiches Tafelwerk fehlerfrei und mit vertretbarem Zeitaufwand zu erarbeiten.

Französische Gelehrte hatten sich geholfen, indem sie für die Ausarbeitung von Tafeln ein *Programm* aufstellten, das alle Berechnungen in eine Reihe einfacher Schritte zerlegte. Diese konnten von Hilfskräften ausgeführt werden, die nicht mehr als die vier Grundrechenarten beherrschten.

In einem 1822 veröffentlichten »Brief an Sir H. Davy über die Anwendung von Maschinen zur Aufstellung mathematischer Tafeln« führte Babbage seine Gedanken und Pläne einer »analytischen Maschine« aus. Er wollte mit ihrer Hilfe Rechen- und Logarithmentafeln aufstellen, astronomische Berechnungen nachprüfen, Aufgaben aus der Statistik und der Versicherungsmathematik lösen. Das Material sollte der Maschine auf Lochkarten eingegeben werden; Lochkarten sollten auch den Ablauf des Rechenprogramms steuern.

Babbages Maschine enthielt Baugruppen, die – obgleich in völlig veränderter Form – Bestandteil aller modernen programmgesteuerten Rechenautomaten sind: Ein Rechenwerk, das die eigentlichen Rechenoperationen ausführte, ein Steuerwerk, das ihre Reihenfolge bestimmte, und einen Speicher, der Zahlen aufbewahren konnte, auf die während der Rechnungen zurückgegriffen werden mußte.

Babbage arbeitete nahezu 50 Jahre an seiner Maschine, ohne sie zu vollenden. Neben mangelhaften technischen Voraussetzungen für ein so kompliziertes Vorhaben war es vor allem das Unverständnis seiner Kollegen und des bürgerlichen Staates, die ihn scheitern ließen.

1890 wurden Lochkarten erstmalig zur Verarbeitung großer Datenmengen angewendet. In diesem Jahr fand in den USA eine allgemeine Volks- und Berufszählung statt. Man schätzte die Zeit, die zum Auswerten der Berge von Zahlenmaterial nötig sein würde, auf rund sieben Jahre. Um diese Spanne zu verkürzen, konstruierte der im Statistischen Bundesamt beschäftigte Ingenieur Hermann Hollerith (1860 bis 1929) eine *Statistikmaschine*, die alle eingehenden Daten zählen und nach vorgeschriebenen Gesichtspunkten sortieren konnte. Dazu wurden die Daten nach einem bestimmten Schlüssel als Löcher in einheitliche Karten gestanzt und abgetastet.

Allerdings konnte sich Hollerith eines besseren Verfahrens bedienen als seine Vorgänger. Die Karten liefen über eine elektrisch leitende Un-

terlage und wurden nicht mehr von Nadeln abgetastet, die die Maschine mechanisch steuerten, sondern von feinen Kontaktbürsten. Jedesmal, wenn eine Bürste auf ein Loch traf, wurde kurzzeitig ein Stromkreis geschlossen und ein Impuls an elektromagnetische Bauelemente gegeben, die das Zähl- und Rechenwerk betätigten.

Holleriths Maschine bewährte sich. Innerhalb eines Jahres war die Volks- und Berufszählung nach den verschiedensten Gesichtspunkten ausgewertet.

Das war der Beginn der *Lochkartentechnik*. Sie fand weite Verbreitung und wird auch heute überall eingesetzt, wo große Mengen an Daten anfallen und ohne Zeitverlust verarbeitet werden müssen, zum Beispiel in der Lohnbuchhaltung, beim Erfassen statistischer Angaben, für die Material- und Lagerhaltung, für das Aufstellen von Tabellen usw. Auch als »Zulieferer« für elektronische Datenverarbeitungsanlagen haben sich Lochkartenmaschinen bewährt.

Trotzdem zeigten sich frühzeitig Grenzen der Lochkartentechnik. Einmal erforderte sie Arbeitsgänge, die von Hand ausgeführt werden mußten und daher zahlreiche Fehlerquellen einschlossen; zum anderen behinderte der mechanische Transport der Karten und ihre elektromechanische Verarbeitung die Arbeitsgeschwindigkeit. Versuche, Lochkartenmaschinen für umfangreiche wissenschaftlich-technische Berechnungen einzusetzen, führten nicht zum Ziel.

Das war um so unangenehmer, als in Wissenschaft und Technik immer kompliziertere und langwierigere Berechnungen anzustellen waren.

Statische Probleme etwa, die beim Brückenbau oder bei Stahlkonstruktionen für Hallen und Türme auftraten, führten auf Gleichungssysteme mit zahlreichen Unbekannten. Ihre Lösung war im Prinzip nicht schwierig, aber äußerst zeitraubend. Sie beschäftigte zahlreiche Rechner monatelang.

Die Rechenarbeiten beim Entwurf von Foto-, Fernrohr- oder Mikroskopobjektiven beanspruchten Jahre.

Auch die Vermessungsämter und kartographischen Institute kamen nicht ohne umfangreiche Rechenabteilungen aus, in denen – oft nach dem gleichen, relativ einfachen Schema – Hunderttausende Berechnungen auszuführen waren.

Körper, die sich bewegten, unterlagen gleichzeitig verschiedensten Einflüssen. Bei der Konstruktion von Flugzeugen oder Schiffsrümpfen zum Beispiel mußten neben den Antriebskräften Strömungsverhältnisse, Auftrieb, Masse, Luft- bzw. Flüssigkeitswiderstand und zahlreiche an-

dere Größen berücksichtigt werden. Die meisten davon waren nicht konstant, sondern änderten sich ständig. Die theoretische Behandlung solcher Probleme führte auf *Differentialgleichungen*, deren rechnerische Auswertung ebenfalls sehr viel Zeit kostete. Ähnliche Gleichungen waren bereits bei einfacheren Aufgaben zu lösen, etwa bei der Flugbahnberechnung von Geschossen oder bei der Untersuchung mechanischer Schwingungen an Wellen und Maschinenteilen.

So ergab sich die widersinnige Situation, daß die exakte Durchrechnung eines Problems oftmals deshalb zwecklos wurde, weil sie viel zu lange gedauert hätte. Man war gezwungen, kostspielige Versuchsreihen anzustellen oder grobe Näherungslösungen in Kauf zu nehmen, die sich bisweilen – etwa im Brückenbau – in einer Überdimensionierung und unnützem Materialverbrauch ausdrückten. Auch die Feststellung, welche von mehreren denkbaren Lösungen einer bestimmten Aufgabe die *optimale* sei, war oft ausgeschlossen, weil nicht alle Einflüsse und Variationsmöglichkeiten rechnerisch erfaßt werden konnten. Versuche, diese Widersprüche durch neue Rechenmaschinen zu beseitigen, verliefen in zwei Richtungen:

Zum Lösen von Differentialgleichungen und von Aufgaben mit veränderlichen Größen arbeitete man an *Differentialanalysatoren*. In ihnen wurden, wie beim Rechenschieber oder dem für Flächenmessungen benutzten *Planimeter*, die eingegebenen Werte in analoge physikalische Größen, zum Beispiel in Längenänderungen, Winkelstellungen oder Umdrehungszahlen, verwandelt. Diese wurden dann mit Zahnstangen, Zahnrädern, Kurvenscheiben, Spezialgetrieben und anderen mechanischen Hilfsmitteln weiter verarbeitet und erst zum Schluß wieder »rückübersetzt«.

1904 wurde in Rußland das Projekt einer großen derartigen Anlage bekannt. Zehn Jahre später wurde eine ähnliche Apparatur in Deutschland zum Ausarbeiten von Fahrplänen konstruiert. Differentialanalysatoren, die in den folgenden Jahren ausgeführt wurden, enthielten mitunter mehr als hundert Elektromotoren und Getriebe, aber bereits auch Relais und Verstärker.

Der andere Weg war der der Beschleunigung des Ziffernrechnens. Experimente mit programmgesteuerten Rechenanlagen auf mechanischer Basis führten jedoch kaum weiter, da die Geschwindigkeit der mechanisch ablaufenden Operationen nicht beliebig erhöht werden konnte. Daher begann man zu untersuchen, wie weit sich die »trägen« mechanischen Bauelemente von Rechenmaschinen durch Bauelemente der Elektrotechnik ersetzen ließen. Hierbei trat der reaktionäre Charakter des

Imperialismus wieder deutlich hervor. So berichtet der Amerikaner E. G. Andrews 1963 z. B., daß sich mehrere amerikanische Monopole der Elektroindustrie und ihre Vorgänger seit 60 Jahren mit Problemen der automatischen Datenverarbeitung beschäftigt haben. Den Hauptgrund dafür bildete natürlich die Tatsache, daß jede automatische Fernsprechvermittlung digitale Daten verarbeiten muß. Seit 1925 war diesem Amerikaner die feste Überzeugung vieler seiner Berufskollegen bekannt, daß mit der Relais-Technik arithmetische Operationen durchgeführt werden können. Aber trotz der Bedürfnisse der Wissenschaft und der Technik gingen die Monopole mit ihren großen Laboratorien zunächst nicht an diese Aufgabe. Wie so oft in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts bedurfte es dazu der Initiative von Privatpersonen. Die Monopole wendeten sich dieser Aufgabe erst zu, als das ihr Profit erforderte. Im vorliegenden Falle »bedurfte« es dazu des imperialistischen Krieges, ähnlich wie wir das bei der forcierten Entwicklung der Spektroskopie gesehen haben und wie es bei der Entwicklung der Raketentechnik im Imperialismus wieder sichtbar werden wird.

