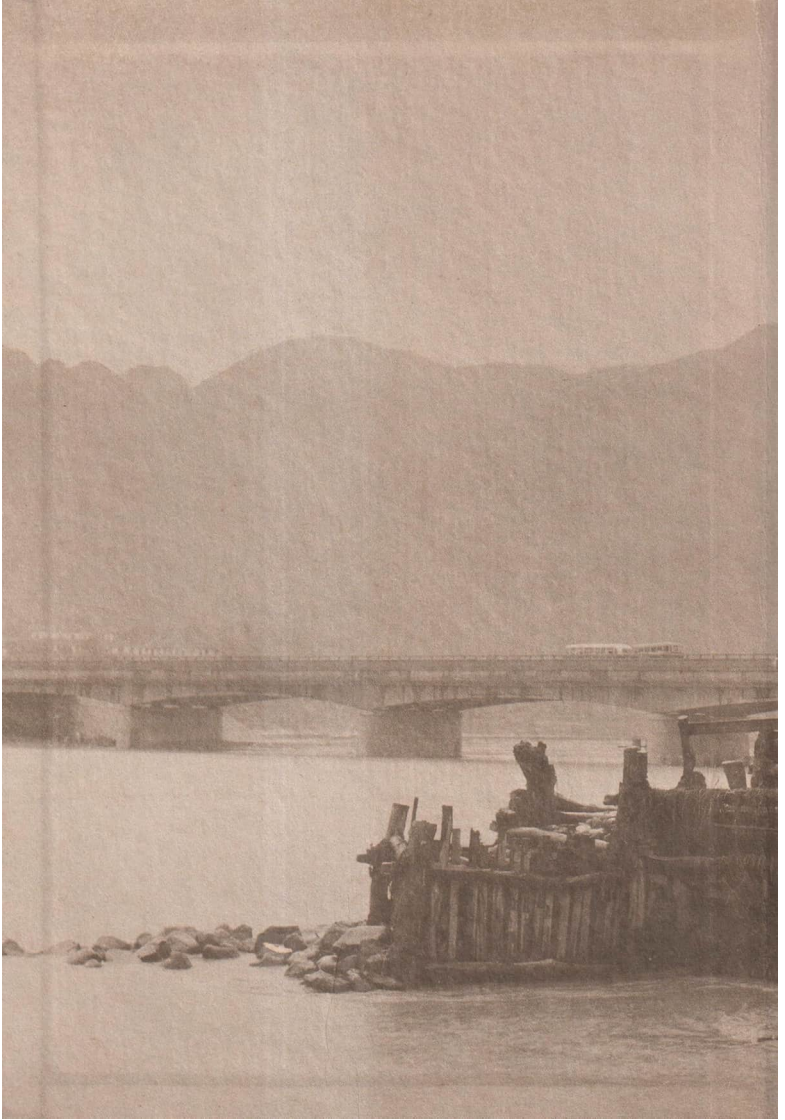


Hermann Heinz Wille

Geburt der Technik





Hermann Heinz
Wille

Geburt der Technik

Urania-Verlag
Leipzig · Jena · Berlin

Bildnachweis:

Archiv des Autors 53, 100, 119, 124, 128, 157–160, 171; Archiv des Verlages 35, 108, 115, 139, 151, 167; Deutsche Bücherei 60, 164–166; Dietz-Verlag Berlin 27, 73, 116, 169; Fotothek Dresden 10, 18, 29, 32, 38, 43, 44, 51, 62, 66, 70, 77, 81, 88, 89, 93, 97, 111, 112, 117, 122, 140, 141, 143, 146, 148, 156, 161, 168, 169, 171, 173, 174; Haeckel-Haus, Jena 11; Theodor Hering, Königstein 134; Kupferstichkabinett Dresden 129, 130, 135; Landesmuseum für Vorgeschichte Halle 16, 17, 30, 31, 47–49; Dietrich Mania, Bilzingsleben 12; Math.-Phys. Salon Dresden 137, 142, 150; Staatliche Museen zu Berlin 36, 54; Sächsische Landesbibliothek Dresden 145; Wolfgang G. Schröter, Markkleeberg 39, Vorsatz; Gotthard Strohmaier, Berlin 107; Museum für Völkerkunde Leipzig 58; Zentralbild Berlin 53, 59

1. Auflage 1983, 1.–25. Tausend
Alle Rechte vorbehalten
© Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin,
Verlag für populärwissenschaftliche Literatur,
Leipzig 1983
VLN 212-475/63/83 · LSV 3009/01800
Lektor: Manfred Quaas
Einband, Vorsatz, Illustrationen:
Wolfgang Parschau
Gesamtgestaltung: Horst Wenzel
Printed in the German Democratic Republic
Reproduktion: Sachsendruck Plauen
Satz und Druck: Karl-Marx-Werk
Pößneck V 15/30
Buchbinderei: Interdruck Leipzig
Best.-Nr.: 653 8295

Inhalt

Prolog 7

Aus den Kindertagen der Menschheit 9

Ein kurzes Kapitel Anthropologie 10
An der »Wiege der Menschheit« 13
Die Hand, zum Werkzeug frei geworden 14
Der Griff zum Faustkeil 16

Bezwingung des Feuers 20

Das wilde Feuer wird eingefangen 21
Der Mensch lernt das »Feuermachen« 22
Mit Grabstock, Hacke, Hakenpflug 26
Vom Leben der Ackerbauern und Viehzüchter 28
Die Auflösung der Urgesellschaft 32

Wasser des Lebens – Schlüssel zur Macht 34

Schluß mit dem Warten auf Regen 35
Hebel und Räder schöpfen Wasser 37
Staudämme und Kanäle 40
Wasser, das bergan und in die Häuser fließt 42

Eintritt ins Zeitalter der Metalle 46

Kupfer + Zinn = Bronze 47
Am Schmiedefeuer des Hephaistos 50
Stahl – Erfinder unbekannt 52
Mit Schlägel und Eisen 54

Das Wasser öffnet seine Straßen 56

Am Anfang war das Floß 57
Riesenschiffe der Antike 60
Von Küste zu Küste 65
Häfen, die Geschichte machten 67
Mit Rammsporn und Enterbrücke 69

Das Rad beginnt sich zu drehen 72

Von der Schleife zum Rad 73
Vom Wildpfad zur Fernstraße 77
Zur Besichtigung freigegeben: die Via Appia 79
Mechanische Probleme, praktisch gelöst 82

Die Sieben Weltwunder und andere Monumentalbauten der Antike 84

»Die ungeheuerste Architekturidee« 85
Bau der »Ewigen Häuser« 87
Gang durch eine versunkene Stadt 90

Die findigen Mechaniker des Altertums 96

Die Kunst derer, die Wurfmaschinen bauen 97
»Heureka! Ich hab's!« 99
Tränen zeigen die Stunde an 101
Besuch in Herons Automatentheater 103
Rätselhafte »elektrische Töpfe« 106
Was den Fortschritt hemmte 107

»Ohne sie bewegt sich nichts . . .« 110

Das Tretrad – Ausbeutung der Muskelkraft 111
»Wind, Wind, gar mächtig bist du . . .« 115
Triumph und Grenzen des Wasserrades 118
Ein unerfüllbarer Traum – das Perpetuum mobile 122

Erfindungen, die von sich reden machen 127

Pulver aus der Alchemistenküche 128
Steinbüchsen bringen Burgen und Mauern zu Fall 131
Kurs liegt an 137
»Schwarze Kunst« ist keine Magie 142
Zeit nach Maß 148

Eine Zeit, die Riesen zeugte 153

»O Jahrhundert! O Wissenschaft!« 154
»De re metallica« – Zwölf Bücher vom Bergbau 161
Blick in die Unendlichkeit und in das Unsichtbare 167
Überwindung des »Horror vacui« 173

Ausklang und Ausblick 177

Anhang 179

Historischer Überblick 179

Literaturhinweise 184

Personenverzeichnis 186

Sachwörterverzeichnis 188

Prolog

Das menschliche Dasein, die Lebensqualität des Individuums wie die der Gesellschaft, ist an der Schwelle vom zweiten zum dritten Jahrtausend ohne die »Errungenschaften« von Wissenschaft und Technik unvorstellbar geworden. Sie bestimmen unseren Alltag in allen Bereichen, am Arbeitsplatz, im Haushalt, in der Freizeit. Auto, Kühlschrank und Waschautomat, Telefon, Rundfunk und Fernsehen – um nur einige Beispiele zu nennen –, zu Beginn des vorigen Jahrhunderts kaum vorausgeahnt, vorgestern noch bestaunte »Wunder der Technik«, sind uns selbstverständlich, sind uns unentbehrlich geworden.

Die Zukunftsvisionen eines Jules Verne, des »Klassikers des utopischen Romans«, und anderer kühner technischer Phantasten, die davon träumten, zu fernen Planeten und in die Tiefen der Ozeane vorzustoßen, haben ebenso Verwirklichung gefunden wie die Synthese der Elemente und Stoffe, die Spaltung des Atomkerns und die Kernfusion. Selbst die Transplantation lebender Organe und die künstliche Befruchtung des menschlichen Eies in der Retorte sind heute keine Sensationen mehr. Die Dynamik der Entwicklung steuert ständig neuen Höhepunkten zu. Die Welt, in der wir leben, ist in politischer, ökonomischer und technisch-technologischer Hinsicht einem unaufhaltsamen, teilweise revolutionären Wandel unterworfen. Täglich lesen wir von neuen Entdeckungen und Erfindungen, von neuartigen Werkstoffen und der Erweiterung ihrer Anwendungsbereiche, von verbesserten Arbeitsmitteln und effektiveren Technologien, von Höchstleistungen hinsichtlich Geschwindigkeit, Genauigkeit, Leistungsfähigkeit und Qualität, von wissenschaftlich-technischen Pioniertaten.

Die Einführung von Werkzeug- und Arbeitsmaschinen sowie der Dampfmaschine als universeller Antriebskraft in die Produktion leitete vor zweihundert Jahren in der Geschichte der Technik und der Produktivkräfte jene »Industrielle Revolution« ein, die die Manufakturperiode durch das kapitalistische Fabriksystem ablöste. Von nun an übernahm die Maschine die Arbeit der Hände. Die schrittweise Befreiung des Menschen von der unmittelbaren Bindung an die Maschine, die wachsende »Verflechtung« von Wissenschaft und Technik bestimmen als wissenschaftlich-technische Revolution seit der Jahrhundertmitte die Organisation, die Technologie und das Profil der Produktion materieller Güter. Und schon lassen uns der Siegeszug der Mikroelektronik, des Kernstücks der Automatisierung, und der Vormarsch der Industrieroboter mit ihren produktiven Fähigkeiten von einer »dritten« technologischen Umwälzung sprechen.

