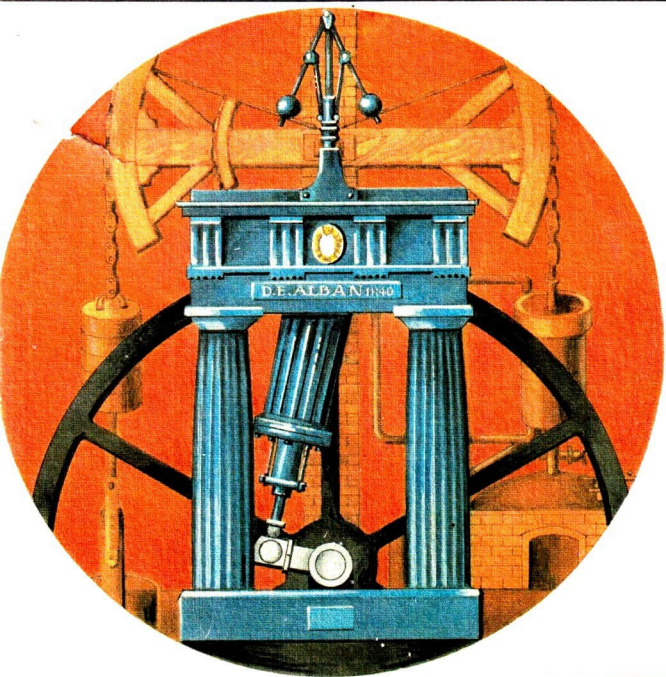


akzent

Lärmer/Rook

Dampfmaschine – Oldtimer der Technik



Aus Watts berühmt gewordenem Patent Nr. 913:

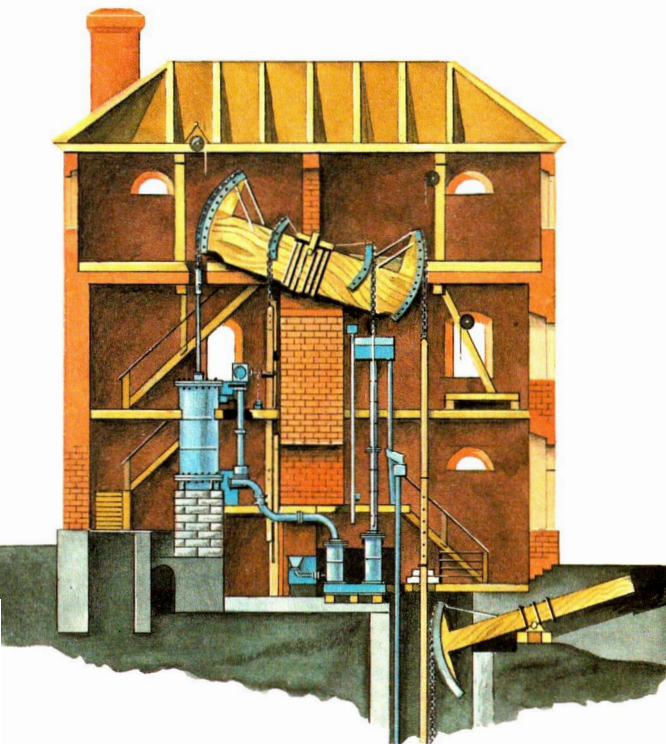
Mein Verfahren der Verminderung des Verbrauchs an Dampf und hierdurch bedingt, des Brennstoffes in Feuermaschinen setzt sich aus folgenden Prinzipien zusammen:

Erstens, das Gefäß, in welchem die Kräfte des Dampfes zum Antrieb der Maschine Anwendung finden sollen, muß während der ganzen Zeit, wo die Maschine arbeitet, so heiß gehalten werden, als der Dampf bei seinem Eintritt ist ...

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 diesem in Verbindung stehen ...

Viertens beabsichtige ich in vielen Fällen die Expansionskraft des Dampfes zum Antrieb der Kolben, oder was an deren Stelle angewendet wird, zu gebrauchen, in derselben Weise, wie der Druck der Atmosphäre jetzt bei gewöhnlichen Feuermaschinen benutzt wird ...

Eine der größten von Holtzhausen gebauten Wasserhaltungsmaschinen (einfachwirkend nach Wattscher Konstruktion) auf dem Gotthelf-Stollen bei Tarnowitz (heute Tarnowskie Góry)



Karl Lärmer/Hans-Joachim Rook

Dampfmaschine – Oldtimer der Technik

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

Autoren: Dr. habil. Karl Lärmer, Berlin
Dr. phil. Hans-Joachim Rook, Berlin
Institut für Wirtschaftsgeschichte an der Akademie der
Wissenschaften der DDR
Illustrationen: Wolfgang Parschau, Berlin

Fotos: ADN-ZB/Wagner: S. 8; Autorenarchiv: S. 25, 38, 41, 59,
64, 70, 86, 92, 96, 101, 105, 112, 120, 123, 128; VEB Fachbuchverlag
Leipzig: S. 56, 118; Institut für Marxismus-Leninismus: S. 109,
116; Märkisches Museum: S. 66; VEB Mansfeld Kombinat Wil-
helm Pieck (Otto Engel): S. 54; Sächsische Landesbibliothek
Dresden, Abt. Deutsche Fotothek: S. 7, 47, 68, 73; Dr. Bernhard
Schlagner: S. 74; Staatl. Schlösser und Gärten Potsdam-Sans-
souci: S. 13; Verlagsarchiv: S. 19, 22, 29, 95

Lärmer, Karl:

Dampfmaschine, Oldtimer der Technik / Karl
Lärmer; Hans-Joachim Rook. Ill.: Wolfgang
Parschau. – 1. Aufl. – Leipzig ; Jena ;
Berlin : Urania-Verlag, 1990. – 128 S. : 59 Ill.
(Akzent; 90)

NE: Rook, Hans-Joachim; GT ISBN 3-332-00362-3

ISBN 3-332-00362-3

ISSN 0232-7724

1. Auflage 1990

Alle Rechte vorbehalten

© Urania-Verlag, Leipzig · Jena · Berlin,

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1990

VLN 212-475 LSV 300 9

Einbandreihenentwurf: Helmut Selle

Typographie: Sabine Panster

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Neues Deutschland, Berlin

Best.-Nr.: 654 375 6

Inhalt

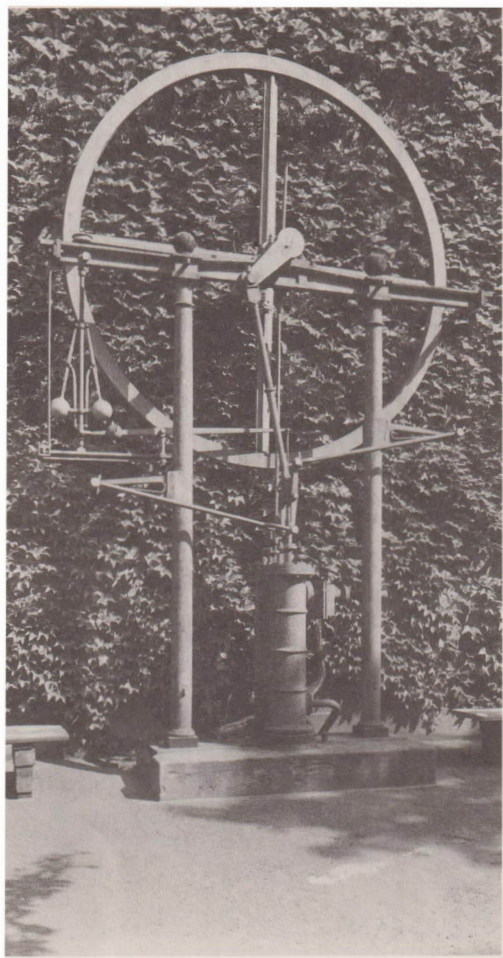
Königlich befohlene Betriebsspionage	6
Paternoster der Bergwerke	14
Feuermaschinen in Europa	24
Schottischer Fleiß macht Geschichte	36
Das Mirakel von Hettstedt	50
Volldampf zu Lande, zu Wasser und in der Luft	63
Dampf kontra Wasserrad und Göpel	75
Laienrisiko statt Expertenweisheit	91
Der »allgemeine Agent der großen Industrie«	108
Renaissance der Dampfmaschine?	117

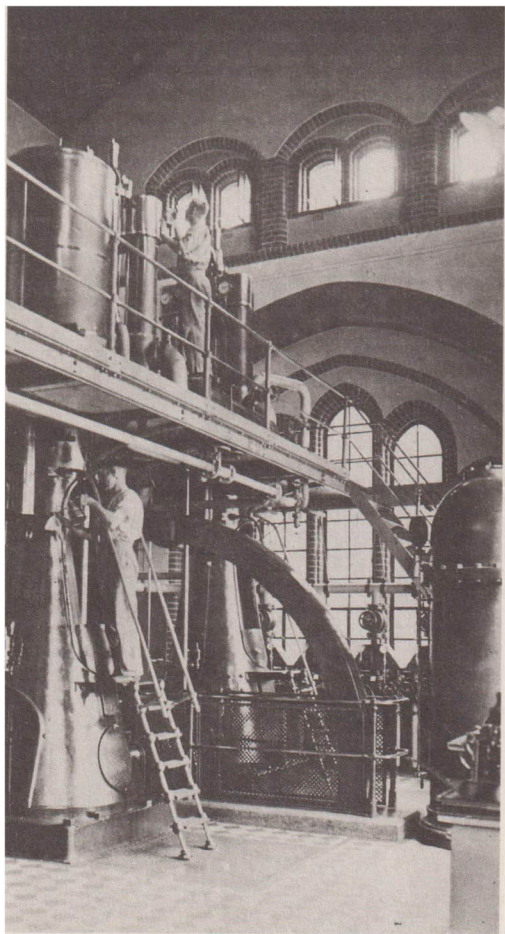
Königlich befohlene Betriebsspionage

An seine Primaner gerichtet, stellte Physiklehrer Bömmel die Frage: »Wo simmer denn dran? Aha, heut krieje mer de Dampfmaschin. Also wat is en Dampfmaschin? Da stelle mer uns ganz dumm. Und da sage mer so: En Dampfmaschin, dat is ene große schwarze Raum, der hat hinten un vorn e Loch. Dat eine Loch, dat is die Feuerung. Und dat andere Loch, dat krieje mer später. Und wenn de große schwarze Raum Räder hat, dann is et en Lokomotiv. Vielleicht aber auch ein Lokomobil!«

So sehr Heinrich Spoerl in seiner »Feuerzangenbowle« damals die Dampfmaschine glossierte – realitätsfern scheint er aus heutiger Sicht nicht gewesen zu sein. Denn mit zunehmender zeitlicher Distanz gegenüber gesellschaftlichen Ereignissen wie technischen Erfindungen entschwinden uns Daten und Fakten, schrumpfen Kenntnisse und Wissen, verlieren sich Details und Zusammenhänge in der Vergangenheit. Zwar rollen heute noch gelegentlich auf unseren Schienen mit Dampf betriebene Lokomotiven, von Experten und Laien gleichermaßen bestaunt und bewundert. Doch wer kennt noch eine richtige Dampfmaschine, mit deren Entwicklung vor mehr als 200 Jahren die Nutzung der Dampfkraft Einzug hielt in Bergwerken, Hütten und Betrieben? Wer kennt die Mühen und Entbehrungen der Handwerker, Ingenieure und Wissenschaftler, bis endlich funktionstüchtige Modelle fertiggestellt waren, bis erste brauchbare Dampfschiffe und Lokomotiven in Bewegung gesetzt werden konnten? Auf diese Fragen soll versucht werden, Antwort zu geben.

Dampfmaschine von Gera, 1830–1850 in Betrieb

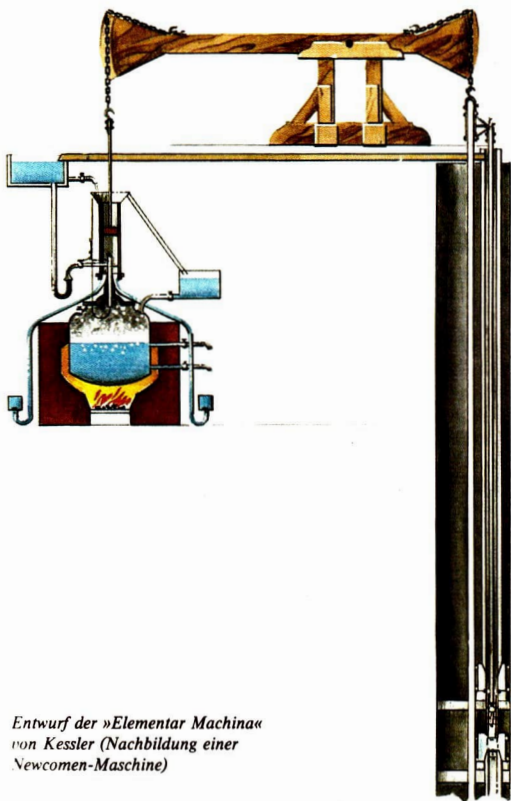




Dabei konnte im Rahmen dieser Publikation auf die Veränderungen vielfältiger technischer Details nicht eingegangen werden. Vielmehr kam es darauf an, die einzelnen Entwicklungsstadien der Dampfmaschine in ihren Grundzügen zu beschreiben, eingebettet in technische und gesellschaftliche Zusammenhänge. Darüber hinaus ging es bei den zeichnerischen Darstellungen nicht in jedem Fall um die Wiedergabe der »vollen Funktionstüchtigkeit« der Modelle, sondern wie bei den zugrunde gelegten Originalen um eine schematische Darstellung der prinzipiellen technischen Entwicklung. Als weiterführende Literatur sei das im Fachbuchverlag Leipzig 1986 erschienene Dampfmaschinenbuch von Otfried Wagenbreth und Eberhard Wächtler empfohlen.

Die älteste in der DDR erhaltene Dampfmaschine aus dem Jahre 1830 steht in Gera, die zweitälteste von 1842 befindet sich in Potsdam, konstruiert vom legendären Berliner Dampfmaschinenbauer August Borsig. Zu einem Maschinenmuseum wird das Wasserwerk in Friedrichshagen umgestaltet. Die hier 1893 ebenfalls von der Firma Borsig eingebauten Dampfmaschinen betrieben fast 90 Jahre die Pumpen zur Wasserversorgung Berlins.

Die Nutzung der Dampfkraft zum Wasserpumpen – damit begann letztlich die Geschichte der Dampfmaschine. Aber nicht wie in Friedrichshagen oder anderen Orten, um die Bevölkerung mit Trink- und Brauchwasser zu versorgen, sondern um mit Hilfe der Dampfkraft das Wasser aus den Bergwerken herauszupumpen. Bei dem rasch wachsenden Bedarf an Erzen und Kohle suchten die Grubenbesitzer für den Antrieb ihrer Schöpfwerke nichts dringlicher als eine neue Kraftmaschine, reichten doch die traditionellen Energien Muskel-, Wasser- und Windkraft nicht mehr aus, um das mit zunehmender Teufe ansteigende Grubenwasser aus den Stollen herauszubringen. Der Bergbau verlangte eine Leistungssteigerung und Kontinuität verbindende Kraftmaschine. Deshalb forderte am 25. Mai 1780 Preußens König Friedrich II. seinen Bergbauminister Heynitz auf »sich einer Feuer Maschine angelegen seyn lassen, die der Verstor-



*Entwurf der »Elementar Machina«
von Kessler (Nachbildung einer
Newcomen-Maschine)*

bene Geheime Rat Gansauge auf seine Kosten bey seinem Kohlen-Bergwerke (Altenweddingen bei Magdeburg) hat erbauen lassen, um damit das Wasser aus der Grube zu holen, welches auch mit dem besten effect versucht worden. Nur ist solche noch nicht so gantz dauerhaft befunden worden ... Ich habe Euch demnach hierdurch auf-

tragen wollen, diese Feuer Maschine genauer zu examinieren, und zu sehen was daran fehlet, und wie das abzuändern, und die Maschine in die gehörige Ordnung zu bringen, daß solche bey allen Bergwerken dazu gebraucht werden kann, um das Wasser herauszubringen.«

Im Gegensatz zur Feststellung von Conrad Matschoß in seinem 1908 erschienenen Standardwerk zur Entwicklung der Dampfmaschine gibt es über die Altenweddinger Maschine doch Aktenbelege. Danach wies Minister Heynitz unverzüglich das zuständige Oberbergamt in Rothenburg bei Halle an, die Maschine untersuchen zu lassen. Das Oberbergamt wiederum schickte umgehend den Oberbergmeister Winkler nach Altenweddingen. Er konnte aber nur berichten, daß die Maschine nicht im Gange war. Und auch seine späteren Inspektionen erbrachten kein anderes Ergebnis, als »daß man die Feuermaschine dermalen außer Betrieb fand«. Ursache war ein durchgebrannter Boden des kupfernen Kessels. Zur Reparatur fehlten nicht nur Erfahrung, sondern auch nötige finanzielle Mittel. Überdies bezweifelten die Altenweddingen-Grubenarbeiter, ob die Maschine jemals wieder laufen würde, mußte doch nach ihren Aussagen an der Feuermaschine schon vor dem Kesseldefekt täglich etwas repariert werden, um sie überhaupt in Bewegung setzen zu können.

Nicht viel anders erging es dem Landbaumeister Christian F. Kessler aus Bernburg. Er soll eine »Elementar Machina« für den Kohlebergbau bei Opperde (Ballenstedt) »erdacht« haben, wie eine überlieferte Prinzipskizze zeigt. Am 26. März 1745 wurde diese Maschine dem Fürsten Victor Friedrich »fertig montiert und angefeuert vorgeführt«. Viel mehr ist nicht bekannt. Ob die Maschine jemals gelaufen ist, bleibt ganz unwahrscheinlich.

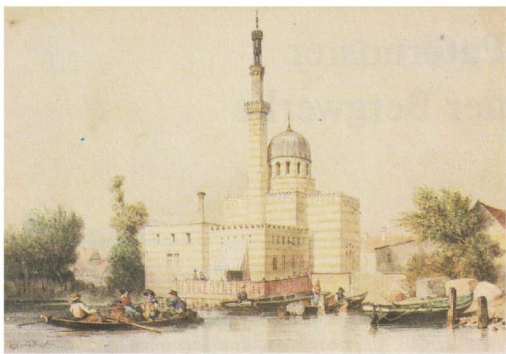
In Deutschland war damals kaum jemand in der Lage, Feuermaschinen zu reparieren, geschweige denn funktionstüchtige zu bauen. Derartige Maschinen wurden ausschließlich in England produziert. So auch die Altenweddingen-Maschine. Schwierig blieb dabei der Transport nach Deutschland. Noch schwieriger gestaltete sich die Montage. Am schwierigsten erwies sich aber bei allen

Erstlingsmaschinen ein zuverlässiger Dauerbetrieb mit ausreichender Leistung. Die nach dem Newcomenschen-Prinzip arbeitende Altenweddinger Feuermaschine – 1794 erfolgreich repariert und 1829 durch eine Wattsche Maschine ersetzt – kann als einzige Vorläuferin der Wattschen Dampfmaschine auf dem heutigen Gebiet der DDR angesehen werden.

Das Interesse, das Friedrich II. für die Feuermaschine des Geheimen Kriegsrates Gansauge bekundete, entsprang handfesten wirtschaftlichen Gründen, denn auch Friedrich II. mußte sich um sein Staatswesen sorgen, wollte man bei den hochgesteckten politischen Zielen nicht im ökonomischen Mittelmaß verharren. So gesehen, erlangte er zwar als »Förderer des Gewerbefleißes« über die preußischen Grenzen hinausgehende Bedeutung; zugleich befand er sich aber in objektiven Sachzwängen, nicht den Anschluß an die technisch fortgeschrittenste Entwicklung zu verlieren.

Die damals fortschrittlichste Technologie wurde einzig und allein von den Engländern bestimmt. Sie waren in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts auf dem besten Wege, allen Ländern um eine gesellschaftliche Epoche vorauszuweichen. Da wurde bereits seit 1770 maschinell gesponnen. In Fabriken begann man, die Spinnmaschinen zu konzentrieren. Da wurde schon Koks und nicht mehr Holzkohle zur Verhüttung der Erze verwandt. Und in den Bergbaurevieren standen Feuermaschinen, um das Wasser aus den Gruben zu pumpen. Ja, in Cornwall und anderen Bergbaurevieren waren bereits Feuermaschinen von größerer Effektivität und höherer Leistung als die herkömmlichen im Einsatz. Ein gewisser James Watt soll diese Maschine konstruiert, ein gewisser Matthew Boulton sie in seiner Fabrik in Soho bei Birmingham produziert haben. Deshalb wurde die Wattsche Dampfmaschine längere Zeit auch synonym als Boultonsche Feuermaschine bezeichnet.

Während in England die zweite Generation der Feuermaschinen, die eigentliche Dampfmaschine, mit zunehmendem Erfolg im Bergbau als Pumpmaschine eingesetzt wurde, gab es in der ganzen preußischen Monarchie nicht eine einzige funktionstüchtige Feuermaschine. Details



Maschinenhaus im Stile einer Moschee für Borsigs Sanssouci-Dampfmaschine in Potsdam (Dampfmaschinenhaus an der Havel. Aquarell von Ferdinand Marohn, um 1845)

über die neue, leistungsfähigere, über die Wattsche Dampfmaschine, waren aber noch nicht über die britischen Landesgrenzen hinausgedrungen. Die Engländer hüteten streng ihre Produktionsgeheimnisse.

1778 erhielt Oberberggrat Waitz von Eschen, Direktor des Oberbergamtes Rothenburg, den von Friedrich II. unterzeichneten Befehl: »... bey eurer bevorstehenden Reise, euch in Engelland, besonders mit der Konstruktion dieser Maschinen, deren Effekt, und Aufwand der Feuerung, bekandt zu machen, und durch den p. Bückling, die genaueste Polier-Riße davon anfertigen zu laßen, damit bey eurer Zurückkunft, darnach sowohl der ökonomische Nutzen derselben, im Verhältniß anderer Maschinen berechnet, als auch die Maschinen selbst, nach diesen Rißen, errichtet werden können.«

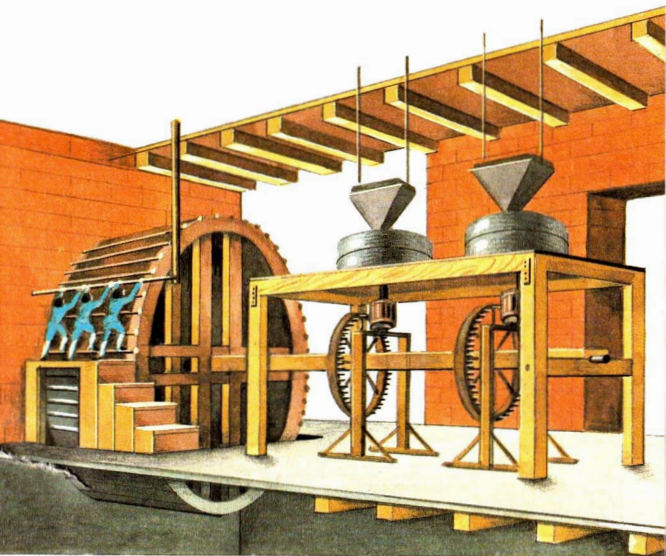
Was im Klartext Betriebsspionage auf königliche Weisung bedeutete. 1779 machten sie sich auf den Weg, Waitz von Eschen und Bergassessor Carl Friedrich Bückling. Ihr Reiseziel lautete: Westeuropa und England.

Paternoster der Bergwerke

Das Risiko, das die beiden preußischen Emissäre auf sich zu nehmen hatten, kann man nur verstehen, wenn man den gewaltigen technischen Fortschritt einzuschätzen vermag, den die Feuermaschine gegenüber den bisherigen, den traditionellen Kraftmaschinen bedeutete. Das galt nicht nur für den Bergbau, sondern letztlich für alle Wirtschaftszweige.

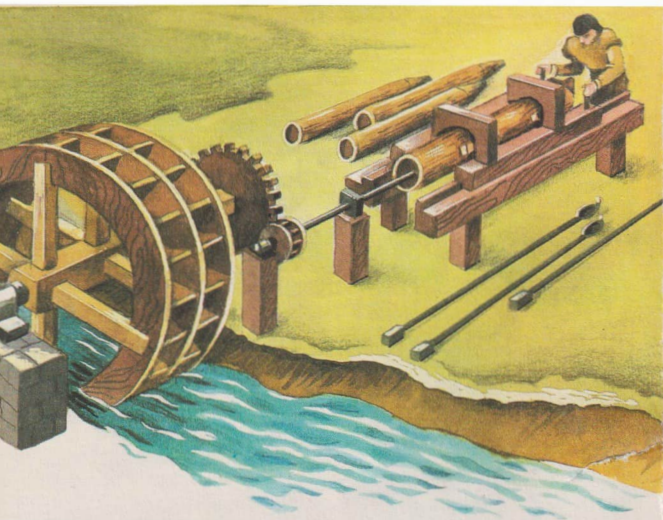
Zur Verfügung standen Mensch und Tier, Wasser und Wind. Wollte man etwas vorwärts oder rückwärts, hinauf oder herunter bewegen oder gar im Kreise drehen, mußten menschliche oder tierische Muskelkräfte eingesetzt bzw. die kinetische Energie des fließenden Wassers oder die des Windes in Bewegung umgesetzt werden. So gab es zwar verschiedene Methoden der Energieumwandlung, doch sie alle sollten mit fortschreitender technischer und wirtschaftlicher Entwicklung den Anforderungen immer weniger genügen. Wenngleich die menschliche Muskelkraft nicht nur von den Einsatzmöglichkeiten, sondern auch von der räumlichen Verbreitung her am disponibelsten blieb, so war sie doch äußerst ungeeignet, um gleichförmige kontinuierliche und kraftvolle Bewegungen zu erzeugen. Das traf prinzipiell auch für die tierischen Kräfte zu. Überdies waren die Tiere wegen der Futterkosten in der Unterhaltung teuer. Der Wind wiederum weht, zumindest in unseren Breiten, zu unbeständig. Und die Wasserkräfte sind nicht gleichmäßig über das Land verteilt. Sie konzentrieren sich mehr auf gebirgige Gegenden. Hinzu kommt, daß nicht jeder Fluß zu allen Jahreszeiten über eine ausreichende Wassermenge verfügt.

Die größte Schwäche all dieser traditionellen »Kraft-



Tretmühle

maschinen« war jedoch ihre begrenzte Leistungsfähigkeit. Mensch und Tier brauchen Phasen der Ruhe. Und auch bei Windstille bzw. versiegtem oder zugefrorenem Wasserlauf bewegte sich nichts. Die Schwäche der traditionellen Mechanismen sollte sich jedoch in dem Maße immer nachteiliger bemerkbar machen, wie es mit fortschreitender technischer Entwicklung zwar gelang, immer neue, immer bessere und immer größere Werkzeuge und Arbeitsgeräte bis hin zu Arbeitsmaschinen zu konstruieren, die vorhandenen Triebkräfte aber für eine effektive Nutzung dieser Maschinerie immer weniger ausreichten. Der qualitativen Entwicklung der Produktionsinstrumente fehlte eine Alternativ-Entwicklung der Kraftmaschinen.



Bohrwerk mit Wasserrad

Deshalb wurde von alters her versucht, die begrenzten Kräfte von Mensch, Tier, Wasser und Wind durch die verschiedensten Mechanismen mit dem Ziel zu überlisten, die Kräfte zu vervielfachen. Man baute Treträder und Göpel, errichtete Bockwindmühlen und Holländer, konstruierte unter-, mittel- und overschlächtige Wasserräder. Hunderte, Tausende, ja nach Zehntausenden zählende Menschen und Tiere liefen in der Tretmühle oder drehten sich mit dem Göpel im Kreise, um Mahl- und Bohrwerke, Hebezeuge und Pumpen, Schöpfräder und Becherwerke in Bewegung zu halten. 12 000 Windmühlen zählte man um 1835 in Holland, die dazu da waren, ein Drittel des Landes vor der Vermoorung zu retten. Entlang der Flüsse und Bäche in den Vorländern der Gebirge reihte sich eine Werkstätte an die andere; Wasserräder trieben

Poch- und Hammerwerke, Schleifsteine und Blasebälge, Walk- und Papiermühlen.

Mit wachsender Größe der Arbeitsmaschinen mußte zwangsläufig auch die Leistung der Antriebskräfte erhöht werden. So wurden Treträder installiert, in denen 10, 15 und 20, in einzelnen Fällen bis zu 50 Menschen nebeneinander laufen konnten. Die Anzahl der Schritte lag zwischen 30 und 80 in der Minute. Selbst werdende Mütter sollen in englischen Strafanstalten – ohne Schaden für ihre Gesundheit zu nehmen, wie offiziell attestiert – in Treträdern gearbeitet haben. Ernst zu nehmende medizinische Gutachten bestätigten jedoch als Folge der Sklavenarbeit in den „Tretmühlen“ Engbrüstigkeit und Geschwülste. Aus dem Zeughaus von Toulon ist bekanntgeworden, daß die in den Treträdern Beschäftigten nach fünf- bis sechsmonatiger „Arbeit“ an Bluthusten elend zugrunde gingen.

Nicht viel besser erging es den Rudersklaven auf den Trieren und Galeeren. Wer sich nicht kräftig genug in die Riemen legte, um mit Ruderschlag die Geschwindigkeit der Schiffe zu erhöhen, spürte bald die Karbatsche des Galeerenvogtes auf seinem Rücken.

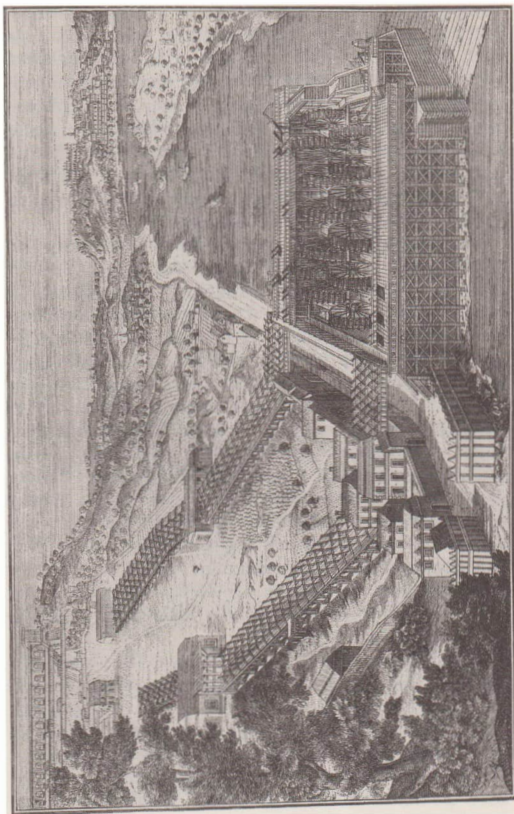
Riesentreträder und mehretagige Ruderschiffe vermochten den Bedarf an leistungsfähigen Antriebskräften ebensowenig zu befriedigen wie konstruktiv verbesserte Wind- und Wasserräder. Zwar gehörten die Mühlenbauer als sogenannte Kunstmeister zu einem der hochqualifizierten Handwerkerstände, und es gelang ihnen auch, durch vergrößerte Windräder und verbesserte Flügelprofile den Wirkungsgrad der Windmühlen zu erhöhen. Doch gegen die Flaute waren sie mit ihrem angesehenen Fachwissen machtlos. Aber auch die Wassermühlenbauer vermochten bei allen technischen Neuerungen – unter anderem Erhöhung der niedrigen Drehzahl des Wasserrades durch geeignete Übersetzungsgetriebe – nicht, das Verhältnis zwischen technischem Aufwand und erreichbarer Leistung grundlegend zu verbessern. Selbst die zu Riesenanlagen kombinierten Wasserräder brachten keine wirksame Abhilfe.