Besonders Howard Hathaway Aiken (geb. 1900) in den USA und der deutsche Ingenieur Konrad Zuse (geb. 1908) wandten sich in der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre privat der Entwicklung elektrischer programmgesteuerter Rechenanlagen zu. Wichtigste Bauelemente ihrer Rechner waren Relais, wie sie in der Fernmeldetechnik zu Hunderttausenden verwendet wurden. Sie waren zuverlässig und beanspruchten wenig Raum. Allerdings besaßen sie eine Eigenschaft, die die Konstrukteure von Rechenmaschinen zu ganz neuartigen Überlegungen zwang:

Ein Relais kann, wie ein Schalter, Stromkreise öffnen und schließen – mehr nicht. Es unterscheidet also lediglich zwischen den Zuständen »ein« und »aus« und ist somit für die Verarbeitung von zehn verschiedenen Ziffern ungeeignet.

Doch diese Komplikation ließ sich umgehen. Mathematiker wußten längst, daß man mit einem aus nur zwei Ziffern bestehenden Zahlensystem ebenso rechnen kann wie mit einem Dezimalsystem. Die Ziffernfolgen werden zwar länger als die der entsprechenden Dezimalzahlen, doch zeichnet sich ein solches *Dualsystem* durch sehr wenige und besonders einfache Rechenregeln aus.

Ordnete man den beiden Ziffern die Schaltzustände von Relais zu, konnte ein Relaisrechner im Dualsystem arbeiten. Es war lediglich erforderlich, die einzugebenden Dezimalzahlen in das Dualsystem zu übersetzen und am Ende des Rechnens die im Dualsystem vorliegenden Ergebnisse in das Dezimalsystem zurückzuübersetzen. Gelang es überdies,

dieses *Konvertieren* und *Rekonvertieren* von der Maschine selbst vornehmen zu lassen, hatte der Rechner nur mit gewohnten Zahlen zu tun.

1941 führten, mit einem Abstand von wenigen Monaten, Aiken und Zuse ihre programmgesteuerten Relaisrechner vor. Ein Laie hätte sie wahrscheinlich für Wählergestelle eines Fernsprechamtes gehalten: Nicht weniger als 13 000 Relais waren im Gerät Aikens vereinigt.

Zuses Maschine »Z 3« – es war sein dritter Entwurf – erreichte eine Arbeitsgeschwindigkeit von etwa 20 Rechenoperationen in der Minute und war damit rund zehnmal schneller als mechanische Tischrechenmaschinen. Das Programm wurde der »Z 3« als Lochstreifen eingegeben.

Der Krieg unterbrach zunächst die Arbeiten Zuses. Die »Z 3« und wichtige Konstruktionsunterlagen wurden Opfer eines Bombenangriffes. Erst nach Kriegsende konnte Konrad Zuse weiterarbeiten.

Etwa hundert Rechenoperationen in der Minute leisteten Relaisrechner schließlich. Damit war auch für sie die Grenze erreicht; denn im günstigsten Falle verstreichen einige tausendstel Sekunden, ehe ein Relais von »aus« auf »ein« oder umgekehrt geschaltet hat.

Hundert Operationen in der Minute sind viel, verglichen mit der mechanischen Rechenmaschine; sie reichen aber nicht aus, wenn zur Lösung eines Gleichungssystems 100 000 Rechenoperationen (eine verhältnismäßig bescheidene Anzahl!) nötig sind: 17 Stunden müßte die Maschine ununterbrochen arbeiten, ehe sie das Ergebnis vorlegen könnte.

Wollte man noch schneller rechnen, mußte man auch auf Relais und ihre beweglichen Kontaktzungen verzichten. Das wurde möglich, indem man die Relais durch Elektronenröhren ersetzte. Für sie gab es keine mechanische Trägheit und keinen Kontaktverschleiß. Sie können Spannungen oder Ströme verarbeiten, deren Werte in einer Sekunde hundert-millionenfach und schneller wechseln.

Noch während man die Relaisrechner zu verbessern suchte, begann daher die Entwicklung von *elektronischen Rechenautomaten*.

Während der Kriegsjahre wurde an der Universität von Pennsylvania/USA die erste elektronische Großrechenanlage, »ENIAC« (Electronic Numerical Integrator and Calculator), entworfen und gebaut.

Sie war ein Riese, der einen ganzen Saal beanspruchte. 18 000 Röhren, 1 500 Relais, viele Tausende anderer elektrischer und elektronischer Bauelemente waren auf einzelnen Chassis in den Gestellen untergebracht. Einen Straßenbahnzug hätte man mit der elektrischen Energie betreiben können, die »ENIAC« benötigte – der größte Teil davon wurde in Wärme verwandelt und mußte durch eine spezielle Kühlanlage abgeführt werden. 30 t betrug die Masse der Anlage. Aber sie bewies,

wie richtig der Weg zu *Elektronenrechnern* war: In einer Sekunde konnte »ENIAC« 250 Paare zehnstelliger Zahlen miteinander multiplizieren.

Die Öffentlichkeit erfuhr von diesem ersten elektronischen Rechenautomaten zunächst nichts. Er wurde dem Ballistischen Laboratorium in Aberdeen zur Verfügung gestellt, berechnete die Flugbahnen von Geschossen, Bomben und löste andere mathematische Probleme aus dem militärischen Bereich. 1946 wurde er erstmals einem größeren Kreis vorgeführt.

Erst nach dem Kriege standen Elektronenrechner auch für andere Aufgaben zur Verfügung. An Arbeit fehlte es ihnen nicht.

Die umfangreichen Berechnungen, wie sie auf wissenschaftlichem Gebiet – etwa in der Atomphysik oder in der Astronomie – notwendig waren, ließen sich nur mit Elektronenrechnern durchführen.

Um die Flugbahn einer Rakete zu korrigieren, mußte man die Möglichkeit haben, komplizierte Berechnungen in Sekundenbruchteilen auszuführen; sonst kam die Korrektur zu spät.

Die Automatisierung von Produktionsabteilungen oder ganzen Produktionsstätten setzte voraus, daß eine Vielzahl von Daten und Meßwerten schnellstens verarbeitet wurde; denn nur so konnten diese Anlagen kontinuierlich arbeiten, und nur so war es möglich, Unregelmäßigkeiten oder Störungen rasch zu erkennen und aufzufangen. Nur Elektronenrechner konnten diesen Datenanfall schnell genug bewältigen.

Ähnliche Aufgaben stellten die Energiewirtschaft, das Verkehrs- und Transportwesen, die Auswertung statistischer und ökonomischer Kennziffern.

Daher wurde in allen Industrieländern die Entwicklung der Rechenautomaten vorangetrieben – als Waffe im Konkurrenzkampf und Werkzeug zu erhöhtem Profit in den einen, als Hilfsmittel einer Produktion, die allen zugute kommt, und zur Entlastung für die Menschen im sozialistischen Teil der Welt.

In der DDR machte ein Relaisrechner, die automatische Rechenmaschine »OPREMA«, den Anfang. Sie wurde Anfang der fünfziger Jahre von Mitarbeitern des »VEB Carl Zeiss Jena« entwickelt und war für die Lösung von Aufgaben auf dem Gebiet der angewandten Optik vorgesehen.

Etwa zur gleichen Zeit begannen in der UdSSR die ersten großen Elektronenrechner zu arbeiten, zum Beispiel die Anlage »BESM« mit etwa 5000 Elektronenröhren.

Die Rechenautomaten wurden schneller, zuverlässiger und vielseitiger

einsetzbar; die Zahl der in ihnen zusammenwirkenden Bauelemente wuchs entsprechend. Wäre man auf Elektronenröhren angewiesen gewesen, hätte das zu »Rechenfabriken« geführt, deren Abmessungen und deren Stromverbrauch – von der begrenzten Lebensdauer der Röhren abgesehen – den Einsatz erheblich behindert, wenn nicht unmöglich gemacht hätten.

Hier eröffnete sich der Halbleitertechnik eines ihrer wichtigsten Anwendungsgebiete. Ein Rechenautomat mit 100 000 oder mehr Elektronenröhren war praktisch nicht zu verwirklichen. Rechenautomaten mit 100 000 langlebigen Halbleiter-Bauelementen dagegen benötigen nur einen Bruchteil des Raums und der Elektroenergie ihrer röhrenbestückten Vorläufer. Daher ging man bereits in den fünfziger Jahren dazu über, Elektronenrechner mit Halbleitergleichrichtern und Transistoren zu bestücken. Gegenwärtig werden in größtem Umfange integrierte, miniaturisierte Baugruppen eingesetzt.

Die Rechengeschwindigkeiten stiegen ständig. Ziffernrechner, die es auf 500 Operationen in der Sekunde bringen, gelten heute als langsam, Rechner bis zu 5000 Operationen je Sekunde als »mittelschnell«. Den Namen »Hochleistungsrechner« erhalten nur Automaten, die – wie die transistorisierten Ausführungen des sowjetischen Rechners »BESM« – in jeder Sekunde mehr als 5000 Rechenoperationen ausführen können. Sie sind damit rund 3000mal schneller als Relaisrechner, 150 000mal schneller als mechanische Rechenmaschinen. Die Geschwindigkeitsgrenze ist damit aber noch längst nicht erreicht.

Diesem Rechentempo muß natürlich auch die Eingabe- und Ausgabe-geschwindigkeit der Daten angepaßt werden. Auch dabei wurden erstaunliche Resultate erzielt: Es gibt Elektronenrechner, die mit Elektronenstrahlen in einer Sekunde 60 000 Zeichen auf Filmstreifen »schreiben«. Während Holleriths Maschine noch ein Jahr benötigte, um die Volkszählung des Jahres 1890 auszuwerten, bearbeiteten Elektronenrechner die 12 Milliarden Daten der nordamerikanischen Volks- und Berufszählung des Jahres 1950 in wenigen Stunden.