Die Frage drängt sich auf: Wird uns, von Stolz auf das Erreichte erfüllt, bewußt, daß die technischen Errungenschaften der modernen Zivilisation Glieder einer ununterbrochenen Kette von natur- und technikwissenschaftlichen Erkenntnissen, von Entdeckungen, Erfindungen und Weiterentwicklungen darstellen, deren Anfänge tief in die schriftlose Vergangenheit, bis in die Zeit der »Menschwerdung des Menschen« zurückreichen? Mit der Arbeit seiner Hände, durch die sich der Mensch aus dem Tierreich erhob und zum bewußten Gestalter seiner Umwelt, also zur Produktivkraft, wurde, und mit Hilfe der von ihm geschaffenen, beständig verbesserten und weiterentwickelten Technik, gestützt auf die praktische Erfahrung und die von ihm theoretisch erkannten Naturgesetze, machte er den Planeten Erde, Heimat der Menschheit, bewohnbar und nutzbar seine natürlichen Schätze.

Was also ist Technik? Der Begriff, hervorgegangen aus dem Griechischen, bedeutete ursprünglich soviel wie Können, Fertigkeit, Kunst oder Meisterschaft. Etwas davon ist der Technik im Wandel der Jahrtausende bis heute geblieben. Gleichviel, ob wir daraufhin die Schwerkraftfallen der Steinzeitjäger, ein antikes Wind- und Wasserrad, die Wasseruhr des Ktesibios, die Konstruktionszeichnungen eines Leonardo da Vinci, die Dampfmaschine von Watt oder die vollautomatisierte Taktstraße einer Automobilfabrik betrachten. Immer handelt es sich dabei um die den jeweiligen gesellschaftlichen Verhältnissen und dem Wissensstand entsprechenden Arbeitsmittel, erfunden, hergestellt und gebraucht zur Befriedigung der materiellen Bedürfnisse der Gesellschaft.

So wie sich die Technik nicht von »ungefähr« und losgelöst von der Gesellschaft entwickelt, dient sie auch keinem Selbstzweck. Selbst Erfindungen, die als technische Spielereien begannen, die dem unterhaltsamen Zeitvertreib der herrschenden Oberschicht dienten, wie die Druckwerke und Automaten des Heron von Alexandria oder die Elektrisiermaschine, fanden später produktive Nutzanwendung. Technikgeschichte ist folglich zugleich die Geschichte der Arbeit und der arbeitenden Menschen, die über die belegbaren Epochen der Menschheitsgeschichte hinweg den gesellschaftlichen Fortschritt bestimmten. Der junge Karl Marx ging noch einen Schritt weiter und bezeichnete die Geschichte der Technik als »den sinnlich gegenwärtigsten, zugleich zugänglichsten Teil der Menschheitsgeschichte«. Sie ermöglicht es, die objektiven Grundlagen für das Fortschreiten der Gesellschaft und die Gesetzmäßigkeiten dieser Entwicklung besonders anschaulich darzubieten.

Im täglichen Umgang mit der Technik interessieren sich immer mehr Menschen für die Herkunft, den Weg und die Bedingungen der technischen Erfindungen und wissenschaftlichen Entdeckungen. Sie fragen nach dem Ursprung der schöpferischen Ideen, nach den Erfahrungen, die daraus anwendbar sind für unsere Gegenwart, vielleicht auch für die Zukunft. Unsere Streifzüge durch die Geschichte der Technik, die den geschichtlich belegten Zeitraum vom Faustkeil bis zum computergesteuerten Maschinensystem, vom Garen des Fleisches im Höhlenfeuer bis zur mikrobiologischen Eiweißproduktion umfassen, versuchen, auf diese vielschichtigen Fragen Antwort zu geben.

Der vorliegende Band schildert den Weg des Menschen aus der Wildnis, die Entwicklung der Produktivkräfte in ihrer Abhängigkeit von Muskel-, Wind- und Wasserkraft, in der die Handarbeit den Produktionsprozeß bestimmte.



Aus den Kindertagen der Menschheit

»Die Frage aller Fragen für die Menschheit, das Problem, das allen übrigen zugrunde liegt und das tiefer interessiert als irgendein anderes, ist die Bestimmung der Stellung, die der Mensch in der Natur einnimmt, und seiner Beziehung zu der Gesamtheit der Dinge . . .«

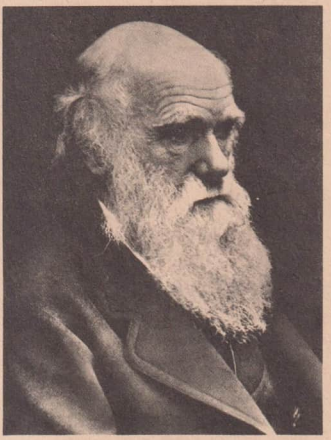
THOMAS HUXLEY (1825–1895)

Ein kurzes Kapitel Anthropologie

»Teile eines menschlichen Schädels, dessen Alter nach Schätzungen etwa 350 000 Jahre beträgt, sind bei Forschungsgrabungen in der Nähe von Bilzingsleben im Kreis Artern entdeckt worden . . .« So lautete eine ADN-Meldung vom 5. Mai 1974, die von zahlreichen Nachrichten- und Presseagenturen in aller Welt aufgenommen und weiterverbreitet wurde. Das Interesse der Öffentlichkeit ist verständlich. Trotz vieler schon vorhandener Funde bedeutet jede Neuentdeckung von Urmenschenresten noch immer eine Sensation, die sich aus dem Wissensdrang des Menschen erklärt, mehr über die Entstehung des Lebens auf der Erde, über seine eigene Herkunft und Entwicklung zu erfahren.

Ausgrabungsfunde von allen Kontinenten lassen heute keinen Zweifel mehr daran, daß der Mensch ein untrennbarer Teil der Natur und als solcher das Ergebnis der stammesgeschichtlichen Höherentwicklung im Tierreich ist. Unbestritten ist ferner, daß die Arbeit einen wesentlichen Anteil an der Menschwerdung hatte. Die Anfänge der wissenschaftlich begründeten Abstammungslehre reichen bis ins 18. Jahrhundert zurück. Einer ihrer Wegbereiter war der schwedische Naturforscher Karl von Linné (1707–1778), der in seinem 1735 erschienenen Werk »Systema naturae« den Menschen – unmittelbar neben dem Affen – in die Gruppe der Primaten, der höchststehenden Säugetiere, einreihte; für jene Zeit der Bibelgläubigkeit und der göttlichen Schöpfungslegende eine mutige Hypothese. Zu denen, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts die ersten Entwicklungstheorien formulierten, gehörte neben dem berühmten französischen Naturforscher Jean-Baptiste de Lamarck (1744–1829) – Autor der »Zoologischen Philosophie« – auch Johann Wolfgang von Goethe, der im Ergebnis seiner anatomischen Studien den Zwischenkieferknochen fand. Ihre Ansichten über die Veränderlichkeit und Entwicklung (Evolution) in der Natur gingen zwar weit auseinander, ließen aber den Menschen nicht ausgespart. Erst hundert Jahre nach Linné gelang es dem englischen Naturforscher Charles Darwin (1809–1882), mit seinen Arbeiten »Über die Entstehung der Arten« (1859) und »Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl« (1871) die wissenschaftlichen Grundlagen der biologischen Herkunft des Menschen aufzuhellen.

In Deutschland war es vor allem der junge Jenenser Zoologieprofessor Ernst Haeckel (1834–1919), der sich zu einem



Charles Darwin (1809–1882), Begründer der modernen Abstammungslehre

streitbaren Verfechter der Abstammungslehre und des Entwicklungsgedankens erhob. Schon als Neunundzwanzigjähriger – 1863 – erkühnte er sich in einem öffentlichen Vortrag, den Ursprung des Menschen von den »höheren vollkommeneren Säugetieren« abzuleiten, »welche endlich in der Ausbildung der menschenähnlichen Affen und zuletzt im Menschen selbst ihre höchste Stufe erreichen«. Die Schmähungen seiner Gegner, die ihm den Spottnamen »Affendoktor« anhängten, beeindruckten ihn wenig. Auch Darwin hatte sich von seinen Widersachern sagen lassen müssen: »Wir wollen hoffen, daß Ihre Theorie nicht stimmt. Wenn es aber wahr ist, daß der Mensch vom Affen abstammt, dann wollen wir beten, daß es der Öffentlichkeit nicht bekannt wird!« Über Darwin hinausgehend, fügte Haeckel als hypothetische Übergangsform zwischen Tier- und Menschenreich den Pithecanthropus alalus, d. h. den »aufrechtgehenden, nichtsprechenden Affenmenschen«, ein.



Ernst Haeckel (1834–1919), Naturforscher und Philosoph

Um die Abstammungstheorie zu bestätigen (oder zu widerlegen), um überzeugend nachzuweisen, daß die Menschheit älter ist, als der christliche Schöpfungsmythos einräumt, galt es nunmehr, Reste der Urmenschen selbst oder Zeugnisse ihrer Tätigkeit, z. B. Werkzeuge, aufzuspüren. Aufgerufen zu der abenteuerlichen Fahndung waren nicht nur die Anthropologen, die Spezialisten der Menschenkunde, und die Paläontologen, die sich mit der Entwicklung des Lebens auf der Erde befassen, sondern auch die Geologen, die Erforscher der Erdkruste, und die Archäologen, die den vergangenen Kulturen nachspüren.

Als Zufallsfund waren bis dahin lediglich die 1856 im Neandertal zwischen Düsseldorf und Elberfeld zutage geförderten Skelettreste eines fossilen Menschen bekannt, die man zunächst für Knochen eines Höhlenbären gehalten hatte. Das Alter des Schädeltorsos mit der affenähnlichen fliehenden Stirn und den kräftigen Überaugenbögen schätzte man auf 70 000 bis 100 000 Jahre. Die offizielle Anerkennung des Homo neanderthalensis als einen der Vorfahren des Menschen ließ freilich fünfzig Jahre auf sich warten. Erst als der Neandertaler im Ergebnis systematischer Forschungsgrabungen durch anthropologische Neufunde in Mähren, Belgien, Kroatien, aber auch im Ilmtal unweit Weimar Gesellschaft erhalten hatte, ließ sich seine Echtheit nicht länger in Zweifel ziehen, wurde er namengebend für eine ganze Formengruppe des ausgestorbenen Altmenschen.

Inzwischen gelang es dem jungen holländischen Anatomen Eugène Dubois (1858–1940), bei seinen Forschungen auf Java die ersten Beweisstücke für die Existenz des von Haeckel »erfundenen« Affenmenschen, des Pithecanthropus, auszugraben: 1891 einen Backenzahn und ein Schädeldach, ein Jahr später einen Oberschenkelknochen, deren Alter auf 450 000 Jahre geschätzt wurde. Während sich die Gegner

des Darwinismus mit frisch entflammtem Eifer um die Echtheit und das tatsächliche Alter der Fundstücke stritten, wurde im eiszeitlichen Flußschotter einer alten Neckarschleife bei Heidelberg (1907) ein menschlicher Unterkiefer gefunden, der beträchtlich älter als der Neandertaler, nämlich etwa so alt wie die Überreste seines javanischen Artgenossen, war. Der Homo heidelbergensis ist bis heute der »älteste Europäer« geblieben.