So großartig in ihrer Konstruktion, so schwach blieb sie in ihrer Leistung, so sinnlos war sie in ihrer gesellschaftli-

chen Funktion: die Wasserhebemaschine bei Marly an der Seine. Zum Betrieb der Fontänen im Schloß von Versailles mit 14 Wasserrädern, jedes von 2 m Durchmesser, sollten 221 Pumpen betrieben werden, um das Wasser aus der Seine stufenweise auf eine Höhe von insgesamt 161 m zu bringen. 4 Mill. Livre ließ sich der Sonnenkönig Ludwig XIV. sein technisches Wunderwerk kosten. Mit dem Bau waren 1800 Arbeiter und Techniker fünf Jahre lang beschäftigt. Ganze Wälder mußten für die Holzkonstruktionen abgeholzt werden. Außerdem wurden 17 500 t Eisen, 900 t Blei und 850 t Kupfer benötigt. Der gesellschaftliche Aufwand wuchs ins Riesenhafte. Die dabei erreichte Leistung: lächerliche 80 PS, knapp 60 kW.

So gewaltig diese Wasserhebemaschine für ihre Zeit auch war, sie bot technisch nichts Neues. Im Gegenteil: So hervorragend die handwerklichen Leistungen der Mühlenbauer auch waren, so sehr demonstrierte die Anlage, die letztlich ein königliches Spielzeug blieb, daß der Bau von Kraftmaschinen auf der Grundlage dieses technischen Systems praktisch erschöpft war. Kein Unternehmer, kein Bergwerksbesitzer hätte sich solch eine Maschine leisten können. Aber gerade sie waren es, die nach einer leistungsfähigen Kraftmaschine suchten. Da jedoch kein Ersatz für die traditionellen Antriebe gefunden werden konnte, begann sich im Bergbau zunehmend eine Krise der gesellschaftlichen Produktivkräfte zu offenbaren. Was war geschehen?

Mit der Ausdehnung der gewerblichen Produktion im kapitalistischen England während des 16. und 17. Jahrhunderts war eine stetige Steigerung des Bedarfs an Roh- und Brennstoffen verbunden. Besonders die Nachfrage nach Eisen und Kohle, aber auch nach Nichteisenerzen, wie Blei, Zinn und Zink, stieg unaufhörlich. Eisen und Kohle waren »Ersatzstoffe« für den damals wichtigsten Bau- und Brennstoff, das Holz. Je mehr sich die Wälder durch Holz- und Holzkohlefeuerung lichteten, desto schneller wuchs man auf die Kohle aus, zumal der aus Kohle gewonnene Koks einen wesentlich höheren Heizwert hatte. Je stabiler die Werkzeuge und Maschinen bei wachsender Größe und Leistung werden mußten, desto größere Bedeutung erlangten metallische Werkstoffe ge-

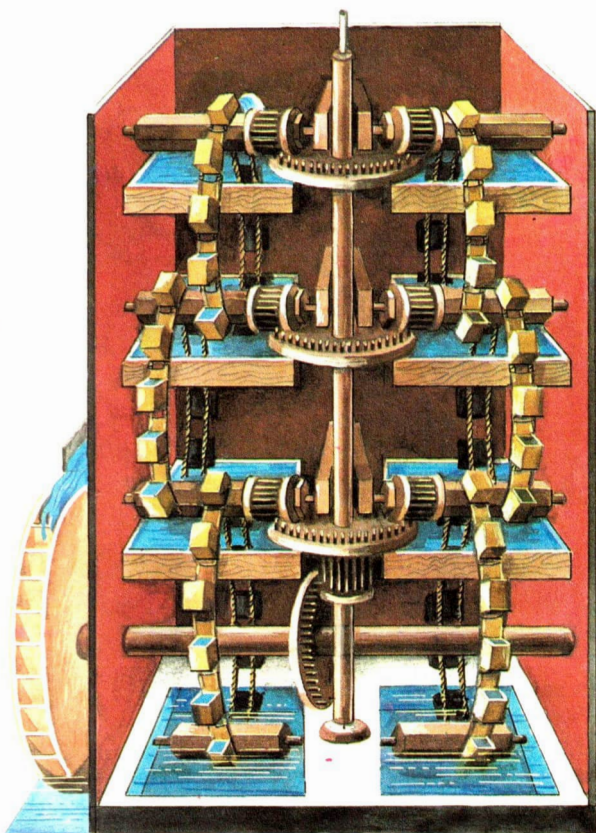


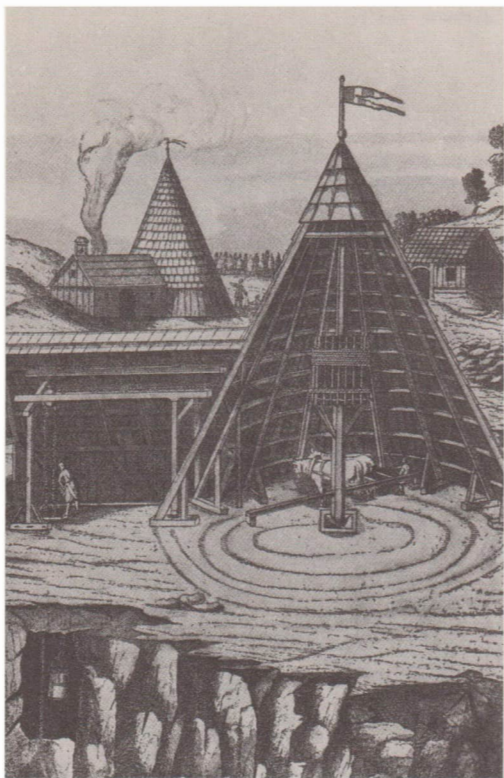
Wasserhebemaschine von Marly, erbaut 1682

genüber dem Holz. Doch bald waren die oberflächennahen Vorkommen erschöpft. Man mußte tiefer in die Erde vordringen, sollte die Produktion nicht zum Stillstand kommen. Aber mit jedem Meter, den man weiter ins Erdinnere vorstieß, floß immer mehr Wasser in die Grubenbaue. Wenngleich sich die Tiefen von 30 bis 100 m heute bescheiden ausnehmen, so drohten dennoch die Schächte zu ersaufen, weil man erhebliche Mühe und viel Kraft aufwenden mußte, um die einsickernden Wassermengen aus den Bergwerken herauszubringen.

Bei geringem Zufluß genügte die Bulgenkunst. Das Wasserziehen erfolgte mit Eimern oder Bulgen, die mit Hilfe des Windes, durch Muskelkraft (Haspelknechte) oder Wasserräder angetrieben wurden. Neben dieser Bulgenkunst wurde das Wasser in der Regel mit Becherwerken gefördert. Die an einer endlosen Kette befestigten Bottiche bewegten sich um Kettenräder, ähnlich dem Rosenkranz in den Händen eines Betenden. Wegen dieses Erscheinungsbildes wurden derartige Wasserhaltungsanlagen »pater noster« genannt. Hauptantriebskraft waren Wasserräder, gespeist durch Oberflächenwasser. Wenngleich mit den Paternoster-Werken eine Menge Wasser gefördert werden konnte, blieb ihr Wirkungsgrad dennoch gering. Die Anlagen waren kostspielig und störanfällig. Riß nur ein Kettenglied, sauste die bis zu 10 t schwere Kette mit allen Bechern in die Tiefe. Und nicht selten war die Grube abgesoffen, bis der Paternoster wieder in Gang gesetzt werden konnte.

Vorteilhafter dagegen waren Pumpen. Hier blieb aber die Hubhöhe auf 6 bis 8 m wegen des nicht höheren äußeren Luftdrucks begrenzt. Deshalb mußten bei größeren Tiefen mehrere durch Stangen verbundene Pumpwerke übereinanderggebaut werden. Somit waren auch diese Stangenkünste kompliziert und reparaturanfällig. Als Antrieb dienten ebenfalls Wasserräder. Wurde aber in heißen Sommern das Aufschlagwasser knapp, drohte der Bergbau zum Erliegen zu kommen. Reichten die Wasserkräfte nicht aus, mußten von Pferden angetriebene Göpelwerke eingebaut werden. Es gab Bergwerke, wo 100 und mehr Pferde im dauernden Einsatz waren, um das Grubenwasser zu fördern; es gab Gebiete, in denen von





Pferdegöpel

1000 Bergleuten 600 Wasserknechte waren, die das Wasser in Ledereimern, von einem zum anderen weitergereicht, aus dem Berg herausbrachten. Welch ein gewalti-

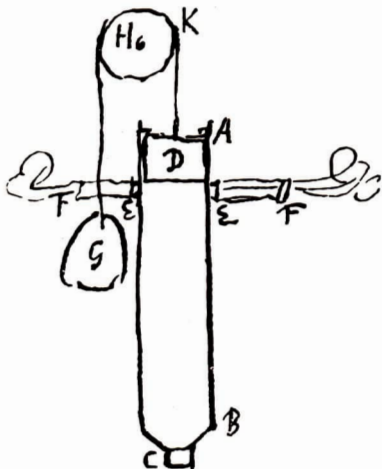
ger gesellschaftlicher Aufwand allein für die Wasserhaltung in den Bergwerken!

Immer größer wurden die Wasserräder zum Antrieb der Bulgen- und Stangenkünste, immer mehr Pferde liefen in der Roßkunst im Kreise, um die Paternoster-Werke in Bewegung zu halten. Die alte Technik blieb dennoch unzureichend, um tiefer in die Erde vordringen zu können. Der Zufluß der Wassermassen erwies sich stärker als alle von den „Kunstmeistern“ konstruierten Kraftmaschinen. Die von ihnen entwickelten Antriebe entsprachen denen der Periode der Handarbeit. Mit diesem technischen System konnte der Bergbau nicht mehr vor dem Ersaufen gerettet werden. So viele Wind- und Wasserräder auch installiert wurden, so viele Menschen und Tiere sich in Tret-rädern und Göpelwerken im Kreise drehten – die ständig wachsende Quantität reichte für einen qualitativen Leistungssprung nicht aus. Nur die Entwicklung eines völlig neuen Antriebssystems konnte Abhilfe schaffen. Die krisenhaften Sachzwänge im Bergbau, wo das Wasser den Bergleuten buchstäblich bis zum Halse stieg, drängten zum Bau einer von Wind und Wasser, von Mensch und Tier unabhängigen Kraftmaschine.

Feuermaschinen in Europa

Wieder einmal rumste und knallte es! Wände erzitterten! Die Erde schien zu beben! Straßenpassanten suchten fluchtartig das Weite. Neuerlich war er am Experimentieren, der Professor der Mathematik an der Universität Marburg, Denis Papin, Doktor der medizinischen Wissenschaften und Mitglied der Londoner Royal Society. Man schrieb das Jahr 1686. Was Papin, ein aus Frankreich vertriebener Hugenotte, erfinden wollte, war eine brauchbare »Pulverkraftmaschine«. Sein Lehrer, der berühmte Physiker, Mathematiker und Astronom Christian Huygens (1629–1695), hatte dazu die Anregung gegeben, als dieser versuchte, für Ludwig XIV. eine Pulverkraftmaschine zu konstruieren, die Wasser aus der Seine pumpen sollte, um die Versailler Fontänen zu betreiben. Als es nicht funktionierte, wurde die Wasserhebemaschine von Marly gebaut. Die Grundidee der Pulvermaschine war folgende: Schaffung eines luftverdünnten Raumes mit Hilfe von Schießpulver, um die Kraft des äußeren Luftdrucks zu nutzen.

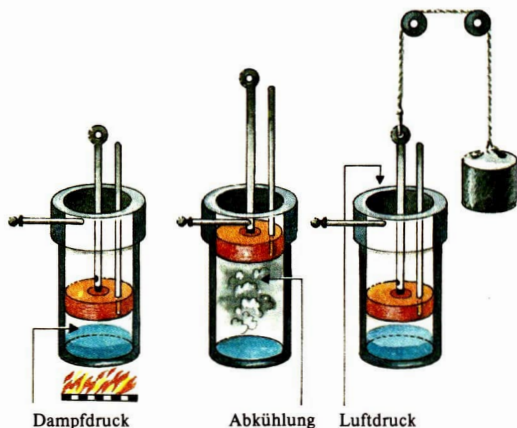
In einem Apparat, bestehend aus Zylinder und Kolben, wurde nach der Explosion von Schießpulver in einem Zylinder zunächst der Kolben hochgedrückt. Dann wurden die im Zylinder befindlichen Dämpfe von außen mit Hilfe von Wasser abgekühlt. Dadurch entstand unter dem Kolben ein luftverdünnter Raum. Die äußere Kraft des Luftdrucks drückte nun den Kolben herunter. Dadurch wurde Arbeit geleistet. So theoretisch einleuchtend das Funktionsprinzip war, so hochgefährlich war die praktische Arbeitsweise. Schließlich mußte auch Papin seine Versuche einstellen. Es gelang ihm nicht, die Pulver-



Prinzipskizze von Huygens »Pulverkraftmaschine« (AB = Rohr, Zylinder; C = Öffnung zum Einbringen von Schießpulver; D = Kolben; EF = Ventile und Schläuche zum Austritt des Pulverdampfes; G = Gewicht; H = Rolle; K = Seil)

menge so zu dosieren, daß die für das Vakuum notwendige Gasmenge erzeugt, geschweige denn ein kontinuierlicher Bewegungsablauf erreicht wurde.

Den Nachweis, daß die Luft einen Druck auszuüben vermag, hatten Torricelli, Galilei und Pascal (derzeitige Maßeinheit des Luftdrucks) erbracht. Der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke (1602–1686) bestätigte diesen Effekt mit seinem Halbkugelexperiment auf den Elbwiesen eindrucksvoll. Acht Pferde waren nicht in der Lage, zwei luftleere Halbkugeln auseinanderzuziehen. Das Vakuum hatte Guericke mit Hilfe einer von ihm entwickelten Kolbenluftpumpe hergestellt. Diese »Kraft aus dem Nichts«, wie Guericke sie bezeichnete, brachte aber so lange keinen praktischen Nutzen, solange die Luftleere



Funktion der »Dampfmaschine« von Papin

mit einer von Hand betriebenen Pumpe, d. h. von Muskelkraft, erzeugt werden mußte.

Deshalb hatten Huygens und Papin versucht, anstelle der Handpumpe ein Vakuum mit Hilfe des Schießpulvers herzustellen. Für beide blieb das Schießpulver zur Erzeugung eines »leistungsfähigen Vakuums« letztlich ein ungeeignetes Medium.

Diese Erkenntnis brachte Papin auf die Idee, Schießpulver durch Wasserdampf zu ersetzen. Mit den Kräften des Wasserdampfes hatte er bereits Erfahrungen während seiner Studien in England bei dem prominenten Physiker Robert Boyle sammeln können. 1681 präsentierte Papin der königlichen Gesellschaft seinen »Digestor« (Verdau), den Urahn unseres heutigen Schnellkochtopfes.

Bei seinen weiteren Experimenten mit dem Dampf stellte nun Papin fest, daß mit zunehmender Erhitzung die Kräfte des Dampfes immer stärker, bei anschließender Abkühlung wieder schwächer werden. Diese Erkennt-

nis formulierte er in dem Satz: »Da das Wasser die Eigenschaft hat, nachdem es durch Feuer in Dämpfe verwandelt worden ist, so elastisch wie Luft zu werden und nachher durch Abkühlen sich wieder so gut zu verdichten, daß es vollkommen aufhört, elastisch zu sein, so habe ich geglaubt, daß man leicht eine Maschine machen könnte, in der das Wasser mittels mäßiger Wärme und bei geringen Kosten die vollständige Leere hervorbringen würde, die man vergeblich mit dem Schießpulver zu erzielen versucht hatte.«

Den entscheidenden Anstoß, diese Erkenntnisse in eine »Dampfmaschine« umzusetzen, erhielt Papin von dem deutschen Gelehrten Gottfried Wilhelm Leibniz. Dieser hatte ihm eine Zeichnung von einer Dampfpumpe des Engländers Thomas Savery geschickt. Euphorisch schrieb dann Papin auch an Leibniz: »Ich kann es Ihnen versichern, je mehr ich vorwärts komme – mit der Maschine –, um so mehr sehe ich mich imstande, den Wert dieser Erfindung zu schätzen, die der Theorie nach die Kräfte der Menschen bis ins Unendliche steigern muß. Was aber die praktische Seite anbelangt, so glaube ich ohne Übertreibung behaupten zu können, daß mit Hilfe dieses Mittels ein einziger Mensch die Arbeit von sonst hundert verrichten wird.«

Eine praktische Ausführung seiner »Dampf«-Maschine gelang Papin nicht. Einmal war es schwierig, einen Zylinder von hoher Maßhaltigkeit auszubohren, ein bis ins 19. Jahrhundert bestehendes Problem. Die entscheidende Ursache für das Mißlingen seiner Maschine lag darin begründet, daß die beiden für die Bewegung entscheidenden Prozesse, die Expansion des Wasserdampfes und seine anschließende Kondensation zum Erreichen einer Luftleere, in ein und demselben Gefäß, dem Zylinder, ablaufen sollten. Über ein Versuchsmodell ist Papin nicht hinausgekommen. Dennoch, so erklärte später James Watt, sei von allen seinen Vorgängern Denis Papin das größte Genie gewesen.

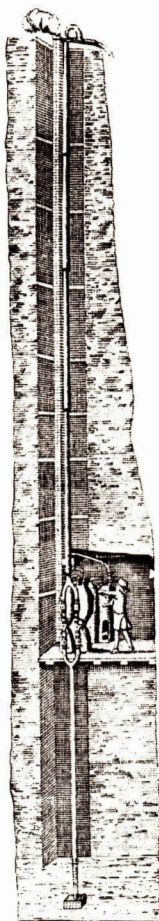
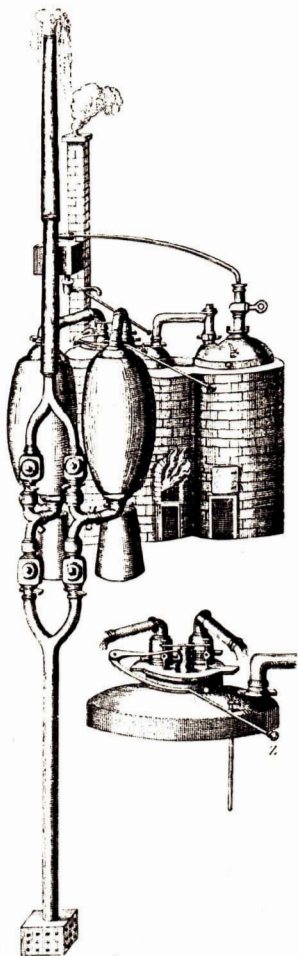
Die nicht unerheblichen technischen Schwierigkeiten beim Bau einer »Dampf«-Maschine, darunter eine ausreichende Zylinderdichtung, eine exakte Kolbenführung im Zylinder sowie eine genaue Arbeit der Ventile, brachten

den englischen Mechaniker Thomas Savery auf die Idee, die Kraft des Dampfes einfacher zu nutzen. In seinem 1702 erschienenen Buch mit dem reklamewirksamen Titel »The miners' friend« (Der Bergmannsfreund) beschrieb er eine aus zwei Gefäßen bestehende »Dampf«-Maschine. Dabei drückte der Dampf einmal direkt auf das Wasser, zum anderen wurde das Wasser über ein durch kondensierten Dampf hergestelltes Vakuum abgesaugt. Somit bestand der Funktionsablauf der Maschine aus dem Drücken und dem nachfolgenden Saugen.

Mit dieser Dampfpumpe umging Savery zwar das Zylinder-Kolben-Problem, doch dafür war der Brennstoffverbrauch sehr hoch, weil durch den direkten Kontakt zwischen dem Dampf und dem zu fördernden Wasser erhebliche Energieverluste auftraten. Hinzu kam eine weitere Schwierigkeit: Die Stabilität des Kessels. Maximal hielten damals die Kessel 0,3 MPa (3 at) stand. Folglich mußte im Schacht alle 30 m eine Pumpe aufgestellt werden. Bei der geringen Fördermenge pro Minute waren außerdem oft mehrere Pumpenreihen notwendig. Als Savery versuchte, in den York Buildings Wasserwerken in London seine größte »Maschine« mit einem Dampfdruck bis zu 1 MPa (10 at) in Betrieb zu nehmen, habe »die große Hitze das gewöhnliche Weichlot geschmolzen, und die Kraft sei so groß gewesen, daß sie alle Verbindungen der Maschine gelöst hätte«. Saverys Dampfpumpe konnte das Wasserhaltungsproblem in den Bergwerken nicht lösen. Nur einige Lords nutzten sie als Wasserpumpe in ihren Landhäusern.

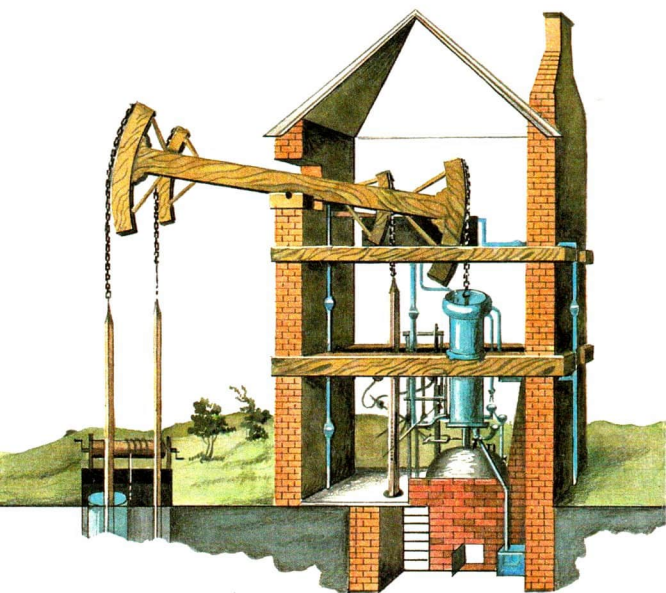
Weniger reißerisch, dafür »traditionell« und zielstrebig, versuchte sein Landsmann Thomas Newcomen, den Kampf mit dem Wasser aufzunehmen. Er, der Schlossermeister und Eisenwarenhändler aus Dartmouth, einem

Saverys kolbenlose Dampfpumpe (Pulsometer). Sie bestand aus zwei Behältern, in die der Dampf abwechselnd eintrat. Dadurch wurde das Wasser herausgedrückt bzw. angesaugt, nachdem der Dampf mit eingespritztem Kaltwasser niedergeschlagen worden war.



kleinen, abgeschiedenen Hafenstädtchen an der englischen Südwestküste, hatte die Sorgen der Bergwerksbesitzer aus dem angrenzenden Cornwall direkt vor Ort kennengelernt. Und er hatte auch eine in Betrieb befindliche Saverysche Dampfpumpe gesehen und feststellen müssen, daß diese »direkt wirkende Maschine« wegen ihres enormen Kohleverbrauchs unökonomisch war.

Newcomens atmosphärische Kolbendampfmaschine. Sie bestand aus den vier Grundelementen Kessel mit Feuerung, Zylinder mit Kolben einschließlich selbsttätiger Steuerung, Balancier (Schwingarm) und Pumpengestänge.



Durch Verbindung mit dem berühmten englischen Physiker Robert Hooke erhielt Newcomen Kenntnis von den Kolben-Zylinder-Experimenten Papins in Marburg. Diese Idee griff Newcomen auf. Zusammen mit dem Glasermeister John Cawley, der zusätzliche finanzielle Hilfe leistete, baute er mit Erfolg das Modell einer »Dampf«-Maschine. Sie enthielt zwar keine neuen konstruktiven Elemente, doch die große erfinderische Leistung von Newcomen bestand darin, die bekannten Elemente so miteinander zu kombinieren, daß sie eine funktionstüchtige Maschine ergaben. Hinzu kam, daß er als geschickter Handwerker in der Lage war, viele der notwendigen Maschinenteile mit ausreichender Genauigkeit selber herzustellen.

Von Papin übernahm Newcomen Zylinder und Kolben. Als Kraftübertragung diente ein bei Pumpen verwendeter Schwengel als sogenannter Balancier. Von Savery übernahm er die Erkenntnis, die Erzeugung des Dampfes und seine Nutzung voneinander zu trennen. Diese Trennung von Kessel und Zylinder war die entscheidende konstruktive Idee Newcomens. Und so sah die Funktion seiner Maschine aus: Der Dampf wurde in den Zylinder unter den Kolben geleitet. Zugleich zog das am anderen Ende des Balanciers befindliche und durch die eigene Schwere sich nach unten bewegend Pumpengestänge den Kolben nach oben. Das war der Leertakt der Maschine. Durch den über die Kondensation des Wasserdampfes entstehenden Unterdruck im Zylinder wurde nun der Kolben durch den äußeren Luftdruck nach unten gedrückt und dabei zugleich das Pumpengestänge hochgezogen. Das war der Arbeitshub.

Als größtes Problem blieb auch für Newcomen die Herstellung eines Zylinders mit einem dicht abschließenden Kolben. Er versuchte deshalb, mit einer auf dem Kolben befindlichen Wasserschicht eine bessere Abdichtung zu erhalten. Vielleicht war es nur ein Materialfehler, der die technische Entwicklung vorantrieb. Zumindest stand Meister Zufall Pate. Wasser, das durch eine schadhafte Stelle im Kolben in den Zylinder drang, beschleunigte die Kondensation des Dampfes und erhöhte dadurch die Leistungsfähigkeit der Maschine. Die Einspritzkondensa-

tion war erfunden. Newcomens »Dampf«-Maschine arbeitete wirkungsvoller. Anstelle von 3 bis 4 schaffte sie plötzlich 10 bis 12 Hübe in der Minute. Eine weitere wesentliche technische Verbesserung war die Selbststeuerung. Anfänglich mußten die Ventile für Dampfzufuhr und Einspritzwasser per Hand bedient werden. Doch dann stellte man fest, daß dieses Öffnen und Schließen im gleichen Rhythmus ablief, wie der Balancier auf- und niederging. Die Ventile wurden durch Stricke mit dem Balancier verbunden, und die Maschine regulierte ihre Funktion selbsttätig.

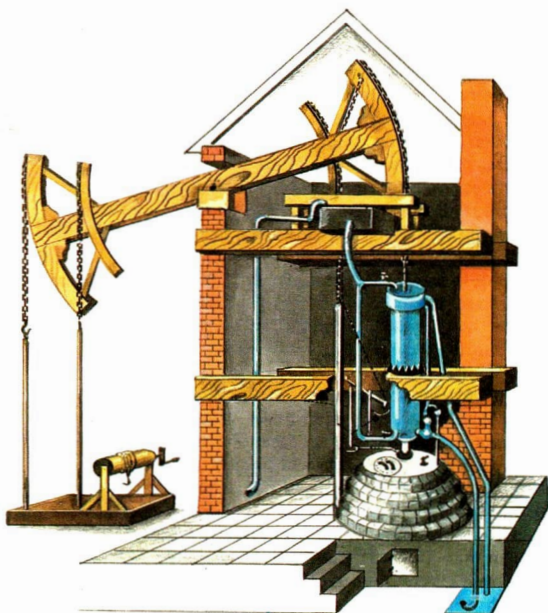
Riesig und unheimlich wirkte die erste Maschine von Newcomen. Ein dreistöckiges Haus war notwendig, um die vier Hauptteile unterbringen zu können: den Kessel, den Zylinder mit Kolben, den Balancier (Schwingarm) und das Pumpengestänge. Ohrenbetäubender Lärm: Es krachte und knallte, es sauste und zischte, es ächzte und knarrte an allen Kanten und in allen Ecken. Donnerähnlich war jedesmal der Schlag, wenn der Balancier beim Leertakt auf seine Unterlage fiel. Und dazwischen immer wieder eine sekundenlange beklemmende Stille, wenn der Zylinder sich geleert hatte und der Dampfhaahn wieder geöffnet wurde. Der Maschinist, der dieses Ungeheuer in Bewegung hielt, erschien allen als Held.

Die von Newcomen konstruierte Feuermaschine, wie dieser Typ allgemein genannt wurde, war technisch gesehen auch noch keine echte Dampfmaschine. Sie war eine atmosphärische Dampfmaschine bzw. Vakuumdampfmaschine. Nicht der Dampf, der nur passiv nachströmte, sondern der äußere Luftdruck verrichtete die Arbeit. Deshalb war auch eine Leistungssteigerung begrenzt, da der Luftdruck nur die Kraft von 1 at (101 325 Pa) hat. Möglichkeiten bestanden in einer Zylindervergrößerung. Da einem Arbeitstakt immer ein Leertakt folgte, war diese Maschine »einfach wirkend«. Dabei arbeitete sie nur in eine Richtung, stets auf Zug. Der Balancier konnte sich lediglich auf und ab bewegen. Deshalb war nur eine lineare Bewegung möglich. Eine Drehbewegung konnte diese Maschine vorerst nicht ausführen. Dennoch bedeutete die von Newcomen entwickelte einfach wirkende atmosphärische Dampfmaschine einen gewaltigen techni-

schen Fortschritt. Sie muß als Initialzündung des Qualitätssprungs im Bau von technologisch neuen Kraftmaschinen angesehen werden. Bei 15 und mehr Hieben in der Minute konnten 50 Pferde ersetzt werden.

Nachdem die erste Maschine gebaut und 1712 von einem Grubenbesitzer in Betrieb genommen worden war, fand die Feuermaschine schnelle Verbreitung in England.

Feuermaschine zu Königsberg, die in Konstruktion und Funktion der von Newcomen gleich



Vor allem durch konstruktive Veränderungen des Ingenieurs John Smeaton konnte die Leistung auf mehr als 60 kW (80 PS) gesteigert werden. Doch bei allen technischen Verbesserungen blieb für die Newcomen-Maschine ein großer Nachteil bestehen: der immer noch zu hohe Brennstoffverbrauch. Spötter meinten deshalb, daß man für den Bau der Feuermaschine eine Eisenerzgrube benötige und ein Kohlebergwerk, um sie zu betreiben. Trotzdem war dieses »kohlefressende Ungeheuer«, lieferte es doch endlich die für die Wasserhaltung notwendige Kraft, nahezu ein Jahrhundert lang in Bergwerken und teilweise auch auf Landgütern als Pumpmaschine im Einsatz. Im Verlauf des 18. Jahrhunderts sollen allein in England 1500 atmosphärische Dampfmaschinen in Betrieb gewesen sein.