Vor allem hat es die Halbleitertechnik möglich gemacht, »Kleinrechner« hoher Leistungsfähigkeit zu entwickeln. Sie sind oft nicht größer als ein Rundfunk- oder Fernsehempfänger und lassen sich ohne weiteres in einem Konstruktionsbüro oder wissenschaftlichen Institut aufstellen.

Nicht nur die Ziffernrechner wurden weiterentwickelt. Auch die »Analogrechner«, Nachfahren der Differentialanalysatoren, zählen heute zum unentbehrlichen Instrumentarium von Wissenschaft und Technik. Sie werden vorwiegend für wissenschaftliche Aufgaben verwendet. Beson-

ders wertvoll ist es, daß man mit ihnen komplizierte Vorgänge »modellieren« kann, indem man die den eingegebenen Werten entsprechenden Größen im Rechner variiert. Innerhalb weniger Stunden oder Minuten ist es möglich, mehrere Lösungswege eines technischen oder wissenschaftlichen Problems »auszuprobieren«, ohne erst in langwierigen und teuren Versuchsreihen die günstigsten Bedingungen festlegen und sogar das Verhalten unter »kritischen« Bedingungen untersuchen zu müssen. Mit wenigen Handgriffen etwa läßt sich simulieren, wie ein Energienetz auf eine plötzliche Havarie reagieren würde, wie sich ein Kernreaktor bei einem Steuerungsdefekt verhalten würde usw.

Zahnstangen, Kurvenscheiben und Getriebe allerdings sind heute kaum noch in einem Analogrechner zu finden. Ihre Stelle haben elektrische Bauelemente eingenommen: Kondensatoren, regelbare Widerstände, Differenzierschaltungen, Verstärker und andere.

Die Ziffernrechner sind nach ihren Anwendungsgebieten spezialisiert:

Rechner für wissenschaftlich-technische Aufgaben müssen meistens sehr komplizierte Rechnungen ausführen, während die Zahl der eingegebenen und ausgegebenen Werte gering ist. Bei ihnen wird daher größter Wert auf hohe Rechengeschwindigkeit gelegt.

Rechenautomaten für ökonomische oder statistische Zwecke, »Datenverarbeitungsanlagen«, brauchen im allgemeinen nur verhältnismäßig einfache Rechnungen durchzuführen, müssen aber in der Lage sein, große Datenmengen zu verarbeiten. Sie sollen außerdem mit anderen Einrichtungen, zum Beispiel Lochkartenmaschinen, zusammenarbeiten können und Daten nach vielfältigen Bedingungen auswählen und sortieren. Die Eigenschaft der Elektronenrechner, in gewissem Umfange »logische Entscheidungen« treffen zu können, ist hier besonders wertvoll.

Die Datenverarbeitung ist besonders unentbehrlich für eine Volkswirtschaft, die nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten geplant und geleitet wird. Wie unentbehrlich sie ist, zeigen sowjetische Untersuchungen:

Während sich in den letzten hundert Jahren die Arbeitsproduktivität im Bereich der unmittelbaren Produktion etwa verfünffzehnfacht hat, stieg sie in der Verwaltung im weitesten Sinne etwa nur auf das Doppelte. Das würde bedeuten, daß ohne Datenverarbeitungsanlagen um 1980 alle arbeitsfähigen Bürger der Sowjetunion mit Arbeiten beschäftigt wären, die der Verwaltung und Organisation der Produktion dienen.

Wir wissen, daß dies nicht eintreten wird. Denn schon heute nehmen uns Elektronenrechner zahlreiche Organisations- und Verwaltungsarbeiten ab. Sie führen Konten, verwalten Lagerbestände, stellen Rechnungen aus, berechnen Löhne. Sie buchen Bahn- und Flugzeugplätze, werten

Wahlergebnisse aus, suchen Literaturstellen, registrieren Patente und Fachaufsätze. Sie helfen sogar bei der Diagnose von Krankheiten und zeichnen die einzelnen Bewegungsphasen von Trickfilmen.

Man hat Elektronenrechnern noch mehr beigebracht. 1954 übersetzte erstmalig ein Elektronenrechner einen russischen Text ins Englische. 1955 revanchierte sich die sowjetische »BESM« dafür, indem sie einen Auszug aus der »Times« und anschließend einen mathematischen Fachtext ins Russische übertrug. Seither wurden zahlreiche elektronische Übersetzungsmaschinen entwickelt und eingesetzt.

Trotzdem stehen die elektronische Rechentechnik und Datenverarbeitung, vor einem Vierteljahrhundert nicht einmal dem Namen nach bekannt, erst am Anfang. Heute »lesen« »Elektronengehirne« bereits gedruckte Texte. Morgen werden sie »hören«, das heißt, das gesprochene Wort als Eingabe »anerkennen«, übermorgen werden sie selbst »sprechen« »lernen«.

Ein Vierteljahrhundert elektronischer Rechentechnik läßt uns ahnen, welche Möglichkeiten Wissenschaft und Technik in einer friedlichen Welt für uns bereithalten.

Der Weg in den Weltraum

In seiner »Merkwürdigen Geschichte der Staaten und Reiche des Mondes« und der »Merkwürdigen Geschichte der Staaten und Reiche der Sonne« beschrieb der Franzose Cyrano de Bergerac (1619 bis 1655) Raumfahrten, bei denen unter anderem Raketen als Antriebsmittel für die »Himmelswagen« dienten.

Hier tauchte wohl zum ersten Male die uns selbstverständliche Verknüpfung der Raumfahrt mit dem Rückstoßantrieb auf, dessen theoretische Begründung erst nach Cyrano de Bergerac durch Newton gegeben wurde.

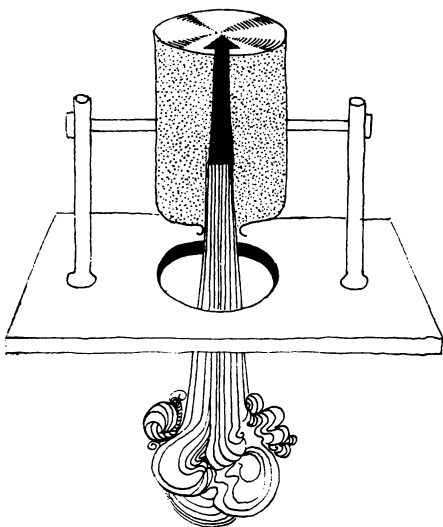
Den ersten Technikern, die die Rakete als Antriebsmittel nutzen wollten, ging es allerdings zunächst nicht so sehr darum, den Mond oder einen anderen Himmelskörper zu erreichen. Zu ihrer Zeit war noch nicht einmal das Problem des Fluges in der Atmosphäre gelöst. Daher lautete ihre Aufgabe allgemeiner, mit Raketenhilfe von der Erdoberfläche aufzusteigen.

Der Russe Nikolai Iwanowitsch Kibaltschitsch (1854 bis 1881) war einer von vielen Erfindern, die sich im 19. Jahrhundert mit dem Raketen-Flugmotor befaßten. Er wußte, daß Muskelkraft als »Motor« für

einen Flugkörper nicht ausreicht. Deshalb wollte er als Antriebsquelle Treibsätze aus Pulver anwenden. Sie sollten eine Plattform in die Höhe tragen und durch Schwenken auch einen Flug in andere Richtungen ermöglichen.

Kibaltschitsch brachte diese Pläne erst wenige Tage vor seiner Hinrichtung zu Papier. Als erbitterter Gegner des Zarismus hatte er sich der Geheimorganisation »Narodnaja Wolja« angeschlossen und an der Herstellung der Bomben beteiligt, durch die Zar Alexander II. getötet wurde. Kibaltschitschs letzter Wunsch, das Urteil eines Fachmannes über sein Projekt zu hören, ging nicht in Erfüllung. Er starb, ohne noch etwas vom Schicksal seiner Pläne gehört zu haben. Erst nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution kamen die Aufzeichnungen wieder aus Archiven zum Vorschein.

Man hatte Kibaltschitschs Arbeiten jedoch nicht völlig totschweigen können. Sie wurden in mehreren zeitgenössischen russischen Veröffentlichungen erwähnt, und vieles spricht dafür daß auch der »Vater der



Skizze Kibaltschitschs zum Raketenflug

Raumfahrt«, der Gelehrte Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857 bis 1935), von ihnen erfuhr.

Ziolkowski, der mehrere Jahrzehnte als Lehrer in Kaluga tätig war, hatte sich gleichfalls schon in jungen Jahren der Luftfahrt zugewandt. Wie Kibaltschitsch hielt er die Rakete für ein geeignetes Antriebsmittel. Sein Ziel jedoch war weiter gesteckt: Er beschäftigte sich nicht nur mit dem Flug nahe der Erdoberfläche, sondern vor allem mit dem Vorstoß in den Weltraum. Das kam bereits in seiner Arbeit »Der freie Raum« zum Ausdruck, die zwei Jahre nach Kibaltschitschs Tod entstand.