Ab Mitte der zwanziger Jahre begannen sich die Funde von Pithecanthropinen, die man heute als Homo erectus (aufrecht gehender Mensch) bezeichnet, zu häufen. Auf Java, in China, Ostafrika und – in jüngerer Zeit – auch in Ungarn und der ČSSR kamen neue Fundstätten hinzu. Zu den jüngeren Fundstellen, die zugleich eine der größten in dem Gebiet nördlich der europäischen Mittelgebirgszone ist, zählt die von Bilzingsleben, in nächster Nähe von Haekkels ehemaliger Wirkungsstätte.

Ausgehend von der Annahme, daß der heutige Mensch (Homo sapiens) die jüngste Form in der Stammesgeschichte des Menschen ist, galt der Homo erectus bis Anfang der sechziger Jahre als die älteste Form. Damit schien die »Frage aller Fragen«, eben die nach dem Alter der Menschheit, schlüssig beantwortet zu sein, und die Wissenschaft konnte endlich die »Gattung Mensch« in größere erdgeschichtliche Abläufe einordnen. Danach vollzog sich der Menschwerdungsprozeß – sowenig vorstellbar es erscheinen mag – hauptsächlich im Eiszeitalter der Erde, dem Pleistozän, früher in Anlehnung an die Sintflutvorstellungen als Diluvium bezeichnet, oder – wie der Geologe sagt – in der untersten Abteilung des Quartärs. Es ist jene durch extreme Klimaschwankungen gekennzeichnete Epoche, in der die Vereisung weiter Teile unseres Planeten begann. Mittendrin also der Homo erectus. In Ostafrika bereits um 800 000 v. u. Z., in Europa durch den



Freilegung und Vermessung von Funden in Bilzingsleben

Homo heidelbergensis seit 450 000 Jahren nachgewiesen, in seinen jüngsten Gliedern 300 000 Jahre alt.

Aber kaum war eine gewisse Ordnung in die »Chronologie der Menschwerdung« gebracht, bedurfte sie erneut der Korrektur. Seit Anfang der sechziger Jahre begannen sich in Ostafrika Neufunde fossiler Primaten zu häufen, die dem Homo erectus ein Alter bis zu 1,5 Mill. Jahren bescheinigten. Wer aber waren seine »Ahnen« und als solche die direkten Vorgänger des Menschen? Auf die Sachquellen gestützt, galt es, die bisherigen Theorien über Beginn, Triebkräfte und Verlauf der biologischen Evolution, den schrittweisen Übergang vom Tier zum Menschen, neu zu durchdenken.

An der »Wiege der Menschheit«

Das »Übergangsfeld Tier – Mensch«, durch die anthropologischen und archäologischen Neufunde der letzten Jahre um Jahrmillionen tiefer in die Erdgeschichte zurückversetzt, bildet das interessanteste Forschungsgebiet der menschlichen Stammesgeschichte. Jedes neue Belegstück, mit modernsten wissenschaftlichen Methoden exakt datiert, wirft die Frage auf: »Noch Affe? Schon Mensch?«

Im allgemeinen wird angenommen, daß die ersten Schritte zur Menschwerdung von der Natur bereits im mittleren Tertiär »vorbereitet« wurden, als sich die Hominiden, die »Menschenartigen«, von der gemeinsamen Vorfahrengruppe für Menschenaffen und Menschen (Pongiden) abzusondern und ihren Lebensraum aus den Wäldern in die Steppen zu verlegen begannen. Die Ursachen dafür können schon damals Klimawechsel gewesen sein, die tiefgreifende Veränderungen der Vegetationszonen nach sich zogen.

Affen sind von Natur aus Baumtiere, Vierfüßler, die vorwiegend von pflanzlicher Nahrung leben. Der Zwang zur Anpassung an die Steppenverhältnisse, die stärkere Hinwendung zur Fleischnahrung, ließ jene Lebewesen im Vorteil sein, die ihren Körper aufrichten und sich dadurch einen größeren Gesichtskreis erwerben konnten. Das ermöglichte ihnen, die Jagdbeute oder herannahende Raubtiere rascher als ihre sich geduckt fortbewegenden Artgenossen zu erkennen. Der Aufrechtgang veränderte im »Laufe der Zeit« – d. h. in Jahrmillionen bio-evolutionärer Entwicklung – den Bau des Skeletts, der Muskulatur und des Gehirns. Der Greiffuß wurde zum Stützfuß, die vorderen Gliedmaßen bildeten sich zu Greiforganen, zur Hand, aus. Die Schädelbasis verlagerte sich nach vorn. Die Riechorgane bildeten sich zugunsten der Differenzierung des Gehörs und der Ausbildung des räumlichen Sehens zurück. Die motorischen Teile des Gehirns erlangten allmählich die Fähigkeit, der Hand die nötigen Befehle zum spontanen Ergreifen und zur Benutzung von in der Natur vorgefundenen »Geräten« (wie Knüppeln oder Steinen) zu erteilen. So etwa können wir uns, ohne auf Detailfragen näher einzugehen, die ersten Phasen der Menschwerdung vorstellen.

Als bisher ältester Beleg für den menschenaffenartigen, zweifüßigen »Steppenläufer« gelten die Bruchstücke eines in Nordindien gefundenen, 8 Mill. Jahre alten Ober- und Unterkiefers. Mit ihnen tritt der Ramapithecus Jahrmillionen früher als der von Haeckel angenommene Pithecanthropus in die Vorgeschichte der Menschwerdung ein. Den Ramapithecinen folgten gegen Ende des Tertiärs die Australopithecinen, eine weitere große Formengruppe »Menschenartiger«, die durch zahlreiche aufsehenerregende Fossilienfunde in Ostafrika belegt sind.

Die drei wichtigsten Fundorte bilden die Oldowayschlucht im Norden Tansanias, die Umgebung des Turkanasees im benachbarten Kenia und das Gebiet von Hadar im nördlichen Äthiopien. In der Oldowayschlucht entdeckte die berühmte amerikanische Archäologenfamilie Leakey 1960 Skelettreste und Schädelbruchstücke eines zehn- bis zwölfjährigen Kindes, deren Alter man auf 1,8 Mill. Jahre schätzte. Damit schien, wie die Leakeys damals annahmen, das »älteste Kind der Erde« gefunden zu sein, erwies sich die von ihnen seit drei Jahrzehnten mit Erfolg erforschte Oldowayschlucht einmal mehr als eine der möglichen »Wiegen der Menschheit«.

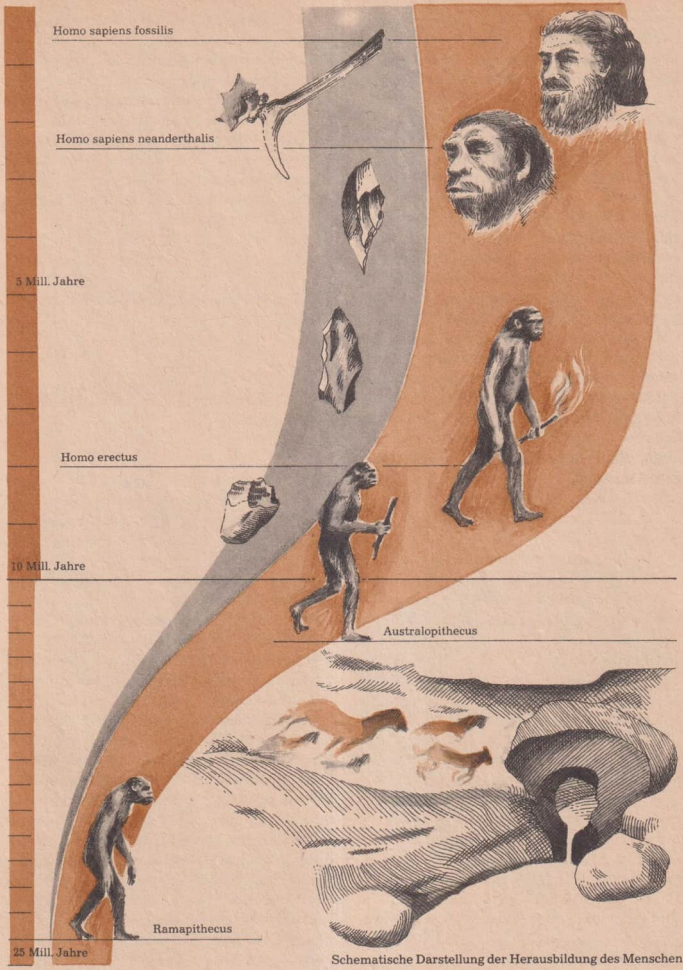
Ein noch sensationellerer Fund gelang 1974 einem amerikanisch-französischen Forschungsteam im Gebiet von Hadar. Nachdem dieses in den mächtigen, von vulkanischen Tuffschichten durchzogenen Ablagerungen eines prähistorischen Sees bereits zahlreiche Skelettreste vormenschlicher Individuen vom Typ des Australopithecus gefunden und mit einem Alter von 2,9 bis 3,1 Mill. Jahren datiert hatte, stieß es auf die »Wunderbare«.

Die »Wunderbare« (amharisch »Denkenesh«) oder auch »Lucy« sind Kosenamen für das Teilskelett »AL 288-1« eines 18- bis 21jährigen weiblichen Individuums. Ihrem Alter nach könnte Lucy eine Vorgängerin der Australopithecinen sein, von denen sie sich jedoch durch ihre grazilere Form und andere Merkmale auffällig unterscheidet. Übrigens hatte auch Dr. Louis B. Leakey das von ihm entdeckte »Wunderkind« von den Australopithecinen unterschieden und die Hypothese aufgestellt, daß sich im Übergangsfeld Tier – Mensch vermutlich mehrere Typen vormenschlicher Individuen nebeneinander entwickelten. In beiden und in vielen anderen Fällen zeigt sich, daß die entscheidende Frage: »Noch-Affe oder schon Schon-Mensch?« allein nach den Körpermerkmalen der Übergangsformen nicht zu beantworten ist.

Im Unterschied zur Entwicklung im Tierreich vollzog sich die Herausbildung des Menschen als »gesellschaftliches Naturwesen« nicht nur im biologischen Bereich, womit allen höherentwickelten Affenarten die Chance der Menschwerdung geboten gewesen wäre. Mit dem Zusammenschluß tierhafter Herdenwesen zur Urhorde vollzog sich der Menschwerdungsprozeß zunehmend im sozialen und kulturellen Bereich. Auskunft über die Verhaltens- und Lebensweise der Individuen im Übergangsfeld geben die archäologischen Funde, besonders jene, die auf die von ihnen benutzten Geräte hinweisen. So wird mit der frühesten Menschheitsgeschichte zugleich die erste Seite der Technikgeschichte aufgeschlagen.