Eine der größten Maschinen baute Smeaton 1775 für die Chacewater-Grube in Cornwall. Der Zylinder wog 6600 kg und hatte einen Durchmesser von 1,82 m. Der Hub betrug 3 m. Der Balancier war 8,30 m lang. Die ganze Lagerkonstruktion für den Balancier ruhte auf gemauerten Pfeilern, von denen jeder unten am Fuß 3 m im Quadrat maß. Die gesamte Höhe der Maschine von der Sohle des Kessels bis zum oberen Wassergefäß betrug etwa 30 m. Diese riesige Maschine brachte eine Leistung von knapp 60 kW (80 PS), nur rund das Eineinhalbfache eines Wartburg-Motors.

Die unbestreitbare Überlegenheit der Newcomenschen Feuermaschine gegenüber den traditionellen Antriebskräften hatte einen auffallend frühzeitigen Einsatz auf dem europäischen Festland zur Folge. Als die erste gilt die 1722 in der Nähe des damals zu Ungarn gehörenden Königsberg (heute Nová Baňa in der Slowakei) errichtete atmosphärische Dampfmaschine. Aufgestellt wurde sie vom englischen Mechaniker Isaac Potter, der Einzelteile aus seiner Heimat mitgebracht hatte. Unterstützt bei der Montage wurde er von Johann E. Fischer von Erlach, der als Ingenieur in Diensten des Wiener Hofes stand und gerade von einer »Informationsreise« aus England zurückgekehrt war. Deshalb konnte er im gleichen Jahr selber eine kleine Maschine im Garten des Palais Schwarzenberg in Wien installieren, die den Springbrunnen betrei-

ben sollte. Anschließend baute Fischer von Erlach eine atmosphärische Dampfmaschine für den Landgrafen von Hessen, damit dieser ebenfalls mit Hilfe einer Feuermaschine die Wasserpumpe für die Springbrunnen betreiben konnte, nachdem es zuvor Denis Papin nicht gelungen war, eine ähnliche Maschine für den Landgrafen zu konstruieren.

Die Königsberger Maschine, mit Hilfe staatlicher Finanzierung aufgestellt, um den Bergbau wieder in Gang zu bringen, ging erst 1724 in Dauerbetrieb. Später war sie auf anderen Schächten bis 1770 im Einsatz. Nach 1725 wurden dann auch in Frankreich, Spanien und Schweden die ersten aus England importierten Feuermaschinen in Betrieb genommen.

Eine technikgeschichtlich bemerkenswerte Konstruktion gelang dem russischen Hüttenmeister Iwan I. Polesnow. Im fernen Sibirien, in Barnaul südlich von Tomsk, wurde im Mai 1766 eine mit zwei Zylindern ausgestattete atmosphärische Dampfmaschine in Betrieb genommen, um das Gebläse auf einem Hüttenwerk anzutreiben. Das Besondere: Die beiden Zylinder wurden im abwechselnden Rhythmus aus einem Kessel gespeist. Die Maschine lief längere Zeit zufriedenstellend. Erst als ein technischer Defekt nicht mehr behoben werden konnte – Polesnow war wenige Tage vor der erfolgreichen Inbetriebnahme verstorben –, gerieten er und seine Feuermaschine in Vergessenheit.

Die erste Maschine auf dem nordamerikanischen Kontinent ist 1753 in einem Kupferbergwerk bei Newark zur Wasserhaltung aufgestellt worden. Der Engländer Josiah Hornblower, der diese atmosphärische Dampfmaschine in seiner Heimat gebaut hatte, leitete nicht nur Montage und Dauerbetrieb, sondern wurde auch der erste nordamerikanische Dampfmaschinenbauer.

Während man sich in Nordamerika und auf dem europäischen Festland in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts um den Einsatz leistungsfähiger Feuermaschinen mühte, hatte man in England bereits mit dem Bau einer völlig neuen Generation, der echten Dampfmaschine, begonnen.

Schottischer Fleiß macht Geschichte

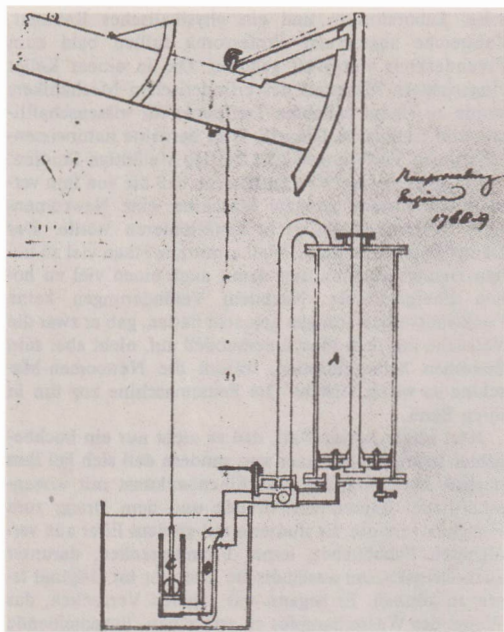
Nachdenklich saß er vor dem Maschinenmodell. Mit der ihm eigenen Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit hatte er sichtbare Schäden beseitigt, notwendige Dinge repariert, alles kontrolliert und überprüft. Was die mechanischen Arbeiten betraf, so konnten diese nicht besser ausgeführt worden sein. Dennoch, die Maschine wollte sich nicht recht in Bewegung setzen. Sie lief stockend und blieb nach kurzer Zeit immer wieder stehen. Für jemanden, dessen mechanische Künste bisher nur Lob und Anerkennung gefunden hatten, eine herbe Enttäuschung. Enttäuscht war auch die Glasgower Universität, in deren Auftrag er das für Demonstrationszwecke gedachte Modell reparieren sollte. Aber der junge 20jährige Mann, der grübelnd vor der Maschine saß, gehörte nicht zu den Leuten, die beim ersten Mißerfolg sofort aufgeben. Ihn ließ das Problem, warum die Maschine nicht einwandfrei funktionieren wollte, nicht mehr los.

Dieser junge Mann war kein anderer als der aus dem schottischen Greenock stammende James Watt. Er hatte 1756 durch Fürsprache eine Arbeitsmöglichkeit als Mechaniker an der Glasgower Universität erhalten. Protektion war auch dringend nötig. Sein Lehrmeister hatte ihm zwar hervorragende mechanische Fähigkeiten bescheinigt, doch Watt besaß keinen ordentlichen Abschluß. Überdies war er kein Glasgower Bürgersohn. Für Watts weitere Entwicklung sollte nun die von seiner Arbeitsstelle ausgehende unmittelbare geistige Beeinflussung mit von entscheidender Bedeutung sein. Die Glasgower Universität, für die damalige Zeit sehr aufgeschlossen gegenüber technischen Problemen, verfügte über ein chemi-

sches Laboratorium und ein physikalisches Kabinett. Zahlreiche angesehene Professoren sollten bald zum Freundeskreis von Watt gehören. Die in einem Keller eingerichtete Werkstatt des erfinderischen Mechanikers wurde zu einem beliebten Treffpunkt für wissenschaftliche und technische Dispute. Watt besuchte naturwissenschaftliche Vorlesungen und betrieb vielfältige Studien.

Um so mehr war Watt enttäuscht, daß die von ihm vermeintlich instand gesetzte Maschine, eine Newcomen'sche Feuermaschine, nicht funktionieren wollte. Der Dampf reichte nicht aus, Watt ermittelte einen viel zu hohen Dampfverbrauch und damit auch einen viel zu hohen Energieeinsatz. Nachdem Veränderungen keine Funktionsverbesserungen gebracht hatten, gab er zwar die Versuche mit dem Maschinenmodell auf, nicht aber sein Bemühen herauszufinden, warum die Newcomen-Maschine so wenig leistete. Die Feuermaschine zog ihn in ihren Bann.

Jetzt zeigte James Watt, daß er nicht nur ein hochbegabter Instrumentenbauer war, sondern daß sich bei ihm höchste handwerkliche Maschinenbaukunst mit wissenschaftlicher Experimentierfreude und dem Drang zum Forschen vereinte. Er studierte mit großem Eifer alle verfügbaren Fachbücher, lernte Fremdsprachen, darunter auch Deutsch, um ausländische Literatur im Original lesen zu können. Er begann mit eigenen Versuchen, das Wesen des Wasserdampfes zu erforschen. Entscheidende Anregungen gab ihm sein Freund, Professor Black, dem grundlegend neue Erkenntnisse in der Theorie des Gases gelangen (u. a. spezifische und latente Wärme). Durch seine Experimente über die Beziehungen zwischen Wasser, Dampf und Zylinderfüllung sowie verdampftem Wasser stieß Watt auf das Grundübel der Newcomen-Maschine: Einmal mußte der Zylinder bei Dampfeintritt so heiß wie möglich, bei der anschließenden Kondensation dann wieder so kalt wie möglich sein! Heiß, damit nicht so viel Wärme durch die Zylinderwand verlorengeht; kalt, damit ein leistungsfähiges Vakuum entsteht. So wurde der technische Hauptmangel sichtbar; die Verbindung von Zylinder und Kondensation in einem Gefäß. Deshalb ist auch – statt der schottischen Tugend zu folgen und



Watts Zeichnung für sein Dampfmaschinenpatent 1769 (A = Zylinder, B = Kondensator, C = Luftpumpe)

mit Brennstoff zu sparen – die Kohle nachgerade vergeudet worden.

Die ausschlaggebende Idee zur konstruktiven Veränderung der Newcomen-Maschine kam Watt an einem Frühlingstag im Jahre 1765: »Eines Sonntagnachmittags hatte ich im Glasgower Grün einen Spaziergang unternommen, als ich halbwegs zwischen Hirts Haus und Arns Brunnen war und meine Gedanken natürlicher Weise mit jenen Experimenten beschäftigte, die ich gerade anstellte. Um

Wärme im Zylinder zu sparen, so kam mir eben auf jener Wegstrecke der Gedanke in den Sinn, daß, weil Dampf ein elastischer Dunst ist, er sich ausdehnen und in einen vorher luftleer gemachten Raum stürzen würde; ich überlegte mir, daß ich nur einen luftverdünnten Raum in einem getrennten Gefäß herzustellen brauchte und von diesem Gefäß aus eine Verbindung zu dem Zylinder machen müßte. Dann wird der Dampf aus dem Zylinder in das luftleer gemachte Gefäß stürzen und die Maschine kann arbeiten.«

In der Patentschrift Nr. 913 vom 5. 1. 1769, dem Watt-schen Dampfmaschinenpatent, wurde dieses Gefäß Kondensator genannt. Durch die räumliche Trennung der Kondensation des Dampfes vom Zylinder gelang der entscheidende Durchbruch. Außerdem wurde der Zylinder, um ihn stets heiß zu halten, mit einem Dampfmantel umgeben. Gleichzeitig wurde die Feuermaschine in ihrer Konstruktion dahingehend ganz wesentlich verändert, daß der Dampf nicht nur zur Erzeugung der Luftleere genutzt, sondern oben auf den mit einer Stopfbuchse nach außen hin abgedichteten Kolben geleitet wurde. Und mit einem wenig über dem Luftdruck liegenden Dampfdruck wurde der Kolben heruntergedrückt, nachdem mit Hilfe einer Luftpumpe der Wasserdampf unter dem Kolben in den Kondensator abgesaugt und so ein luftleerer Raum im Zylinder entstanden war. Nicht mehr der atmosphärische Luftdruck, sondern der Dampf war zur treibenden Kraft geworden. Aus der Feuermaschine Newcomens hatte Watt die Dampfmaschine entwickelt. Es war seine erste revolutionäre technische Leistung.

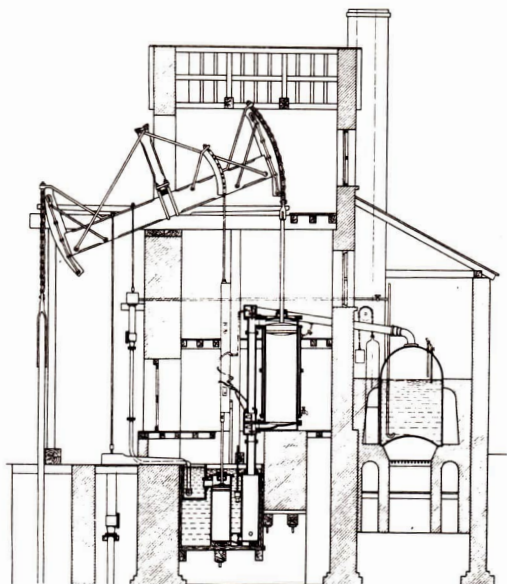
Dem funktionstüchtigen Modell wollte Watt bald seine erste »große« Maschine folgen lassen. Aber seine finanziellen Mittel waren erschöpft. Professor Black, der zuvor schon mit Geld ausgeholfen hatte, empfahl Watt 1765 an den Unternehmer John Roebuck, Gründer des berühmt gewordenen Carron-Eisenwerkes in Schottland. Roebuck mit seinen Berg- und Hüttenwerken war an einer leistungsfähigen Kraftmaschine sehr interessiert. Er übernahm die weiteren Entwicklungskosten und zahlte auch die Patentgebühren. Watt schien aller Sorgen ledig. Aber mit dem Bau der Maschine kam man nur mühselig voran.

Es gab zwar gute Mechaniker, Schlosser und Schmiedegesellen, doch alle zusammen ergaben noch lange keine guten Maschinenbauer.

Ein Dreivierteljahr nach der Patentanmeldung im Januar 1769 konnte dann bei Kinneil der Probelauf der ersten auf den Namen »Beelzebub« getauften Dampfmaschine beginnen. Doch die Freude wurde schnell getrübt. Ein mangelhaft gegossener Zylinder und ein schadhafter Kolben führten zur Einstellung der Versuche. Als obendrein sein Mäzen Roebuck durch Geldspekulationen in Konkurs geriet, konnten nicht einmal mehr die laufenden Patentgebühren bezahlt werden. Verzweifelt schrieb Watt seinem Freund Black: »Ich bin jetzt 35 Jahre alt und habe meiner Ansicht nach der Welt noch nicht für 35 Pfennige genutzt.« Und nachdem wenig später völlig unerwartet Watts Frau gestorben war, durchlebte der stets kränkelnde, sehr sensible Mann die schlimmsten Tage seines Lebens.

Aus der Konkursmasse von Roebuck übernahm der Metall- und Silberwarenfabrikant Matthew Boulton aus Birmingham – sein Betrieb im nahe gelegenen Soho beschäftigte an die 800 Arbeiter – das Wattsche Patent. Beide gründeten die neue Gesellschaft Boulton & Watt. Boulton war der Großunternehmer, kapitalkräftig und einflußreich, und Watt war der Ingenieur, technisch hochbegabt, aber bar finanzieller Mittel. 1775 gelang es Watt, sein Patent bis zum Jahre 1800 zu verlängern. Der Geschäftsstrategie Boulton hatte entschieden darauf bestanden, zeigte er doch wenig Neigung, allein in ein risikovolles Projekt zu investieren, um dann bei einem möglichen späteren Erfolg die Gewinne mit anderen teilen zu müssen.

Wieder ging Watt an die Arbeit. Der in Einzelteilen aus Kinneil angelieferte »Beelzebub« wurde zusammengesetzt. Den Zylinder jedoch bestellte man beim damals berühmtesten Eisenhüttenmann Englands, bei John Wilkinson in Bersham. Als Gegenleistung wollte Wilkinson die erste Maschine mit Kondensator haben. 1776, ein volles Jahrzehnt nach der entscheidenden Entdeckung, war die Maschine fertig. Es handelte sich um eine einfach wirkende Niederdruckdampfmaschine. Einfach wirkend,



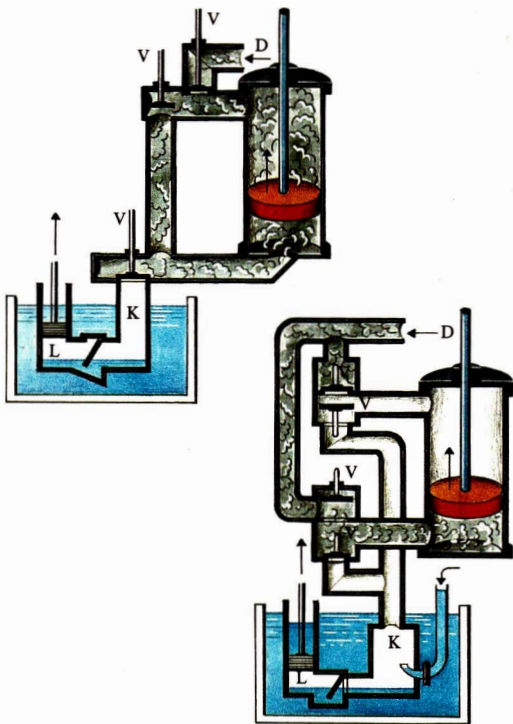
Watts einfachwirkende Dampfmaschine zum Wasserpumpen. Sie bestand aus den fünf Grundelementen Kessel mit Feuerung, Zylinder mit Kolben einschließlich selbsttätiger Steuerung, Kondensator und Luftpumpe in einem mit Wasser umgebenen Gefäß, Balancier (Schwingarm) sowie Pumpengestänge.

weil der Bewegungsablauf wie bei Newcomens Feuermaschine aus einem Leertakt und einem Arbeitshub bestand. Niederdruck deswegen, weil der den Kolben herunterschiebende Dampfdruck mit rund 0,14 MPa (1,4 at) nur etwas größer als der Luftdruck war. Diese erste Dampfmaschine, eingesetzt bei Wilkinson zum Antrieb des Hochofengebläses, wurde ein voller Erfolg. Energieeinsparung von 50 Prozent gegenüber der Smeatonschen und gar

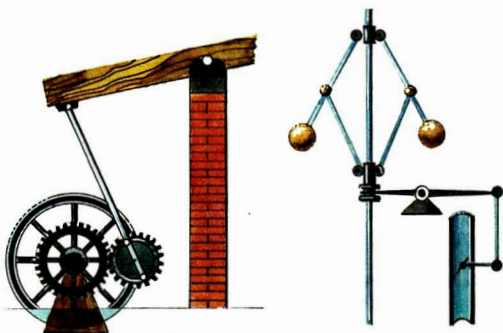
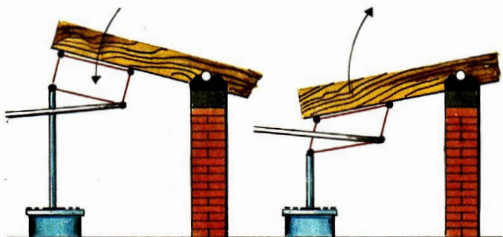
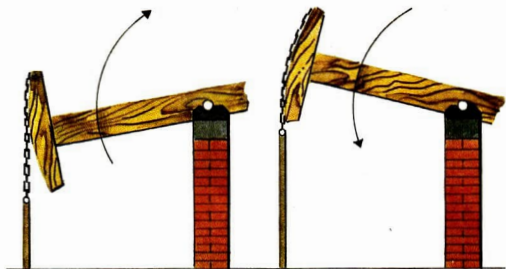
75 Prozent gegenüber der Newcomen-Maschine machten einen Werbefeldzug für das neue Produkt überflüssig. Die Geschäfte kamen in Gang. Auftraggeber waren Bergwerks- und Hüttenbesitzer. In Cornwall, wo dann die nächsten Maschinen aufgestellt wurden, nannte man sie »Eiserne Engel« bzw. »Schwarze Teufel«. »Engel«, hatten sie doch den Unternehmern den Bergwerksbetrieb gerettet, »Teufel«, verloren doch viele in der Wasserhaltung Beschäftigte Lohn und Brot.

Der erfolgreiche Einsatz der Dampfmaschine als Pump- und Gebläsemaschine ließ von nun an den Ruf nach einer neuen Kraftmaschine für die im verarbeitenden Gewerbe eingesetzten Maschinen immer lauter werden. Allen voran waren es die Unternehmer der sich nach 1770 stürmisch entwickelnden Maschinenspinnerei. Aber auch die der Mehl-, Papier- und Sägemühlen, der Walz-, Streck- und Blechwerke ebenso wie der mechanischen Werkstätten mit ihren Bohr-, Schleif- und Poliergeräten suchten einen neuen leistungsfähigen Antrieb, der es ihnen erlaubte, die Grenzen der menschlichen und tierischen Muskelkraft sowie der Wasserkraft und Luftströmung zu durchbrechen, um so Arbeitsmaschinen in großer Zahl kontinuierlich produzieren zu lassen. »Die Leute in London, Manchester und Birmingham sind verrückt auf die Dampfmaschine«, schrieb Boulton an Watt. Das grundsätzliche technische Problem, das jetzt gelöst werden mußte, war die Umwandlung der linearen Auf- und Abbewegung der Pumpmaschine in eine gleichförmige und kontinuierliche Drehbewegung.

Mit den Patenten von 1782 und 1784 auf seine doppelt wirkende Niederdruckdampfmaschine mit Drehbewegung war Watt die zweite revolutionäre technische Entwicklungstat gelungen. Bei dieser Maschine wurde die Expansivkraft des Dampfes sowohl für die Auf- als auch für die Abwärtsbewegung des Kolbens genutzt. Der Dampf gelangte wechselweise auf bzw. unter den Kolben. Dadurch wurden beide Kolbenbewegungen zu Arbeitshüben. Die Drehbewegung mußte mit Hilfe eines komplizierteren Planetenradgetriebes hergestellt werden, da sich ein Birminghamer Unternehmer, als ihm Watts Vorhaben zu Ohren gekommen war, die seit dem Mittelalter bekannte



Unterschiede zwischen einer einfach- (oben) und einer doppeltwirkenden Dampfmaschine (unten). Einfachwirkend: Dampffzufuhr nur auf eine Seite des Kolbens; deshalb wirkt Dampf auch nur einseitig. Doppeltwirkend: Dampffzufuhr wechselseitig auf den Kolben; deshalb wirkt Dampf beidseitig in wechselndem Rhythmus; folglich auch doppelte Steuerung (D = Dampf; V = Ventil; K = Kondensator; L = Luftpumpe)



einfachere Kurbel hatte patentieren lassen. So sehr Watt zunächst darüber verärgert war, so meinte er einmal später scherzhaft: »Der wirkliche Erfinder der Kurbel-Drehbewegung war der Mann – leider wurde er nicht göttlich gesprochen! –, der zuerst die gewöhnliche Fußdrehbank erfunden hat. Sie auf die Dampfmaschine anzuwenden war so viel, als ein Brotmesser zum Käseschneiden zu benutzen.« Ein massiges Schwungrad, einmal in Bewegung gesetzt, sorgte mit seiner Trägheit zur Überwindung des toten Punktes, wenn die Achsen der beiden Zahnräder gegenüberstanden. Für eine kontinuierliche Dampfzufuhr bei unterschiedlicher Belastung wurde ein selbsttätig arbeitender Fliehkraftregler mit Drosselklappe eingebaut. Ein derartiger Zentrifugalregler war schon vom Mühlenbetrieb her bekannt.

Bei einigen konstruktiven Entwicklungen hatte der 1779 eingestellte Mühlenbauer William Murdock nicht unwesentlichen Anteil. Nachdem er bereits Dampfmaschinen montiert und gewartet hatte, avancierte er später über den Chefmonteur zum Leiter der Dampfmaschinenherstellung. Als Murdock 1839 starb, wurde er neben Boulton und Watt beigesetzt.

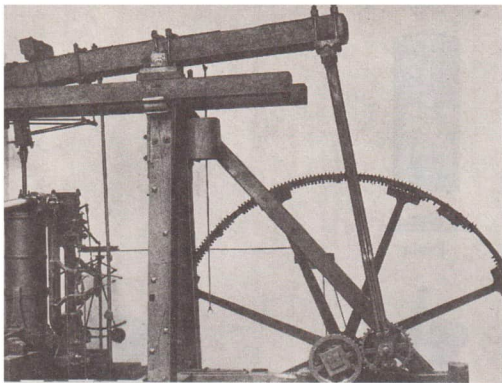
Ein technisch besonders schwieriges Problem stellte die Konstruktion einer starren Verbindung zwischen dem bogenförmig schwingenden Balancier und der Geradebewegung der Kolbenstange dar. Bei der Pumpmaschine, die nur auf Zug arbeitete, genügte eine lose Verbindung mit einer Kette. Bei der doppelt wirkenden, sogenannten Betriebsdampfmaschine, die auf Zug und Druck arbeitete, mußte eine »starre« Verbindung zwischen dem auf einen Halbkreis schwingenden Balancier und der linearen Bewegung der Kolbenstange hergestellt werden. Als

Wattsches Parallelogramm: Die bewegliche Kette als Verbindung zwischen dem bogenförmig schwingenden Balancier und der geraden Bewegung der Kolbenstange (Abb. oben; Prinzip bei der einfachwirkenden Dampfmaschine zum Wasserpumpen) wurde ersetzt durch eine sogenannte Gelenkkette – ein System von Stangen und Gelenken (Abb. Mitte; Prinzip bei der doppeltwirkenden Betriebsdampfmaschine). Planetengetriebe (unten links) Fliehkraftregler (unten rechts)

Lösung entwickelte Watt sein berühmt gewordenes Parallelogramm, eine aus Stangen und Gelenken bestehende Lenkerführung. »Obwohl ich um Ruhm mich nicht Sorge«, schrieb er später seinem Sohn James, »bin ich doch auf die Parallelbewegung stolzer als auf irgendeine Erfindung, die ich gemacht habe.«

Die erste Maschine der neuen Generation erhielt 1782 wieder Wilkinson. Die nächste ging als Fördermaschine auf ein Bergwerk. Die folgenden waren unter anderem für eine Ölmühle in Hull und für eine Spinnerei in Manchester bestimmt, dem aufblühenden Weltzentrum der Baumwollindustrie. Zur gleichen Zeit ließ Boulton in London eigens die Albions-Getreidemühle bauen, um hier Experten die neueste Errungenschaft der Technik vorführen zu können. Von nun an verließ eine Dampfmaschine nach der anderen das Werk in Soho. Immer neue Anwendungsbereiche wurden erschlossen. Ein Siegeszug ohnegleichen setzte in England ein. Mit seiner patentrechtlich abgesicherten und damit zum marktbeherrschenden Produkt gewordenen Dampfmaschine konnte das große Geschäftsgenie Boulton triumphierend feststellen: »Laßt uns Heu machen, solange die Sonne scheint!« Diese Reaktion wird um so verständlicher, wenn man bedenkt, daß Boulton die damals ungeheure Summe von 40 000 Pfund Sterling an Entwicklungskosten in die Dampfmaschine investiert hatte. Watt bedrückten die Schulden sehr, drohte doch bei einem Mißerfolg für beide der wirtschaftliche Ruin. Im Spannungsfeld von Risiko und Unsicherheit wuchsen Leistungsbereitschaft und der eiserne Wille, das begonnene Werk erfolgreich zu Ende zu führen. 1785 überschritten die Einnahmen erstmals die Ausgaben. Jetzt wurde auch Watt, der bisher ein Gehalt von 330 Pfund bekommen hatte, langsam vermögend, da er bis zur Hälfte am Gewinn beteiligt wurde.

Erfolg und Profit riefen sehr schnell Konkurrenten auf den Plan. Jahrelang wurde ein erbitterter Patentstreit geführt. Zum einen verhinderten Watts Patentrechte den Nachbau. Die Gegner reagierten auf eine derartige Monopolstellung um so heftiger, je weniger die Sohoer Dampfmaschinenbaumanufaktur in der Lage war, den sprunghaft gestiegenen Bedarf kurzfristig zu decken. Zum



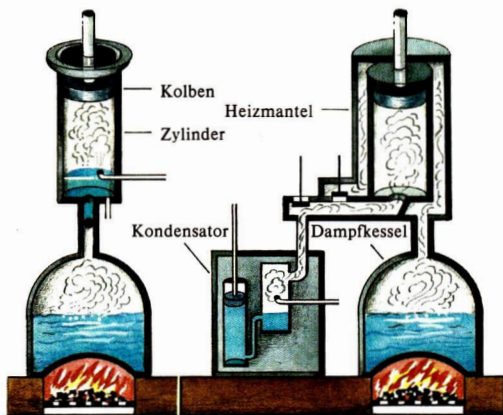
Watts doppelwirkende Betriebsdampfmaschine

anderen hemmten die Patente auch eine technische Weiterentwicklung. So konnten Experimente mit Maschinen hinsichtlich einer Mehrfachnutzung der Kraft des Dampfes ebenso erfolgreich verhindert werden wie die Versuche mit Hochdruckdampfmaschinen. Die Leidtragenden waren Jonathan Hornblower (Bruder des Josiah Hornblower), der sich bereits 1778 eine zweizylindrige Maschine hatte patentieren lassen, und Richard Trevithick, der mit »hochgespannten« Dämpfen (Hochdruck), anfänglich bis zu 0,4 MPa (4 at), experimentiert hatte.

Im Jahre 1800, mit Ablauf des Grundpatents, stieg Watt aus der Firma aus. Bis dahin hatte die erste Dampfmaschinenbaumanufaktur der Welt in Soho bei Birmingham rund 500 Maschinen ausgeliefert. Watt, inzwischen 64jährig, zog sich auf sein Landgut Heathfield bei Birmingham zurück. So schwer und entbehrungsreich sein Leben gewesen war, so oft ihn materielle Schwierigkeiten und seelische Not bedrückt hatten, um so sorgenfreier konnte er seinen Lebensabend verbringen. Dabei durfte er zu Recht stolz auf seine Leistungen zurückblicken. Watt hatte mit seinen Erfindungen letztlich dem Men-



Papin



Newcomen

Watt

Unterschiede zwischen Papin, Newcomen und Watt.

Papin: Dampferzeugung, Kondensation, Arbeitsleistung in ein und demselben Zylinder;

Newcomen: Trennung von Dampfkessel und Zylinder;

Watt: Trennung von Dampferzeugung (Kessel), Arbeitsleistung (Zylinder und Kolben) und Kondensation (Kondensator mit Luftpumpe)

schen die Kraftmaschine entwickelt, mit der es gelungen war, die Krise in der Entwicklung der Produktivkräfte zu lösen.

Diese epochale Erfindung würdigte Karl Marx mit den Worten: »Erst mit Watts zweiter, sogenannter doppelt wirkender Dampfmaschine war ein erster Motor erfunden, der seine Bewegungskraft selbst erzeugt aus der Ver-speisung von Kohle und Wasser, dessen Kraftpotenz ganz unter menschlicher Kontrolle steht, der mobil und ein Mittel der Lokomotion, städtisch und nicht gleich dem Wasserrad ländlich, die Konzentration der Produktion in den Städten erlaubt, statt sie wie das Wasserrad über das Land zu zerstreuen, universell in seiner technologischen Anwendung, in seiner Residenz verhältnismäßig wenig durch lokale Umstände bedingt. Das große Genie Watt zeigt sich in der Spezifikation des Patents, das er im April 1784 nahm, und worin seine Dampfmaschine nicht als eine Erfindung zu besonderen Zwecken, sondern als allgemeiner Agent der großen Industrie geschildert wird. Er deutet hier Anwendungen an, wovon manche, wie zum Beispiel der Dampfhammer, mehr als ein halbes Jahrhundert später erst eingeführt wurden.« (Allgemeiner Agent im Sinne eines Mittlers bzw. Vermittlers; d. Verf.).