Ziolkowski arbeitete theoretische Grundlagen des Raketenfluges aus und kam auf Grund seiner Berechnungen zu dem Schluß, daß ein Flug zu anderen Himmelskörpern prinzipiell möglich sei. Er erkannte die Unzulänglichkeiten fester Raketentreibstoffe und schlug die *Flüssigkeitsrakete* vor. Er entwarf Raumschiffe, in denen erträgliche Lebensbedingungen für die Besatzung herrschen sollten, und arbeitete die Prinzipien des heute allgemein benutzten *Stufensystems* aus, bei dem die ausgebrannten Raketenteile abgestoßen werden und nur die letzte Raketenstufe ans Ziel gelangt. Als Startplätze für Raumflüge schlug Ziolkowski künstliche Raumstationen, Erdsatelliten, aber auch Asteroiden vor.

Es gibt heute keinen Raketentechniker, keinen Raumfahrtspezialisten, der nicht an Ergebnisse anknüpft, die von Ziolkowski erarbeitet wurden. Die *Ziolkowskische Gleichung*, die Beziehungen zwischen Raumschiff- und Brennstoffmasse, zwischen Schubkraft und Endgeschwindigkeit wiedergibt, wird genutzt, wo immer Raketen entworfen werden.

Ziolkowski aber wurde während des größten Teils seines Lebens verspottet und verhöhnt. Nachdrücklich empfahl man ihm, sich weniger seinen Spintisierereien und dafür mehr seinen Schülern zu widmen. Erst die Große Sozialistische Oktoberrevolution brachte auch für ihn die Wende. Seine Werke wurden gedruckt, ohne daß er – wie in den Jahren vor der Revolution – den größten Teil der Kosten selbst tragen mußte. Die Akademie der Wissenschaften wählte ihn zu ihrem Mitglied; die junge Sowjetmacht brachte ihm größte Verehrung entgegen.

In seinem Testament sprach Ziolkowski tiefbewegt den Dank an die Arbeiter und Bauern seines Landes aus: »Alle meine Arbeiten über das Flugwesen, den Raketenflug und den interplanetaren Verkehr übergebe ich der Partei der Bolschewiki und der Sowjetmacht – den wahren Führern des Fortschritts der menschlichen Kultur. Ich bin sicher, daß sie dieses Werk erfolgreich zu Ende führen werden.«

Es war ein gewichtiges Testament. Nahezu 600 Berichte, Aufsätze und Abhandlungen hatte Ziolkowski zu Papier gebracht. Er untersuchte

darin selbst solche Spezialprobleme wie das der Navigation mittels automatischer, mit Fotozellen bestückter Geräte und eines Leitsternes – eine Methode, die heute bei Raumflügen angewandt wird.

Ziolkowski hatte in seiner Heimat viele Schüler und Nachfolger, unter ihnen, um nur einen der bedeutendsten zu nennen, Friedrich Arturowitsch Zander (1887 bis 1933).

Zander war einer der ersten Luftfahrtingenieure des Sowjetstaates. Das drückte sich auch in seinen Plänen aus: Er entwarf, um kostspieligen und schweren Raketentreibstoff zu sparen, eine Kombination von Flugzeug und raketenangetriebenem Raumschiff. In den dichten Atmosphärenschichten sollten Flügel und Luftschrauben das Raumfahrzeug tragen, während die Raketentriebwerke erst möglichst hoch über der Erde gezündet werden sollten.

Bei der Erprobung von Raketenflugzeugen wandte man dieses Prinzip später an: Der Raketenflugkörper wurde von einem Trägerflugzeug zunächst in große Höhe befördert. Nach dem Ausklinken zündeten seine Antriebsraketen.

Zander führte mehrere Raketentriebwerke für Versuche aus, wobei als Brennstoff Benzin und zur Erhaltung der Verbrennung gasförmiger, später flüssiger Sauerstoff diente. Zanders Arbeiten fanden von vornherein die Unterstützung staatlicher Stellen. In einem Forschungskollektiv konnte er unbeschwert arbeiten. Auch auf andere Weise suchte die Sowjetmacht die Raumfahrt zu fördern:

1924 wurde eine »Gesellschaft zur Erforschung der interplanetaren Verbindungen« ins Leben gerufen. Zirkel zum Studium aller mit der Raumfahrt zusammenhängender Probleme wurden gebildet, auf deren Arbeitsprogramm nicht nur theoretische Untersuchungen, sondern auch Experimente standen. 1928 fand in der Sowjetunion eine erste internationale Raumfahrttausstellung statt. Diese Förderung trug bald Früchte. Im August 1933 stieg eine sowjetische Flüssigkeitsrakete über 4 km hoch. Zwei Jahre später lag die Gipfelhöhe bereits bei 12 km.

Die Raumfahrtpioniere kapitalistischer Länder waren zunächst vorwiegend auf sich selbst gestellt. »Förderer«, die sich hier und da fanden, fragten stets: »Was kostet das? Was bringt es uns ein?«

So experimentierte in den USA Robert Goddard (1882 bis 1945), von Beruf Physikprofessor, mit Flüssigkeitsraketen. Seine Versuche waren eine Zeit hindurch beliebtes Thema für die Sonntagsausgaben großer Zeitungen. Hilfe jedoch fand er nicht. Als die Berichte den Reiz des Sensationellen verloren hatten, erinnerte sich kaum noch jemand des »Raketenprofessors«.

In Deutschland erschien 1923 ein Buch, das immerhin größeres Interesse für die Raumfahrt erweckte: »Die Rakete zu den Planetenräumen«. Sein Verfasser, der in Rumänien geborene Hermann Oberth (geb. 1894), kam zu ähnlichen Resultaten und Schlußfolgerungen wie Ziolkowski, ohne dessen Arbeiten zunächst zu kennen.

Oberth war gewiefter als Goddard und andere in den kapitalistischen Ländern: Sobald er merkte, daß seine Pläne für Forschungsraketen und Weltraumschiffe keinen Unternehmer und keine Regierung veranlassen konnten, Geld in ein Projekt zu stecken, dessen Ertrag in weiter Ferne lag, vielleicht überhaupt ausblieb, veränderte er seine Zielsetzung. In einer Neuauflage seines Buches wurden ausführlich die militärischen Anwendungsmöglichkeiten der Raketentechnik beschrieben: Kampftraketen, Raketen für Aufklärungszwecke, Fernraketen, deren Ladung aus Giftgas bestehen sollte.

Versuche, mit der deutschen Reichswehr ins Geschäft zu kommen, schlugen trotzdem fehl. Oberth war »Ausländer«, man traute ihm nicht recht; außerdem hatte 1929 die Reichswehr selbst mit der Raketenentwicklung begonnen.

Erst im »Dritten Reich« begann Oberths Stern wieder heller zu strahlen. In Peenemünde, dem deutschen Raketenzentrum, arbeitete er an einer mehrstufigen Rakete, die »feindliche« Städte in Schutt und Asche legen sollte.

Mit einem Milliardenaufwand wurde in Peenemünde und an vielen wissenschaftlichen Instituten die mit großem Propagandageschrei gepriesene »Wunderwaffe V 2« entwickelt, eine Flüssigkeitsrakete von 14 m Länge und 1,65 m Durchmesser. Sie führte in ihrem Gefechtskopf 1 t Sprengstoff mit sich und verbrannte während ihres Fluges von 300 bis 400 km Weite 3 t Alkohol. Die Spitzengeschwindigkeit lag zwischen 5 000 und 6 000 km/h. 1944 kam die »V 2« zum Einsatz. Die gesetzmäßige Niederlage des faschistischen Deutschland konnte sie nicht einmal hinauszögern.

Die militärische Wirksamkeit der »V 2« war gering, zumal sie keine große Treffgenauigkeit aufwies. Außerdem sorgten die Häftlinge und Kriegsgefangenen, die man in die größtenteils unterirdischen Produktionsstätten der »V 2« gepreßt hatte, für zahlreiche Versager. Trotzdem verbreitete die Fernrakete, gegen die es wegen ihrer hohen Geschwindigkeit damals keine Abwehrmittel gab und die ohne Möglichkeit einer vorherigen Warnung einschlug, Schrecken und Angst unter der englischen Zivilbevölkerung.

Nach Kriegsende nahmen viele der leitenden Mitarbeiter aus Peene-

münde nach nur kurzer Unterbrechung ihre Tätigkeit wieder auf. Auftraggeber war jetzt das amerikanische Kriegsministerium; der Arbeitsplatz lag in den USA, und der »Feind«, gegen den die Raketen eingesetzt werden sollten, war in erster Linie die Sowjetunion. Da man fast alle Forschungsergebnisse und Unterlagen aus Deutschland an sich gebracht hatte, hoffte man auf einen entscheidenden Vorsprung gegenüber der Sowjetunion. Fernraketen, deren Gefechtsköpfe Kernladungen trugen, sollten es – so glaubten die USA-Strategen – ermöglichen, die von Raketenstützpunkten eingekreiste Sowjetunion »in Schach zu halten« oder mit einem plötzlichen Raketen- und Kernwaffenschlag niederzurufen.

Wie bei der Atombombe hatte man sich auch auf dem Gebiet der Raketentechnik verrechnet. Konnten erste Meldungen über sowjetische Fernraketen noch als kommunistische Propaganda abgetan werden, so ist seit 1957 bekannt, daß ein Raketenangriff gegen die Sowjetunion einem Selbstmord gleichkäme: Die interkontinentalen Raketen, die die Sowjetunion entwickeln und erproben mußte, können in Minuten jeden Punkt der Erde erreichen und treffen mit größter Genauigkeit.

Sozusagen über Nacht war die Fernbomberflotte der USA wertlos geworden; mit einem Schlag hatten die Luft- und Raketenstützpunkte um das sozialistische Lager einen Teil ihrer militärischen Bedeutung eingebüßt. Außer mit Langstreckenraketen konnte die Sowjetunion einem Angreifer mit Kurz- und Mittelstreckenraketen, mit Unterwasserraketen und auch sehr bald mit einem ausgedehnten Raketenabwehrsystem begegnen.