Die Hand, zum Werkzeug frei geworden

Ein Zoobesuch genügt, um sich davon zu überzeugen, daß auch Affen und andere Greiftiere der Natur entnommene Gegenstände zum Nahrungserwerb oder zur Abwehr ihrer Feinde benutzen. Langjährige Untersuchungen an frei lebenden Affenarten haben zu weiteren wichtigen verhaltensbiologischen Ergebnissen geführt. Sie bestätigen, daß die bewußte, dem Gebrauchszweck entsprechende Umgestaltung der in der Natur vorgefundenen Gegenstände, die Herstellung und der ständige Gebrauch von Werkzeugen das entscheidende Kriterium für die Menschwerdung – oder, anspruchsvoller ausgedrückt, die »Selbstverwirklichung des Menschen« – bilden. Friedrich Engels (1820–1895) formulierte in seiner 1876 verfaßten Schrift »Vom Anteil der Arbeit an der Menschwerdung des Affen«: »Keine Affenhand hat je



Schematische Darstellung der Herausbildung des Menschen

das roheste Steinmesser verfertigt. Die Verrichtungen, denen unsere Vorfahren im Übergang vom Affen zum Menschen im Lauf vieler Jahrtausende allmählich ihre Hand anpassen lernten, können daher anfangs nur sehr einfache gewesen sein.«

Tatsächlich wurden sowohl in der Oldowayschlucht als auch im Gebiet von Hadar und an anderen Fundplätzen von Australopithecinen neben Schädelfragmenten, Skelettresten und fossilen Tierknochen große Mengen primitiver Steingeräte aus Flußgeröllen mit grob bearbeiteten Kanten gefunden. Die sogenannten Pebble tools, als Schlag- oder Schabgeräte verwendet, schätzungsweise bis 2,6 Mill. Jahre alt, stellen eine der ältesten Werkzeugformen dar. Das wichtigste Werkzeug aber bildete die Hand, durch den Aufrechtgang frei geworden zum Erwerb von Fingerfertigkeiten, zur Handarbeit, die den »Urahnen des Menschen« bei der natürlichen Auslese und Mutation seinen Artgenossen aus dem Tierreich überlegen sein ließen.



Pebble tools, eine der ältesten Geräteformen des Menschen. Die Geröllsteine wurden nur so weit bearbeitet, daß scharfe Arbeitskanten oder Spitzen entstanden (Fundhorizont Bilzingsleben).

Die Vorgänger des Homo erectus, die sich die Fähigkeit erwarben, den Stein der Hand durch Behauen anzupassen und damit zum Werkzeug zu formen, und für die die Arbeitstätigkeit – zunächst unbewußt – allmählich zur Lebensgrundlage wurde, erhielten die Bezeichnung Homo habilis, der »befähigte Mensch«. Mit ihm, dem ältesten bisher bekannten Werkzeughersteller, scheint endlich der älteste »echte« Mensch gefunden zu sein.

Der Griff zum Faustkeil

Mit der Höherentwicklung der Habilinen wuchs ihre Erfahrung, welche Steine am besten zur Herstellung von Werkzeugen geeignet, wo diese zu finden und wie sie zu bearbeiten waren. Ausgehend von der Herstellung verschiedener Standardformen von Geröllgeräten, tendierte die Formgebung zur Schaffung eines einfachen Mehrzweckgerätes, das sich im täglichen Leben gleichermaßen zum Schlagen, Scharren, Schaben, Schneiden oder Bohren gebrauchen ließ – des Faustkeiles.

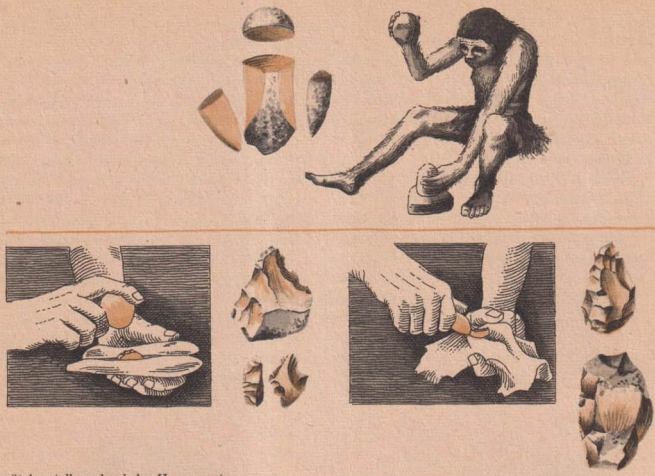
Der Faustkeil bildet das typische Universalgerät des Paläolithikums, der Altsteinzeit, die einen Zeitraum von etwa 200 000 Jahren umfaßt. Im Unterschied zu den einfachen Abschlaggeräten auf beiden Seiten bearbeitet, sind die älteren Faustkeile meist oval mit zickzackförmiger Schneide, jüngere Formen vorwiegend dreieckig oder herzförmig mit scharfer Spitze. Faustkeile verschiedener Form, hergestellt in unterschiedlichen Bearbeitungstechniken aus Feuerstein, Quarz, Obsidian, Basalt oder anderen spröden Gesteinen, finden sich als

Zeugnisse der materiellen Kultur an Rastplätzen des Urmenschen in Afrika, Vorderasien und Europa. Die jeweilige Bearbeitungstechnologie ermöglicht der Wissenschaft wichtige Rückschlüsse auf die Verbreitung und Fortentwicklung altsteinzeitlicher Kulturgruppen, wie des Abbevillien, Acheuléen oder Micoquien.

Als ein solcher Rast- und Arbeitsplatz des Urmenschen, auf dem über 100000 Artefakte mit gezielten Bearbeitungsmerkmalen geborgen wurden, erwies sich der Fundhorizont von Bilzingsleben. Die Vielfalt des Geräteinventars ist verblüffend. An erster Stelle sind die Schlagsteine und amboßartigen Arbeitsunterlagen zur Feuersteinbearbeitung zu nennen – Werkzeuge also, die zur Herstellung von Werkzeugen dienen. Darunter befinden sich Hieb- und Hackmesser zum Aufschlagen von Knochen, zum Abhacken von Ästen und Stangen, gezähnte Messer, die als Säge dienten, und andere »Spezialwerkzeuge«. Eine Fülle von Kleingeräten mit verschiedenartig zugerichteten Arbeitskanten läßt vermuten, daß sie zur Bearbeitung von Holz, Knochen, Pflanzenfasern, Tierhäuten, Sehnen, Därmen oder Rinden Verwendung fand. Eine echte Überraschung stellte für die in Bilzingsleben tätigen Archäologen der Fund von Gerätschaften aus Knochen, Geweihen und Hörnern dar: schwere Hiebwerkzeuge aus Gelenkköpfen und kompakten Knochen und Arbeitsunterlagen aus gleichem Material zum Hacken, Spalten, Zertrümmern. Mittels besonderer Spalt-, Schlag- und Schleiftechniken wurden aus Knochenbruchstücken solche Spezialgeräte wie



Faustkeile aus Quarzit, einmal grob mit dem Schlagstein bearbeitet, zum anderen aus Feuerstein mit Flächenretusche in sogenannter Acheultechnik



Geräteherstellung durch den Homo erectus



Felsmalerei in einer Höhle bei Bruniquel (Frankreich). Sie zeigt das Jagdwild steinzeitlicher Jäger: Ren, Bison, Wildpferd

Schlegel, Keulen, Klopfer, Dolche, Schnitzmesser, Hobel, pfriemartige Geräte, Spitzen und Schaber hergestellt.

Die Überraschung der Archäologen erklärt sich damit, daß bislang die Spezialisierung der Werkzeugformen und die Verwendung organischer Materialien erst den »Neandertalern« und deren Nachkommen, die in der jüngeren Altsteinzeit lebten, zugeschrieben worden sind. Nach den in Bilzingsleben gefundenen Neubelegen muß jedoch auch diese Entwicklungsstufe um runde 300 000 Jahre in die Urgeschichte zurückdatiert werden. Die Herstellung der Geräte setzte den denkenden, bewußt handelnden Menschen voraus, der zudem die Fähigkeit besaß, sich durch sprachliche Lautäußerungen mit seinen »Artgenossen« zu verständigen.

Für die Denkleistungen und das Vorstellungsvermögen der Urmenschen von Bilzingsleben zeugt nicht zuletzt ein 1978 gefundener Elefantenknochen, der an seiner geglätteten Längsseite mit sorgfältig und in gleichmäßigen Abständen eingravierten Schnittlinien versehen ist. Was die Linien darstellen sollen, ist vorerst noch eines der vielen ungelösten Rätsel, die uns die Vorzeit aufgibt.

Leichter fällt es, unter Zuhilfenahme der Phantasie, gestützt auf das vorgefundene Geräteinventar, auf Tierknochen und Pflanzenabdrücke, Rückschlüsse auf die Lebensweise der Urmenschengemeinschaft von Bilzingsleben zu ziehen. Mit Stoßlanze und Keule bewaffnet, zogen die Jäger in der ursprünglichen, waldsteppenartigen Landschaft auf Großwildjagd, erlegten sie unter Ausnutzung ihrer Geländekenntnisse Elefanten, Nashörner, Wisente und Wildpferde. Das Großwild trieben sie entweder in Sümpfe und machten es fluchtunfähig, oder sie fingen es in Fallgruben. Andere Beutetiere waren Bären und Wölfe, Hirsche, Rehe, Wildschweine, Biber und auch Vögel und Fische. Nur den Höhlenlöwen, das größte Raubtier des Kontinents, suchten sie mit ihren hölzernen Jagdwaffen zu meiden. Die Frauen und Kinder sammelten vom Frühjahr bis in den Herbst hinein Wildfrüchte, Wurzeln und Zwiebeln, Vogeleier, Honig der wilden Bienen, Pilze und sicher auch Kleingetier, legten Vorräte für den Winter an und kümmerten sich um das Zubereiten der Nahrung.

Großwildjagd, Sammeltätigkeit und Geräteherstellung lassen erste Ansätze der sozialökonomischen Formierung und der urgesellschaftlichen Arbeitsteilung erkennen, die den Hordenmitgliedern entsprechend Alter und Geschlecht sowie in Berücksichtigung ihrer individuellen Fähigkeiten bestimmte Aufgaben zuwiesen. Mittelpunkt des Lebens bildete der unter günstigen Umweltbedingungen für einen längeren Aufenthalt in Wassernähe ausgewählte Rastplatz. In seiner Mitte loderte wohl schon ein wildes, sorglich behütetes Feuer, auch wenn die züngelnden Flammen den Jägern und Sammlern der Faustkeilkulturen noch eine unerklärliche Erscheinung waren.