Am 19. 1. 1736 in Greenock geboren, verstarb James Watt am 19. 8. 1819 auf seinem Landgut in Heathfield. Unweit davon, im Dorf Handsworth, wurde er an der Seite des bereits zehn Jahre früher verstorbenen Matthew Boulton beigesetzt. In der Westminster-Abtei in London bereitete ihnen die englische Nation ein Ehren-grab.

Zu Ehren des genialen Schotten wurde mit der Einführung des international gültigen Einheitensystems SI für die Einheit Leistung das Maß »Watt« festgelegt. ($W = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ N m/s}$). Bei der elektrischen Leistung war die Einheit »Watt« bereits in unseren Wortschatz eingegangen. James Watt hatte für die Leistung seiner Dampfmaschine, da sie anfänglich ja nur die Pferde bei der Wasserhaltung ersetzte, die Maßeinheit Pferdestärke (PS), im Englischen »horse power«, eingeführt ($1 \text{ PS} = 0,7355 \text{ kW}$).

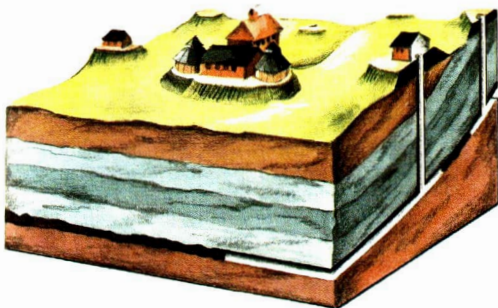
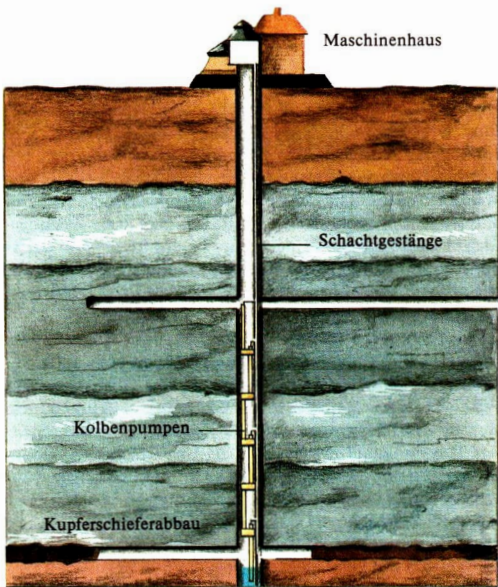
Das Mirakel von Hettstedt

Nach diesem notwendigen Exkurs kehren wir wieder zu unseren beiden preußischen Emissären Waitz von Eschen und Carl Friedrich Bückling zurück, die sich 1779 über Frankreich nach England auf den Weg gemacht hatten, um die Wattsche Dampfmaschine auszukundschaften. In England angekommen, mußten sie bald feststellen, daß der Auftrag schneller befohlen als auszuführen war. Watt und Boulton zeigten ihnen zwar voller Stolz die in ihrem Werk hergestellten Maschinen. Doch Notizen, geschweige denn Zeichnungen durften beide nicht machen. So mußten sie es anderenorts versuchen. In Shadwell gelang es dann Bückling, Skizzen von einer Wattschen Maschine anzufertigen.

Zurückgekehrt, baute er in Berlin gemeinsam mit dem Mechaniker Ring von der Preußischen Akademie der Wissenschaften eine kleine Versuchsmaschine, die aber nicht so recht laufen wollte. Dennoch, weil von seinem zuständigen Minister Heynitz darüber im unklaren gelassen, ordnete Friedrich II. im Juni 1783 den Bau einer Dampfmaschine an. Der Zwang zum Handeln war dringlicher als ein Abwarten.

Die Maschine war für den »König-Friedrich-Schacht« auf dem Burgörner Revier nahe bei Hettstedt bestimmt. Hier waren fast 100 Pferde im ständigen Göpeleinsatz, ohne das Wasser aus dem Kupferbergwerk herauszubringen. Kupfer war ein wichtiges Metall für die Waffenpro-

Schematisches Profil (oben) und schematisches Raumbild vom König-Friedrich-Schacht



duktion, deshalb drängte man zum Bau der Dampfmaschine. Die Leitung wurde Bückling übertragen.

Die wichtigsten Teile der Maschine kamen aus verschiedenen über das Land verstreuten Spezialwerkstätten. Der Zylinder von fast drei Meter Länge wurde in der Berliner Gießerei in Messing gegossen und ausgebohrt. Die Kolbenstange lieferte das Hammerwerk Zanzhausen bei Landsberg an der Warthe (heute: Santocznno bei Gorzow Wielkopolskie). Die Bleche für den Kessel stellte das Kupferhammerwerk Neustadt-Eberswalde her. Zylinderdeckel und -boden kamen vom Eisenhüttenwerk Ilseburg. Pumpenteile sowie die neuen Schachtsätze stammten aus der Eisenhütte Vietz bei Küstrin (heute: Witnica bei Kostrzyn).

Im Sommer 1784 hatte man auf dem Schacht das Maschinenhaus fertiggestellt. Hier vollzog sich auch die Montage. Monate angestrengter Arbeit vergingen. Im Frühjahr 1785 konnten erste Probeläufe beginnen, die sich bis zum Sommer mit wechselndem Erfolg hinzogen. Als Hauptmangel erwies sich die unzureichende Steuerung. Ungeachtet dessen entschloß man sich, die Maschine am 23. August 1785 in Anwesenheit von Minister Heynitz offiziell zu übergeben. Bei durchschnittlich 16 Hübten pro Minute wurde innerhalb von 40 Minuten der Spiegel des Grubenwassers um 8,40 m abgesenkt. Das entsprach der Länge des ersten Pumpensatzes. Später bestand die gesamte Pumpenanlage aus insgesamt 6 Sätzen.

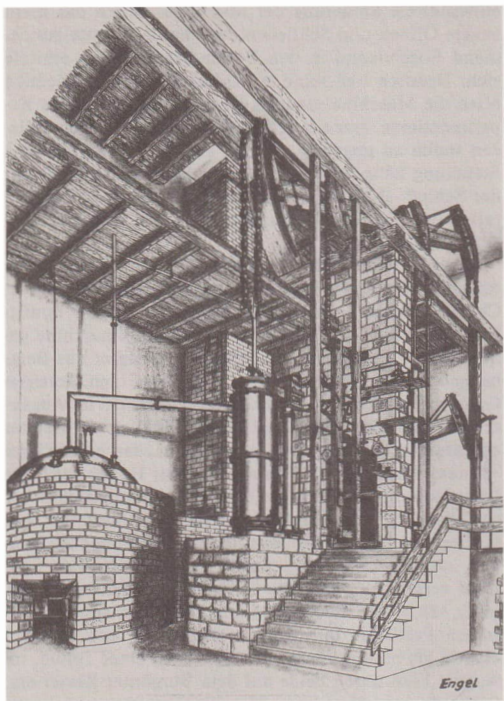
Dem erfolgsversprechenden Premierenaufakt sollte bald Ernüchterung folgen. Problematisch war die Beschaffung geeigneten Brennmaterials. Zunächst verfeuerte man Holz, Torf, Braun- und Steinkohle aus der Umgebung. Später kam Steinkohle aus dem Plauenschen Grunde bei Dresden hinzu, die sich am besten eignete. Sorgen machte auch die enorme Kesselsteinbildung infolge des sehr kalkhaltigen Wassers. Pro Woche setzte sich »eine Querhand hoch« Kesselstein ab. Deshalb entschloß man sich, 1787 einen zweiten Kessel aufzustellen, um so die Stillstandszeit während der Reinigung zu verringern. Die erforderlichen Eisenbleche lieferte in vorzüglicher Qualität die Suhler Firma Schlegelmilch.

Die größten Schwierigkeiten bereitete nach wie vor die

einwandfreie Steuerung der Maschine. Durch das nicht exakte Öffnen und Schließen der Ventile strömte zunehmend Frischdampf in den Kondensator. Dieser erhitze sich. Dadurch ließ seine Wirksamkeit nach. Schließlich blieb die Maschine mangels Kraft stehen. Ständiges Experimentieren brachte keine Besserung. Bücklings Skizzen waren zu ungenau, als daß auf ihrer Grundlage die Steuerung hätte verbessert werden können. So blieb nur der Schluß: Bückling mußte noch einmal nach England reisen. Im Februar 1786 machte er sich in geheimer Mission auf den Weg.

»Durch Hilfe von Guineen« (frühere engl. Goldmünze), wie Bückling selber mitteilte, gelang es ihm in Chelsea, einen Techniker zu bestechen. Dieser ermöglichte Bückling, die Steuerung einer Dampfmaschine genauestens zu studieren. Außerdem bereiste er das Bergbauggebiet von Cornwall und nahm auf den dortigen Gruben Wattsche Wasserhaltungsmaschinen in Augenschein. Und hier in Cornwall gelang Bückling ein weiterer entscheidender Coup: Er konnte den Maschinenwärter William Richards zum Verlassen seiner Heimat und zur Übersiedlung nach Preußen überreden, wenngleich beide von den hohen Strafen wußten, die auf Abwerbung von bestimmten Fachkräften standen. Als Bückling nach London zurückgekehrt war, mußte er die Stadt Hals über Kopf verlassen. Man hatte ihn als Wirtschaftsspion enttarnt. Mit einem Boot gelang ihm die Flucht zum europäischen Festland. In seiner Begleitung befand sich Richards, als blinder Passagier verpackt in einer Tonne. Im August 1786 trafen beide auf dem Burgörner Revier ein. Richards avancierte zum Maschinenmeister und bezog als preußischer Staatsbeamter ein Jahresgehalt von 300 Talern.

Die Dampfmaschine wurde konstruktiv verändert: Sie erhielt eine neue Steuerung; Klinkenhebel und Fallgewichte verbesserten die Steuerzeiten; ein »Katarakt« ermöglichte eine stufenlose Einstellung der Hubzahlen zwischen 4 und 16 Hübten entsprechend unterschiedlicher Belastungen. Technische Veränderungen wurden am Zylinder und an der Feuerung vorgenommen. Am 12. Dezember ging die Maschine wieder in Betrieb. Statt Freude



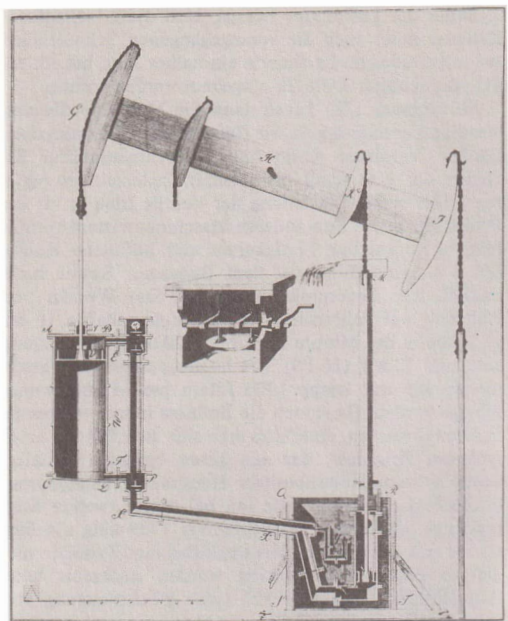
Erste deutsche Dampfmaschine Wattscher Bauart in Hettstedt (Rekonstruktion)

erneut eine riesengroße Enttäuschung! Nach kurzer Zeit hatte sich – wie bisher – der Kondensator erhitzt, die Maschine gab keine Kraft. Die Stimmung war äußerst gereizt, Minister Heynitz sehr verärgert. Als Ursache stellte sich nun der porös und damit unbrauchbar gewordene

Zylinder der Luftpumpe heraus. Und dieser schadhafte Zylinder hatte auch die vorangegangenen Schwierigkeiten mitverursacht. Es dauerte ein halbes Jahr, bis ein exakt ausgebohrter Zylinder eingebaut werden konnte.

Ab Sommer 1787 besaß dann die Maschine die notwendige Zuverlässigkeit. Sie lief weitgehend störungsfrei. Großen Verdienst daran hatte Maschinenmeister Richards, der es verstand, die Maschine jederzeit »zu regieren«. Die exakte Einstellung der Ventile trieb er bis zur Perfektion voran. Den anderen Maschinewärtern vermittelte er notwendige Fertigkeiten und hilfreiche Kniffe. Die Dampfmaschine auf dem Burgörner Revier hatte endlich ihre Feuerprobe bestanden. Das Wunder von Hettstedt war vollbracht. Die Maschine schaffte 10 bis 16 Hübe in der Minute bei einer effektiven Hubleistung von rund 12 kW (16 PS). Die hochzupumpende Wassermenge war mit knapp 1000 Litern pro Minute veranschlagt worden. Da jedoch die Zuflüsse immer stärker als berechnet wurden, entschloß man sich zum Einbau eines größeren Zylinders, der aus Eisen bestand. Geliefert wurde er vom Hüttenbesitzer Homfray in Pennydarren (Südwaies). Bückling hatte ihn bei seiner zweiten Englandreise aufgesucht. Im September 1789 ging die Maschine mit dem neuen, leistungsfähigeren Zylinder wieder in Betrieb. Gleichzeitig wurden nochmals neue Pumpensätze eingebaut. Mit einer Höchstleistung von rund 25 kW (35 PS) schaffte die Maschine jetzt maximal 1,8 m³ Wasser pro Minute. Die Wasserhaltung war vorerst gesichert. So konnte man dann auch im Februar 1790 Minister Heynitz aufatmend berichten, daß die Maschine das Wasser mit 9 bis 10 Hüben pro Minute bequem zu Sumpfe hielt, der Streb belegt war und die Schieferförderung begonnen hatte. Damit waren seit der offiziellen Inbetriebnahme der Dampfmaschine viereinhalb Jahre vergangen.

Rund 12 500 Taler hatte der Kostenvoranschlag für die Maschine betragen. Bis zur Aufnahme der Schieferförderung 1790 waren die Gesamtausgaben auf 63 112 Taler angestiegen. Weit mehr als die Hälfte davon hatte die Dampfmaschine verschlungen. Andererseits brauchte man an Betriebskosten nur noch gut die Hälfte von dem



Funktionsplan der von Bückling 1793 gebauten Dampfmaschine zum Solepumpen auf der Saline Schönebeck-Salzelmen

zu bezahlen, was der Göpelbetrieb jährlich gekostet hätte. Auf Grund immer stärker werdender Wasserzuflüsse mußte die Maschine schließlich 1794 abgebaut und durch eine neue, leistungsfähigere ersetzt werden. Die Hettstedter Maschine wurde auf dem Hoffnungsschacht von Löbejün wieder aufgestellt, wo sie bis 1848 in Betrieb war. Heute steht der eiserne Zylinder als technisches Denkmal in Löbejün.

Der 23. August 1785 bleibt mit der Inbetriebnahme der Hettstedter Dampfmaschine als erste Niederdruck-Dampfmaschine Wattscher Bauart in Deutschland ein wichtiges technikgeschichtliches Datum. Wir zollen den Handwerkern und Technikern nach mehr als 200 Jahren Respekt ob ihrer bewunderungswürdigen Leistung. Dabei verdrängen wir nicht die Begleitumstände, daß ohne fremde Hilfe weder Konstruktion noch die Aufnahme eines Dauerbetriebes möglich gewesen wären. Andererseits muß die Inbetriebnahme der Hettstedter Dampfmaschine, die unter Leitung von Bückling selbständig gebaut und deren Einzelteile weitestgehend in Preußen hergestellt wurden, als Initialzündung für die weitere Entwicklung der Produktivkräfte in Deutschland angesehen werden.

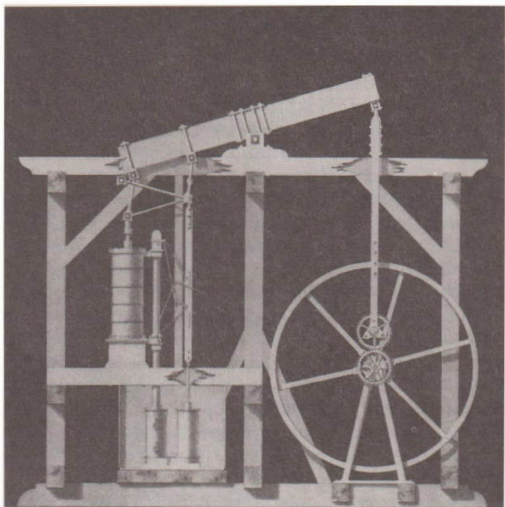
Bückling und Richards bildeten einen Stamm von Facharbeitern heran. Weitere Dampfmaschinen wurden produziert, die auch als Anschauungsobjekt zur Ausbildung von Experten zugänglich waren. Die erste Dampfmaschine Wattscher Bauart im Westen Deutschlands stammte ebenfalls von Bückling. Sie wurde 1799 auf der Saline Königsborn bei Unna zum Herauspumpen der Sole aufgestellt. Überdies ist Bückling maßgeblich an der Inbetriebnahme der ersten für das oberschlesische Bergbauggebiet gelieferten englischen Feuermaschine beteiligt gewesen. Carl Friedrich Bückling, 1756 in Neuruppin geboren und 1790 zum Oberbergrat ernannt, hat sich um die Entwicklung des Maschinenwesens in Deutschland bleibende Verdienste erworben. Er starb 1812 in Berlin.

Nach Hettstedt nahm der Dampfmaschineneinsatz auch in anderen Landesteilen stetig zu. Als erstes Zentrum entwickelte sich der preußische Staatsbergbau in Oberschlesien mit seinen bedeutenden Steinkohle- und Zinkgruben. 1788 wurde im Tarnowitzer Revier (heute Tarnowskie Góry) die erste Feuermaschine aufgestellt, die von Homfray in Pennydarren gebaut worden war. Danach folgten bereits zwei heimische Produktionen vom »Kunstmeister« Friedrich, der als Obersteiger in Begleitung preußischer Beamter kurze Zeit in England gewelt hatte. Gleichzeitig entstand auf der königlichen Hütte in Gleiwitz (heute Gliwice) die erste deutsche Dampfmaschinen-

bauwerkstatt. Zu ihrem Leiter avancierte August F. Holzhausen. Er kam aus Ellrich im Südharz und hatte bei der Montage der Hettstedter Maschine mitgewirkt. Bis kurz vor seinem Tode 1826 baute Holzhausen etwa 50 Dampfmaschinen unterschiedlicher Leistung. Dabei wurde er anfänglich vom schottischen Ingenieur John Baildon unterstützt, der von den Carron-Eisenwerken stammte und beim Aufbau einer oberschlesischen Eisenindustrie mithelfen sollte.

Aus Oberschlesien kam dann auch die erste Feuermaschine für ein anderes wichtiges Bergbaurevier in Deutschland, das Ruhrgebiet. Gebaut von Friedrich 1791 in Gleiwitz, ging die Maschine erst 1801 auf der Grube »Vollmond« in Lagendreer bei Bochum in Betrieb, denn es dauerte mehrere Jahre, bis für den zurückgetretenen Auftraggeber ein neuer Käufer gefunden war.

Diese Feuermaschine sollte für den am Bau des Maschinenhauses mitwirkenden Zimmermann Franz Dinnendahl von schicksalhafter Bedeutung sein. »Solch eine Maschine«, erklärte er selbstbewußt, »werde ich auch bauen!« 1804 ging seine Maschine auf der Zeche »Wohlgemuth« bei Essen in Betrieb. Als auch seine zweite Maschine mit Erfolg ihren Dienst versah – diese war bereits nach Wattscher Bauart konzipiert, nachdem Dinnendahl die Bückling-Maschine bei Unna eingehend studiert hatte –, erhielt er immer neue Aufträge. Aus dem ehemaligen Zimmermann Franz Dinnendahl, der seine Produktionsstätte von Steele nach Essen verlagert hatte, wurde einer der ersten führenden Dampfmaschinenbauer im Ruhrgebiet. Zeitweise sollen, so berichtet die Legende, ganze Fässer voll mit harten Talerstücken in seinem Hausflur gestanden haben. Bei soviel Profit konnte die Konkurrenz nicht ausbleiben. Zunächst waren es seine Geschäftsfreunde von der Gutehoffnungshütte Jacobi, Haniel und Huyssen in Mülheim, die alle Gußteile geliefert hatten. Dann kam 1819 Friedrich Harkort mit seinem Unternehmen in Wetter an der Ruhr hinzu. Harkort entwickelte sich zu einem der entscheidenden Wegbereiter der kapitalistischen Industrialisierung im Rheinland. Ruiniert dagegen wurde der Dampfmaschinenbaupionier Franz Dinnendahl. Am 20. August 1775 in



Ähnlich dieser doppelwirkenden Dampfmaschine von Holtzhausen (Modell) kann die Maschine in der Berliner Königlichen Porzellanmanufaktur ausgesehen haben.

ärmlichen Verhältnissen geboren, kehrten mit fortschreitendem Alter die Sorgen der Kindheit zurück. Dinnendahl starb mit 51 Jahren.

Liefen im Jahre 1816 im Ruhrgebiet 12, so waren es 1837 schon 57 Dampfmaschinen, die vorrangig zur Wasserhebung im Bergbau dienten. Angemerkt werden muß, daß die erste im Rheinland aufgestellte Feuermaschine aus dem Jahre 1753 datiert. Sie war in Lüttich gebaut worden und lief auf einem Bleibergwerk bei Lintorf (Düsseldorf).

Während die Nutzung der Wattschen Dampfmaschine in den Bergbaurevieren stetig voranschritt, gab es zur gleichen Zeit erhebliche Schwierigkeiten mit der Einführung der sogenannten Betriebsdampfmaschine als doppelt

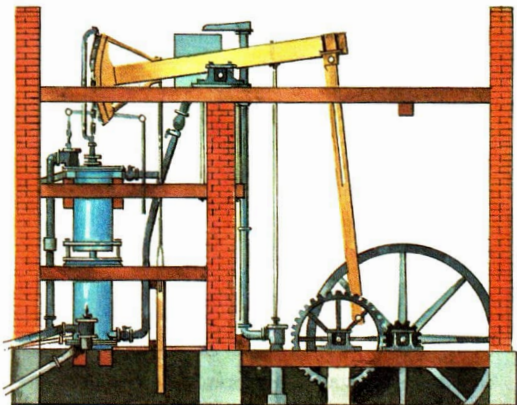
wirkende zum Antrieb der Maschinen im verarbeitenden Gewerbe. Im Jahre 1812 waren in Preußen nur zwei derartige Maschinen im Einsatz. Die eine lief in der Königlichen Porzellanmanufaktur in Berlin, die andere in einer Leinwandweberei im schlesischen Waldenburg.

Die Dampfmaschine in der Porzellanmanufaktur zum Antrieb eines Poch- und Mühlwerkes soll John Baildon auf der Gleiwitzer Hütte gebaut haben. 1799 weilte Baildon nachweislich in Berlin und erhielt für seine Arbeit 100 Dukaten. Diese Maschine wäre praktisch die erste doppelt wirkende Dampfmaschine Deutschlands. Und das wieder ist eine echte technische Novität, wenn man bedenkt, daß Watts Patente erst ein Jahr später abliefen.

Daß es sich bei der Dampfmaschine um eine doppelt wirkende gehandelt hat, ist zumindest für die Zeit um 1810 aktenkundig belegt. Danach trieb die Maschine mit rund 7 kW (10 PS) und 22 Hübten in der Minute zwei Pochwerke mit je 9 Stampfen und ein Mühlwerk mit 10 Steinen zum Zerkleinern von Feldspat, Quarz und Porzellanscherben sowie eine Wasserpumpe für die Schlämmerei.

Die zweite sogenannte Betriebsdampfmaschine wurde 1804 von Holtzhausen für die Spinnerei Alberti in Waldenburg gebaut und sollte dort eine Leinwandrolle bewegen. Mehr ist darüber nicht belegt.

Hervorhebenswert bleibt ein anderer, in der historischen Forschung bisher kaum bekannter Fakt. In Berlin hatte bereits 1797 der Spinnereibesitzer Sieburg eine Feuermaschine in Betrieb genommen. Diese muß als die erste im verarbeitenden Gewerbe Deutschlands überhaupt angesehen werden. Bei der aus Manchester stammenden Maschine handelt es sich um eine atmosphärische Dampfmaschine mit vermutlich zwei Zylindern, denn sie war ein Brennstoffresser, wie Sieburg beklagte. Mit 14 bis 16 Hübten pro Minute soll die Maschine über ein großes eisernes Getriebe »4 Streich, 4 Durchzieh und 4 Rahm Maschinen von 384 Spillen« in eine schnelle und gleichförmige Bewegung versetzt haben. Die enormen Brennstoffkosten richteten Sieburg finanziell zugrunde. Er mußte Konkurs anmelden. Die 1801 endgültig stillgelegte Maschine wurde nach 1805 abgebrochen.



Doppeltwirkende atmosphärische Betriebsdampfmaschine. Die beiden notwendigen Zylinder stehen übereinander. So ähnlich könnte die Maschine von Sieburg ausgesehen haben.

Sieburgs Beispiel wirkte auf die anderen Berliner Unternehmer eher abschreckend als ermunternd. Für sie blieb das Investitionsrisiko in eine Betriebsdampfmaschine viel zu hoch. Ein übriges taten die politischen Ereignisse zu Beginn des 19. Jahrhunderts, wie die Kontinentalsperre und die napoleonische Fremdherrschaft. Deshalb entschloß sich der preußische Staat im Jahre 1812, in Berlin auf eigene Kosten zwei Dampfmaschinen bauen zu lassen und diese je einem Unternehmer kostenlos zur Verfügung zu stellen. Da sich die Fertigstellung der Maschinen durch Holtzhausen in Gleiwitz verzögerte, erhielt der nach Berlin zugewanderte Hüttenfaktor Schmahel aus Gravenhorst/Westfalen den Bauauftrag. Schmahel hatte wohl bei der Montage einer »Feuermaschine« mitgearbeitet, aber nachweislich noch keine doppelt wirkende Dampfmaschine konstruiert. Anfang 1815 sollten die Maschinen, die für die Spinnerei Tappert und den Metallfabrikanten Hummel bestimmt

waren, betriebsfertig sein. Doch die Maschinen brachten nicht die erforderliche Leistung. Sie liefen ungleichmäßig und blieben oft von selbst stehen. Umgehend wurde eine Untersuchungskommission eingesetzt. Sie recherchierte ein Dreivierteljahr lang mit der sprichwörtlichen preußischen Gründlichkeit. Letztlich ließen aber die gewonnenen Erkenntnisse keinen anderen Schluß zu, als beide Maschinen verschrotten zu lassen.

Und das alles geschah vor dem Hintergrund einer bereits in der Porzellanmanufaktur zur Zufriedenheit laufenden Betriebsdampfmaschine. Überdies nahmen zur gleichen Zeit die bekannten ausländischen Maschinenbauer und Unternehmer, die Gebrüder Cockerill (nach Belgien ausgewanderte Engländer), in ihrer Berliner Spinnerei bereits eine 9-kW- (12 PS) Hochdruckdampfmaschine in Betrieb.

Trotz des Fiaskos mit Schmahel sollte das Drängen des preußischen Staates auf den Einsatz von Betriebsdampfmaschinen nicht vergebens gewesen sein. Bereits ein Jahr später, 1816, lieferte der nach Berlin zugereiste Mechaniker Georg Christian Freund seine erste Dampfmaschine. Weitere Maschinen von Freund, aber auch anderer erfolgreicher Dampfmaschinenbauer, folgten.

1830 liefen im Berliner Gewerbe 23 Dampfmaschinen mit 162 kW (220 PS), die hauptsächlich in der Textilproduktion genutzt wurden.

Volldampf zu Lande, zu Wasser und in der Luft

Unter vermischten Mitteilungen berichtete am 9. Juli 1816 die Vossische Zeitung in Berlin: »In der Eisengießerei ist auch seit einiger Zeit der neu erfundene Dampfwagen zu sehen, der sich im eisernen Gleis ohne Pferde und mit eigener Kraft dergestalt fortbewegt, daß er eine angehängte Last von 50 Zentnern zu ziehen imstande ist.« Wie viele Zuschauer durch die Annonce angelockt wurden, wissen wir nicht. Wir wissen aber, daß mit diesem »Dampfroß« das energische Bemühen der preußischen Regierung begann, die Dampfkraft auch für den Transport nutzbar zu machen.

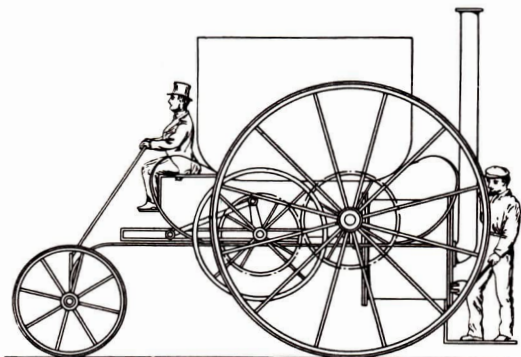
Die Wiege dieser neuesten technischen Errungenschaft stand natürlich nicht in Preußen, sondern letztlich auch in England. Angefangen hatte es jedoch in Frankreich. 1770 baute Artillerie-Offizier Cugnot als Ersatz für den Geschütztransport durch Pferde ein dreirädriges Fahrzeug mit einem Rahmen aus Eichenholz. Über dem vorderen Rad, das gleichzeitig zur Lenkung diente, befand sich als Antrieb eine einfach wirkende Dampfmaschine mit zwei Zylindern. Ihre Kolben wirkten abwechselnd über ein Sperrgetriebe auf das Vorderrad und drehten es so vorwärts. Bei dieser komplizierten Konstruktion waren höchstens 4 km/h möglich. Der Dampf wurde in einem Papinschen Dampftopf erzeugt. Doch schon die erste Probefahrt brachte ein jähes Ende. Das schwer manövrierfähige Gefährt fuhr gegen eine Mauer. Cugnot, der keine weiteren finanziellen Mittel erhielt, gab sein Projekt »*far-dier à vapeur*«, Rollwagen mit Dampf, auf.

Mehr Erfolg schien der Engländer Richard Trevithick zu haben. 1803 erregte er mit seinem Dampfwagen »Feu-

erdrachen« größtes Aufsehen in den Straßen von London. Dabei handelte es sich quasi um eine Kutsche, die von einer Dampfmaschine vorwärtsbewegt wurde, für die extra ein Heizer mitfahren mußte. Der Wagen faßte 10 Personen. Die Geschwindigkeit lag unter 10 km/h. Praktische Erfolge blieben aber aus. Bei dem miserablen Zustand der Straßen ging ständig etwas kaputt. Trevithick gab seine Experimente auf und versuchte sich am Bau einer »Dampflokomotive«. 1804 setzte er auf der Hütte von Homfray in Pennydarren einen lokomotivähnlichen Dampfswagen auf Schienen in Bewegung. Seine »Invicta« erreichte 8 km/h mit einer Zuglast von 10 t. Aber auch damit, wie mit zwei anderen »Lokomotiven«, hatte Trevithick keinen dauernden Erfolg. Die aus Gußeisen hergestellten Winkelschienen hielten den Belastungen nicht stand und zerbrachen immer wieder. Abhilfe brachten gewalzte Schienen, die erst ab 1820 hergestellt werden konnten.