Neben der Raketenwaffe, deren Entwicklung der Sowjetunion durch die imperialistischen Mächte aufgezwungen wurde, förderte man in der UdSSR vor allem die friedlichen Anwendungsmöglichkeiten der Raketentechnik.

Im Mai 1949 stieg eine sowjetische Rakete 110 km hoch. Sie führte wissenschaftliche Instrumente mit sich. Weitere Aufstiege folgten, in größere Höhen und mit vermehrter Nutzlast. Die Geräte, die von den »Höhenforschungsraketen« emporgetragen wurden, lieferten wichtige Daten über die oberen Atmosphärenschichten, über das Magnetfeld der Erde und über den Strahleneinfall aus dem Weltall. Diese Daten waren äußerst wichtig für die Geophysik, für die Nachrichtentechnik, für die Meteorologie, vor allem aber für die Pläne, weiter in den Weltraum vorzudringen.

Im Mai 1957 erreichte eine sowjetische Forschungsrakete mit einer Nutzlast von mehr als 2 t eine Höhe von 200 km. Damit gab die Sowjetunion einen in der ganzen Welt bewunderten Auftakt für ein Unter-

nehmen, an dem 10000 Forscher aus mehr als 50 Ländern beteiligt waren:

Am 1. Juli 1957 begann das »III. Internationale Geophysikalische Jahr«. Wissenschaftliche Institute und Observatorien in aller Welt, Expeditionen, Forschungsschiffe und -stationen sollten nach einem genau geplanten und abgestimmten Programm zu neuen Erkenntnissen über die Erdoberfläche, die Atmosphäre und den Weltraum in unmittelbarer Nähe unseres Planeten beitragen.

Nicht nur Aufstiege zahlreicher Forschungsraketen waren in dieses Programm einbezogen. Was Ziolkowski einst vorgeschlagen hatte, sollte nun Gestalt annehmen: Die ersten künstlichen Erdsatelliten sollten ihren Nutzen für die Forschung erweisen.

Am 4. Oktober 1957 gab die Nachrichtenagentur TASS den erfolgreichen Start des ersten künstlichen Erdsatelliten bekannt. In Funkstationen und Observatorien, in Nachrichtenzentralen und den »Funkbuden« der Kurzwellenamateure wurden Tausende Empfänger auf die von der Sowjetunion angegebene Sendefrequenz des *Sputnik 1* abgestimmt. Überall wurden die Funksignale des sowjetischen Satelliten empfangen. Rundfunkstationen übernahmen sie und trugen sie über Lautsprecher in jedes Haus. Wie erklärt sich dieser großartige Erfolg der sowjetischen Wissenschaftler, Techniker, Arbeiter?

»Konzentration auf eine Aufgabe« drückte sich Professor Sedow von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR bescheiden aus, als ihn der westdeutsche Funkjournalist Ernst von Khuon einen Tag nach dem Sputnik-Start nach dem sowjetischen Erfolgsrezept fragte. Und Walter Dornberger, einer der bekanntesten Nazi- und später USA-Raketenspezialisten, mußte neidvoll feststellen: »Die hohe Wertung ihrer Arbeit in der Gesellschaft hat hervorragend dazu beigetragen.«

In der Tat: Die sowjetischen Fachleute waren ungehindert von Profitinteressen, von einem Tauziehen verschiedener Behörden und Firmen an die Arbeit gegangen. Die Förderung, die Wissenschaft und Technik in der sozialistischen Gesellschaft erfahren, die Gesetzmäßigkeit, daß die Möglichkeit von Wissenschaft und Technik überhaupt nur unter sozialistischen Verhältnissen voll genutzt werden können, war durch *Sputnik 1* erneut und diesmal in einer für die ganze Welt beobachtbaren Weise belegt worden. Die Konsequenz des sowjetischen Raumfahrtprogramms, das von jeglicher Hektik und von allen spektakulären Prestigestarts frei ist, hat sich bis zum heutigen Tag immer wieder bestätigt.

Wenige Tage vor dem 40. Jahrestag der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution wurde ein weiterer »erster Schritt« getan: »Sputnik 2«

umkreiste mit der Hündin »Laika« an Bord die Erde. Erstmals befand sich ein Lebewesen im Weltraum.

Seitdem sind Hunderte Satelliten gestartet worden, sowohl von Startplätzen in der Sowjetunion, wie auch von amerikanischen Raketenzentren aus. Die Aufgaben, die sie zu erfüllen haben, wurden immer komplizierter; das Bild von der Umgebung unseres Heimatplaneten, das wir ihnen verdanken, immer reicher an Details.

Nicht weniger wichtig sind bereits ihre unmittelbaren Auswirkungen auf die Technik. »Nachrichtensatelliten«, noch vor wenigen Jahrzehnten Thema utopischer Romane, haben neue Möglichkeiten der Nachrichtenübertragung erschlossen.

Der erste »Wettersatellit« wurde 1960 gestartet. Er hat seitdem zahlreiche Nachfolger gefunden. Sie beobachten mit Fernsehkameras das Wetter »von oben« und funken die erhaltenen Bilder zur Erde. Neben ihrer ständigen Hilfe für die Meteorologie haben sich Wettersatelliten bereits mehrfach als »Warner« erwiesen, indem sie Wirbelstürme weit eher entdeckten, als dies mit den bisher üblichen Mitteln möglich gewesen wäre, und so zum Beispiel in einem Fall die rechtzeitige Evakuierung von 300 000 Menschen ermöglichten. Besonders für die Beobachtung von Ozeanen und wenig besiedelten Gebieten sind Wettersatelliten gut geeignet.

Am 2. Januar 1959 ging die sowjetische Mondsonde »Lunik 1« auf die Reise in Richtung zum Mond. Während ihres Fluges stieß sie – genau an der errechneten Stelle und zum vorbestimmten Zeitpunkt – Natriumdampf aus, dessen Leuchten von vielen Sternwarten beobachtet wurde. Die Instrumentenkapsel passierte den Mond in geringem Abstand und wurde zum ersten künstlichen Planetoiden unseres Sonnensystems.

Im September des gleichen Jahres war wieder eine sowjetische Mondsonde unterwegs. Ihre Sender arbeiteten, bis sie auf der Mondoberfläche aufschlug. Die Sonde trug Metallwimpel mit den Insignien des ersten Arbeiter-und-Bauern-Staates auf den Mond, einen Gruß der ganzen friedliebenden Menschheit.

Am 2. Jahrestag des ersten Sputnikstarts tickte erneut eine TASS-Eilmeldung aus den Fernschreibern der Nachrichtenagenturen: Die sowjetische Mondsonde »Lunik 3« war gestartet. Sie umrundete den Mond und fotografierte dabei die der Erde abgewandte Mondrückseite. Die Bilder wurden zur Erde gefunkt. Ein selbst für viele Fachleute damals beinahe unvorstellbar kühnes technisches Unternehmen! Sollte es gelingen, mußte die Bahn des Flugkörpers mit größter Präzision einge-

halten werden; die Kameras mußten selbsttätig geschwenkt und eingestellt werden, damit die Aufnahmen gemacht werden konnten, und schließlich mußten die Fotos zur Erde übertragen werden.

Seitdem ist die sowjetische Mondforschung mit Raumflugkörpern ein gutes Stück vorangekommen. Sie sind »weich« auf dem Mond gelandet, ihre Kameras haben über Einzelheiten des Landeplatzes zur Erde berichtet. Meßsatelliten umkreisten unseren Erdbegleiter und erforschten die physikalischen Daten der näheren Mondumgebung.

Im September 1970 landete »Luna 16« im »Meer der Fruchtbarkeit«. Eine Bodenprobe wurde automatisch entnommen, in die Rückstартstufe des Raumflugkörpers gebracht und zur Erde befördert. Die Präzision dieses Unternehmens löste in der ganzen Welt Begeisterung aus. So erklärte Professor Bernard Lovell, der Direktor des Radiophysikalischen Instituts von Jodrell Bank, England: »Die Aufgabe, die Luna 16 erfüllt hat, ist wahrhaftig eine Revolution in der Erschließung des Welt-raums... Mit den jüngsten automatischen Systemen kann man, ohne Menschenleben zu riskieren, die kühnsten Versuche durchführen.« Nur wenige Wochen später, im November 1970, wurde zum ersten Male in der Geschichte der Raumfahrt ein von der Erde aus lenkbares Fahrzeug, das sowjetische Mondmobil »Lunochod 1« im »Meer des Regens« gelandet. Mit dem Einsatz dieses selbstfahrenden »Labors« begann ein neuer Abschnitt in der Erforschung des Mondes.

Alle Raketen- und Satellitenexperimente hatten auch den Zweck, die Bedingungen für den bemannten Raumflug zu untersuchen und seine Voraussetzungen zu erarbeiten. Denn sollte der Flug des Menschen in den Weltraum Tatsache werden, mußte er so sorgfältig vorbereitet werden, daß Fehlschläge oder Katastrophen soweit wie irgend möglich ausgeschaltet wurden.

Die Hündin Laika, erstes irdisches Lebewesen im Kosmos, mußte noch geopfert werden. Ihre Aufgabe war es gewesen, mit Hilfe eines sinnreichen Fernmeldesystems festzustellen, wieweit höher organisierte Lebewesen überhaupt den Beanspruchungen eines Raumfluges gewachsen sind.