Bezwingung des Feuers

»Und dann kam die Zeit, in der der Mensch sich eines großen Wunders und Geheimnisses bemächtigte, einer Naturerscheinung, die er lange mit ehrfürchtigem Staunen, ja mit Ängsten betrachtete: *des Feuers!*«

Bruno H. Bürgel (1875–1948)

Das wilde Feuer wird eingefangen

Die griechische Sage berichtet von Prometheus, dem Titanensohn, er habe gegen den Willen des Zeus das Feuer vom Himmel gestohlen und den Menschen gebracht, um sie für alle Zeiten aus ihrer Not und Dürftigkeit zu erlösen. Der göttliche Ursprung des Feuers kehrt in den Mythen fast aller alten Kulturvölker wieder. Für den Urmenschen kam das Feuer wohl immer vom Himmel: als wärmendes Sonnenlicht und kaltes Geleucht der Gestirne, aber auch als feurig züngelnde Schlange, die unter Donnerschlägen zur Erde niederfuhr, Bäume zerschmetterte, Menschen und Tiere erschlug, Wälder und Steppen in Brand setzte. Andernorts waren es Vulkanausbrüche, emporlodernde Erdöl- oder Erdgasbrände, die den Urmenschen in Furcht und Schrecken versetzten.

Durch Naturbeobachtung belehrt, daß das feurige Element bezwingbar ist, wenn vom Himmel geschickte Wasserschwälle die Flammen erstickten, wurde der bedrohte Mensch aktiv. Er erfand Löschmethoden und traf Vorsichtsmaßnahmen, um den Rastplatz der Horde, sein bescheidenes Hab und Gut, vor der Vernichtung zu bewahren. Bedeutungsvoller jedoch war es, daß der Urmensch auch die Nützlichkeit des Feuers zu erkennen begann. Flächenbrände halfen die undurchdringlichen Wälder und unwirtlichen Steppen roden. Der zur Nachtzeit weithin sichtbare Feuerschein verscheuchte das Raubwild, das beutegierig den Rastplatz umschlich, vertrieb die blutrünstigen Insekten, die den dürftig bekleideten Körper des Urmenschen quälten. Die Ascheglut der Brandstellen strahlte wohlige Wärme aus, und nicht selten fand sich darin ein Stück gebratenes Wild oder eine geröstete Frucht, die in rohem Zustand ungenießbar waren.

Die Feuerstellen des Homo erectus sind älter als die Mythen vom Feuer der Götter, älter als die Prometheussage. Schon vor schätzungsweise 500 000 Jahren belauerte der Vormensch das »wilde Feuer«, faßte Mut, fing es ein und trug mit ihm Licht und Wärme in seine Höhle. Er hütete die Glut wie ein kostbares Kleinod und lernte, sie nach Bedarf erneut zur Flamme zu entfachen. Am Höhlenfeuer trockneten die Jäger und Sammler ihre nassen Kleidungsfelle, hier brieten sie das erlegte Wild, in der Ascheglut rösteten sie Knollen, Früchte, Kerne. Im täglichen Umgang mit dem Feuer entdeckten sie an seinen Erscheinungen immer mehr schätzenswerte Eigenschaften. Die im Rauch des Feuers getrockneten Fleischstücke schmeckten würziger und blieben länger genießbar, die darin zum Trocknen aufgespannten Felle wurden haltbarer. In der glühenden Asche härteten die Steinzeitjäger die Spitzen der hölzernen Speere, entzündeten sie die Fackeln für die Treibjagd.

Wenn die Horde den Rastplatz wechselte, um ein neues Jagdgebiet aufzusuchen, wurde die Glut in einem hohlen Knochen mitgeführt. Im Besitze des Feuers konnten es die vorzeitlichen Jäger und Sammler wagen, die wärmeren Zonen der eurasisch-afrikanischen Landmasse zu verlassen und, ihrer tätigen Neugier folgend, in nördlichere Breiten vorzustoßen, die für sie bisher unbewohnbar waren. Der Gebrauch des Feuers, mit dem sich der Mensch zum erstenmal eine der gewaltigsten Kräfte der Natur nutzbar machte und sich damit in einen umstürzlerischen Gegensatz zu dem Verhalten anderer Lebewesen setzte, trug entscheidend zu seiner biologischen Fortentwicklung bei.

Die über dem Feuer zubereitete Nahrung wurde besser aufgeschlossen und war leichter verdaulich. Während damit eine allmäh-

liche Veränderung des Verdauungsvorganges und des Kauapparates verbunden war, begünstigte die reichlichere Versorgung des Körpers mit Eiweiß und anderen Stoffen die Entwicklung des Gehirns. Die Einsicht in die Notwendigkeit der Wartung und Erhaltung des Feuers förderte den Zusammenhalt der Horde und die kollektive Tätigkeit wie das Sammeln des erforderlichen Brennmaterials. Der Umgang mit dem Feuer bereicherte folglich auch die artikulierte Lautsprache und die Symbolik um neue spezifische Ausdrucksmittel.

Erlosch das gezähmte und sorgsam gehütete Feuer durch höhere Gewalt, Mißgeschicke oder Unachtsamkeit, drohte der Horde Zerfall und Untergang. Rund 350 000 Jahre liegen zwischen der ersten Nutzung des »wilden Feuers« und jenem unbestimmbaren Tag, an dem der Homo sapiens diluvialis, der »Stammvater« unserer eigenen Spezies, das »Feuermachen« erfand ...

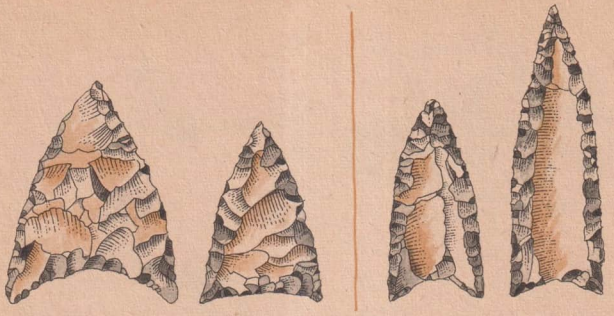
Der Mensch lernt das »Feuermachen«

Wie es den steinzeitlichen Jägern und Sammlern gelang, das Geheimnis der Feuererzeugung zu ergründen, läßt sich exakt nicht belegen. Zweifellos geschah es im Prozeß der Arbeit selbst, nämlich im Zusammenhang mit der Werkzeugherstellung, die mit dem Auftreten des Homo sapiens diluvialis eine neue, höhere Qualität erreichte. Die Archäologen bezeichnen den Zeitraum unmittelbar nach Erscheinen des fossilen Jetztmenschen während der letzten Kaltzeit als Jungpaläolithikum (jüngere Altsteinzeit), in der Urgeschichte etwa 40 000 bis 10 000 Jahre v. u. Z. umfassend.

Der Homo sapiens diluvialis, dessen Körperbau, Schädelmerkmale und Gehirnvolumen sich deutlich von denen seiner Vorgänger, aber nur geringfügig von uns heutigen Menschen unterschieden, handhabte zwar noch immer den Faustkeil, seine Bedeutung jedoch als Universalwerkzeug der Faustkeilkultur hatte er längst verloren. Der Geräte- und Werkzeugbestand der ersten Jetztmenschen hatten sich bedeutend erweitert und vervollkommnet. Charakteristisch für die Steinbearbeitung in dieser Periode war die Abschlagtechnik, die Herstellung geschärfter Klingen und Blattspitzen. Ebenso geschickt wie den Feuerstein bearbeiteten sie Knochen, Horn und Elfenbein. Die sorgfältige Ausführung der geschliffenen und polierten, für die Ansetzung eines Holzstieles bestimmten steinernen Äxte beweisen ebenso wie die fein zugespitzten knöchernen Nähnadeln die Handfertigkeit ihrer Hersteller.

Die Träger der Klingenkulturen hatten überdies gelernt, Fische sowohl mit der Angelschnur als auch mit der Harpune zu fangen. Sie verbesserten die Jagdwaffen und erfanden sogar einfache mechanische Vorrichtungen, die neue Jagdmethoden ermöglichten, die ihnen selbst – neben ergiebiger Jagdbeute – größere Sicherheit vor Jagdunfällen gewährleisteten. Die Stoßlanze, mit der ihre Vorfahren wagemutig Elefanten und Nashörner jagten, verjüngten sie zum Wurfspeer, der ersten wirksamen Fernwaffe. Auch das Wurfholz, Stein- und Speerschleudern kamen in Gebrauch.

Die auf Jagdzügen gewonnene Erfahrung, daß zurückgebogene Zweige kraftvoll in ihre ursprüngliche Lage zurückschnellen, führte zur bewußten Ausnutzung der in der Natur aufgespeicherten Elastizität und Federkraft, zu Pfeil und Bogen. Heute nur noch als Sportgerät in Gebrauch, bedeuteten Pfeil und Bogen für die damalige Zeit eine grundlegend neue Erfindung – das erste aus mehreren Elementen zusammengesetzte Werkzeug. Die in ihrer ursprünglichen Form leicht herstellbare und hand-



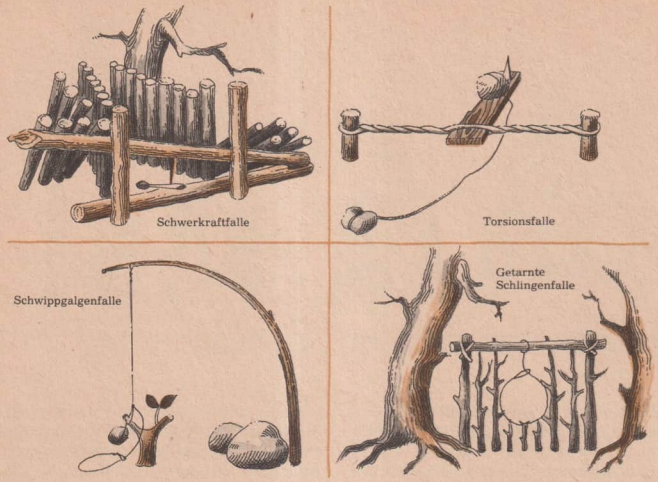
Zweiseitig bearbeitete Speerspitzen und Messer spätpaläolithischer Jäger Eurasiens und Nordamerikas – links Funde aus Kostjenki (UdSSR), rechts Funde aus Bull Brook, Massachusetts (USA)

habbare Fernwaffe ermöglichte es geübten Jägern, Haar- und Federwild bis auf Entfernungen von 400 m zu erlegen.

Das Bogenprinzip fand auch bei der Konstruktion von Torsions- und Schwippgalgenfallen Anwendung, komplizierten Mechanismen, die wie die Schwerkraftfallen für die Jagdtechnik der Steinzeitjäger typisch waren. Die Torsionsfallen wurden durch zusammengedrehte, richtiger »verdrillte«, Tiersehnen oder Stränge aus Pflanzenbast gespannt. Eine Sperre hielt die erzeugte Spannung so lange, bis das Beutetier am ausgelegten Köder zerrte und dadurch den Auslösemechanismus betätigte. Durch ein herabfallendes Netz wurde das Tier entweder lebend gefangen oder durch ein Hiebgerät getötet. Bei der Schwippgalgenfalle hingegen fing sich das Jagdwild in einer federnd aufgehängten Schlinge.