Nach Trevithick stellte 1811 sein Landsmann John Blenkinsop seine »Zahnradlokomotive« vor. Sie wurde durch ein zwischen zwei Laufachsen liegendes Treibzahnrad in Bewegung gesetzt. Anfänglich befürchtete

Trevithicks Dampfswagen von 1803

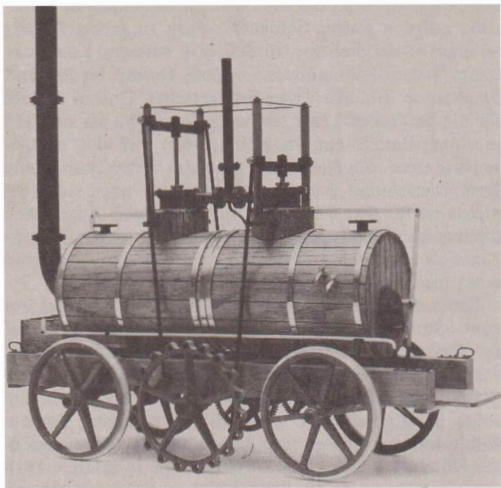


man, daß die direkt mit dem Kolben verbundenen Treibräder auf den glatten Schienen wegen zu geringer Haftreibung »durchdrehen« würden. Zu weiteren Konstrukteuren erster »Lokomotiven« zählten Murray, Hedley und Stephenson. Sie alle waren erfolgreicher. Und es mutete für die deutschen Leser fast sensationell an, als sie 1815 in einem Bericht aus England schwarz auf weiß nachlesen konnten: »Zu Newcastle, zu Leeds ziehen wandelnde Dampfmaschinen Wagen mit Steinkohle nach sich und nichts ist für den Reisenden auf den ersten Augenblick überraschender, als auf dem Felde jenen langen Wagenzügen zu begegnen, welche sich von selbst, ohne die Hilfe eines menschlichen Wesens, bewegen.«

Die preußische Regierung schickte sofort zwei Beamte zum »Studium der Dampfkraft in ihrer Anwendung auf den Verkehr« nach England. Nachdem sie zurückgekehrt waren, wurde mit dem Bau einer Lokomotive vom Typ Blenkinsop in der königlichen Gießerei begonnen. Sie sollte in Oberschlesien zum Einsatz kommen, um die Kohle von der Grube zur Königshütte, der damals größten Hüttenanlage des Kontinents, zu transportieren. 1816 fertiggestellt, wurde die Zahnradlokomotive zunächst den Berlinern vorgeführt, dann demontiert und, in Kisten verpackt, per Schiff nach Oberschlesien gebracht. Beim Auspacken stellte sich die erste herbe Enttäuschung ein: Die Schienenspur war 38 cm enger als die Radspur. Bei Probefahrten erwies sich zudem die Leistung als zu schwach. Zunehmend regte sich passiver Widerstand, da man sich fürchtete, mit diesem Gefährt »zu manövrieren«. Und da diese Furcht amtlich als »nicht unbegründet« bestätigt wurde, gab der preußische Staat weitere Versuche mit dieser ersten »Lokomotive« des Kontinents auf.

Ein ähnliches Schicksal sollte auch eine zweite in Berlin gebaute und für das Saargebiet bestimmte Maschine erleiden. Als die Reparaturen die Baukosten zu übersteigen drohten, wurde diese Lokomotive schließlich zum Schrottpreis von 334 Talern verkauft.

Dem Fehlschlag mit den Betriebsdampfmaschinen 1815 folgte nun der Mißerfolg mit den Zahnradlokomotiven. Hoffnungsvoller schien deshalb für Preußen der Start mit dem ersten Dampfschiff zu sein. Im September 1816



Modell der ersten preußischen »Lokomotive« 1816 (Nachbau der Maschine von Blenkinsop), gleichzeitig erste Lokomotive des europäischen Festlandes

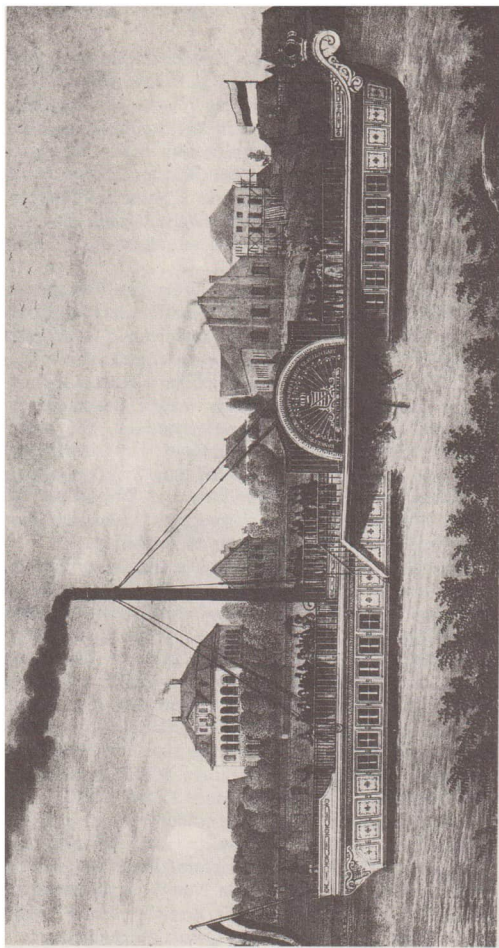
lief auf einer Werft bei Spandau die 80 t große »Prinzessin Charlotte von Preußen« vom Stapel. Das für die Personenbeförderung bestimmte Schiff gehörte dem aus Hamburg stammenden englischen Kaufmann Humphrey, dem die preußische Regierung ein entsprechendes Privileg erteilt hatte. Es war ein Mittellraddampfer, der mit einer bei Watt gekauften 15-kW- (20 PS) Maschine angetrieben wurde. Dieses erste in Deutschland gebaute Dampfschiff verkehrte mehrere Jahre auf Spree und Havel zwischen Berlin und Potsdam. Bis 1820 stellte Humphrey vier weitere Schiffe in Dienst. So hoffnungsvoll der Start war, so traurig war das Ende. Unregulierte Flüsse, wirtschafts- und zollpolitische Querelen sowie geschäftliches Versagen brachten Humphrey den Konkurs. Mitte der zwanzig-

ger Jahre gerieten alle Schiffe unter den Hammer des Auktionators.

Etwas mehr Erfolg hatte der Bremer Kaufmann Schröder, der Ende 1816 seine »Weser« in Dienst stellte. Dieses Dampfschiff, ebenfalls mit einer Wattschen Maschine ausgerüstet, verkehrte bis Anfang der dreißiger Jahre auf der Unterweser zwischen Bremen und Brake. Das erste Dampfschiff für die Oberelbe, die »Königin Maria«, baute 1836 Johann Andreas Schubert in Übigau bei Dresden. Ein regelmäßiger Dampfschiffsverkehr begann sich auf deutschen Flüssen erst im vierten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts durchzusetzen.

Die Binnenschifffahrt war der Zweig des Verkehrswezens, bei dem man zuerst versucht hatte, die Dampfkraft zu nutzen; denn das Schiff bot ausreichend Raum und genügend Tragfähigkeit für die »schwergewichtige« Niederdruckdampfmaschine einschließlich Kohlen. Anstrengungen für den Dampfschiffbau wurden gleichzeitig in Nordamerika und in England unternommen. Aber weder John Fitch, der mit seinem Dampfboot »Experiment« auf dem Delaware verkehrte, noch William Symington, dessen Dampfer »Charlotte Dundas« zwei 70-t-Kähne auf dem Clydekanal schleppte, vermochten einen ständigen dampfbetriebenen Schiffsverkehr zu etablieren.

Dies sollte dem Amerikaner Robert Fulton vorbehalten bleiben. Nach einem Aufenthalt in Westeuropa, wo er sich vergeblich um ein Dampfschiffsprojekt bemüht hatte, kehrte er 1806 in seine Heimat zurück. Im »Reisegepäck« befand sich eine bei Watt gekaufte Dampfmaschine. Im Frühjahr 1807 lief am New-Yorker East River die »North River Steamboat of Claremont« vom Stapel, benannt nach dem Landsitz des amerikanischen Gesandten in Paris, Robert Livingston, der sich finanziell beteiligt hatte. Das zunächst 80 t große Schiff – später auf 180 t vergrößert – wurde von einer 15-kW- (20 PS) Maschine angetrieben. Zwei Seitenräder mit je acht Radialschaufeln trieben es vorwärts. Am Montag, dem 17. August 1807, ging es auf Jungfernfahrt. Nach 32 Stunden hatte man die 240 km von New York stromauf am Hudson liegende Stadt Albany erreicht. Einen Monat später wurde der kommerzielle Dienst aufgenommen.



Fulton bleibt der unvergängliche Ruhm, das erste brauchbare Dampfschiff in Dienst gestellt zu haben. Damit war der Dampfschiffahrt der endgültige Durchbruch gelungen.

Die Dampfschiffahrt fand in Nordamerika schnelle Ausbreitung. Die großen Ströme waren nicht nur wichtige Verkehrsadern, sondern boten auch günstige natürliche Möglichkeiten. Legendären Ruf bewahrten sich die Mississippi-Dampfer. In Europa war es der Schotte Henry Bell, der 1813 mit seiner 25 t großen »Comet« das erste Dampfschiff in Dienst stellte. Wenige Jahre später verkehrten dann in anderen europäischen Ländern, so in Frankreich, Schweden, Rußland und Deutschland, Dampfschiffe auf Binnengewässern.

Nach ihrer Premiere in der Flußdampfschiffahrt waren es wieder die Amerikaner, die sich mit einem »Dampfschiff« auf den Ozean hinauswagten. 1819 stach die 320 BRT große »Savannah« von der amerikanischen Ostküste mit Kurs Europa in See. Es war ein dreimastiges Segelschiff, in dem eine rund 66-kW- (90 PS) Dampfmaschine installiert war. Sie diente weniger als ständige Antriebskraft, sondern mehr als »Hilfsmotor«. Deshalb konnte man auch, wenn nur gesegelt wurde, die seitlichen Schaufelräder hochklappen und an Bord nehmen. Nach gut drei Wochen erreichte die »Savannah« den englischen Hafen Liverpool. Nur einige Tage der Reise war man unter Dampf gefahren, weil die Brennstoffe knapp wurden.

Ein regelmäßiger Passagierverkehr mit Dampfern über den Atlantik begann erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts, als drei entscheidende Voraussetzungen geschaffen waren: die Konstruktion spezieller und leistungsfähiger Schiffsmaschinen, der Ersatz der schwerfälligen Seitenräder im Vortrieb durch die Schraube und der Einsatz von Eisen als Baumaterial anstelle von Holz. Der Bau von eisernen Schraubendampfern wurde zukunftsweisend für die Dampfschiffahrt. Der Prototyp lief 1845 mit der vom bedeutenden englischen Ingenieur Isambard Kingdom

Dampfschiff »Königin Maria« auf der Elbe (Darstellung vom 9. 6. 1836)



Englischer Dampfomnibus

Brunel konstruierten »Great Britain« (3270 BRT, 745 kW = 1014 PS) vom Stapel.

Mit dem Einsatz der Dampfkraft bei der Binnen- und Seeschifffahrt gingen gleichzeitig die Bemühungen der Techniker weiter, die Dampfkraft für den Landverkehr zu nutzen. Schwierig blieb es lange Zeit für den Straßenverkehr. Abhilfe schaffte zum einen der schottische Wegebaumeister John MacAdam mit seinen »makadamisierten« Straßen. Sie bestanden aus kleingeschlagenen Steinen, die mit Kies abgedeckt wurden. Zum anderen gelang es nach 1825, für den Straßenbetrieb spezielle

kleine und leistungsfähige Hochdruckdampfmaschinen zu entwickeln. Die Wagen des englischen Konstrukteurs Hancock bewährten sich am besten. 1830 liefen in London 26 dieser »steam-coaches«. In ganz England sollen es 100 gewesen sein. Sie erreichten bis zu 25 km/h. Je nach Größe konnten mehrere Dutzend Personen mitfahren. Alle 20 km mußte jedoch Wasser »getankt« werden.

Bei allen konstruktiven Verbesserungen erwies sich aber die Dampfmaschine als ungeeignet im Straßenverkehr, ja, ihre Nachteile erzwangen geradezu die Entwicklung eines für Straßenfahrzeuge spezifischen Motors. Das gleiche traf auch für Luftfahrzeuge zu; denn vereinzelt hatte man versucht, dampfgetriebene »Flugzeuge« zu konstruieren.

Ihren Siegeszug im Landverkehr trat die Dampfmaschine auf der Schiene an. Noch zogen aber die »iron horses« mit nur geringer Geschwindigkeit (10–15 km/h) und Zugkraft (7–15 kW = 10–20 PS) ihre Kohlenwagen hinter sich her, ohne dem Pferdetransport ernsthaft Konkurrenz zu machen; »Dampfröscher« und Pferdebahnen benutzten teilweise sogar die gleichen Schienenwege. So auch auf der 1825 eröffneten ersten öffentlichen Dampfeisenbahnlinie der Welt, der Stokton-Darlington-Bahn. Beim Gütertransport fuhr man im Gemischtbetrieb, beim Personenverkehr ausschließlich mit Pferden. Zweifel an der Überlegenheit des Lokomotivbetriebes wurden stärker. Die geringe Leistung der Lokomotiven resultierte vor allem aus der kleinen Heizfläche des Kessels, die nur aus einem geraden Flammrohr bestand.

Als wenig später mit dem Bau der zweiten öffentlichen Linie zwischen den beiden führenden Industrie- und Hafenstädten Manchester und Liverpool begonnen wurde, erwog man ernsthaft, 21 ortsfeste Dampfmaschinen aufzustellen, die per Seilzug abschnittsweise die Züge über die Gesamtstrecke von 48 km bewegen sollten. Die Direktion konnte jedoch zur Ausschreibung eines Lokomotivwettbewerbs umgestimmt werden, um so über die Art der Zugkräfte zu entscheiden. Am 6. Oktober 1829 begann auf der Ebene von Rainhill das »Wettrennen«. Von den fünf gemeldeten Maschinen gingen nur drei an den Start. Und von diesen siegte die »Rocket« George Stephensons.

Sie war mit 56 km/h (ohne Anhang) nicht nur wie eine Rakete abgezogen, sondern hatte auch alle anderen Bedingungen erfüllt. Als einzige legte sie die geforderten 48 km zurück, beförderte in einem Wagen 30 Personen mit mehr als 40 km/h und zog zwei beladene Wagen von 9 t Masse mit 38 km/h. Die kühnsten Hoffnungen wurden übertroffen. Stephensons »Rocket« hatte den ausgesetzten Preis in Höhe von 500 Pfund Sterling errungen.

Entscheidend für diesen Erfolg war der Einbau eines vom Franzosen Seguin, Direktor der Eisenbahn Lyon-St. Étienne, entwickelten Röhrenkessels. Dieser bestand bei der »Rocket« aus 25 Feuerrohren von je 76 mm Weite. Dadurch betrug die Heizfläche 12,8 m². Der geforderte Dampfdruck von 0,35 MPa (3,5 at) konnte erreicht werden. Gleichzeitig wurde eine von Wasser umgebene Feuerbuchse eingebaut. Außerdem wurden die Auspuffrohre, über die der Dampf ins Freie entwich, als Blasrohr in den Schornstein geleitet, um durch den so entstehenden Sog die Verbrennung und folglich den Heizprozeß zu beschleunigen. Damit enthielt die »Rocket« alle wichtigen Grundelemente des späteren Lokomotivbaues.

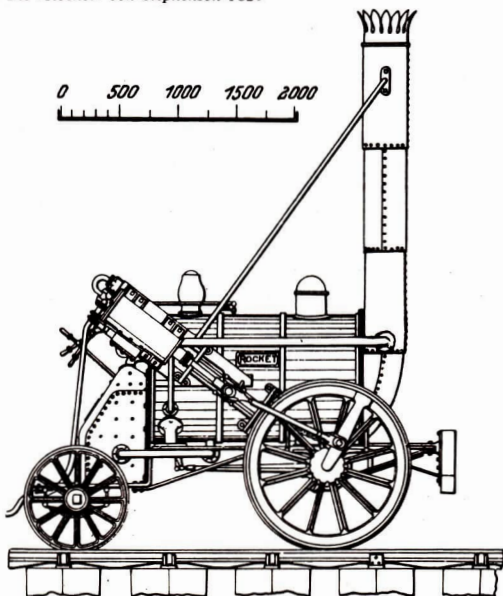
Am 15. September 1830 wurde die Strecke Liverpool-Manchester feierlich eröffnet. Acht »Rocket«-Maschinen standen für den Betrieb bereit – das Zeitalter der Eisenbahn war angebrochen. Dabei hat sich George Stephenson, der Sohn eines armen Kohlenarbeiters, als »Vater des Eisenbahnwesens« bleibende Verdienste erworben. »Der Herkules in der Wiege«, wie Friedrich List, der Vorkämpfer des deutschen Eisenbahnwesens, das neue Verkehrsmittel charakterisierte, revolutionierte nicht nur den gesamten Landtransport, sondern beeinflusste nachhaltig Wirtschaft und Gesellschaft.

Die beeindruckenden Transportleistungen führten die Eisenbahn zu einer raschen Ausbreitung in Europa und Übersee. Die erste deutsche Eisenbahnlinie wurde am 7. 12. 1835 zwischen Nürnberg und Fürth eröffnet. Stephensons Lokomotive »Der Adler« leistete 29 kW (40 PS). Die erste Fernbahn nahm am 7. 4. 1839 auf der 116 km langen Strecke Leipzig–Dresden ihren Betrieb auf. Auch hier kamen vorerst nur englische Maschinen zum Einsatz. Die zur gleichen Zeit von Johann Andreas

Schubert in Dresden nach englischem Vorbild konstruierte erste brauchbare deutsche Lokomotive, die »Saxonia« mit 40 kW (55 PS), durfte bei der feierlichen Eröffnungsfahrt nur den drei Festzügen ohne Zuglast hinterherfahren.

Die anfänglich marktbeherrschende Stellung der Engländer im Lokomotivbau wurde bald durch leistungsfähige nationale Betriebe zurückgedrängt, die obendrein mit steigender Qualität ihre Erzeugnisse zunehmend exportieren konnten. Dazu gehörten Unternehmen wie Borsig in Berlin, Hartmann in Chemnitz, Maffai in München, Egestorff in Hannover und Henschel in Kassel.

Die »Rocket« von Stephenson 1829





Dampflok-Romantik heute: Lokomotive der Baureihe 50 am 12. 6. 88 bei Steinbach (Krs. Geithain) auf der Strecke Altenburg-Rochlitz

Dampf kontra Wasserrad und Göpel

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts schritt die Nutzung der Dampfmaschine kräftig voran. Im Jahre 1800 verfügte England, die führende Wirtschaftsmacht der Welt, über mehr als 1200 Dampfmaschinen, die unterschiedlich in Größe und Leistung waren, vertikale und horizontale, zum Teil auch Drehbewegungen hervorbringen konnten. Diese Maschinen arbeiteten in der Regel störungsfrei bei beachtlich gesunkenem Kohleverbrauch. Dennoch war auch in England die Dampfkraft noch längst nicht die entscheidende Antriebskraft. Der Antriebsenergiebedarf wurde vielmehr durch den Ausbau der traditionellen Energiequellen, besonders der Wasserkraft, bei gleichzeitiger Vergrößerung der Zahl der Dampfmaschinen gedeckt. Die Wasserkraftnutzung erhöhte sich in England noch bis in die dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts, denn nicht nur die Dampfmaschinen, sondern auch die Wasserräder wurden in ihrer Leistungsfähigkeit verbessert, indem man unter anderem hölzerne Bauelemente durch solche aus Eisen ersetzte. Mit der Verwendung eiserner Wasserräder konnte ein so gleichmäßiger Lauf erzielt werden, den weder die Dampfmaschinen jener Zeit und schon gar nicht die Tiergöpel hervorzubringen in der Lage waren.

Der Jahrzehnte währende Kampf zwischen Göpel, Wasserrad und Dampfmaschine hatte auch handfeste ökonomische Ursachen. Göpel waren – im Vergleich zur erzielbaren Antriebsleistung – mit hohen Betriebskosten verbunden. In wasserreichen Gegenden konnte es lange Zeit profitabel sein, auf die Dampfmaschine zu verzichten und beim Wasserrad zu bleiben. Allerdings waren der

Betriebsgröße Schranken gesetzt, denn mehr als 10 PS erbrachte kaum ein Wasserrad. So wurden 1850 in der englischen Baumwollindustrie, der Pilotindustrie der industriellen Revolution, neben 24 271 kW (33 000 PS) von Dampfmaschinen immer noch 8091 kW (11 000 PS) durch die Wasserkraft aufgebracht. Auf dem europäischen Festland und auf dem amerikanischen Kontinent zeigte sich, daß die Dampfkraft zunächst nur vereinzelt neben die traditionellen Antriebskräfte trat. Erst nach mehr als einem halben Jahrhundert begann sich hier die Dampfkraft als entscheidende Energieform durchzusetzen.

Das schwerindustrielle Zentrum Belgiens, das Gebiet um Lüttich, verfügte 1845 nur über 37 Dampfmaschinen, dafür aber über 105 Wasserräder. Im gleichen Jahr betrug die Dampfmaschinenleistung in Frankreich 35 775 kW (50 000 PS). Die Wasserkraftanlagen lieferten dagegen das Dreifache. In den Niederlanden, dem Land der Windmühlen, standen 1837 72 Dampfmaschinen mit einer Gesamtleistung von nur 824 kW (1120 PS) zur Verfügung. Die spanische Baumwollindustrie ging erst Mitte der dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts zum Dampfbetrieb über, während in Schweden 1840 und in Finnland 1857 die ersten Dampfmaschinen in Sägewerken Einzug hielten. Im zaristischen Rußland hatte man 1777 erstmals eine Newcomensche Dampfmaschine in Dauerbetrieb genommen. Doch es sollte viele Jahrzehnte dauern, ehe die Dampfkraft eine größere Rolle spielen konnte. Behinderte in Rußland die feudal geprägte Wirtschaft die Verbreitung der Dampfkraft, so wurde in den USA der Wasserkraftreichtum vorerst zu einem Hemmnis. Gelegentlich waren britische Maschinen für bergbauliche Zwecke, für die Wasserversorgung und für Getreidemühlen importiert worden, aber auch hier setzte sich die Dampfkraft zunächst nur langsam durch.

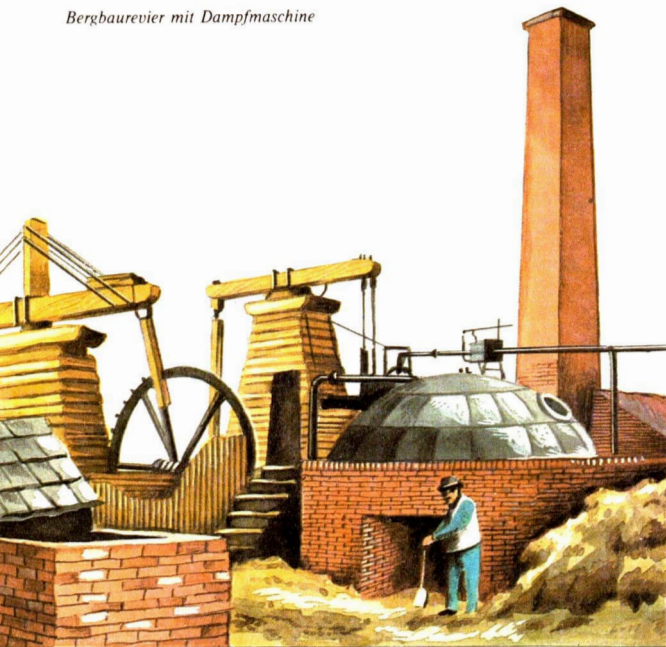
Was für die kontinentaleuropäischen Länder und für die USA galt, traf auch für Deutschland zu. Ein Blick nach Sachsen, dem deutschen Staat, in dem sich in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts der Übergang von der Handarbeit zur Maschinenarbeit am schnellsten vollzog, bestätigt das. Gegenüber den traditionellen An-

triebskräften war die Dampfkraft ein Zwerg. Zwar verfügte Sachsen 1830 über 25 Dampfmaschinen, aber in den Textilfabriken, dem modernsten Industriezweig, arbeiteten nur ganze 10. Mehr als 13 Prozent der Kammgarn-, Streichgarn- und Baumwollspinnereien waren noch immer auf die menschliche Muskelkraft als Quelle der Antriebsenergie angewiesen, 38 Prozent der Streichgarn- und Kammgarnspinnereien trieben ihre Maschinen mit Göpeln an. Mehr als drei Viertel der Baumwollspinnereien arbeiteten mit Wasserrädern. Der hohe Stellenwert der Wasserkraft in der sächsischen Industrie wird erklärbar, wenn man bedenkt, daß sich die Fabrikindustrie Sachsens kaum in Städten, sondern hauptsächlich entlang der Flüsse und Bäche des Erzgebirges herausbildete.

Anders war die Situation in Preußen. Hier entstanden die ersten Fabriken in Städten, die keine geeigneten Wasserkraftreserven besaßen, wie z. B. Berlin. Deshalb drängte Preußen frühzeitig auf den Einsatz von Dampfmaschinen und konnte sich so, gemessen an der Zahl und an der Vielfalt ihrer Nutzung, eine technologische Vormachtstellung innerhalb Deutschlands verschaffen. 1830 waren in Preußen 215 Dampfmaschinen in Betrieb, davon 23 in Berlin. In Preußen wie in Sachsen konzentrierte sich die Dampfkraftnutzung auf den Bergbau und die Textilindustrie. Außerdem wurden Dampfmaschinen vor allem in Hüttenwerken und Gießereien, in Getreidemühlen und Zuckerfabriken sowie in der Holzverarbeitung und für Bewässerungszwecke eingesetzt. Die durchschnittliche Maschinenleistung lag bei 19 kW (26 PS) in den Hüttenwerken und bei 18 kW (24 PS) im Bergbau. In allen anderen Zweigen wurden diese Werte mit etwa 7 kW (10 PS) weit unterschritten. Im Bergbau wurden die meisten Dampfmaschinen im Steinkohlenbergbau genutzt. Dienten sie hier zunächst ausschließlich der Wasserhaltung, so wurden sie zunehmend auch für die Förderung und die Bewetterung der Schächte verwendet. Dennoch war die Dampfkraftnutzung bis in die dreißiger Jahre, volkswirtschaftlich gesehen, völlig unbedeutend. Die Leistung aller deutschen Dampfmaschinen dürfte 2940 kW (4000 PS) kaum überschritten haben. Das dritte Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts kündigte jedoch den Sie-

geszug der Dampfmaschine an. 1840 verfügte die deutsche Wirtschaft schon über 29 420 kW (40 000 PS) Dampfkraftleistung, 10 Jahre später waren es 191 230 kW (260 000 PS). 1870 war aus dem Zwerg ein Riese geworden, denn die nutzbare Dampfkraftkapazität lag nun bei 1 824 040 kW (2 480 000 PS). Geht man davon aus, daß mit Hilfe der menschlichen Muskelkraft ein Zehntel PS erzielbar ist, dann wären 1870 24,8 Millionen Arbeitskräfte – bei einer Gesamtbevölkerung von 41 Millionen – zur Aufbringung dieser Energiemenge notwendig gewesen.

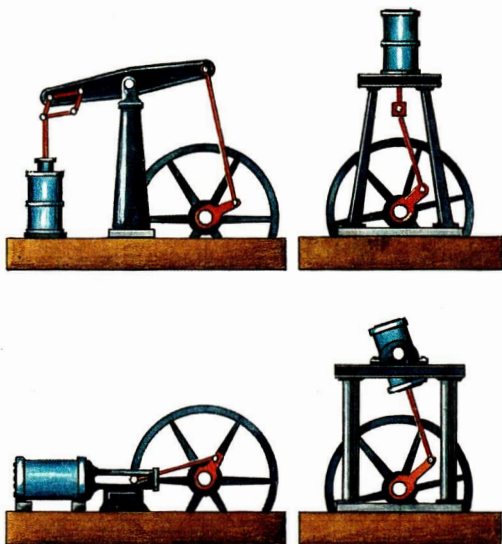
Bergbaurevier mit Dampfmaschine



Die stürmische Aufwärtsentwicklung der Dampfkraftnutzung hatte zwei Ursachen: Erstens dehnte sich die Maschinenarbeit stark aus und drängte in gleichem Maße die Handarbeit zurück. Zweitens lösten Dampfeisenbahnen und Dampfschiffe eine Transportrevolution aus, in deren Gefolge zunächst der Pferdewagen aus dem Ferntransport verschwand und auch das Segelschiff immer mehr an Bedeutung verlor.

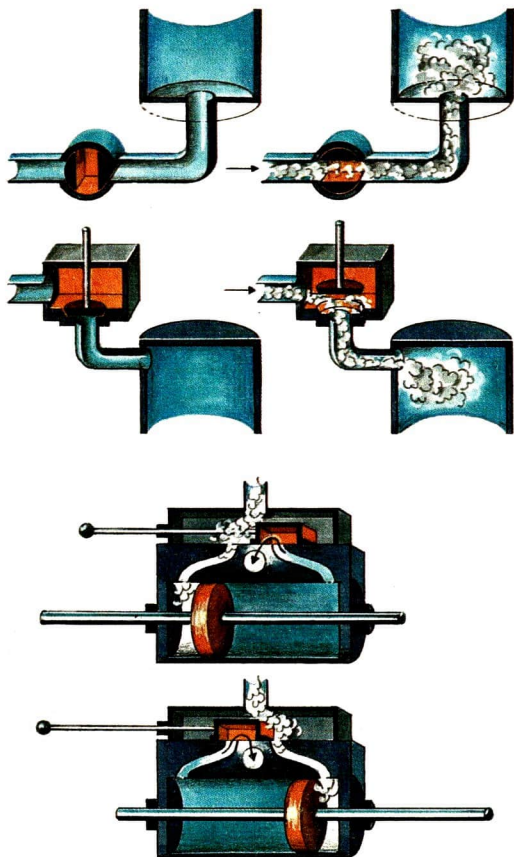
Gerade die Rückständigkeit des Transportwesens hatte der notwendigen Ehe zwischen Arbeits- und Dampfmaschine bis in die dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts als entscheidendes Hindernis im Wege gestanden. Fabriken hatten nur dort profitabel mit Dampfmaschinenbetrieb arbeiten können, wo Kohle kostengünstig zu haben war. Versuche, die Dampfkessel mit Holz oder gar mit Torf zu beheizen, erwiesen sich infolge der niedrigen Heizwerte dieser Brennstoffe als zu teuer. Sie trieben die Energiekosten ebenso in die Höhe wie die Transportkosten für Steinkohle. Dieser und jener Unternehmer mit Dampfmaschinenbetrieb machte Bankrott. Andere Fabrikanten gaben den Dampfbetrieb wieder auf und kehrten zum Wasserrad und selbst zum Göpel zurück. Nicht wenige Unternehmer setzten ihre Dampfmaschinen nur ein, wenn die Wasserkraft ausblieb. Erst ein leistungsfähiger Landtransport mittels Eisenbahn ermöglichte die schnelle, billige und massenhafte Beschaffung von Brennstoffen und damit die kontinuierliche Dampfkraftnutzung auch in Gebieten abseits der Wasserstraßen und der Kohlenreviere. Überdies begünstigten Dampfschiffe auf den Binnenwasserstraßen, den Seen und den Ozeanen z. B. den Import hochwertiger Steinkohle aus England. War die Dampfmaschine eine Grundbedingung für die Erschließung des modernen Bergbaus, so war der Kohlenbergbau gleichzeitig unabdingbar für die Brennstoffversorgung der aufstrebenden Industrie und des modernen Verkehrswesens. Wurden im deutschen Bergbau im Jahre 1800 ganze 800 000 t Steinkohle gefördert, so betrug die Fördermenge 1873 30 Millionen t.