Die nächste Entwicklungsstufe war es, Raumflugkörper zu konstruieren, die einen Menschen befördern konnten, und Raketen, mächtig genug, solche Raumflugkörper auf ihre Bahn zu bringen.

Im Mai 1960 wurde eine erste Ausführung eines solchen »Raumschiffs« in der Sowjetunion gestartet. Dabei war, wie bei jedem bemannten Raumflugkörper, eine besonders schwierige Aufgabe zu lösen: Es muß unbeschädigt zur Erde zurückkehren, durfte nicht, wie die meisten

Satelliten, beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre durch die Reibungshitze verglühen. Auch müssen alle Landemanöver nach Möglichkeit automatisch ablaufen, um Fehler durch die während des Abstiegs von der Umlaufbahn physisch stark belastete Besatzung zu vermeiden. Bereits der zweite sowjetische Raumflugkörper, der im August 1960 mit Lebewesen an Bord gestartet wurde, zeigte, wie gut die sowjetischen Wissenschaftler und Techniker dieses Problem bereits gemeistert hatten: Die mit den Hunden »Strelka« und »Belka« bemannte Kabine kehrte auf einen Funkbefehl unbeschädigt zur Erde zurück. Alle Bordanlagen hatten einwandfrei funktioniert und zum Leben geeignete Bedingungen aufrechterhalten. Um die Erfahrungen aus diesen Flügen zu vertiefen und die Einrichtung der Raumschiffe zu verbessern, folgten Aufstiege, bei denen weitere Versuchstiere und auch eine Menschenpuppe die Erde umkreisten. Niemand zweifelte mehr daran: Der erste Raumflug eines Menschen würde nicht mehr lange auf sich warten lassen.

Trotzdem hielt die Welt den Atem an, als am 12. April 1961 die Meldung kam: »Die Sowjetunion hat einen Mann im Kosmos.«

Um 9.07 Uhr Moskauer Zeit war an der Spitze einer Mehrstufenrakete der Raumflugkörper »Wostok 1« gestartet worden. In seiner Kabine befand sich der Fliegermajor Juri Alexejewitsch Gagarin (1934 bis 1968), Sohn eines Kolchosbauern. Er hielt Funkverbindung mit der Erde, berichtete über sein Befinden, das auch durch Fernmeßanlagen ständig überwacht wurde, und führte das Arbeitsprogramm durch, das ihm aufgetragen worden war. Nach einer glücklich vollendeten Erdumkreisung erging das Kommando zur Landung. Sie lief so präzise ab wie der ganze Flug.

Das Zeitalter der bemannten Raumfahrt hatte begonnen! Der Begeisterungsturm, mit dem der erste Kosmonaut, der »Kolumbus unseres Jahrhunderts«, empfangen wurde, der Jubel in vielen Ländern, galt natürlich zunächst einmal der kühnen Leistung Gagarins und den Technikern, Forschern, Ingenieuren, die seinen Flug unmittelbar ermöglicht hatten. Er galt aber ebenso und vor allem der Gesellschaftsordnung, die dafür die Voraussetzung geschaffen hatte, dem Sozialismus und damit in erster Linie den Werktätigen der Sowjetunion, die diesen Triumph unter der Führung der Partei Lenins erkämpft hatten.

Um seine Bedeutung ganz zu verstehen, muß man sich vor Augen halten, daß die Kosmonautik höchste Anforderungen an alle Hauptgebiete von Naturwissenschaft und Technik stellt, eingeschlossen die elektronische Rechentechnik und auch die Organisation von Produktion und Wissenschaft.

Erst am Anfang

Unser Buch geht zu Ende. Es versuchte, über einige der wichtigsten Wege zu berichten, die Wissenschaft und Technik seit der industriellen Revolution zurücklegten – nicht, indem wir ihn Schritt für Schritt verfolgten, sondern indem wir dort verharren, wo er neue Richtungen einschlug oder überraschende Ausblicke bot. Dieser Weg war kurz, wenn wir ihn nach Jahreszahlen markieren. Er war lang und erfolgreich, gemessen an dem, was er der Menschheit brachte.

Nicht nur Wissenschaftler, alle Menschen der sozialistischen Länder fühlen sich verantwortlich dafür, daß Wissenschaft und Technik humanistisch angewandt werden; deshalb auch beziehen sie Stellung gegen die Herren jenes Teils der Welt, in dem Wissenschaft und Technik heute noch Werkzeuge des Profits auch und gerade der Rüstungsindustriellen sind. Dabei erfordert das Leben vieler Millionen Menschen bereits heute die Lösung weiterer wissenschaftlicher Probleme, vor allem aber politischer Aufgaben im Kampf gegen den Imperialismus.

Von 1950 bis 1960 vermehrte sich die Menschheit um 500 Millionen. Für die nächste halbe Milliarde benötigte sie nur noch 6 Jahre. Am Beginn des nächsten Jahrtausends werden über 7 Milliarden die Erde bevölkern. Gegenwärtig aber wird nur jeder dritte Mensch satt . . .

Muß es zu einer »Ernährungskatastrophe schlimmsten Ausmaßes« kommen, wie manche westliche Politiker meinen? Die Wissenschaft antwortet mit einem eindeutigen Nein. Die Fläche des Ackerlandes ließe sich auf der Welt mehr als verdreifachen. Zur Zeit wird dem Boden – im Weltmaßstab gesehen – nur ein Bruchteil dessen an Düngemitteln zugeführt, was zur Erreichung hoher Ernteerträge notwendig wäre. Vierzig bis fünfzig Milliarden könnte der Ackerbau im Jahre 2000 ernähren, wenn dazu die entsprechenden gesellschaftlichen Voraussetzungen geschaffen worden sind. Diese aber können nur in der Überwindung des Imperialismus bestehen und im Übergang zum Sozialismus.

Der Wasservorrat der Erde ist groß. Aber der Bedarf an trinkbarem oder für die Bewässerung geeignetem Wasser steigt ständig. Weite Gebiete können fruchtbar werden, wenn man sie bewässert. Daher wird die Meeresswasserentsalzung – heute bereits erprobt – eines der großen technischen Probleme der Zukunft sein.

Kohle und Erdöl werden eines Tages zu Ende gehen. Haben wir eine »Energiekatastrophe« zu befürchten, eine Welt ohne Elektroenergie, ohne künstliche Wärme, ohne Beleuchtung, ohne Verkehrsmittel, eine Welt, deren Produktion am Energiemangel stirbt?

Noch vor einem halben Menschenalter wurde dieser Frage große Bedeutung beigemessen. Inzwischen ist sie beantwortet. Die Kernverschmelzung wird uns eines Tages einen Energieüberfluß zur Verfügung stellen, von dessen Auswirkungen wir uns heute noch keine rechten Vorstellungen machen können. Bis dahin aber werden uns Kohle, Wasserkraft, Erdöl, Kernspaltung und andere Quellen mit Energie versorgen.

Die Welt ist erkennbar, und die Erkenntnisse über die Natur und Gesellschaft können produktiv genutzt werden. Die gesamte Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik, die wir auszugsweise verfolgt haben, bestätigt diese Lehre des dialektischen und historischen Materialismus. Die praktische Entwicklung der Gesellschaft unter der Führung der Arbeiterklasse und ihrer marxistisch-leninistischen Partei zeigt, daß sich die höchsten Errungenschaften der Menschheit, Wissenschaft, Technik und Kunst, erst frei entfalten können, wenn das im Interesse der Völker selbst und durch sie geschieht. Ja, man kann sagen, so wie die Arbeiterklasse und ihre Verbündeten noch auf einer verhältnismäßig frühen Stufe ihrer Entwicklung auf dem Wege zum Kommunismus in der Welt stehen, so befindet sich auch die Wissenschaft als unmittelbare Helferin des arbeitenden Menschen noch in einem sehr frühen Stadium.

Auch der Weg von Wissenschaft und Technik geht weiter. Nur seine nächsten Etappen können wir überblicken. Aber wir wissen, daß er kein Ende hat. Wo immer wir haltmachen, uns umzusehen – stets stehen wir zugleich an einem neuen Anfang.

Personenverzeichnis

- Achard, Franz Carl (1753 bis 1821) 65
 Ader, Clément (1841 bis 1925) 162
 Aiken, Howard Hathaway (geb. 1900) 290 f.
 Alban, Ernst (1791 bis 1856) 22
 Ampère, André Marie (1775 bis 1836) 90
 Anderson, Carl David (geb. 1905) 239
 Anschütz, Ottomar (1846 bis 1907) 271
 Arago, François (1786 bis 1853) 90
 Arco, Georg von (1869 bis 1940) 145
 Ardenn, Manfred von (geb. 1907) 264
 Arkwright, Richard (1732 bis 1792) 16
 Aston, Francis William (1877 bis 1945) 215
 Auer von Welsbach, Carl (1858 bis 1929) 102
 Avogadro, Amadeo (1776 bis 1856) 63