In unserem Streifzug durch die Geschichte der Technik interessiert das Bogenprinzip vor allem hinsichtlich seiner Bedeutung für die künstliche, die mechanische Feuererzeugung. Den Produzenten der Steinwerkzeuge, die unter freiem Himmel arbeiteten, konnte es nicht entgehen, wie bei der Steinbearbeitung abspringende winzige Funken, in dürres Moos oder welkes Laub gefallen, die Unterlage zum Glimmen brachten. Bei intensiver Bearbeitung hölzerner Arbeitsgegenstände, z. B. beim Bohren eines Loches, spürte der »Handwerker« die Wärmeentwicklung, beobachtete er mitunter sogar einen aufsteigenden dünnen Rauchfaden. Durch Anblasen ließ sich das schwache Glimmen zum Flämmchen entfachen und durch Zulegen von Brennmaterial zur Flamme, zum lodernden Feuer »kultivieren«. Vielleicht aber wurde der Mensch, dem in der Technikgeschichte ein Denkmal gebührte, weil er eine Naturerscheinung durch einen technischen Vorgang nachvollziehbar machte, auch wider Willen zum Entdecker. Sei es, daß ein Windstoß das glimmende Moos zur Flamme entfachte oder unter seinen Händen die Reibhölzer durch Selbstentzündung in Brand gerieten.

Mag es nun so oder so gewesen sein, die Methoden der Feuererzeugung lassen sich danach in zwei Hauptgruppen gliedern (ohne daraus schließen zu können, welche der beiden die ältere ist): das Feuerschlagen am Stein und das Feuerreiben bzw. -bohren mit Hilfe trockener Hölzer. In den

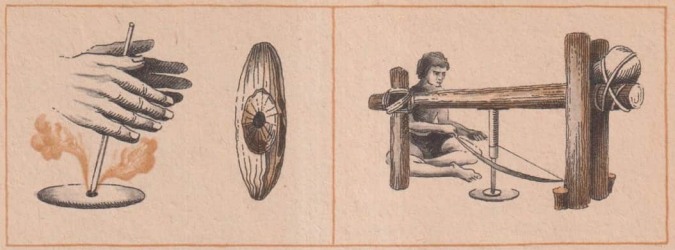


Jagdfallen der Steinzeitjäger

Eiszeitgräbern des nördlichen Europas entdeckte man neben Schlagsteinen aus Feuerstein auch Schwefelkiesknollen (Pyrit = Feuerträger), die in Verbindung mit getrocknetem Baumschwamm zum Feuerschlagen benutzt wurden.

Die weiteste Verbreitung fand das Feuerbohren, das bei den Naturvölkern bis an die Schwelle der Neuzeit in Gebrauch geblieben ist. Dazu benutzte man als Unterlage ein Stück Weichholz mit einer lochförmigen Vertiefung, in die der zugespitzte Bohrstab aus härterem Holz eingepreßt und in rasche Umdrehungen versetzt wurde. Schneller und wirksamer ließ sich die Drehbewegung durch einen um den Bohrstab geschlungenen Riemen oder eine Bogensehne gestalten, wobei der Bogen wie bei einer Fiedel hin- und hergezogen wurde. Das Funktionsprinzip der »Feuerbohrmaschine« beruht auf der Anwendung eines erst Jahrtausende später erkannten und formulierten Naturgesetzes: der Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie durch Umwandlung geradliniger in drehende Bewegung.

Eingebaut in ein rahmenartiges Holzgestell, ausgerüstet mit einem steinernen Bohrwerkzeug, wurde der »Feuerbohrer« zum Prototyp der ersten Werkzeugmaschine, zur Bohrmaschine. Um die Wirkung des Bohrvorganges zu erhöhen, benutzte man bereits frühzeitig eine Spüllösung aus Wasser und Sand. Die neue Bohrvorrichtung ermöglichte es, weitere zusammengesetzte, geschäftete Werkzeugformen, wie Äxte, Beile, Hämmer, schneller und in besserer Qualität herzustellen. Bessere Werkzeuge verhalfen zu höheren Arbeitsergebnissen bei geringerem Arbeitsaufwand, wo-



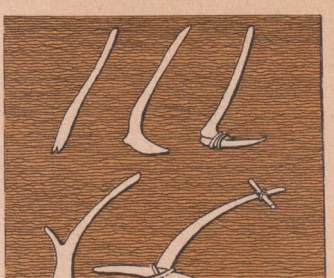
Links Feuererzeugung um 50 000 v. u. Z.: Die verbreitetsten Formen bildeten der Feuerquirl und der Feuerbohrer, die beide auf Ausnutzung der Reibungswärme beruhten.
Rechts Bohreinrichtung um 5000 v. u. Z.: Die hölzerne Bohrspindel ist in Hirschhorn gelagert. Der Antrieb erfolgt durch die Sehne eines Bogens, der von zwei Menschen geführt wird. Der Hebelarm ist mit einem Stein beschwert, der einen gleichmäßigen Druck auf die Bohrspindel ausübt.

mit der Wirkungsgrad der menschlichen Arbeit eine überaus bedeutsame Steigerung erfuhr.

Die Beherrschung des Feuers, die Herstellung zusammengesetzter Werkzeuge und Jagdgeräte bezeugen, daß der Urmensch auf dieser Entwicklungsstufe bereits einfache Zusammenhänge von Ursache und Wirkung zu erkennen vermochte und seine Ziele durch geeignete Mittel zu erreichen wußte. Die neuerworbenen Fähigkeiten stärkten sein Selbstvertrauen, verliehen ihm das Gefühl, der Natur und den Naturerscheinungen nicht gänzlich hilflos ausgeliefert zu sein. Der Stand der Technik versetzte den Menschen in die Lage, sich auch unter wechselvollen Naturbedingungen schöpferisch zu behaupten und die Bedürfnisse des täglichen Lebens zu befriedigen. Auf der Suche nach neuen Jagdgebieten stießen die Jäger und Sammler des Jungpaläolithikums weiter in ihnen unbekannte Erdräume vor, erschlossen sie sich die arktische Zone der »Alten Welt«, folgten sie von Sibirien aus dem Jagdwild nach Alaska und Nordamerika, erreichten andere Jägergruppen Australien.

Die Auswirkungen der veränderten Produktionsweise stehen in engen Wechselbeziehungen zur Veränderung der Lebensweise und des Gemeinschaftslebens der steinzeitlichen Jäger und Sammler. Das infolge wechselnder Existenzgrundlagen labile Hordendasein wurde durch fester gefügte und geordnete Gemeinschaften abgelöst: die Gentes (Sippen), größere Gruppen gemeinsam arbeitender, blutsverwandter Familien, deren Mitglieder gleichberechtigte und gleichverpflichtete Miteigentümer der Arbeitsmittel waren. Die Gentilordnung, in der die Frau als Trägerin des Lebens eine bevorzugte Stellung einnahm, ist kennzeichnend für die Urgesellschaft, die älteste sozialökonomische Epoche in der Geschichte der Menschheit. Sie erreichte ihren Höhepunkt mit dem Übergang vom Primat der Jagd zum Ackerbau und zur Viehzucht, zum Seßhaftwerden des Menschen. Erst jetzt begannen sich in Anpassung an die jeweiligen Umweltbedingungen die heutigen Großrassen der Menschheit herauszubilden.

Mit Grabstock, Hacke, Hakenpflug



Landwirtschaftliche Geräte um 10 000 v. u. Z.: Der Grab- oder Pflanzstock wurde zur Hacke, die Hacke entwickelte sich zum einfachen Handpflug.

Um Aufhellung der Frage, wie sich aus der Wildbeuterwirtschaft, der für die Sammler und Jäger typischen Wirtschaftsform, die höheren Formen des Ackerbaues und der Viehzucht entwickelten, bemühten sich schon die griechischen Geschichtsschreiber, die Enkel des Prometheus. Sie machten es sich einfach, indem sie die ihnen bekannt gewordenen und bekannten Wirtschaftsformen ohne langwieriges Kopfzerbrechen in drei aufeinanderfolgende Gruppen gliederten: die der Sammler und Jäger, die der viehzüchtenden Nomaden am Rande der griechischen Welt und die der Ackerbauern, deren Tätigkeit der eigenen Wirtschaftsform entsprach. Ihr Fehler bestand darin, daß sie die über Jahrtausende hinweg nebeneinander bestehenden Wirtschaftsformen willkürlich hintereinanderreihten, worauf sich die bis ins 19. Jahrhundert vorherrschende, vereinfachende »Dreistufentheorie« von Jagd, Viehzucht und Bodenbearbeitung gründete.

Die Stufe des Sammelns und Jagens beschrieben die griechischen Historiker als das paradiesische, das »goldene« Zeitalter der Menschheit, wenngleich sie die Sammler und Jäger als Wesen im halbtierischen Zustand, als »Wilde«, betrachteten. Zu ihrer Rechtfertigung könnte vorgebracht werden, daß Versuche, den Ureinwohnern verschiedener Stammesgebiete in Südostasien, in Südamerika und anderswo, die noch heute auf der untersten Stufe der Produktionswirtschaft leben, Ackerbau und Viehzucht beizubringen, fast ausnahmslos gescheitert sind. Es fehlt diesen an Einsicht und Geduld, die beide auf Naturerkenntnis beruhen, um die Reifezeit der Feldfrüchte zwischen Aussaat und Ernte abzuwarten.

Als vermittelnde Zwischenstufe haben deshalb die Historiker die sogenannten Erntevölker in die Entwicklungsgeschichte der Menschheit eingefügt, deren Wirtschaftsform nicht auf der planmäßigen Aussaat, sondern auf jahreszeitlich bedingtem Einernten wildwachsender Pflanzenarten beruhte. Die Inkas und Azteken ernteten auf diese Weise die wilde Kartoffel und den Mais, die nordamerikanischen Indianer und verschiedene Völkerschaften Afrikas und Asiens den wilden Wasserreis und die Hirse. Das Unvermögen der auf der Kulturstufe der Steinzeitmenschen stehenden Ureinwohner afroasiatischer Gebiete, von einem Tag zum anderen von der Jagd- und Sammeltätigkeit abzulassen und Ackerbau und Viehwirtschaft zu betreiben, erklärt sich aus den gewaltigen historischen Zeiträumen, in denen sich der Wechsel vom Primat der Jagd zur Agrarproduktion vollzog.

Der länger an einem Rastplatz verweilende Jäger und Sammler begann die Natur mit neuen Augen zu sehen. Er konnte das Wachstum der Pflanzen und das Reifen der

Wildfrüchte während der ganzen Vegetationsperiode beobachten. Dabei entdeckte er das Geheimnis von Aussaat und Ernte, erkannte er die Möglichkeit, dem Boden mehr Frucht abzugewinnen, wenn man ihn bearbeitete. Nimmt man die Reib- und Quetschsteine zum Zerkleinern von Wildgetreide als die ältesten archäologisch faßbaren Belege für den Übergang der Menschheit von der Jagd zum Getreideanbau, so sprechen Bodenfunde aus Nubien dafür, daß schon im 14.–13. Jahrtausend v. u. Z. in Oberägypten Wildgetreide geerntet und verarbeitet wurde. Das erste von Menschenhand angebaute Getreide – Weizen, Gerste und Einkorn – wurde auf den Hochflächen von Kleinasien nachgewiesen und in das 9. Jahrtausend v. u. Z. datiert.