Bis zum Erlöschen der Wattschen Patente waren die technische Weiterentwicklung und die konstruktive Verbesserung der Dampfmaschine fast unmöglich. Watt



Prinzipskizzen von Dampfmaschinen: klassische Balanciermaschine (oben links); Turm- oder Bockmaschine (oben rechts); Liegende Maschine (unten links); Dampfmaschine mit oszillierendem Zylinder (unten rechts)

hatte sich zahlreiche Neuerungen im Dampfmaschinenbau patentieren lassen, ohne sie jemals zu realisieren. Er wachte argwöhnisch über die Einhaltung seiner Monopolstellung, notfalls bemühte er die Gerichte. Deshalb war der Verfall der Wattschen Patentrechte im Jahre 1800 für die Dampfmaschinenbauer in zahlreichen Ländern wie eine Erlösung. Ein Erfinder suchte den anderen durch neue Konstruktionen, die zum Teil bizarre Formen annahmen, zu übertrumpfen. Letztlich überlebten aber nur die Bauarten, die den Anforderungen nach niedrigen Herstellungskosten, geringem Raumbedarf, hohen Lei-



Prinzipskizzen von Steuerungen: Hahnsteuerung (Newcomen; oben); Ventilsteuerng (Watt; 2. R. von oben), links jeweils geschlossen, rechts geöffnet; Schiebersteuerung (etwa ab 1800; 2. R. von unten und unten) jeweils mit geöffnetem und geschlossenem Ventil

her, durch die zugleich der Dampf geleitet wurde. Überdies war die Kolbenstange direkt mit der Kurbelwelle verbunden. Dadurch entfiel die Kurbelstange. Die Maschine blieb »kürzer«. Sie wurde hauptsächlich in Schiffe eingebaut.

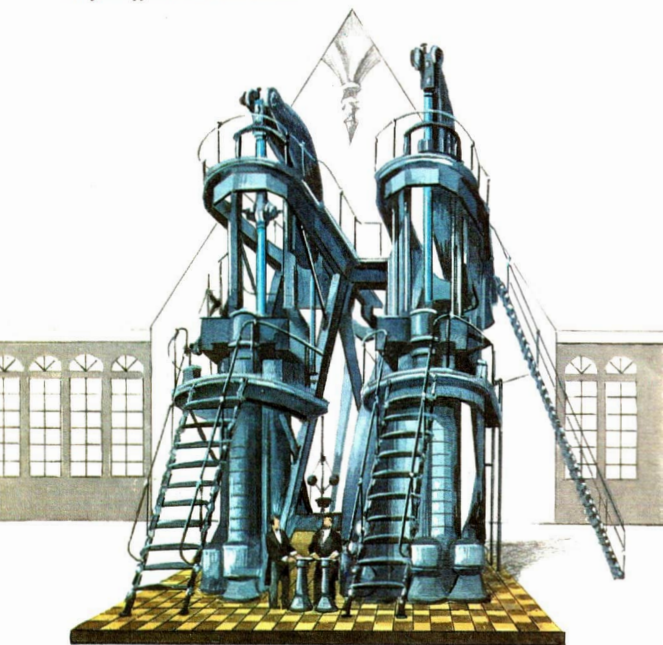
Bei der konstruktiv ständig verbesserten Steuerung blieben Ventil- und Schiebersteuerung am gebräuchlichsten; es gab sie in unzähligen Varianten. Zu einer optimalen Lösung gelangte schließlich Mitte des 19. Jahrhunderts der Amerikaner George Henry Corliss. Seine Steuerung regelte selbsttätig die Dampfzufuhr entsprechend dem wechselnden Kraftbedarf. Im Vergleich zur Newcomenschen Maschine sank der Brennstoffverbrauch der Corliss-Maschine um 86 Prozent. Eine Reduzierung auf 90 Prozent gelang schließlich dem Konstrukteur des Schweizer Maschinenbauunternehmens Sulzer durch den Bau einer ventilsteuerten Dampfmaschine.

Wesentliche Veränderungen vollzogen sich auch im Dampfkesselbau. Zunächst stellte man die Kessel aus dem leicht zu bearbeitenden Kupfer her. Bald ersetzte man das Kupfer durch Eisenblech und Gußeisen, durch Werkstoffe also, die wesentlich belastbarer waren. Schließlich wichen diese Metalle dem Schmiedeeisen (Stahl). In Verbindung damit wurden neue Kesselformen entwickelt. Die anfänglich kupferne Blase wurde durch den sogenannten eisernen Kofferkessel abgelöst, dem der zylindrische Stahlkessel folgte. Um die Heizfläche und damit die Leistung zu vergrößern, wurden in die Kessel Wasser- bzw. Rauchrohre eingezogen. Während sich beim ersten Kesseltyp das Wasser in Rohren befand, die von den sie umgebenden Heizgasen erhitzt wurden, kam beim zweiten Typ das umgekehrte Prinzip zur Anwendung. Die in Rauchrohren abgeleiteten Heizgase wurden vom Wasser umspült.

All diese Veränderungen waren wiederum mit zwei anderen grundsätzlichen Entwicklungsrichtungen verbunden: erstens mit der zunehmenden Nutzung von Hochdruck anstelle von Niederdruck und zweitens mit der mehrfachen Nutzung des Dampfes (Mehrfachexpansion). Watts Dampfmaschinen arbeiteten mit Niederdruck. Sein Landsmann Trevithick ließ sich dagegen im Jahre 1800

eine Hochdruckdampfmaschine patentieren. Dieser Maschinentyp war bei gleicher Leistung kleiner, leichter und außerdem einfacher zu handhaben. Trevithicks Versuche, die Hochdruckdampfmaschine für Dampfwagen und Lokomotiven einzusetzen, schlugen allerdings letztlich fehl. Die Bedeutung dieses Dampfmaschinentyps zeigte sich jedoch schlagartig, als die in 4000 m Höhe gelegenen Silberminen Perus abzusaufen drohten. Die Wattschen Kondensationsmaschinen hätten bei dem in dieser Höhe herrschenden niedrigen Luftdruck nicht funktioniert. Die

Großdampfmaschine von Corliss

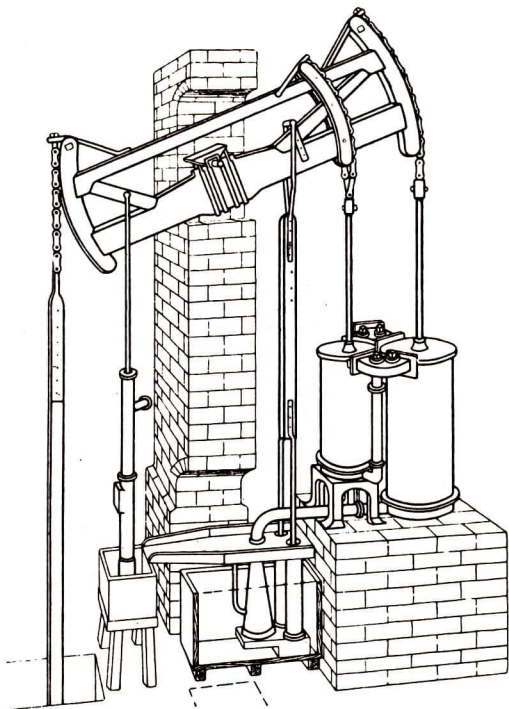


Hochdruckdampfmaschinen, die den Abdampf verpufften, erwiesen sich dagegen bei gleichzeitig geringerem Brennstoffverbrauch und relativ leichterem Transport geradezu als ideal. Als einer der bedeutendsten Vorkämpfer für die Einführung der Hochdruckdampfmaschine gilt neben Trevithick der Amerikaner Oliver Evans. Aber auch der Mecklenburger Arzt Dr. Ernst Alban machte sich um die Hochdruckdampfmaschine in Deutschland sehr verdient. Alban, der sich als ein Schüler von Evans bezeichnete und 1840 in Plau (Mecklenburg) eine Maschinenfabrik gründete, mußte aber wie viele andere bittere Enttäuschungen hinnehmen. Es dauerte längere Zeit, bis Dampfmaschinen für höhere Drücke betriebssicher ausgeführt werden konnten.

Die Anfänge der Mehrfachnutzung der Dampfkraft gehen auf den Engländer Jonathan Hornblower zurück. Er ließ sich 1781 eine Maschine, die mit zwei unterschiedlich großen Zylindern ausgestattet war, patentieren. Seine Idee bestand darin, die expansive Kraft des Dampfes nacheinander in den Zylindern wirken zu lassen und dadurch möglichst intensiv zu nutzen. Dieser Maschinentyp wurde später als Compound-Maschine (Verbundmaschine) bzw. als Drei- oder Vierfach-Expansionsmaschine bezeichnet. Diese großartige Idee war zunächst nicht realisierbar, weil kein genügend großer Dampfdruck erzeugt werden konnte und Watt sofort auf seine Patentrechte verwies. Dennoch war die Arbeit nicht vertan, denn der Brite Arthur Woolf nutzte diese Idee ebenso wie die Ergebnisse der Versuche Trevithicks, um 1806 die erste doppelt wirkende Zweifach-Expansionsdampfmaschine zu bauen und den Dampfdruck auf 0,3–0,4 MPa (3–4 at) zu erhöhen. Zu Beginn der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts galten Woolfsche Verbundmaschinen als die besten Großdampfmaschinen.

Im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts gelang ein weiterer entscheidender technischer Durchbruch in der Nutzung hochgespannter Dämpfe. Aus der Compound-Maschine mit Hoch- und Niederdruckzylinder wurde die Dreifach-Expansionsmaschine mit zusätzlichem Mitteldruckzylinder entwickelt. Damit verrichtete die Maschine von Hoch-, über Mittel- und Niederdruckzylinder insge-

Zweifach-Expansionsmaschine von Hornblower. Beide Zylinder stehen nebeneinander in Längsachse des Balanciers. Der kleinere Zylinder hat den kürzeren Hub.



samt drei Arbeitsgänge. In der Schifffahrt blieb dieser Maschinentyp Jahrzehnte einer der Hauptantriebe. Wesentliche Voraussetzung für dessen Entwicklung bildeten Kesselkonstruktionen, die Drücken bis zu 1 MPa (10 at) und mehr standhielten. Und der Bau derartiger Kessel war wieder möglich geworden, nachdem man mit dem Siemens-Martin-Verfahren Möglichkeiten zur Produktion hochwertigerer Stähle geschaffen hatte. Mit der Dreifach-Expansionsmaschine konnte der Brennstoffverbrauch gegenüber der Niederdruckdampfmaschine um zwei Drittel verringert werden. Die später entwickelten Vierfach-Expansionsmaschinen brachten dagegen keine so gravierenden ökonomischen Vorteile mehr.

Mit Watts Niederdruckdampfmaschine hatte das Dampfmaschinenzeitalter begonnen. Die Hochdruckdampfmaschine bildete die zweite Etappe dieser Ära. Die Corliss-Dampfmaschine und die Dreifach-Expansionsmaschine leiteten dagegen die dritte und zugleich letzte Etappe der Kolbendampfmaschine ein.

Bei allen Vorteilen, die die Hochdruckdampfmaschine bot, überwogen zunächst Zurückhaltung und Skepsis, ja teilweise sogar Angst vor einer nicht berechenbaren und nicht beherrschbaren Technik. Bei Drücken von 0,5–1,0 MPa (5–10 at) und mehr wunderte es nicht, wenn mehr als einmal Kessel in die Luft flogen, Rohrleitungen platzten, Ventile undicht wurden, wenn unter der Hitzeeinwirkung die Dichtungen verbrannten, die Kolben sich in den Zylindern festfraßen, die beweglichen Maschinenteile der enormen Belastung nicht standhielten und zersplitterten. Es dauerte Jahrzehnte, bis Dampfmaschinenbauer – gewissermaßen in internationaler Zusammenarbeit – die Hochdruckdampfmaschine so weit entwickelt hatten, daß ihre Vorzüge risikolos in der Industrie zum Tragen kommen konnten. Vor allem das Verkehrswesen wäre ohne die kleine, leichte und leistungsfähige Hochdruckdampfmaschine nicht zu revolutionieren gewesen. Mit der Hochdruckdampfmaschine war eine Kraftmaschine entstanden, die überall dort, wo kontinuierlich hoher Antriebsenergiebedarf bestand, sowohl der alten Dampfmaschinen- und erst recht dem Göpel und dem Wasserrad den Garaus machte.

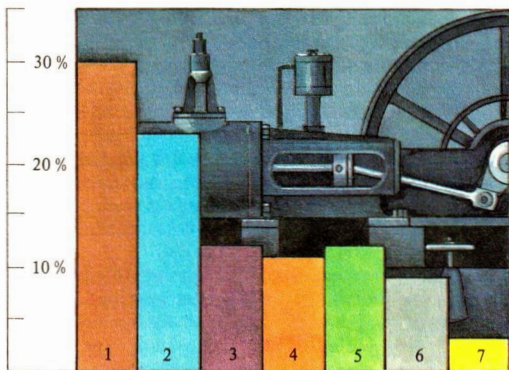
wie z. B. Baumwolle und Erze, mit Hilfe der Eisenbahnen in großen Mengen rasch zu den Häfen gebracht werden.

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts stieg die Kapazität der Dampfmaschinen in Europa auf 30 Mill. kW (40,30 Mill. PS). Dieser nochmalige enorme Aufschwung war vor allem der Verbesserung der Qualität und der Leistungsstärke sowie der Verbreiterung des Anwendungsfeldes der Dampfkraft zu danken. Neben dem Bergbau, der Industrie und dem Verkehrswesen begann auch die Landwirtschaft die Dampfkraft in Gestalt von Dampfpflügen und Dampfdreschmaschinen zu nutzen.

Vor allem aber wurde der Dampfmaschinenbau technisch perfektioniert, es wurden immer ausgereifere Konstruktionen angeboten. Die Arbeitsgeschwindigkeit wuchs, der Brennstoffverbrauch sank, selbsttätige Schmiereinrichtungen und verbesserte Transmissionen minderten Energieverluste durch Reibung.

War man einerseits bemüht, Dampfmaschinen mit hohen Leistungen zu bauen – die preußische Industrie verfügte 1860 schon über vier Dampfmaschinen mit einer Leistung von mehr als 370 kW (500 PS) –, so versuchte man andererseits mit Erfolg, kleine, leistungsfähige und vor allem schnellaufende Dampfmaschinen für jene Fabrikationsstätten zu produzieren, die entweder einen relativ geringen Antriebsenergiebedarf hatten oder die es vorzogen, in einer Fabrik mehrere Dampfmaschinen zu betreiben.

Mit der praktischen Nutzung des Heißdampfprinzips nach 1892 durch den Deutschen Wilhelm Schmidt erlebte vor allem der Lokomotivbau einen weiteren Höhepunkt. Der Heißdampf mit Temperaturen von rund 350 °C gegenüber dem Naßdampf von 250 °C brachte für das Eisenbahnwesen eine erhebliche Leistungssteigerung, denn nicht nur Kohle und Wasser wurden eingespart, sondern die Unterwegsaufenthalte, insbesondere zum Wassernehmen, wurden verringert. Am Ausgang des 19. Jahrhunderts hatte die Dampfmaschine in der Industrie und im Verkehrswesen endgültig gesiegt. Natürlich wurden in der Landwirtschaft noch Tiergöpel verwendet, und selbstverständlich gab es in den Dörfern noch zahlreiche Wind- und Wassermühlen. Doch volkswirtschaft-



Anteile der Industriezweige der Dampfkraftnutzung in Deutschland um 1900

- 1 = Bergbau/Hüttenwesen,
- 2 = Metallverarbeitung/Maschinenbau,
- 3 = Textilindustrie,
- 4 = Restliche Leichtindustrie,
- 5 = Nahrungs- u. Genußmittel,
- 6 = Bau/Steine/Erden,
- 7 = Chemische Industrie

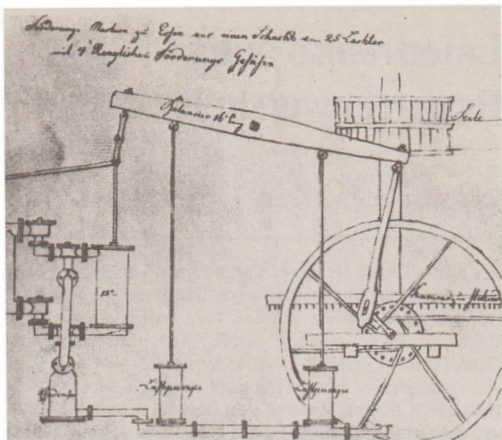
lich waren Göpel, Wasserräder und Windmühlen bedeutungslos geworden. 1895 wurden in Deutschland fast 80 Prozent der Antriebsenergie in Industrie und Gewerbe durch die Dampfkraft und nur reichlich 18 Prozent durch die Wasserkraft aufgebracht. Dennoch blieb König Dampf in Gestalt der Kolbendampfmaschine die Krönung zum Kaiser versagt. Dieser Aufstieg war der Dampfturbine vorbehalten. Dies um so mehr, als Dampfturbine und Turbogenerator zu den Grundbedingungen der an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert beginnenden Elektrifizierung der industriellen Produktion und des Verkehrswesens gehörten. Der Elektromotor, flankiert von Verbrennungsmotoren, sollte bald der maschinellen Produktion ganz neue Möglichkeiten erschließen.

Laienrisiko statt Expertenweisheit

Als König Georg III. eines Tages seinen Untertanen Matthew Boulton fragte, was er eigentlich in seiner Manufaktur mache, antwortete Boulton kurz und bündig: »Majesty – I make power.« Kraft, die nie erlahmende Dampfkraft, wonach Bergbauunternehmer und Fabrikanten verlangten – Boulton konnte sie mit seinen Dampfmaschinen liefern, standen ihm doch in seiner Manufaktur versierte Handwerker und Techniker, aber auch die modernsten Metallbearbeitungswerkzeuge jener Zeit zur Verfügung, war doch die englische Eisenindustrie in der Lage, die notwendigen Werkstoffe für den Dampfmaschinenbau herzustellen.

Völlig anders war die Situation um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert in den übrigen Ländern der Welt. Weder in Deutschland noch anderswo gab es Privatunternehmen, die auf eigenes Risiko Dampfmaschinen bauten. Die Handwerker, die sich dennoch ans Werk machten, waren von ihrer Idee besessene Laien. Zu ihnen zählte der bereits erwähnte, aus der Nähe Essens stammende Zimmermann Franz Dinnendahl. 1801 begann er für eine Ruhrzeche seine erste atmosphärische Dampfmaschine zu bauen. Er tat dies, obwohl ihm viele Leute die Undurchführbarkeit seines Vorhabens und seinen Untergang prophezeiten, weil, wie er später schrieb, »ich mich in Dinge einließ, die über meine Sphäre hinausgingen«. Vor allem fehlten zum Dampfmaschinenbau in Preußen fast alle technologischen Voraussetzungen.

Dinnendahl beschrieb sein Abenteuer Dampfmaschinenbau so: »Freilich war es ein wichtiges Unternehmen, besonders, weil in der hiesigen Gegend nicht ein



Zeichnung einer doppeltwirkenden Dampfmaschine von Dinnendahl, gedacht als Fördermaschine im Bergbau. Zur Kraftübertragung hatte er den Mechanismus vom Pferdegöpel übernommen.

Schmied war, der imstande gewesen wäre, eine ordentliche Schraube zu machen, geschweige denn andere zur Maschine gehörige Schmiedeteile, als Steuerung, Zylinderstangen und Kesselarbeit usw. hätte verfertigen können oder Bohren und Drechseln verstanden hätte. Schreiner- und Zimmermannsarbeiten verstand ich selbst; aber nun mußte ich auch Schmiedearbeiten machen, ohne sie jemals gelernt zu haben. Indessen schmiedete ich fast die ganze Maschine aus eigener Hand, selbst den Kessel, so daß ich 1 bis 1 1/2 Jahre fast nichts anderes als Schmiedearbeiten verfertigte, und ersetzte also den Mangel an Arbeitern der Art selbst. Aber es fehlte auch an gut eingerichteten Blechhämmern und geübten Blechschmieden in der hiesigen Gegend, weshalb die Platten zum ersten Kessel fast alle unganzz und kaltbrüchig waren. Ebenso unvollkommen waren diejenigen Stücke der Maschine, wel-

che die Eisenhütte liefern mußte, als Zylinder, Dampfrohren, Schachtpumpen, Kolben und dergleichen ... Das Bohren der Zylinder setzte mir neue Hindernisse entgegen, allein auch dadurch ließ ich mich nicht abschrecken, sondern verfertigte mir auch eine Bohrmaschine, ohne jemals eine solche gesehen zu haben.«

Die Arbeitsweise Dinnendahls zeigt dramatisch, wie unendlich schwer es war, englische Dampfmaschinen nachzubauen. Zwar gab es im Ruhrgebiet und anderswo begabte Handwerker und Techniker, sie mußten es aber auf einem steinigem Weg erst lernen, den speziellen Anforderungen des Dampfmaschinenbaus gerecht zu werden. Dazu gehörten nicht nur die Beherrschung der konstruktiven Grundlagen, die Kenntnis der Werkstoffeigenschaften, sondern auch die Schaffung von Technologien, die die Produktion geeigneter Werkstoffe erlaubten, und die Entwicklung von Werkzeugen und Maschinen, die die sachgerechte Bearbeitung des Materials ermöglichten. Kam es doch darauf an, stark belastbare große Werkstücke partiell mit der Genauigkeit von Feinmechanikern zu bearbeiten und die einzelnen Bauelemente so miteinander zu verbinden, daß sie dem Druck des Dampfes standhielten.

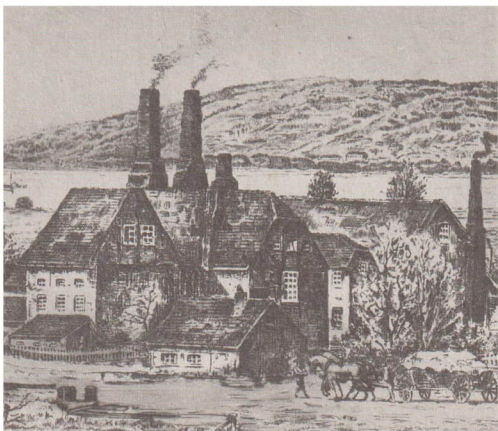
Es fehlte auch an risikobereiten und finanziell potenten Unternehmern, die – wie in Großbritannien – bereit gewesen wären, entweder Experimente zu finanzieren oder Dampfmaschinen zu kaufen. Schließlich mußten Produktionsstätten geschaffen werden, die über die notwendigen technischen Mittel und geeignete Fachleute verfügten. Dafür boten sich zunächst die Kupfer- und Eisenhütten, wie die bei Hettstedt bzw. Gleiwitz, an. Hier standen wenigstens Arbeitskräfte zur Verfügung, die mit Metall umgehen konnten. Die Hüttenwerke wurden deshalb zu den ersten Stätten des Dampfmaschinenbaus. Hinzu kam, daß die Hütten in der Regel Staatseigentum waren und der Staat, weil die entstehende Fabrikantenschicht dazu nicht in der Lage war, zum Motor und Finanzier bei der Einführung der Dampfkraft werden mußte. Es kam darauf an, den produktionstechnischen Vorsprung Englands auf dem Wege des Nachbaus wettzumachen.

Großbritannien suchte natürlich seine technische Vormachtstellung mit allen Mitteln zu erhalten. Man gewährte Erfindern einen wirkungsvollen Patentschutz und untersagte bis 1824 die Auswanderung bestimmter Fachkräfte. Als im Jahre 1800 die Wattischen Patente fielen, wurde Ausländern der Zutritt zu Fabriken untersagt, um den »Diebstahl mit den Augen« zu unterbinden. Recht und Gesetz waren aber nur die eine Seite. Wenn genügend blanke Münze geboten wurde – und nicht nur die Preußen und Sachsen taten dies –, dann schlossen britische Fabrikanten bzw. ihre Aufseher beide Augen, wenn Ausländer in ihren Fabriken Konstruktionsunterlagen anfertigten, dann erklärten sich britische Fachkräfte bereit, ihr Land zu verlassen, dann fanden sich Zöllner, die sie passieren ließen, und Kapitäne, die sie zum Festland brachten.

Deshalb hatte der später bekannte Maschinenbauer Friedrich Harkort bei einer Englandreise im Jahre 1819 keine Skrupel, Experten in seinen Betrieb nach Wetter an der Ruhr mitzunehmen, »denen der Boden im eigenen Vaterlande zu heiß geworden war«. »Ich habe damals«, so meinte Harkort, »verschiedene meiner Engländer sozusagen vom Galgen herunterschneiden müssen ...«

Eine andere Form des Techniktransfers bildete der Kauf englischer Dampfmaschinen. Das war zwar sehr zweckmäßig, denn an diesen Originalmaschinen konnten wesentlich mehr Erkenntnisse gewonnen werden als aus Zeichnungen und Modellen, aber der deutsche Dampfmaschinenbedarf wäre auf diesem Wege nicht zu decken gewesen. Dies nicht nur, weil die Verkäufer die unkundigen deutschen Einkäufer ungeniert kräftig übervorteilten, sondern weil auch der Transport große Schwierigkeiten bereitete. Man muß sich nur vorstellen, daß die ersten von Watt gebauten Dampfmaschinen fast 5 m hoch waren und eine Grundfläche von etwa 50 m² beanspruchten. Ein solches Monstrum, auch zerlegt, mit dem Segelschiff über die Nordsee, mit Lastkähnen weiter über Binnenwasserstraßen und schließlich mit Pferdewagen zum Zielort zu befördern war ein gewaltiges, Monate währendes Unternehmen.

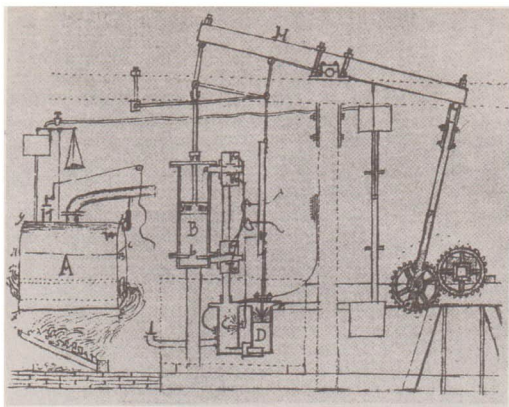
So machten sich immer wieder Festlandeuropäer auf



Produktionsstätte von Dinnendahl bei Steele

den Weg nach England, um dort vor Ort Konstruktionen zu erkunden, exakte Daten, Risse und Skizzen zu beschaffen. Trotzdem blieb das größte Problem die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in funktionstüchtige Dampfmaschinen. Deshalb wurden deutsche Staatsbeamte und Handwerker seit dem Ende des 18. Jahrhunderts vermehrt nach England geschickt mit eben diesem Auftrag, sich Zugang zu den Fabriken zu verschaffen, Konstruktionsunterlagen anzufertigen, Fachleute abzuwerben und den Bau der Maschinen zu beobachten.

Zu denen, die sehr früh nach England reisten, gehörte der preußische Bergbeamte Bückling. Das Ergebnis seiner Reise war der Bau der Hettstedter Dampfmaschine. Auch der Bayer Georg von Reichenbach fuhr 1791 in die »Werkstatt der Welt«. Er brachte unter anderem eine heimlich angefertigte Zeichnung einer doppelt wirkenden Dampfmaschine mit. Zwischen 1802 und 1805 hielt sich der sächsische Maschinenbauexperte Brendel in Frankreich, Belgien und England zu »Studienzwecken« auf.



Vom bayrischen Ingenieur Reichenbach heimlich angefertigte Skizze einer doppelwirkenden Betriebsdampfmaschine während seines Besuches bei Boulton & Watt 1791

Die diplomatischen Vertretungen der Königreiche Preußen und Sachsen in England, in Frankreich und in den USA standen ebenso im Dienst der Industriespionage wie Mitarbeiter der Filiale der Preußischen Staatsbank in London.

Diese Aktivitäten waren ein erster Schritt auf dem dornenreichen Weg des deutschen Dampfmaschinenbaus. Aber die Bemühungen eines Reichenbach erwiesen sich zunächst als unfruchtbar, da in Bayern niemand in der Lage war, z. B. Dampfzylinder oder Ventile in der notwendigen Qualität zu produzieren. Ähnliche Mißerfolge mußte der preußische Dampfmaschinenbau bis in das zweite Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts hinnehmen, wenn man an die Versuche denkt, Dampfmaschinen für die Berliner Unternehmer Tappert und Hummel bauen zu lassen bzw. Zahnradlokomotiven im oberschlesischen Revier und an der Saar in Betrieb zu nehmen. Alle diese Maschinen mußten letztlich verschrottet werden.