 Babbage, Charles (1792 bis 1871) 287
 Balmer, Johann Jakob (1825 bis 1898) 216 f.
 Bardeen, John (geb. 1908) 278
 Baudot, Emile (1845 bis 1903) 123
 Becquerel, Henri (1852 bis 1908) 192
 Bell, Alexander Graham (1847 bis 1922) 127 ff.
 Benz, Karl (1844 bis 1929) 152 f.
 Berliner, Emil (1851 bis 1929) 269
 Berthollet, Claude Louis (1748 bis 1822) 60
 Berzelius, Jöns Jakob (1779 bis 1848) 63, 88 f.
 Black, Joseph (1728 bis 1799) 75
 Blanchard, Jean-Pierre (1753 bis 1809) 158
 Blériot, Louis (1872 bis 1936) 165
 Bohr, Niels (1885 bis 1962) 216 ff., 248
 Bothe, Walter (1891 bis 1957) 208
 Boulton, Matthew (1728 bis 1809) 19
 Boyle, Robert (1627 bis 1691) 58 f.
 Bragg, Lawrence (geb. 1890) 191
 Bragg, William (1862 bis 1942) 191
 Bramah, Joseph (1749 bis 1814) 28
 Branly, Edouard (1846 bis 1940) 140
 Brattain, Walter (geb. 1902) 278
 Braun, Karl Ferdinand (1850 bis 1918) 144
 Broglie, Louis Victor de (geb. 1892) 239
 Brunel, Kingsdom Isambard (1806 bis 1859) 36
 Bunsen, Robert Wilhelm (1811 bis 1899) 54
 Burdin, Claude (1790 bis 1873) 231
 Butlerow, Alexander Michailowitsch (1828 bis 1896) 73

 Carlisle, Anthony (1768 bis 1840) 87
 Carnot, Nicolas Léonard Sadi (1796 bis 1832) 77
 Cartwright, Edmund (1743 bis 1823) 17
 Cayley, George (1773 bis 1857) 161
 Chadwick, James (geb. 1891) 214, 239
 Charles, Alexandre (1746 bis 1823) 158
 Cockcroft, John Douglas (1897 bis 1967) 240
 Compton, Arthur Holly (1892 bis 1962) 208
 Cooke, William Fothergill (1806 bis 1879) 116
 Cort, Henry (1740 bis 1800) 26
 Coulomb, Charles Augustin (1736 bis 1806) 90
 Crompton, Samuel (1735 bis 1827) 16
 Crookes, William (1832 bis 1919) 180
 Cugnot, Nicolas-Joseph (1725 bis 1804) 37
 Curie, Irène (1897 bis 1956) 196 f., 239, 241
 Curie, Pierre (1859 bis 1906) 193 ff., 239
 Curtis, Glenn (1878 bis 1930) 232

 Daguerre, Louis-Jacques-Mandé (1787 bis 1851) 65
 Daimler, Gottlieb (1834 bis 1900) 151 ff.

- Dalton, John (1766 bis 1844) 60
 Darby, Abraham (1711 bis 1763) 25
 Davy, Humphry (1778 bis 1829) 77, 87
 Deprez, Marcel (1843 bis 1918) 104
 Diesel, Rudolf (1858 bis 1913) 157
 Dirac, Paul Adrien Maurice (geb. 1902) 239
 Döbereiner, Johann Wolfgang (1780 bis 1849) 68
 Doliwo-Dobrowolski, Michael Ossipowitsch (1862 bis 1919) 229 f.
 Dunlop, John Boyd (1840 bis 1921) 154

 Edison, Thomas Alva (1847 bis 1931) 101, 131, 236, 253 f., 269, 271
 Einstein, Albert (1879 bis 1955) 205 ff., 209, 244, 247
 Engl, Jo (1893 bis 1942) 272
 Ericsson, Johann (1803 bis 1889) 36
 Euler, Leonhard (1707 bis 1783) 48, 75, 231
 Evans, Oliver (1755 bis 1819) 22

 Faraday, Michael (1791 bis 1867) 89, 91 ff.
 Fechner, Gustav Theodor (1801 bis 1887) 178
 Fermi, Enrico (1901 bis 1954) 242, 247
 Ferranti, Ziano de (1864 bis 1930) 228
 Ferraris, Galileo (1841 bis 1897) 228
 Fizeau, Hippolyte (1819 bis 1896) 51
 Fleming, John Ambrose (1849 bis 1945) 254
 Ford, Henry (1863 bis 1947) 155 f.
 Forest, Lee de (1873 bis 1961) 255
 Foucault, Léon (1819 bis 1868) 51
 Fourneyron, Benoit (1802 bis 1867) 231
 Franck, James (1882 bis 1964) 217, 248
 Franklin, Benjamin (1706 bis 1790) 84, 178
 Fraunhofer, Joseph (1787 bis 1826) 53
 Fresnel, Jean-Augustin (1788 bis 1827) 49
 Friedrich, Walter (1883 bis 1968) 190 f.
 Fulton, Robert (1765 bis 1815) 34

 Gagarin, Juri Alexejewitsch (1934 bis 1968) 304
 Galvani, Luigi (1737 bis 1798) 84 f.
 Gauß, Carl Friedrich (1777 bis 1855) 113 f.
 Gay-Lussac, Louis-Joseph (1778 bis 1850) 63
 Geißler, Heinrich (1814 bis 1879) 179
 Girard, Dominique (1815 bis 1892) 231
 Goddard, Robert (1882 bis 1945) 298
 Goebel, Heinrich (1818 bis 1893) 100
 Gramme, Zénobe-Théophile (1826 bis 1901) 99

 Hahn, Otto (1879 bis 1968) 242 ff., 250
 Hallwachs, Wilhelm (1859 bis 1922) 205 f.
 Haselwander, Friedrich August (1859 bis 1932) 229
 Heaviside, Oliver (1850 bis 1925) 135
 Helmholtz, Hermann von (1821 bis 1894) 81 f., 172, 202
 Henson, William Samuel Henson (1805 bis 1885) 161
 Hertz, Gustav (geb. 1887) 217
 Hertz, Heinrich (1857 bis 1894) 138 f., 180, 207
 Hittorf, Johann Wilhelm (1824 bis 1914) 180
 Hofmann, August Wilhelm (1818 bis 1892) 72
 Hollerith, Hermann (1860 bis 1929) 287 f.
 Hornblower, Jonathan (1725 bis 1812) 21
 Hughes, Edward (1831 bis 1900) 124, 131
 Huntsman, Benjamin (1704 bis 1776) 25
 Huygens, Christian (1629 bis 1695) 48
 Jacobi, Moritz Hermann (1801 bis 1875) 94 ff.
 Jacquard, Joseph-Marie (1752 bis 1834) 286
 Joliot-Curie, Frédéric (1900 bis 1958) 197, 239, 241, 245, 250
 Joule, James Prescott (1818 bis 1889) 81

- Kaplan, Viktor (1876 bis 1934) 231
 Kay, John (1704 bis 1774) 16
 Kelvin, Lord (1824 bis 1907) 122
 Kepler, Johannes (1571 bis 1630) 284
 Kibaltschitsch, Nikolai Iwanowitsch (1854 bis 1881) 295 f.
 Kirdhoff, Gustav Robert (1824 bis 1887) 54, 202
 Knipping, Paul (1883 bis 1935) 190 f.
 Krarup, Karl Emil (1872 bis 1909) 136
 Kurtschatow, Igor Wassiljewitsch (1902 bis 1960) 249
- Langen, Eugen (1833 bis 1895) 149
 Langmuir, Irving (1881 bis 1957) 255
 Laue, Max von (1879 bis 1960) 190
 Laval, Carl Patrick Gustav de (1845 bis 1913) 232
 Lavoisier, Antoine Laurent (1743 bis 1794) 59
 Lawrence, Ernest Orlando (1901 bis 1958) 240
 Leblanc, Nikolaus (1742 bis 1806) 64
 Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646 bis 1716) 285
 Lenard, Philipp (1862 bis 1947) 184, 212
 Lenoir, Joseph-Etienne (1822 bis 1900) 148
 Lenz, Heinrich Friedrich Emil (1804 bis 1865) 82
 Liebig, Justus von (1803 bis 1873) 66
 Lilienthal, Otto (1848 bis 1896) 163
 Lockyer, Joseph Norman (1836 bis 1920) 56
 Lodge, Oliver (1851 bis 1940) 141
 Lodygin, Alexander Nikolajewitsch (1847 bis 1923) 100 f.
 Lomonossow, Michail Wassiljewitsch (1711 bis 1765) 60, 75, 80
 Lumière, Auguste (1862 bis 1954) 271
 Lumière, Louis (1864 bis 1948) 271
- Malus, Etienne Louis (1775 bis 1812) 50
 Marconi, Guglielmo (1874 bis 1937) 142 f.
- Marggraf, Andreas Sigismund (1709 bis 1782) 65
 Masolle, Joseph (1889 bis 1957) 272
 Maudslay, Henry (1771 bis 1831) 28
 Maxwell, James Clerk (1831 bis 1879) 93, 137, 178
 Maybach, Wilhelm (1846 bis 1929) 151
 Mayer, Julius Robert (1814 bis 1878) 80
 Meißner, Alexander (1883 bis 1958) 257 ff.
 Meitner, Lise (1878 bis 1968) 242
 Mendelejew, Dmitri Iwanowitsch (1834 bis 1907) 68
 Meyer, Lothar (1830 bis 1895) 70
 Millikan, Robert Andrews (1868 bis 1953) 184, 207 f.
 Moncel, Théodore du (1821 bis 1884) 131
 Morse, Samuel Finley (1791 bis 1872) 115 f.
 Moshaiski, Alexander Fjedorowitsch (1825 bis 1890) 161
- Nasmyth, John (1808 bis 1890) 30
 Newcomen, Thomas (1663 bis 1729) 13 f.
 Newton, Isaac (1643 bis 1727) 48, 209
 Nicholson, William (1753 bis 1815) 87
 Niepce, Joseph Nicéphore (1765 bis 1833) 65
 Nipkow, Paul (1860 bis 1940) 262 f.
- Oberth, Hermann (geb. 1894) 299
 Odhner, Wilgodt (1845 bis 1905) 285
 Oersted, Hans Christian (1777 bis 1851) 90
 Ohm, Georg Simon (1787 bis 1854) 91
 Oppenheimer, Robert (1904 bis 1962) 250
 Otto, Nikolaus August (1832 bis 1891) 149
- Papin, Denis (1647 bis 1712) 33 f.
 Parson, Charles (1854 bis 1931) 232
 Pascal, Blaise (1623 bis 1662) 285
 Pauling, Linus (geb. 1901) 250