Mit dem endgültigen Rückzug des Eises und der Herausbildung der heutigen Vegetationszonen breitete sich die Bodenbearbeitung von Kleinasien über Griechenland bis Mittel- und Nordeuropa aus, wo neben Weizen und Gerste auch Hirse, von den Hülsenfrüchten Pferdebohne, Erbse und Linse, von den Nutzgräsern Flachs und Lein angebaut wurden.

Hatte bis dahin das Hauptanliegen des Menschen der Verbesserung der Jagdwerkzeuge gegolten, so rückte fortan die Herstellung von Gerätschaften für die Bodenbearbeitung, für Aussaat und Ernte in den Vordergrund. Der Grabstock, das wichtigste Werkzeug der Sammler, wurde nun zum Pflanzstock der frühen Pflanzenbauer. Derbe Astgabeln, die zum Furchenziehen dienten, bildeten die Vorläufer der Hacke, der als spätere Entwicklungsstufen der hölzerne Hakenpflug und der Holzpflug mit steinerner Pflugschar folgten. Die ersten zur Getreideernte verwendeten Sicheln bestanden aus geschäfteten Feuersteinklingen.

Etwa gleichzeitig mit dem Feldbau führte



Pflug mit Zugtieren um 1400 v. u. Z., Ägypten. Hinter dem Pflüger geht eine säende Frau.

sich die Viehhaltung ein. Der Hund, der Nachkomme des Wolfes, gehörte als unentbehrlicher Begleiter des Jägers wohl zu den ersten Haustieren des Menschen. Der Gedanke, Beutetiere in Gattern als lebende Fleischreserven zu halten, lag nahe. Als besonders geeignet für die Viehhaltung erwiesen sich das aus dem Wildschwein hervorgegangene Hausschwein und Herdentiere wie Schaf oder Ziege, die als Milch- und Wollspender auch zur Ernährung und Bekleidung beitrugen.

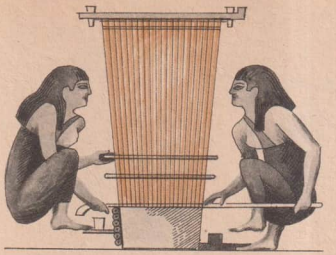
Das Halten von Rindern, den Abkömmlingen des stärkeren Ures, von Pferd und Esel als Trag-, Zug- oder Reittiere kam zuerst dort auf, wo ihre Wildformen am häufigsten anzutreffen waren, so besonders auf den Hochplateaus und am Rande der zentralasiatischen Hochgebirge. In anderen Landschaftsgebieten wurden Kamele, Yaks oder das Ren als Haustiere gehalten. Entsprechend den natürlichen Gegebenheiten überwog in den Steppenzonen die Viehzucht, während in den Gebieten mit günstigeren Bodenverhältnissen der Ackerbau dominierte.

Der sich in Europa hauptsächlich während der Jungsteinzeit (Neolithikum) vollziehende Übergang zur Bodenbearbeitung und zur Viehzucht kennzeichnet im Verhalten des Menschen gegenüber seiner Umwelt einen grundlegenden Wandel, der hinsichtlich seiner weittragenden Folgen für die gesamte Spezies auch als »neolithische oder agrarische Revolution« bezeichnet wird. Zum erstenmal in seiner wechselvollen Geschichte, in deren Verlauf der Mensch von der »Hand in den Mund« gelebt hatte, machte er sich unabhängig von der »Geberlaune« der Natur. Unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Vegetationsbedingungen, in »wohlüberlegter Zusammenarbeit mit der Natur«, bestimmte er fortan selbst, welche und wieviel Nahrungsmittel erzeugt werden sollten. Erst jetzt wurde es ihm möglich, sichere Nahrungsvorräte für Notzeiten anzulegen und — wie wir heute sagen würden: durch Steigerung der Arbeitsproduktivität mit Hilfe der Technik — mehr landwirtschaftliche Produkte zu erzeugen, als der Eigenbedarf und die Vorratshaltung erforderten. Die so erzielten Überschüsse werden uns im übernächsten Abschnitt als »Mehrprodukt« wiederbegegnen.

Vom Leben der Ackerbauern und Viehzüchter

Archäologische Ausgrabungen im heutigen Jordanien und der südöstlichen Türkei, z. B. bei Catal Hüyük, erbrachten den Beweis, daß es schon vor rund elftausend Jahren auf der Erde Dauerwohnstätten, erste Siedlungen seßhafter Bauern, gab. Der von ihnen betriebene Getreideanbau erforderte es, so lange bei den Feldern zu bleiben, bis die Ernte des Jahres eingebracht war oder die Fruchtbarkeit des Bodens sich erschöpfte.

Die älteren Behausungen der Ackerbauern unterschieden sich kaum von den Wohnhöhlen und Erdhütten der Sammler und Jäger. In Kleinasien lebten sie anfangs in Rundhütten, im mittleren Europa in zeltartigen Pfostenhäusern, deren Flechtwände mit einem Lehmbewurf versehen waren. Etwa im 8. Jahrtausend v. u. Z. fand der an der Luft getrocknete, mit gehacktem Stroh durchsetzte Lehmziegel erste Verwendung als Baumaterial in der sogenannten Naturbauweise. In kälteren Klimazonen bevorzugte man nach Erfindung von Beil, Axt und Säge den Blockhausbau, der große Mengen Holz erforderte. An fischreichen Gewässern oder in moorigen Gegenden stellte man die Häuser zum Schutz vor Hochwasser und wilden Tieren häufig auf Pfahlwerk. In holzarmen Gebieten dienten



Ägyptischer Hochwebstuhl um 1500 v. u. Z.: Das Spannen der Kette wird durch einen waagerechten Balken bewirkt. Unten rechts und links durch den Fuß zu betätigende Gabelenden, durch deren wechselweises Niedertreten die Fachbildung erfolgt. In den Händen der Weberinnen das Weberschwert. Das Weben erfolgt von unten nach oben.

Zelte aus Fellen und Häuten als Behausung. Den lokalen Gegebenheiten und dem jeweiligen Stand der Technik entsprechend ermöglichte die Verbindung von Holz, Ziegeln und Naturstein die vielfältigsten Kombinationen, bildeten sich verschiedenartige Häusertypen heraus, deren Grundformen bis in die Gegenwart erkennbar geblieben sind.

Mit der Ernährung und der Behausung veränderte die neue Wirtschaftsweise zugleich die Bekleidung, verdrängten Gewebe aus Wolle und Pflanzenfasern das Tierfell und die Bastmatte. Grundlage der Spinn- und Webtechnik bildeten das Flechten und Knüpfen, aber auch das Verdrillen von Fasern und Haaren – Vorformen des Spinnens, die neben der Werkzeugherstellung zu den ältesten handwerklichen Fertigkeiten des Menschen gehören. Mit Strängen, Schnüren oder Stricken aus Pflanzenfasern geknüpft, verknotet oder verdrillt, wurden jahrtausendelang Faustkeil und Stiel zum Beil oder zur Axt verbunden, die Steinspitzen am Pfeil- oder Speerschaft befestigt, die Pfosten beim Fallen- oder Hüttenbau zusammengefügt. Aus dem gleichen Material wurden Angelschnüre, Schlingen und Netze, Traggurte und Gürtel zum Zusammenhalten der Kleidung gefertigt. Aus Schilf, Stroh oder Rindenbast hatten schon die Sammler und Jäger Behälter zum Transport und zur Aufbewahrung der Nahrungsmittel, Matten für ihre Schlafstatt und das erste Schuhwerk geflochten.

Das Bedürfnis nach einem langen und gleichmäßigen Faden führte schließlich zur Handspindel mit dem als eine Art Schwungrad wirkenden Spinnwirtel aus Stein, Knochen oder anderem Material. Versponnen wurden neben tierischer Wolle die neuen Rohstoffe, die der Ackerbau lieferte, besonders Flachs, Hanf und Lein für festes Gewebe. Später kam in Indien die Baumwolle, in China die Kokonseide hinzu.

Die namenlosen Techniker des Neolithikums, die Erfinder der zusammengesetzten Werkzeuge und der Urform der Bohrmaschine, entwickelten den Flechtrahmen zum einfachen Handwebstuhl, dessen älteste bildliche Darstellungen bis ins 7. Jahrtausend v. u. Z. zurückreichen. Die Konstruktion bestand aus zwei senkrecht in den Boden geschlagenen Holzpfosten, oben durch einen Querbalken verbunden, an dem die Kettfäden befestigt waren. Webstuhlgewichte aus Stein oder Ton dienten zum Straffen der Kettfäden. Zwei Mittelbalken schufen das Fach, in das das Weber-



Königliche Spinnerin mit dem Wirtel. Das in Susa/Elam gefundene Bruchstück eines Reliefs aus dunklem Asphaltstein stammt aus dem 12./11. Jh. v. u. Z.



Die Töpferscheibe – Drehscheibe – und der Töpferofen sind in Mitteleuropa seit dem 4. Jt. v. u. Z. nachweisbar.

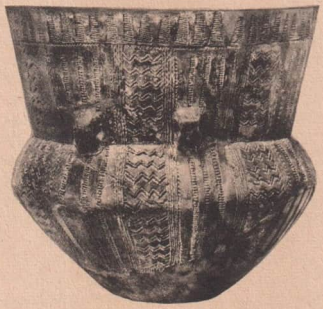
schiffchen den Schußfaden im rechten Winkel zu den Kettfäden einführte. Das Festschlagen der Schußfäden erfolgte mit dem Weberschwert, das später mit Zinken versehen und so zum Weberkamm wurde. Mit dem Webstuhl schuf der Mensch bereits vor Jahrtausenden jene technischen Grundlagen für eine Bekleidungsweise, die bis heute gültig geblieben sind.

Die Nutzung des Feuers und die Flechttechnik, die auf den ersten Blick nicht viel Gemeinsames zu haben scheinen, trugen beide gleichermaßen zum Aufkommen einer neuen Handwerkskunst bei – der

Gefäßkulturen in Mitteleuropa



Tongefäß der Linienbandkeramik, der ältesten jungsteinzeitlichen Stilform, die sich in der zweiten Hälfte des 5. Jt. v. u. Z. über ganz Mitteleuropa auszubreiten begann.



Tongefäß der Tiefstichkeramik, die sich im sächsisch-thüringischen Raum in der ersten Hälfte des 4. Jt. v. u. Z. neben der Linienbandkeramik herausbildete.