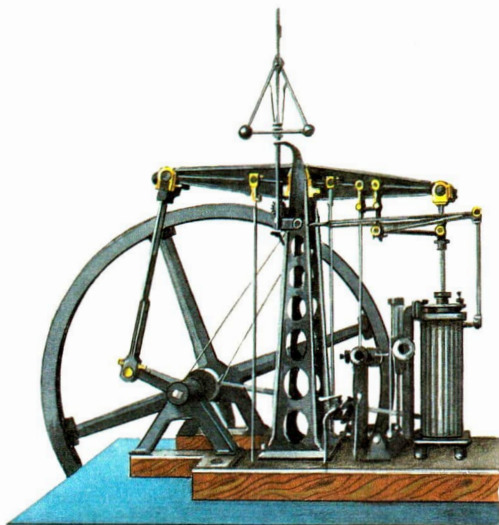
Trotzdem begann sich nach 1815 die Phase des Experimentierens im deutschen Dampfmaschinenbau ihrem Ende zuzuneigen. Neben den Dampfmaschinenbauabteilungen in den staatlichen Hütten und Gießereien entstanden vereinzelt private Spezialbetriebe. Ein erstes Zeichen dieser neuen Entwicklung setzte in Preußen der Mechaniker Georg Christian Freund, der sich in Berlin niedergelassen hatte und 1816 seine erste 4,40-kW- (6 PS) Dampfmaschine baute, eine Maschine, die bis 1902 genutzt wurde. Das Geheimnis seines Erfolges bestand darin, daß er als gelernter Mechaniker hervorragende Fähigkeiten und Fertigkeiten besaß. Mit Sachkenntnis und Talent vermochte er alle Teile mit größter Genauigkeit und Paßform herzustellen. Darüber hinaus gelang es, zur Steuerung der Expansionskraft des Dampfes den nach ihm bezeichneten »Freund'schen Sparhahn« zu entwickeln. Es war ein weiterer technischer Erfolg, der den Ruf des jungen Fabrikanten begründete. Als Georg Christian Freund 1819 – er war 26 Jahre alt – unerwartet auf einer Geschäftsreise nach Oberschlesien verstarb, übernahm sein erst 18jähriger Bruder Julius Konrad Freund die Leitung der Manufaktur. Schon zu Beginn der zwanziger Jahre beschäftigte diese Maschinenbauanstalt 50 Schlosser, Schmiede, Kupferschmiede, Tischler und andere Fachkräfte. Ein Sortiment von 21 verschiedenen Dampfmaschinen mit abgestuften Leistungen bis zu etwa 30 kW (40 PS) konnte außer anderen Erzeugnissen angeboten werden. Julius Konrad Freund wurde so erfolgreich, daß er als Stammvater des Berliner Maschinenbaus gelten kann.

Ein zweites Zeichen setzte der Engländer John B. Humphrey, der 1816 in Pichelsdorf bei Berlin das erste preußische Dampfschiff auf Kiel legte und bis 1820 vier Dampfer baute. Obwohl ihm kein Dauererfolg beschieden war, beflügelten diese Unternehmen die Staatsbehörden in zwei Richtungen: Man schickte jetzt verstärkt Mechaniker nach England, die aber nun nicht mehr allein die Dampfmaschinenkonstruktionen ergründen, sondern jene Fertigkeiten erlernen sollten, die der Maschinenbau erforderte. Franz Anton Egells reiste 1818, vom Staat mit 1100 Talern ausgestattet, nach Frankreich und England,

um Maschinenbauanstalten in Paris, London, Leeds, Manchester, Birmingham und anderen Städten zu besichtigen und um bei Boulton & Watt zu arbeiten.

Nach seiner Rückkehr gründete er 1821 in Berlin eine Maschinenbauanstalt und Gießerei, die 50 Jahre später ihre 3134. Dampfmaschine auslieferte. Der Mechaniker August Hamann eröffnete nach mehrjährigem Englandaufenthalt 1829 in Berlin eine Werkzeugmaschinenbauanstalt, in der er unter anderem jene englischen Drehbänke herstellen ließ, die für den Dampfmaschinenbau unerlässlich waren. Der Erfolg des Dampfmaschinenbaus,

Erste Balancierdampfmaschine von Freund. Das konstruktive Besondere daran war ein Oberflächenkondensator, um reines Speisewasser für den Kessel zu erhalten.



das wußte man, hing entscheidend davon ab, wie schnell es gelang, den Vorsprung Englands auch in der Metallbearbeitung durch den Nachbau geeigneter Maschinen aufzuholen.

Dampfmaschinen mußten druckfest sein, die einzelnen Teile so verbunden werden, daß möglichst wenig Dampf entweichen konnte. Deshalb war es eine technische Pioniertat, als 1775 der Engländer John Wilkinson ein Zylinderbohrwerk entwickelte, mit dessen Hilfe die Bohrgenauigkeit auf 1,5–2 mm reduziert werden konnte. Sie hatte vorher bei der Stärke eines kleinen Fingers gelegen. Nicht minder groß waren die Schwierigkeiten bei der Herstellung von Zahnrädern. Sie waren zunächst so grob gearbeitet, daß der Lärm, den sie verursachten, befürchten ließ, sie würden jeden Augenblick zerbrechen. Selbst der geniale Watt hatte, als er für sein Planetengetriebe derartig gearbeitete Zahnräder benutzen mußte, keine Möglichkeit gesehen, dies zu ändern. Er soll vielmehr gesagt haben: »Ich glaube, wir lassen besser die Zahnräder ihre Differenzen selbst miteinander ausmachen, sie werden sich mit der Zeit schon abschleifen.«

Je perfekter die Dampfmaschinen wurden, desto mehr Bauelemente waren notwendig; je mehr durch erhöhten Druck die Leistungsfähigkeit der Dampfmaschinen wuchs, desto größer mußten Paß- und Maßgenauigkeit sein. Besondere Schwierigkeiten bereitete die Fertigung runder Maschinenteile, denn die Drehbänke glichen prinzipiell noch denen des 16. Jahrhunderts. Das Werkstück wurde eingespannt und über ein mit Muskelkraft bewegtes Drehwerk in eine kreisende Bewegung versetzt, während der Dreher den Meißel gegen das Werkstück preßte. Handwerkliches Geschick und Muskelkraft waren dabei Trumpf. Harte Werkstoffe konnte man so kaum bearbeiten, die Herstellung runder, aber kurzer Werkstücke war gerade noch möglich. Problematisch wurde diese Technik, wenn es galt, aus härteren Werkstoffen längere Werkstücke, wie z. B. Kolbenstangen, abzdrehen, weil weder die axiale Parallelität noch die Geradlinigkeit der Mantellinie gewährleistet werden konnte.

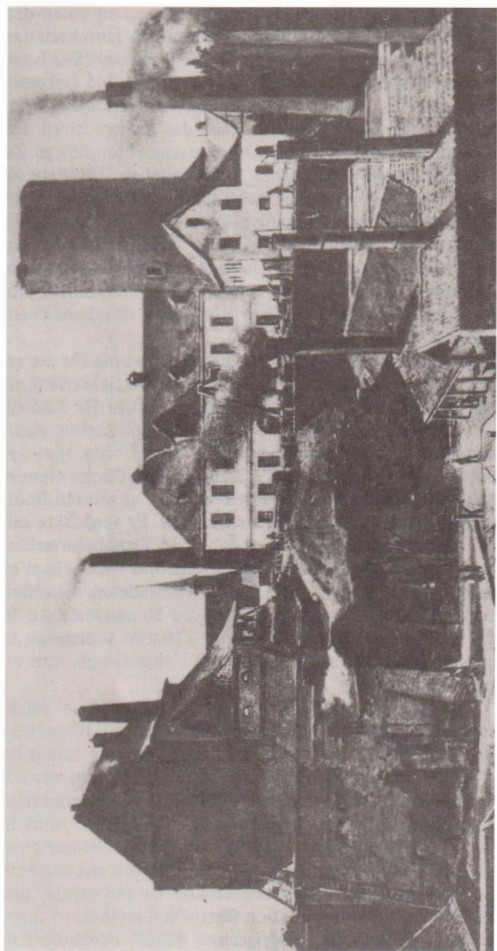
Deshalb war es für den Dampfmaschinenbau von fundamentaler Bedeutung, als in den letzten Jahren des

18. Jahrhunderts der Engländer Henry Maudsley eine Drehbank mit Support und Leitspindel erfand. Das Halten und Führen des Drehstahls übernahm nun ein Mechanismus. Außerdem konnte die Drehbank mit einem mechanischen Antrieb versehen werden. Die Bearbeitung härterer Werkstücke wurde dadurch ebenso einfach wie das parallele Drehen der Mantellinien von Zylindern oder das exakte Einhalten der Steigung und der Flankenwinkel bei Gewinden. Ein erster Schritt zur Produktion austauschbarer Maschinenteile war getan.

Diese und andere Techniken kamen über Importe, vor allem aber durch jene Mechaniker über den Ärmelkanal, die in britischen Maschinenbauanstalten gearbeitet hatten. Waren die Pioniere des deutschen Dampfmaschinenbaus, wie Holtzhausen, Dinnendahl und Freund, besessene Laien, die Kopf und Kragen, zum Teil ihre ökonomische Existenz aufs Spiel setzten, so bestand die folgende Generation aus versierten, risikobereiten Unternehmern. Sie konnten die seit den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts entstehenden technischen Bildungsanstalten besuchen und hatten die Möglichkeit, in leistungsstarken Maschinenbauanstalten, wie z. B. bei der Berliner Firma Egells, ihr theoretisches Wissen mit der industriellen Praxis zu verbinden. Diese Chancen nutzten so bekannte preußische Maschinenbauer wie Wöhlert oder auch Borsig.

Auf diese Weise entstanden, ausgehend von den Maschinenbauabteilungen in Hüttenwerken, in denen Bückling und Holtzhausen gearbeitet hatten, über einfache Werkstätten eines Dinnendahl und sich fortsetzend über die Dampfmaschinenmanufaktur eines Freund, leistungsfähige Industriebetriebe, die beachtliche Teile ihrer Kapazität für den Dampfmaschinenbau einsetzten. Zu ihnen zählten neben Wöhlert und Borsig in Berlin auch Hartmann in Chemnitz, Aston in Magdeburg, Alban in Plau (Mecklenburg), Harkort in Wetter, Egestorff in Hannover, Henschel in Kassel, Maffai in München, Klett in Nürnberg und Kessler in Karlsruhe.

Maschinenfabrik von Harkort auf Burg Wetter an der Ruhr



Nicht wenige dieser Unternehmen erhielten durch den Eisenbahnbau und die damit verbundene Durchsetzung der Hochdruckdampfmaschine neue Impulse. 1842 besaßen die deutschen Eisenbahngesellschaften 245 Lokomotiven. Nur 30 davon waren deutscher Herkunft. Neun Jahre später hatte sich die Zahl der Lokomotiven auf 1084 erhöht, davon waren 679 deutscher Produktion. Zu den Pionieren des deutschen Lokomotivbaus zählt vor allem der vielseitige sächsische Techniker Professor Schubert, der im Zusammenhang mit dem Bau der Eisenbahnverbindung zwischen Leipzig und Dresden 1839 nicht nur die erste mit Erfolg in Deutschland gebaute Lokomotive, die »Saxonia«, schuf, sondern eine Lokomotive produzierte, die ihren englischen Rivalinnen durchaus ebenbürtig war.

Ein Jahr später, am 17. Oktober 1840, wurde für die erste in Preußen gebaute Lokomotive die Betriebserlaubnis erteilt. Drei Jahre hatte der Wissenschaftler Dr. Ludwig Kufahl daran gearbeitet. Zu den erfolgreichsten deutschen Lokomotivbauern zählte allerdings Borsig. Ihm war es zwar nicht geglückt, das Königlich Preußische Gewerbeinstitut mit Erfolg zu absolvieren, aber er war ein findiger Praktiker und Geschäftsmann dazu. Er verdankte seinen Aufstieg zunächst dem Bau der Eisenbahnverbindung von Berlin nach Potsdam, denn von hier bekam er seinen ersten Auftrag. 50 Arbeiter schmiedeten, schnitten und feilten an 12 Ambossen und 20 Schraubstöcken in der 1837 eingerichteten Werkstatt 116 200 Schrauben in mühevoller Handarbeit. Noch 1837 richtete er eine eigene Gießerei ein.

Wie simpel die technische Ausstattung zunächst blieb, zeigt sich daran, daß dienstfreie Soldaten die Blasebälge bewegten. 1839 bat Borsig den Staat um die leihweise Überlassung einer schweren Drehbank, denn ihm war die Reparatur der bei der Berlin-Potsdamer Bahn eingesetzten amerikanischen Lokomotiven übertragen worden. Borsig erkannte und nutzte die damit verbundene Chance. 1840 begann er, diese Lokomotiven mit solchem Erfolg nachzubauen und konstruktiv zu verbessern, daß er 1844 zur Serienproduktion übergehen konnte. 15 Jahre nach Gründung der Borsigschen Maschinenbauanstalt

bestand die Grundausrüstung des Unternehmens bereits aus drei Dampfmaschinen, zahlreichen Drehbänken, Dampfhammern, Schmelzöfen, Gießformen, Drehkränen und Hobelmaschinen. Von den 1200 Arbeitern bildeten Schmiede, Schlosser, Bohrer, Gießer, Tischler und Zimmerleute den Stamm der Belegschaft. Zu ihnen gesellten sich in einem speziellen Konstruktionsbüro tüchtige Ingenieure und technische Zeichner. 1858 verkaufte das Unternehmen die 1000. Lokomotive.

Denkt man an die Bedingungen, unter denen Dinnendahl und andere Pioniere des Dampfmaschinenbaus gearbeitet hatten, dann wird deutlich, wie sich die Welt des Dampfmaschinenbaus verändert hatte. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts war kein Platz mehr für Bastler und Laien, sondern Ingenieure und Wissenschaftler begannen Konstruktion und Fertigung zu beherrschen. Natürlich blieben Facharbeitergeschick und Solidität unabdingbare Faktoren für den Erfolg, doch Qualitätsarbeit war nur noch in Verbindung mit leistungsfähigen Präzisionsmaschinen und unter Leitung qualifizierter Techniker möglich. Konnte Watt, der über Jahrzehnte ein patentgeschütztes Monopol im Dampfmaschinenbau besaß, in gewisser Sicherheit wirken, so war die Situation zur Zeit von Dinnendahl oder Freund insofern verändert, als sie Kontrakte abzuschließen hatten, zu deren Bedingungen die Einhaltung bestimmter Lieferfristen genauso gehörte wie das Erreichen vorgegebener Leistungsparameter.

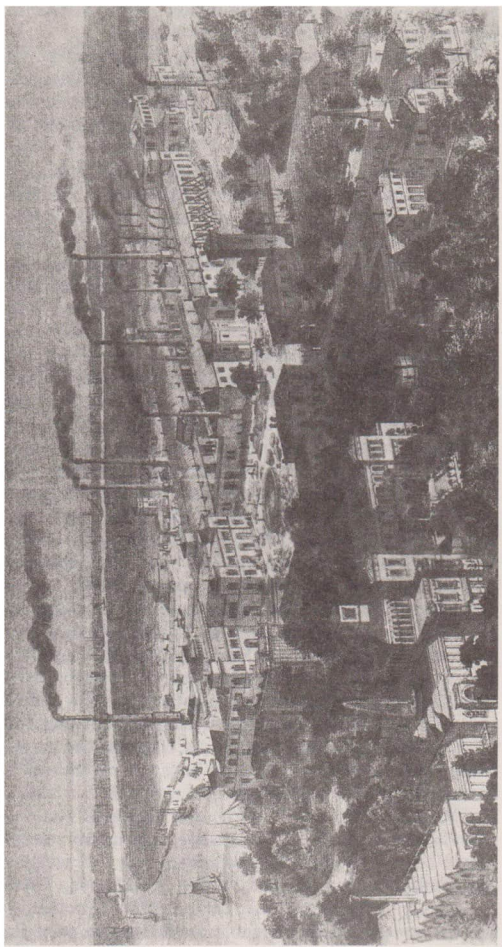
Unternehmer wie Borsig mußten dagegen ihre Maschinenbauerzeugnisse zum Teil schon auf Vorrat produzieren, um im Konkurrenzkampf bestehen zu können. Dazu war es nicht nur erforderlich, Arbeitskräfte zu haben, die über hohe Qualifikation verfügten, sondern auch die Fertigungsprogramme bedurften der Bereinigung. Borsig zählte noch zu jener Unternehmergeneration, die neben Lokomotivproduktion Bilderrahmen herstellte, bei Bedarf auch Ofenrohre fertigte.

Diese Ära neigte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ihrem Ende zu. Immer mehr Unternehmen begannen allmählich, ihre Produktion zu spezialisieren, sie bauten entweder Lokomotiven oder ortsfeste

Dampfmaschinen bzw. Lokomobile. Selbst bei der Herstellung von Einzelteilen, wie Kessel, Zylinder und Pumpen, traten Anfänge einer Arbeitsteilung zwischen den Unternehmen ein, denn Spezialisierung wurde zur Strategie im Konkurrenzkampf. Sie ermöglichte die effektivste Nutzung der Spezialmaschinen. Nur die Steigerung der Arbeitsproduktivität und der Arbeitsintensität bei steigender Qualität der Erzeugnisse konnte ein Überleben im nationalen und internationalen Konkurrenzkampf sichern.

In dieser stetigen Auseinandersetzung sollten aber die vom Laienrisiko über die Expertenweisheit gewonnenen Erfahrungen bald nicht mehr ausreichen. Die in der Praxis erzielten Erkenntnisse verlangten nicht nur eine theoretische Grundlage, sondern auch wissenschaftliche Unterstützung bei Weiter- und Neuentwicklungen. Im Gegensatz zu anderen Maschinen waren der Bau und der Betrieb von Dampfmaschinen wesentlich komplizierter, weil letztlich sich Vorgänge abspielten, die dem Auge verborgen blieben. Diese »unsichtbaren« und voneinander abhängigen Abläufe wie Dampfdruck, Kolbenbewegung und Maschinenleistung konnten schließlich nur noch mit Hilfe der Wissenschaft »sichtbar« gemacht und damit dann auch gezielter optimiert werden. Deshalb vollzog sich die weitere Entwicklung der Dampfmaschine auf der Basis einer immer enger werdenden Verbindung von Empiri und Theorie, bei der im Verlauf der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Wissenschaft zu dominieren begann.

Zwei Faktoren waren für diese Vorherrschaft ausschlaggebend. Seit »Geburt« der Dampfmaschine war das Bemühen der Techniker darauf gerichtet, bei einem minimalen Brennstoffeinsatz eine maximale Maschinenleistung zu erreichen. Das setzte einmal voraus, daß solche naturwissenschaftliche Phänomene wie Erzeugung des Dampfes und sein Druck ebenso beherrscht werden mußten wie seine Kondensation und das Vakuum. Zum anderen kam es darauf an, diese Naturkräfte in Kesseln, Rohr-



leitungen, Ventilen und Zylindern vom Menschen gesteuert produktiv zur Wirkung zu bringen.

Diese beiden Grundprobleme, die Generationen von Praktikern, Ingenieuren und Theoretikern beschäftigten, erfuhren ihre wissenschaftliche Erklärung durch die Technische Thermodynamik. Watt hatte bereits damit begonnen, zu erforschen, was im Zylinder seiner Kolbendampfmaschine passierte. Er baute mit dem »Indikator« ein Gerät, das den Dampfdruck im Zylinder bei verschiedenen Kolbenstellungen maß und registrierte. Die damit gewonnenen Indikatordiagramme zeigten den Dampfdruck in Abhängigkeit vom Kolbenweg. Nun war die Theorie herausgefordert, jene Vorgänge wissenschaftlich zu erfassen, die eine verlustarme Umwandlung von Wärmeenergie in Bewegungsenergie ermöglichten. Zur Grundlage einer wissenschaftlichen Optimierung des Wirkungsgrades der Dampfmaschinen wurde die Technische Thermodynamik. Wesentliche Beiträge leisteten Carnot, Claudius, Mayer, Joule und Zeuner. Wie positiv sich diese, besonders nach dem Aufkommen der Hochdruckdampfmaschine, unabdingbare Ehe zwischen dem – praktischen – Dampfmaschinenbau und der – theoretischen – Wissenschaft Technische Thermodynamik auswirkte, möge folgender Zahlenvergleich belegen. Galten um 1830 Dampfmaschinen mit 30 PS als Spitzenleistungen, so war man ein halbes Jahrhundert später in der Lage, Maschinen mit 1000 PS und mehr zu produzieren.

Allerdings war dieser erzielte Leistungsanstieg nur möglich geworden, weil der Maschinenbau sich als fähig erwies, wissenschaftliche Erkenntnisse in entsprechende Dampfmaschinen umzusetzen. Angeführt von den Praktikern und Technikern Großbritanniens, Belgiens und den USA, verließ der Maschinenbau die Grenzen der manufakturellen Produktion und ging über zur maschinellen Produktion, die die notwendige Maßgenauigkeit erlaubte. Der Meister wurde ersetzt durch den Ingenieur und Diplomingenieur. Auch die Metallurgie begann auf wissenschaftlicher Grundlage zu produzieren, um den steigenden Anforderungen gerecht werden zu können. Diese resultierten insbesondere aus der erhöhten Druckfestigkeit der verschiedenen Elemente der Dampfmaschine im

Zusammenhang mit der fortschreitenden Verbreitung der Hochdruckdampfmaschine. Deshalb gewannen technische Wissenschaften wie Maschinenkunde und Festigkeitslehre ebenfalls wachsende Bedeutung. Dabei ging es nicht schlechthin um die Produktion von druckfesten Röhren, Zylindern, Kesseln, Kurbelstangen und Kurbelwellen, sondern um die Bewältigung von Problemen eines statischen und dynamischen Festigkeitsverhaltens, die mit dem Großmaschinenbau verbunden waren. Eingeschlossen darin war auch die exakte Ermittlung der absoluten Leistungsgrenze einer Dampfmaschine. Es zeigte sich also, daß die Verknüpfung von Dampfmaschine und Wissenschaft früher einsetzte als in anderen Teilen des Maschinenbaus. Zum anderen wirkte der Bau und der Betrieb von Dampfmaschinen – und das muß als eine Besonderheit angesehen werden – stimulierend auf die Entwicklung zahlreicher technischer Disziplinen wie Werkstoffkunde, Festigkeitslehre und Kinematik.

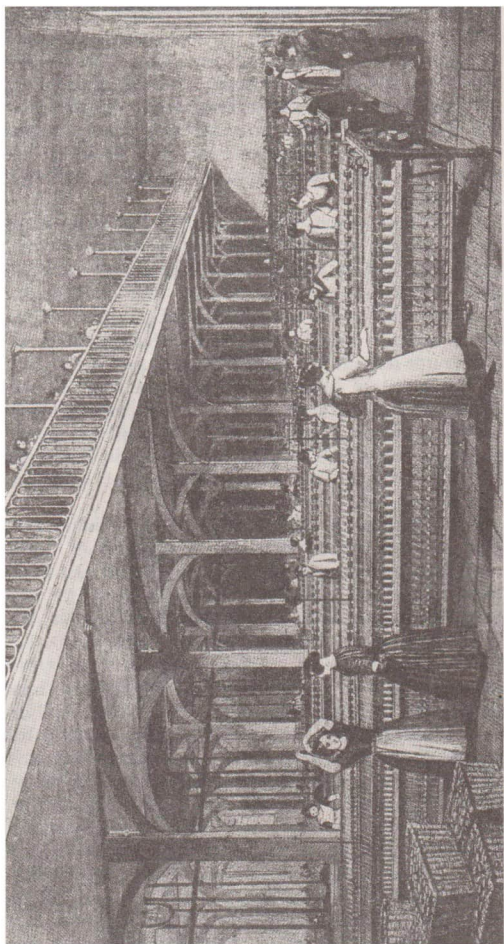
Der »allgemeine Agent der großen Industrie«

Die revolutionäre Schaffung kapitalistischer Produktionsverhältnisse war eine Grundbedingung für den in Westeuropa einsetzenden Aufschwung des Gewerbes und der Manufakturen. Diese Entwicklung führte schließlich dazu, daß sich in England seit Mitte der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine zwar stille, aber tiefgreifende Revolution im System der Produktivkräfte vollziehen konnte.

Das Surren der Handspinnräder, das Schlagen der Webstühle, das Knarren der Göpelwerke und der Windmühlen sowie das Rauschen des Wassers an den Wassermühlen begann dem harten Takt der Maschinen zu weichen. Ausgelöst wurde diese gewaltige produktionstechnische Umwälzung durch die Erfindung und Weiterentwicklung der Spinnmaschinen. Bald sollten immer neue Gewerbe folgen, in denen nicht mehr manuell, sondern maschinell produziert wurde. Die Handarbeit wurde zügig durch die Maschinenarbeit abgelöst. Die industrielle Revolution war unaufhaltsam auf dem Vormarsch.

Für den Antrieb der ersten einfachen Spinnmaschinen, wie der »Spinning Jenny« (1764) des Webers James Hargreaves, reichte noch die Muskelkraft des Menschen aus. Bald wurden aber Spinnmaschinen entwickelt – so die »Waterframe« von Richard Arkwright (1769) und die »Mule« von Samuel Crompton (1778) –, die einen wesentlich höheren Antriebsenergiebedarf hatten. Die Versuche, diesen wachsenden Energiebedarf mit Hilfe von

Blick in einen englischen Spinnmaschinenaal



Pferden, Ochsen oder Eseln in Göpelwerken zu decken, schlugen letztlich fehl. Nicht nur weil sie unökonomisch waren, sondern weil Ochs und Pferd ihren eigenen Kopf hatten und sich nicht so bewegten, daß ein ruhiger Lauf der Maschinen – und darauf kam es an – gewährleistet war. Wasser- und Windräder wiesen zwar einen kräftigen und relativ ruhigen Gang auf, aber ihre Kapazität war nicht nur begrenzt, sondern auch von den Launen der Natur abhängig.

Die Erfindung von Spinnmaschinen und anderen Arbeitsmaschinen bot die Möglichkeit, die Arbeitsproduktivität sprunghaft zu steigern. Das konnte aber nur realisiert werden, wenn es gelang, den steil ansteigenden Antriebsenergiebedarf zu sichern. Dies galt um so mehr, als die in den Wohnstätten betriebene Handspinnerei ruiniert wurde und die Maschinenspinnerei sich in Fabriken zu konzentrieren begann. Im Gegensatz zum Hausgewerbe und zur Manufaktur mit ihrer Handarbeit entwickelte sich mit der Fabrik die für die Maschinenarbeit typische Produktionsstätte. Hier regierte – wie überall im Kapitalismus – das Gesetz des Profits. Nur bei laufenden Maschinen wurde Gewinn gemacht.

Dieser Forderung konnte selbst das Wasserrad nicht genügen. Die Wasserkraftreserven waren nicht unerschöpflich. Je mehr Fabriken sich an Bächen und Flußläufen ansiedelten, desto mehr mangelte es an Triebwasser, denn man grub sich ja gegenseitig das Wasser ab. Die Wasserläufe waren weder verlängerbar, noch konnte das Gefälle beliebig erhöht werden. Selbst die Erweiterung der einzelnen Fabrik blieb in den unverrückbaren Grenzen, die die Leistungsfähigkeit des Wasserrades – sie lag bei 7,40 kW (10 PS) – vorschrieb. Mit der massenhaften Ersetzung der Handarbeit durch die ungleich effektivere Maschinenarbeit entstand allmählich eine Energiekrise, die mit den althergebrachten Mitteln nicht lösbar war. Boulton erfaßte dieses Problem gewiß nicht theoretisch. Er erkannte aber, daß der Handarbeit die Muskelkraft genügte, während die Maschinenarbeit eine Antriebsmaschine verlangte. Für den Bergbau war diese Frage insofern gelöst, als man die dampfbetriebene Pumpmaschine geschaffen hatte. Sie war jedoch in der verarbeitenden In-

dustrie nicht brauchbar, weil mit ihrer Hilfe keine Kreisbewegung erzeugt werden konnte. Wenn aber die verarbeitende Industrie ihre Arbeitsmaschinen mit Maschinenkraft betreiben wollte, dann mußte eine Kraftmaschine entwickelt werden, die nach dem Rotationsprinzip arbeitete. Diese Marktlücke sehend und das Geschäft witternd, schrieb Boulton im Juli 1781 an Watt: »Ich möchte Sie nicht drängen, aber ich finde ..., wir sollten uns entschließen, gewisse Methoden, die die Bewegung der Feuermaschine in rotierende Bewegung umsetzen, patentie-

*Produktionsstätte mit dem klassischen dreiteiligen Maschinensystem:
Dampfmaschine – Transmission – Arbeitsmaschine*





Fabrikanlagen mit rauchenden Schornsteinen und angrenzenden Arbeiterwohnsiedlungen begannen ganze Städte zu prägen.

ren zu lassen.« Im Oktober des gleichen Jahres hatte Watt das Problem gelöst, die doppelt wirkende Dampfmaschine, die eine kreisende, eine Drehbewegung vollbrachte, war geboren. Damit war eine universelle Antriebsmaschine entstanden, oder auch »ein allgemeiner Agent der großen Industrie«, wie Watt diese Dampfmaschine in der Patentschrift nannte.

Die kontinuierliche Kreisbewegung erlaubte die Dampfkraftnutzung außerhalb des Bergbaus, sei es in der Textilindustrie, der Metallverarbeitung, der Holzverarbei-

tung, der Mühlenindustrie und wenige Jahrzehnte später im Verkehrswesen und in der Landwirtschaft.

Der durch die Erfindung der Spinnmaschine ausgelöste Prozeß der industriellen Revolution wäre ohne die Dampfkraft zwerghaft geblieben. Erst durch die Vermählung der Arbeitsmaschine und der Dampfmaschine mit Hilfe der Transmission wurde die maschinelle Produktion auf eine stabile, entwicklungsfähige Basis gestellt. Mit der Herausbildung des dreiteiligen Maschinensystems, Arbeitsmaschine – Transmission – Dampfmaschine, sowie deren Aufstellung in der neugeschaffenen Produktionsstätte, der Fabrik, begann sich der Siegeszug der Fabrikindustrie zu beschleunigen.

Die moderne Dampfmaschine, deren Leistung unbegrenzt erweiterbar zu sein schien, ließ sich überall dort einsetzen, wo günstige Produktionsbedingungen durch Rohstoffe, Arbeitskräfte und Verkehrsknotenpunkte ebenso wie vorteilhafte Absatzbedingungen für die Fabrikwaren gegeben waren. Die Dampfmaschine ermöglichte die Konzentration der maschinellen Produktion an bestimmten Punkten. Sie wurde dadurch zur Mutter der Industriestädte, aus denen sich zahlreiche heute bestehende Großstädte entwickelten. Rauchende Fabriksschornsteine wurden Symbol für Fortschritt und Größe.

In dem Maße, wie es wiederum mit Hilfe der Dampfmaschine gelang, das Verkehrswesen zu revolutionieren, konnte sich die Fabrikindustrie von dem zunächst gegebenen Zwang der Ansiedlung in der Nähe von Kohlevorkommen befreien. Eisenbahnen und Dampfschiffe machten erstmals in der Geschichte der Menschheit den massenhaften Ferntransport eines Energieträgers, der Kohle, möglich. Es war fast problemlos, die aufstrebende Industrie von Berlin mit englischer, schlesischer oder auch böhmischer Kohle zu versorgen. Darüber hinaus erlaubte die neue Dimension der Energieumwandlung, die mit Hilfe der Dampfmaschine möglich wurde, die Schaffung von großen Fabriken. Die Folge war der Ruin kleiner und mittlerer Unternehmen und erst recht von Teilen des produzierenden Handwerks. Eine hochleistungsfähige Dampfmaschine war in der Lage, eine große Zahl von Arbeitsmaschinen zentral anzutreiben. Wenn ihre Kapazität

dennoch zu gering blieb, dann setzte man mehrere Dampfmaschinen in einer Fabrik ein.