- Pelton, Lester Allen (1829 bis 1918) 231
- Petrow, Wassili Wladimirowitsch (1761 bis 1834) 89
- Planck, Max (1858 bis 1947) 172, 202 ff.
- Plücker, Julius (1801 bis 1868) 178 f.
- Polsunow, Iwan Iwanowitsch (1729 bis 1766) 10
- Popow, Alexander Stepanowitsch (1859 bis 1905) 141 f.
- Poulsen, Waldemar (1869 bis 1942) 145, 270
- Proust, Joseph Louis (1755 bis 1826) 60
- Prout, William (1785 bis 1850) 62 f., 210 f.
- Ramsay, William (1852 bis 1916) 200
- Reis, Philipp (1834 bis 1874) 125 ff.
- Ressel, Joseph (1793 bis 1857) 36
- Ritchie, William (1790 bis 1837) 95
- Röntgen, Wilhelm Conrad (1845 bis 1923) 185
- Ruhmer, Ernst (1878 bis 1913) 272
- Runge, Friedlieb Ferdinand (1795 bis 1867) 71
- Rutherford, Ernest (1871 bis 1937) 197 ff., 212 f., 217 ff.
- Rybkin, Pjotr Nikolajewitsch (1864 bis 1948) 141 f.
- Safonow, Ignatij (1806 bis 1857) 231
- Savery, Thomas (1650 bis 1715) 12 f.
- Schilling von Cannstadt, Pawel Lwowitsch (1786 bis 1837) 113
- Schrödinger, Erwin (1887 bis 1961) 239
- Schubert, Johann Andreas (1808 bis 1870) 44
- Schweigger, Johann (1779 bis 1857) 90
- Seebeck, Thomas (1770 bis 1832) 90
- Shukowski, Nikolai Jegorowitsch (1847 bis 1921) 166
- Siemens, Werner (1816 bis 1892) 98 f., 118, 131
- Skladanowsky, Max (1863 bis 1939) 271
- Skłodowska-Curie, Marie (1867 bis 1934) 193 ff., 239
- Soddy, Frederick (1877 bis 1956) 198 f.
- Sömmering, Samuel von (1755 bis 1830) 112
- Steinheil, Carl August (1801 bis 1870) 114 f.
- Stephenson, George (1781 bis 1848) 39
- Straßmann, Fritz (geb. 1902) 242 f.
- Stringfellow, John (1799 bis 1883) 161
- Swan, Joseph (1828 bis 1914) 101
- Tesla, Nikola (1856 bis 1943) 228 f.
- Thomson, Benjamin (Graf von Rumford, 1753 bis 1814) 76
- Thomson, Joseph John (1856 bis 1940) 181, 183, 189 f., 211, 215
- Thomson, William (Lord Kelvin, 1824 bis 1907) 122, 135, 211
- Trevithick, Richard (1771 bis 1833) 22, 38
- Tupolow, Andrei Nikolajewitsch (geb. 1888) 168 ff.
- Walton, Ernest (geb. 1903) 240
- Watt, James (1736 bis 1819) 17 f.
- Weber, Wilhelm Eduard (1804 bis 1891) 114, 178
- Wehnelt, Arthur (1871 bis 1944) 254
- Wenzel, Karl Friedrich (1740 bis 1793) 60
- Wheatstone, Charles (1802 bis 1880) 116 f., 123 f.
- Wien, Max (1866 bis 1938) 144
- Wien, Wilhelm (1864 bis 1928) 183, 203
- Winkler, Clemens (1838 bis 1904) 70
- Wöhler, Friedrich (1800 bis 1882) 66
- Wright, Orville (1871 bis 1948) 163 ff.
- Wright, Wilbur (1867 bis 1912) 163 ff.
- Zander, Friedrich Arturowitsch (1887 bis 1933) 298
- Zeppelin, Ferdinand von (1838 bis 1917) 159
- Ziolkowski, Konstantin Eduardowitsch (1857 bis 1935) 159, 297
- Zuse, Konrad (geb. 1908) 290 f.
- Zworykin, Wladimir (geb. 1889) 265

Sachwörterverzeichnis

- Alizarin 74
- Alphastrahlung 198
- Anilin 72
- Arbeitsmaschine 16
- Arithmometer 285
- Atom 59, 184, 199, 211, 214, 217, 242
- Atomenergie 244, 252
- Avogadrosche Regel 63

- Balkentelegraf 112
- Balmersche Formel 217
- Baumwollentkernungsmaschine 30
- Beschleuniger 241
- Betastrahlung 198
- Beugungserscheinungen 49
- Braunsche Röhre 264
- Brechungserscheinungen 51
- Bunsenbrenner 54

- Dampfmaschine 11, 13, 19, 38, 77
- Dampfpumpe 13
- Dampfturbine 232
- Dampfwagen 37, 147
- Datenverarbeitungsanlage 294
- Deuteron 241
- Dieselmotor 157
- Differentialanalysator 289
- Differentialgetriebe 154
- Drehstrom 229 f.
- Dreiphasenwechselstrom 229
- Drucktelegraf 124
- Dynamoprinzip 98 f.

- Edison-Effekt 254
- Einsteinsche Formel 210
- Elektromotor 94, 228
- Elektron 182, 197, 213 f.
- Elektronenladung, spezifische 183
- Elektronenröhre 267
- Elektronik 274, 277
- Elementarladung, elektrische 178
- Energie, Erhaltung der 81, 199

- Fahrzeugmotor 151

- Feinstruktur-Untersuchung 191
- Fernsehen 262, 265
- Fernsprecher 125, 133
- Flammofen 26
- Flügelspinnmaschine 16
- Flugzeug 161
- Fluoreszenz 192
- Flüssigkeitsrakete 297
- Fotoelement 281
- Fotografie 65
- Fotozelle 274
- Fraunhofersche Linien 53
- Frischen 23 ff.
- Funktelefonie 257

- Galvanoplastik 94
- Gammastrahlen 198
- Gasglühlicht 102
- Gasmotor 148
- Geißlersche Röhre 179
- Generator 98, 232
- Gleichstrom-Höchstspannungsübertragung 238
- Glühlampe 100
- Gußeisen 25

- Halbleiter 278
- Halbleiterblocktechnik 283
- Halbleiterkühltechnik 282
- Halbwertszeit 200
- Heißluftballon 158
- Hochdruckmaschine 22
- Hochofen 24
- Hochvakuumröhre 255
- Höhenforschungsrakete 300

- Indigo 72
- Interferenz 49
- Isomerie 73
- Isotope 214, 239, 252

- Joulesches Gesetz 82

- Katodenstrahlung 180
- Kernenergie 210, 244

- Kernfusion 253
- Kernkraftwerk 237, 252
- Kernladung 213
- Kernreaktor 247, 249
- Kernspaltung 244 f.
- Kettenreaktion 245
- Kinematograph 271
- Kohärer 140
- Kondensator 19
- Korpuskulartheorie 48
- Kraftwagen 152
- Kurzwellentechnik 261

- Leitspindel 29
- Lichtbogen 89, 100
- Lichtgeschwindigkeit 51
- Lichtquant 206
- Lochkartentechnik 288
- Lokomotive 39
- Luftschiff 158, 170

- Masse, Erhaltung der 60, 199
- Massenspektrographie 215
- Mikrofon 131
- Mikromodultechnik 283
- Moderator 246
- Modultechnik 282
- Molekül 63
- Montgolfière 158
- Motorflug 154
- Mulemaschine 16

- Nebelkammer 219
- Neutron 214, 239, 245
- Niederdruckmaschine 21
- Nipkowscheibe 263

- Periodensystem der Elemente 69
- Phonograph 269
- Photoeffekt 206
- Photon 206
- Polarisation 50 f.
- Positron 239
- Proton 213
- Puddelverfahren 26
- Radartechnik 265

- Raddampfer 35
- Radioaktivität 194, 197, 241
- Radoröhre 255
- Rechenmaschine 285, 290 ff.
- Rechenschieber, logarithmischer 284
- Röhrensender 257
- Röntgenaufnahme 187 f.
- Rückkopplungsschaltung 257
- Rückstoßantrieb 295
- Rundfunk 258 f.

- Satelliten, künstliche 266, 301 f., 304
- Schallplatte 269
- Schiffsschraube 36
- Schmelzflußelektrolyse 88
- Schnelltelegraf 123
- Spannungsreihe 87
- Spektralanalyse 55
- Stokessche Regel 207
- Strahltriebwerk 169
- Strahlungsformel 204
- Support 29

- Ultrakurzwellen 262 ff.
- Urankernspaltung 244 f.

- Verbrennungsmotor 148
- Verstärkerröhre 255
- Voltasche Säule 87

- Wärme, spezifische 75
- Wärme- und Wasserkraftwerke 237
- Wasserturbine 231
- Webstuhl, mechanischer 16
- Wechselstrom 104, 227 f., 229
- Wellen, elektromagnetische 137
- Wellenmechanik 239
- Werkzeugmaschine 27
- Wirkungsquantum 204

- X-Strahlen 186 f.

- Zählrohr 219
- Zentrifugalregler 20
- Zerfallsreihe 201
- Ziolkowskische Gleichung 297
- Zyklotron 240