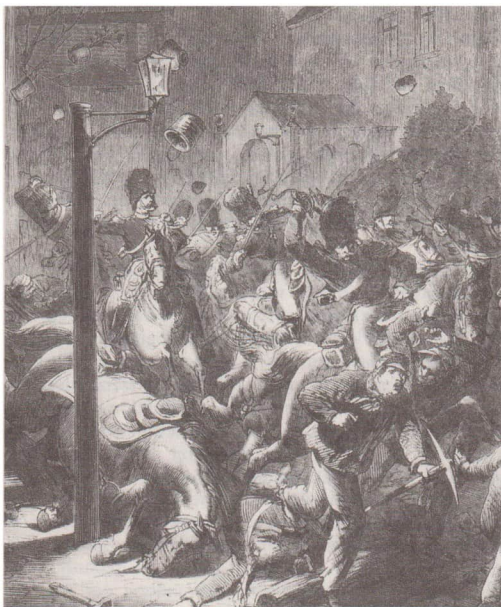
Der gewaltige produktionstechnische Fortschritt, den die Dampfmaschine verkörperte, führte in der Hand der kapitalistischen Unternehmer allerdings zu außerordentlich widersprüchlichen sozialen Folgen. Watt hatte – wie andere Pioniere des Dampfmaschinenbaus – geglaubt, daß die Dampfkraft geeignet sei, den Menschen die Arbeit zu erleichtern, ihn von physischen Belastungen zu befreien. Natürlich war das so. Gleichzeitig verloren aber jene Bergleute Arbeit und Brot, die bis dahin in der Wasserhaltung beschäftigt waren. Ein ähnliches Schicksal erlitten die Treidler durch die Einführung der Dampfschiffahrt auf den Flüssen und die Fuhrleute durch die Eisenbahn. Aber nicht nur diese Arbeitergruppen mußten versuchen, neue Arbeitsstellen zu finden, auch in der Industrie blieb der technische Fortschritt nicht ohne negative soziale Auswirkungen. Je perfekter die Arbeitsmaschinen mit den Dampfmaschinen verbunden wurden, desto schneller und desto mehr konnte produziert werden. Je mehr aber die Maschinen produzierten, desto weniger Arbeiter brauchte man. Sie wurden erbarmungslos auf die Straße gesetzt und vergrößerten die Zahl der Arbeitslosen, die bereit waren, für jeden Lohn zu arbeiten, wie gleichermaßen ein Heer von Arbeitenden entstand, über dem ständig die Angst vor der Arbeitslosigkeit schwebte. Watt erkannte die wirklichen Ursachen des Arbeiterelends nicht. Er wähnte, die Not wäre Folge seiner genialen Erfindungen, und er erleichterte sein Gewissen, indem er milde Gaben verteilte.

Doch auch viele Arbeiter sahen ihre soziale Notlage im technischen Fortschritt verankert. Ließ ein zu hoher Dampfdruck gelegentlich Dampfkessel in die Luft fliegen, so machten sich die Arbeiter nicht selten Luft, indem sie Dampfmaschinen und andere Maschinen zerstörten. Vermehrte die maschinelle Produktion die Zahl der »überflüssigen« Arbeiter, so war die Fabrikproduktion für die, die an den Maschinen standen, alles andere als segensreich. Je perfekter die Maschinerie lief, desto größer wurde die Arbeitshetze. Bestimmte vordem der Handwerker, der mit seinen Händen und Werkzeugen arbeitete,

das Arbeitstempo, war es jetzt in der Fabrik die Maschine, die gnadenlos den Arbeitstakt vorgab. Die Fabrikarbeiter wurden in das Maschinensystem integriert. Die mögliche physische Entlastung durch die Maschinenarbeit wurde von den Fabrikanten in Unternehmervorteil umgemünzt, denn man konnte nun einerseits in großer Zahl niedrig entlohnte Frauen und Kinder beschäftigen und andererseits zur Mehrmaschinenbedienung übergehen. Der technische Fortschritt wurde in der Hand des Kapitals zu einem Instrument der Ausbeutung der Arbeiterklasse.

Jede neue Maschine, die erfunden wurde, führte zur Mechanisierung immer weiterer Teile der Produktion. Der Konkurrenzkampf zwischen den Fabriken ließ nur die leistungsstärksten Unternehmen überleben, die sich dort zusammenballten, wo sie die günstigsten Produktionsbedingungen vorfanden. Mit der Konzentration der materiellen Bedingungen der Produktion, wie der Maschinen, Gebäude, Verkehrseinrichtungen, kam es zwangsläufig auch zur Konzentration der Arbeitskräfte. Auf diese Weise begünstigten die Großunternehmen und Großstädte nicht nur die Solidarisierung des Proletariats, sie erleichterten objektiv auch die gewerkschaftliche und politische Organisation der immer bewußter handelnden Arbeiterklasse im Kampf nicht gegen die Technik, sondern gegen die kapitalistische Anwendung der Technik und gegen die Bourgeoisie. Die Dampfmaschine – im Bündnis mit der Arbeitsmaschine – erwies sich in der bürgerlichen Gesellschaft objektiv auch als Agent der Arbeiterklasse. Die Dampfmaschine als Geburtshelfer der Großunternehmen und der Großstädte trug wesentlich dazu bei, die sozialen Konflikte zu konzentrieren und sie mit einer Sprengkraft auszustatten, gegen die die Kraft aller Hochdruckdampfmaschinen winzig war. Zu Beginn der Entwicklung der Dampfmaschine zerschlugen die Arbeiter gelegentlich die Maschinen. Zum Zeitpunkt der technischen Reife der Kolbendampfmaschine vermochten sich die politisch organisierten Arbeiter in zielstrebigem Streiks gegen Ausbeutung und Unterdrückung zur Wehr zu setzen.

Der »allgemeine Agent der großen Industrie«, die



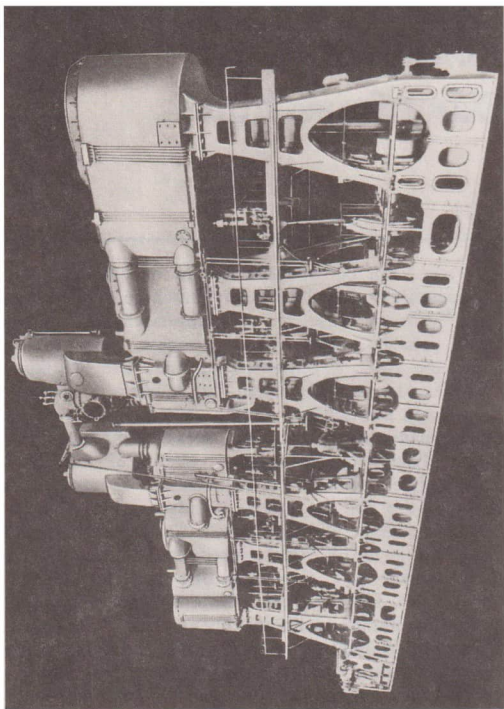
Streikende Gruben- und Hüttenarbeiter in Seraing (Belgien) werden am 9. 4. 1869 von Regierungstruppen auseinandergetrieben.

Dampfmaschine, war am Ende der industriellen Revolution in Deutschland in der Fabrikindustrie und im Bergbau fest etabliert. Sie hatte sich als Eisenbahn im Landverkehr unentbehrlich gemacht und war aus der Binnen- und der Hochseeschifffahrt nicht mehr wegzudenken. Als Lokomobil hielt sie Einzug in die Landwirtschaft. Als wesentlicher Teil der materiell-technischen Basis des Fabriksystems wurde auch die Dampfmaschine zu einem Bestandteil jenes Herrschaftsinstrumentariums, mit dessen Hilfe die Bourgeoisie neue Unfreiheit, neue Ungleichheit und neue Klassengegensätze schuf.

Renaissance der Dampfmaschine?

Im Verlauf der industriellen Revolution hatten die Arbeitsmaschinen die Kolbendampfmaschine als den absoluten Souverän unter den Antriebsmaschinen auf den Thron gehoben. König Dampfmaschine, so schien es, hatte eine ewige Regentschaft vor sich. Die Fabrikproduktion erklomm neue Höhen. Die Anzahl der Länder – unter ihnen Deutschland –, die sich von Agrarstaaten zu Industrieländern entwickelten, wuchs. Mehr, neue und bessere Lokomotiven wurden in aller Welt eingesetzt. Stetig größer wurden die die Ozeane überquerenden Dampfschiffe. Auf der vom Norddeutschen Lloyd 1907 in Dienst gestellten »Kronprinzessin Cecilie« befand sich die größte je in ein Schiff eingebaute Kolbendampfmaschinenanlage mit einer Leistung von 34 000 kW (45 000 PS). Dampfbagger, Dampfrahmen, Dampfhammer, Dampfkräne gehörten ebenso zum Alltag wie Dampfwalzen und andere Großaggregate. Die Konstrukteure, Ingenieure und Techniker waren ständig bemüht, die Dampfmaschine den sich verändernden Anforderungen anzupassen und dieser Kraftmaschine neue Anwendungsfelder zu erschließen. Und dennoch sollte sich schon an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert das Ende der Kolbendampfmaschine ankündigen.

Die ersten Grenzen zeigten sich, als man versuchte, die Dampfmaschine dem Luftverkehr zu erschließen. Auch für den Straßenverkehr erwiesen sich dampfgetriebene Fahrzeuge als untauglich. Dies führte zu empfindlichen wirtschaftlichen Störungen; denn in dem Maße, wie Großunternehmen und Großstädte entstanden, wurde die Entwicklung des innerstädtischen Verkehrs ebenso drin-



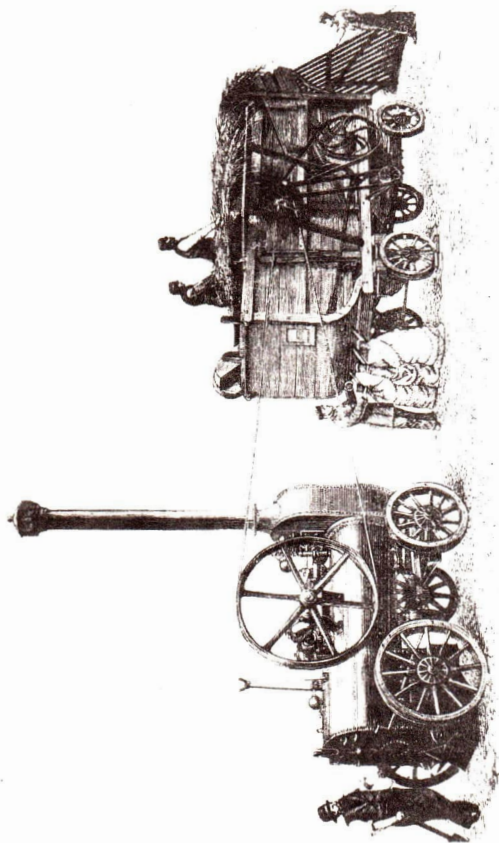
Teil der Dampfmaschinenanlage auf einem Ozeanschnelldampfer um die Jahrhundertwende

gend notwendig wie die Schaffung von Verkehrsmitteln, die den Transport zwischen Güterbahnhof und Fabrik effektiv bewältigen konnten. Dies war besonders in den Großbetrieben dringlich, die abseits von Bahnhöfen und Wasserstraßen angesiedelt waren und nicht über Anschlußgleise verfügten. Selbst in der überseeischen Passagierschifffahrt stieß man mit der Dampfmaschine auf objektive Leistungsgrenzen, als im Rausch der Geschwindigkeit immer schnellere und zugleich größere Schiffe projektiert wurden.

Die besonderen Produktionsbedingungen, aber auch die Eigentumsstruktur in der Landwirtschaft ließen eine breite Nutzung der Dampfkraft dort von vornherein nur bedingt zu. Zwar verstand man es schon seit längerer Zeit, mit Hilfe von Lokomobilen mehrscharige Pflüge, sogenannte Dampfpflüge, und Dreschmaschinen zu betreiben. Aber der Einsatz von Lokomobilen war nur dort möglich, wo große Produktionseinheiten bestanden. Die Masse der Bauern blieb von dieser Errungenschaft ausgeschlossen. Dazu kam, daß die Hauswirtschaft mit Hilfe der Dampfkraft nicht mechanisiert werden konnte. Unter diesen Bedingungen war an eine wirkungsvolle Mechanisierung der Landwirtschaft nicht zu denken.

Am deutlichsten machten sich die Grenzen der Kolbendampfmaschine in dem Teil der Wirtschaft bemerkbar, der die ökonomische und die technische Entwicklung bestimmte, in der Industrie. Das zeigte sich einmal in erheblichen Niveauunterschieden im Mechanisierungsgrad der einzelnen Industriezweige, zum anderen in den veränderten Anforderungen, die die neue Generation der Arbeitsmaschinen an die Antriebsmaschinen stellte. Die industrielle Revolution hatte im allgemeinen zum Sieg der Maschinenarbeit über die Handarbeit geführt. Es gab aber nicht wenige Zweige, die erst an der Schwelle einer umfassenden Mechanisierung standen. Dazu gehörten solche Branchen wie die Lebensmittel-, Möbel-, Leder- und die Bauindustrie sowie verschiedene Dienstleistungsbereiche.

Die Schaffung von schnellaufenden Kleindampfmaschinen zur Deckung des neuentstandenen Bedarfs an Antriebsenergie konnte nur eine technische Zwischenlö-



Lokomobile für den Antrieb einer Dreschmaschine

sung sein. Dies um so mehr, weil Kolbendampfmaschinen bestimmte Drehzahlen nicht überschreiten konnten. Damit war eine generell objektive Leistungsgrenze bei der Entwicklung der Dampfmaschine erreicht. Überdies war es dort, wo ein relativ geringer Energiebedarf vorlag, viel zu aufwendig, erst Dampfkessel anzuheizen, um z. B. Zentrifugen, Kreissägen oder Tellerwaschmaschinen in Betrieb zu setzen. Diese Nachteile der Dampfmaschine galten gleichermaßen für die Kleinmechanisierung in der Landwirtschaft wie für den Straßen- und Luftverkehr. Alternative Lösungen mußten gesucht werden. Gas-, Benzin-, Diesel- und Elektromotoren brachten sie.

Neue Anforderungen stellte auch die Schwerindustrie. Im Bergbau war zwar der Transport beachtlich mechanisiert, der eigentliche Abbau blieb dagegen weiterhin schwere körperliche Handarbeit. In der Hüttenindustrie erreichten gegen Ende des Jahrhunderts die Hochöfen Höhen von mehr als dreißig Metern. Ihre Beschickung mit einfachen Aufzügen wurde ebenso problematisch wie die Aufstellung von Dampfmaschinen auf diesen Kolossen.

Vor schier unlösbare Schwierigkeiten wurde die Kolbendampfmaschine durch die neue Generation der Arbeitsmaschinen gestellt. Diese waren hochtourig und verlangten mit wachsender Drehzahl zugleich eine weitere Beruhigung des Maschinenlaufs. Sie wiesen bei höherer Effektivität einen geringeren Antriebsenergiebedarf auf und erlaubten die Mechanisierung neuer Teilfertigungen in kleinen Produktionseinheiten. Zu ihnen zählten moderne Spinn- und Webmaschinen, Strick- und Stickmaschinen, mit Schnelldrehstählen ausgestattete Metallbearbeitungsmaschinen, Druckmaschinen, Ventilatoren.

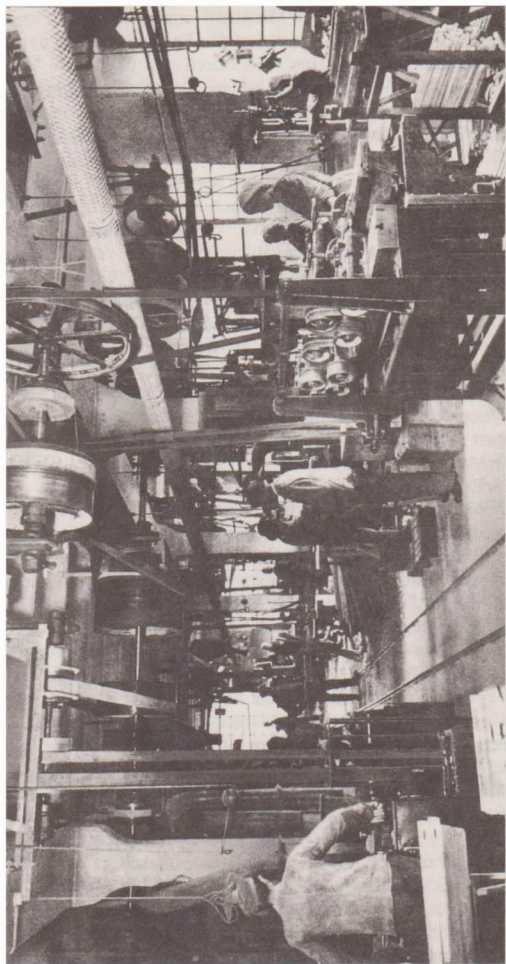
Den Technikern war es im Verlauf des 19. Jahrhunderts geglückt, die Umlaufgeschwindigkeiten der Dampfmaschinen wesentlich zu erhöhen. Dagegen war es nicht gelungen, gleichzeitig auch die Transmissionen zu vervollkommen. Subtransmissionen schufen nur eine gewisse Erleichterung. Je größer die einzelne Produktionsstätte wurde, je mehr Subtransmissionen man einbaute, desto größere Energieverluste traten durch Reibung ein. 60 bis 80 Prozent der von der Dampfmaschine abgegebene

nen Antriebsenergie wurden unter Umständen auf dem Wege zur Arbeitsmaschine verbraucht. Die gleiche Arbeitsmaschine, die der Dampfmaschine Weltgeltung verschafft hatte, begann jetzt am Zentralantrieb und damit am Thron der Dampfmaschine zu rütteln. Die Gründe dafür waren technischer und ökonomischer Natur.

Im Verlauf der industriellen Revolution war die handwerkliche Einzelfertigung durch die maschinelle Großproduktion ersetzt worden. Nach ihrem Ende setzte der Übergang zur fließenden Massenfertigung bei wechselndem Erzeugnissortiment ein. Der zentrale Dampfantrieb, der die Energieaufteilung auf die verschiedenen Arbeitsmaschinenarten so sehr erschwerte, konnte diesem Trend immer weniger folgen. Die inzwischen entwickelten Spezialmaschinenarten ließen sich nicht rationell anordnen, sondern mußten in Maschinengruppen mit der gleichen Umlaufgeschwindigkeit um die Subtransmissionen gruppiert werden. Umgruppierungen entsprechend den wechselnden Marktanforderungen waren deshalb außerordentlich schwer durchzuführen. Darum begann um die Jahrhundertwende der Standard der Transmissionen die Weiterentwicklung der Produktion so empfindlich zu hemmen, daß von einer Krise des Fabriksystems gesprochen werden konnte. Was gebraucht wurde, waren technologisch mobile Arbeitsmaschinen, deren Anordnung leicht veränderbar war, die in ihrer Beweglichkeit sozusagen den Bewegungen des Marktes folgen konnten.

Die ideale Lösung dieses Problems bestand darin, die Trennung von Arbeitsmaschine, Transmission und Bewegungsmaschine aufzuheben und die drei Elemente des klassischen Maschinensystems kompakt in einem Aggregat zu vereinigen. Dazu mußte aber erst eine geeignete Antriebsmaschine entwickelt werden. Man fand sie im Elektromotor. Seine Ursprünge lassen sich bis in das Jahr 1831 zurückverfolgen. Damals entdeckte der englische

Die Transmissionen zur Kraftübertragung gestalteten sich entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen der Arbeitsmaschinen sehr differenziert. Neben Haupttransmissionen bestanden gleichzeitig Subtransmissionen.



Chemiker und Physiker Michael Faraday die elektromagnetische Induktion. Doch erst die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips 1866 durch den deutschen Wissenschaftler Werner von Siemens und seine technische Umsetzung in eine Dynamomaschine brachten den entscheidenden wissenschaftlich-technischen Durchbruch. Die Umkehrung dieses Prinzips bot die Möglichkeit, Elektroenergie in mechanische Bewegung umzuwandeln.

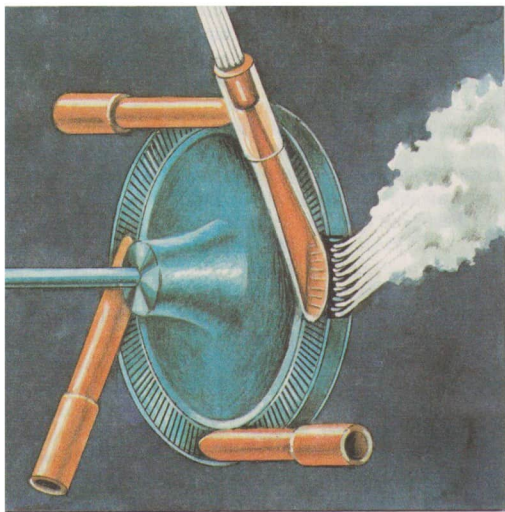
Bevor der Elektromotor jedoch zu einem wirkungsvollen Produktionsfaktor werden konnte, mußten in jahrzehntelanger wissenschaftlich-technischer Arbeit viele Probleme – bis hin zum Kraftwerksbau – gelöst werden. 1907 erbrachten alle Elektromotoren in Deutschland erst eine Gesamtleistung von 1,5 Mill. kW (2 Mill. PS). Ebenso wie die Dampfkraft zu Beginn der industriellen Revolution zunächst neben die traditionellen Energiequellen trat, gesellte sich jetzt der Elektromotor zur Dampfmaschine. Seine Vorzüge bestanden unter anderem darin, daß er kleinsten Raum beanspruchte und ohne besondere Vorkehrungen – nur per Knopfdruck – in Betrieb gesetzt werden konnte. Vor allem aber löste er die Arbeitsmaschinen aus ihrer Abhängigkeit von der Dampfmaschine und den Transmissionen. Jede Arbeitsmaschine konnte jetzt mit einem eigenen Antriebsaggregat ausgestattet werden, das über kaum sichtbare und nicht störende Zuleitungen mit Energie gespeist wurde. Der Vorteil dieser Technologie ist offensichtlich.

Doch auch die neue Energieform, die Elektroenergie, stand zunächst in untrennbarer Verbindung mit der Kolbendampfmaschine, weil sie neben der Wasserkraft die Generatoren zur Stromerzeugung antrieb. Die Generatoren arbeiteten allerdings am effektivsten, wenn sie mit leistungsstarken, schnell und extrem ruhig laufenden Antriebsaggregaten verbunden waren. Die deutschen Dampfmaschinenbauer erwiesen sich bis zum Ende des 19. Jahrhunderts nur bedingt fähig, derartige Dampfmaschinen zu produzieren. Die erste Großdampfmaschine der Berliner Elektrizitätswerke – sie leistete 735 kW (1000 PS) – mußte aus dem im Großmaschinenbau erfahrenen Belgien importiert werden. Erst seit der Jahrhundertwende vermochte der deutsche Maschinenbau den neuen Anfor-

derungen besser gerecht zu werden. Das zeitweilige Unvermögen der deutschen Maschinenbauer stellte keineswegs ein technisches Armutszeugnis dar, denn es setzte umfangreiche Erfahrungen und beachtliche Kenntnisse voraus, leistungsstarke Kolbendampfmaschinen so zu konstruieren und zu bauen, daß eine gleichmäßige Rotation erzeugt werden konnte. Letztlich vermochten aber diese Großdampfmaschinen in den Elektrizitätswerken ihre Aufgabe nur teilweise zu erfüllen, weil aus Gründen der Festigkeit die Umlaufgeschwindigkeiten (Drehzahlen) nicht mehr gesteigert werden konnten. Außerdem war rein konstruktiv auch keine weitere »Beruhigung« des Laufs der Maschine (Rotation) mehr möglich. Die Dampfmaschine offenbarte auch in diesem Einsatzgebiet ihre absolute Leistungsgrenze.

Wieder mußten neue Methoden der Energieumwandlung gefunden werden. Die Dampfturbine erwies sich als die Lösung. Während bei der Kolbendampfmaschine der Expansionsdruck des Dampfes unmittelbar auf den Kolben übertragen wird, wirkt bei der Dampfturbine der Dampf durch seine Strömungsenergie, mit der er umlaufende Turbinenräder treibt. Dabei bereitete es längere Zeit erhebliche Schwierigkeiten, die hohe Dampfgeschwindigkeit, die bei 1 MPa mehr als 1000 m/s betrug, ökonomisch in eine Maschine umzusetzen. Den Urahn einer Reaktionsturbine hatte bereits Heron von Alexandria mit seiner »Aelopile« vor rund 2000 Jahren gebaut. Diese und andere Entwicklungen waren ohne produktiven Nutzen geblieben. Auch Watt hatte sich eine »Dampfturbine« patentieren lassen. Bei den Ende des 19. Jahrhunderts konstruierten Turbinen wurde der Dampf über Düsen auf Laufräder geleitet, die mit gekrümmten Schaufeln besetzt waren. Dadurch konnte jene kraftvolle, schnelle und gleichmäßige Drehbewegung erzielt werden, die für den Antrieb von Generatoren optimal ist.

Zu den Pionieren der Dampfturbine zählen der Schwede Carl Gustav de Laval und der Engländer Charles Parsons. De Laval schuf 1883 eine Gleichdruckturbine mit einer Drehzahl von 7000 U/min. Ursprünglich für den Antrieb von Milchzentrifugen konstruiert, wurde sie



Prinzipskizze von Laval's Turbine

durch technische Verbesserungen auch für andere Zwecke einsetzbar. Parsons' Gleichdruckturbine mit Geschwindigkeitsabstufung war dagegen von vornherein auf die Bedürfnisse der Elektroenergieerzeugung angelegt. Deshalb fand sie schnellere und breitere Verwendung. In den neunziger Jahren wurden beide Typen von der wirtschaftlicheren mehrstufigen Gleichdruckturbine des Amerikaners Charles Gordon Curtis abgelöst.

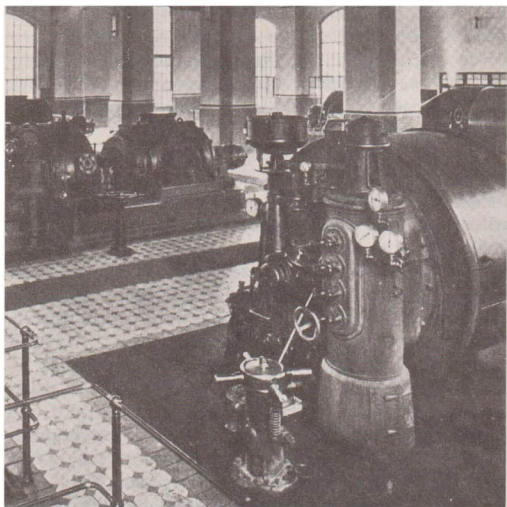
Welch dringendem gesellschaftlichem Bedürfnis die Dampfturbine entsprach, welche schnelle Entwicklung im Turbinenbau eintrat, zeigt sich unter anderem daran, daß schon 1889 in England das erste mit einer Dampfturbine ausgestattete Kraftwerk den Betrieb aufnahm. Zwischen 1880 und dem Jahre 1900 wurden 238 Dampfturbinenpatente allein in England angemeldet. Als es schließlich ge-

lang, durch die direkte Kopplung der Turbinenwelle mit der Generatorenwelle beide Aggregate zum Turbogenerator zu vereinen, war eine Wärmekraftmaschine entstanden, die zwar Verbesserungen zuließ, aber grundsätzlich den bisherigen Höhepunkt in der Entwicklung der Wärmekraftmaschine bildet.

Da sich die Dampfturbine im Vergleich zur guten alten Kolbendampfmaschine als qualitativ hochwertiger, kostengünstiger, raumsparender und leistungstärker erwies, griffen nicht nur die Kraftwerke, sondern auch Industrie und Schifffahrt nach diesem Aggregat. So auch in Deutschland. Der Elektrokonzern AEG errichtete innerhalb eines Jahres eine spezielle Dampfturbinenfabrik, die 1904 mit 365 Arbeitskräften die Produktion aufnahm. Fünf Jahre später beschäftigte dieses Zweigwerk der AEG mehr als 2000 Arbeitskräfte. Rund 570 Turbinen mit einer Gesamtleistung von 537 650 kW (731 000 PS) waren bis dahin hergestellt worden. Mit der Dampfturbine und dem Elektromotor ging die Ära der Kolbendampfmaschine zu Ende. Wie zählebig aber eine alte Technik sein kann, das zeigen nicht nur die Tiergöpel, Wind- und Wassermühlen, die bis zur Mitte unseres Jahrhunderts in der Landwirtschaft selbst in hochindustrialisierten Staaten wirksam waren, sondern auch Dampfschiffe auf den Binnenwasserstraßen und Dampflokomotiven, die immer noch in verschiedenen Ländern die Schienenwege befahren.

Dennoch war mit der Dampfturbine die Kolbendampfmaschine technisch überholt. In harter Konkurrenz mit dem Elektromotor sowie mit dem Gas-, Benzin- und Dieselmotor wurde sie Schritt für Schritt zurückgedrängt.

An eine Renaissance der Dampfmaschine ist nicht zu denken. Dies sei angesichts der Bemühungen um alternative Energiequellen nachdrücklich unterstrichen. Die Dampfmaschine kann nicht wieder dort eingesetzt werden, wo sie vor Jahrzehnten an unüberwindbare Grenzen stieß. Wenn man sich ein mit Dampfkraft bewegtes modernes Fließband noch vorstellen könnte, so wären dampfbetriebene Roboter skurrile Phantastereien. Überdies ist in einer Welt mit wachsendem Mangel an fossilen Brennstoffen und starker Umweltbelastung für Brennstoff



Turbinenhaus eines Kraftwerks

fressende und Rauch speiende Dampfmaschinen kein Platz.

Die Dampfmaschine ist Geschichte. Traurig wäre es allerdings, müßten wir uns, wie es Physiklehrer Bömmel in der »Feuerzangenbowle« formulierte, ganz dumm stellen, wenn wir eines Tages nach der Dampfmaschine gefragt würden. Zu groß waren die Leistungen, die James Watt und all die anderen Ingenieure, Techniker und Arbeiter bei der Konstruktion und beim Bau dieser Kraftmaschine vollbracht haben, als daß man sie in Vergessenheit geraten ließe. Zu gewaltig blieben die Wirkungen, die von der Dampfmaschine, diesem Urbild der Technik, auf die weitere Entwicklung der Menschheit ausgingen.

**»akzent« – die Taschenbuchreihe
mit vielseitiger Thematik:
Mensch und Gesellschaft,
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft
und Technik. – Lebendiges Wissen
für jedermann, anregend und aktuell,
konkret und bildhaft.**

Wer kennt noch eine »richtige« Dampfmaschine, mit deren Entwicklung vor mehr als 200 Jahren die Nutzung der Dampfkraft Einzug hielt in Bergwerken, Hütten und Betrieben?

Wer kennt die Mühen und die fehlgeschlagenen Versuche, bis endlich funktionstüchtige Modelle fertiggestellt waren, bis erste brauchbare Dampfschiffe und Lokomotiven in Bewegung gesetzt werden konnten?

Mit der Nutzung der Dampfkraft zum Waserpumpen – so begann ein faszinierendes Kapitel in der Geschichte der Technik. Gewaltige Leistungen wurden vollbracht, denen wir heute ungeteilte Bewunderung entgegenbringen.