Töpferei. Die Vorratshaltung von Nahrungsmitteln erforderte Gefäße, die man anfangs aus Binsen- oder Rindengeflecht herstellte und haltbarer machte, indem man sie rundum mit Lehm bestrich. Nach und nach lernte man, Lehm oder Ton auch ohne Flechtwerk von Hand zu formen und wie die Lehmziegel an der Luft oder in der Nähe des Feuers zu trocknen. Wieder einmal könnte es der Zufall gewesen sein, daß ein ins Feuer geratenes Gefäß zu der Neuerung führte, Tongefäßen künftig durch Brennen (d. h. durch Erhitzen auf über 600 °C) Festigkeit zu verleihen. Die indirekte Anwendung des Feuers erforderte einen weitaus höheren Grad seiner Beherrschung als die direkte Nutzung für Zwecke der Beleuchtung, der Heizung oder der Nahrungszubereitung. Rückblickend erscheint die Töpferei als die früheste bewußte Nutzanwendung einer chemischen Umwandlung durch den Menschen.

Hatte sich die pflanzliche Nahrung im Feuer bisher nur sehr einseitig zubereiten lassen, z. B. durch Backen von Fladenbrot, so brachten die gebrannten Tongefäße fortan Abwechslung für den Küchenzettel der Ackerbauern und Viehzüchter, ermöglichten sie die Einführung von Kochverfahren.

Dem wachsenden Bedarf an Töpfereierzeugnissen konnte nur mittels völlig neuartiger Technologien entsprochen werden. Schon aus der Mittelsteinzeit (8000–4500 v. u. Z.) ist der Töpferofen mit getrenntem Feuerungs- und Brennraum nachgewiesen, in dem gleichzeitig mehrere Tongefäße gebrannt werden konnten. Eine weitere wichtige Erfindung war die mit den Füßen oder der Hand angetriebene Töpferscheibe. Ihr Wirkprinzip beruht auf der Rotation, die schon beim Feuerbohrer und Spinnwirtel Anwendung fand und in der nachfolgenden Epoche zur Erfindung des Rades beitrug. Zu den neuentwickelten Technologien zählte auch die Verwendung vorgefertigter Formen, Schablonen, die den Arbeitsvor-



Schnurkeramische Amphore (Mansfelder Stil). Die schnurverzierte Keramik fand im 3. Jt. v. u. Z. neben der sogenannten Trichterbecherkultur weite Verbreitung.



Gefäß der Glockenbecherkultur, die sich gegen Ende des 3. Jt. v. u. Z. von der Iberischen Halbinsel aus bis nach Mitteleuropa verbreitete. Ihr Ende fiel in die frühe Bronzezeit.

gang erheblich beschleunigten. Die mit all diesen technologischen Neuerungen verbundene Aufnahme der Serienfertigung hatte zur Folge, daß die bisher von Frauen im Hauswerk betriebene Töpferei als spezialisiertes Gewerbe auf die Männer überging.

Bei der Formgebung der Gefäße erwarben die Töpfer in Übereinstimmung von Schönheit und Zweckmäßigkeit immer größere Kunstfertigkeit. Jede Epoche, jede Landschaft, jede Stammesgemeinschaft entwickelte ihre eigenen spezifischen Formen und Schmuckelemente, die der Urgeschichtsforschung – ähnlich wie die Faustkeilkulturen – wichtige Aufschlüsse geben. Die verschiedenen keramischen Techniken – wie die für den mitteleuropäischen Raum zu Beginn der jüngeren Steinzeit typische »Bandkeramik«, die ihr nachfolgenden »Trichterbecher«- und »Glockenbecher«-kulturen oder die »Schnurkeramik« – kennzeichnen über Jahrtausende hinweg die jeweiligen Hauptabschnitte der materiellen Kultur. Sie zeugen auf ihre Weise dafür, welche spürbaren Verbesserungen die Daseinsbedingungen des Menschen auf dem Höhepunkt der Gentilordnung erfuhren.

Die Auflösung der Urgesellschaft

Unser erster Streifzug durch die »Vor- und Frühgeschichte« der Technik hat gezeigt, wie jede Zufallsentdeckung oder Erfindung, jede neuerworbene handwerkliche Fertigkeit allen Mitgliedern der Sippe zum Nutzen gereichte und ihr gemeinschaftliches Eigentum mehrte. Die bevorzugte Stellung der Frau, die Kinder gebar und aufzog, die das Feuer hütete und die Nahrung zubereitete, blieb dabei unangetastet. Auch in der Produktion spielte die Frau eine wichtige Rolle. Viele Anzeichen sprechen dafür, daß



Das Entkörnen des Getreides erfolgte schon vor Jahrtausenden mit Hilfe der Haustiere. Das Getreide wurde auf hartem Boden ausgestreut, danach wurden, wie die Abbildung aus Ägypten (300 v. u. Z.) zeigt, Esel darübergetrieben.

es Frauen waren, die zuerst mit dem Säen und Pflanzen und der Aufzucht der Haustiere begannen, während die Männer noch lange Zeit vorwiegend die Jagdtätigkeit fortsetzten, der Fischerei nachgingen und mit der Herstellung von Werkzeug und Jagdwaffen beschäftigt waren. Frauen mahlten das Korn, flochten und knüpften, spannen den Faden und webten die Stoffe, formten und brannten die ersten Tongefäße, waren selbst Produzenten.

Die Feldbestellung mit Grabstock und Hakenpflug, die Zähmung der Zug-, Trag- und Reittiere, der Umgang mit den wachsenden Herden erforderte zunehmend die größere Körperkraft des Mannes. Mehr und mehr wurde die Herrschaft der Frau, das Matriarchat, durch die Vorherrschaft des Mannes, das Patriarchat, abgelöst. Eine weitere sozialökonomische Strukturänderung leitete sich damit ein, daß die fortschreitende Differenzierung der Produktion und die komplizierter werdenden Arbeitsvorgänge eine Spezialisierung bedingten, die über die Möglichkeiten einer einzelnen Sippe weit hinausgingen, die eine enge Zusammenarbeit der Gentes innerhalb ihres Stammes notwendig machte. Der vor Jahrtausenden begonnenen Spezialisierung in der Herstellung von Werkzeug und Jagdwaffen, der nachfolgenden ersten großen gesellschaftlichen Arbeitsteilung in Ackerbauern und Viehzüchter folgte nun auf breiterer Basis die Spezialisierung auf das Spinnen und Weben, die Töpferei und andere gewerbliche Tätigkeiten. Erste Ansätze also zu einer zweiten Arbeitsteilung, der Herauslösung des Handwerks aus der Landwirtschaft.

Mit der Produktionsweise änderten sich innerhalb der Gentilorganisation die Eigentumsverhältnisse. Neben dem gemeinsamen Besitz der Gentes an Ackerland, Vieh und Getreidevorräten bildete sich das Stammeseigentum, das hauptsächlich aus dem gemeinsam besiedelten Territorium bestand. Die Kenntnis spezieller Produktionserfahrungen, vor allem aber die Herstellung oder der Erwerb eigener Produktionsmittel für den persönlichen Bedarf – wie Jagdwaffen und Fanggerät, Webstuhl oder Töpferscheibe – führten ebenso wie der Besitz von Zugvieh und Pflug zur Bildung von Privateigentum und damit zur ökonomischen Ungleichheit unter den Angehörigen der Stammesgemeinschaft. Eine ebenso wichtige Rolle für den sozialen Differenzierungsprozeß spielte das durch den technischen Fortschritt erzielte Mehrprodukt. Die über den Eigenbedarf der Sippe oder des Stammes hinausgehenden Vorräte an Werkzeugen und Waffen, Getreide, Fleisch und Fellen, Töpferwaren oder Geweben ermöglichten es dem kollektiven oder persönlichen Eigentümer, bei der Nachbarsippe oder dem Nachbarstamm andere Produkte dafür einzutauschen. Vom Austausch des Mehrproduktes bis zur organisierten Warenproduktion, d. h. bis zur Herstellung direkt für den Warenaustausch bestimmter Erzeugnisse, war es nur noch ein Schritt.

Die Nutznießer des Austausches waren die neuen Eigentümer der Produktionsmittel, die damit in der Gentil- und Stammesgemeinschaft eine privilegierte Stellung einnahmen, zu Sippenältesten, Stammeshäuptlingen oder militärischen Anführern und Priestern aufrückten. Die Zersetzung der Urgesellschaft schritt unaufhaltsam voran. Die Gründung großer Städte mit neuen komplexen Wechselbeziehungen zwischen dem handwerklichen und wirtschaftlichen Leben, der Übergang zum Bewässerungsfeldbau, die Ausweitung des Tauschhandels, vor allem aber die Gewinnung und Verarbeitung von Metallen beschleunigten die Herausbildung der Klassengesellschaft, leiteten ein neues Kapitel in der Geschichte der Produktivkräfte und der von ihnen geschaffenen Technik ein. Schauplatz des folgenden Geschehens sind die alten Stromtalkulturen des Vorderen Orients.



Wasser des Lebens – Schlüssel zur Macht

»Damit Kanäle gegraben würden, Bäche und Gräben gezogen und das Wasser reichlich auf dem Feld, dem pflügbaren Feld sei, gaben die Götter den Menschen den Spaten, die Hacke, den Korb und den Pflug, den Lebensodem des Landes . . .«

(Aus einem sumerischen Text um 2000 v. u. Z.)

Schluß mit dem Warten auf Regen

Herodot (um 484–425 v. u. Z.), als einer der ältesten griechischen Geschichtsschreiber mit dem Beinamen »Vater der Geschichte« geehrt, berichtete über das Tagewerk der Bauern an den Ufern des Nils: »Sie brauchen sich nicht zu quälen, Furchen aufzubrechen mit dem Pfluge, noch zu hacken, noch mit irgendeiner anderen Arbeit, mit der andere Menschen sich auf dem Felde quälen, sondern der Fluß kommt aus freien Stücken auf ihre Äcker und bewässert sie, und wenn er sie bewässert hat, verläßt er sie wieder, und dann besät ein jeder seinen Acker und treibt die Schweine darauf, und wenn die Schweine die Saat eingetreten, dann wartet er die Ernte ab und drischt das Korn aus durch die Schweine, und dann bringt er es in seine Speicher.«

Der Reisebericht des Herodot gibt eine anschauliche Schilderung der in Altägypten gebräuchlichen Form des Bewässerungsfeldbaues, der letzten Phase der »agrarischen Revolution«, die mit dem Anbau von Getreide und der Aufzucht von Nutzvieh begann. Jahrtausendelang hatten sich die Bauernstämme in den Hochtälern Klein- und Vorderasiens damit abgefunden, daß die Natur mit Sonnenschein und Regen, mit Dürre oder Überschwemmung das Wachstum der Saaten und die Ernteerträge bestimmte. Nicht grundlos wird deshalb diese Periode der Pflanzenproduktion als »Regenfeldbau« bezeichnet. Nur selten zogen die Regenfeldbauern schmale Gräben, um das Rinnsal kleiner Bäche auf die Felder zu führen oder das Hochwasser abzuleiten. Und weil ihren Mühen auf die Dauer der Erfolg versagt blieb, verließen sie im Laufe des 6. Jahrtausends v. u. Z. das Hochland und wanderten in die fruchtbaren Ebenen zwischen Euphrat und Tigris ab. Hier begannen sie die Sümpfe zu entwässern und das Wasser der ungezähmten Flüsse mit natürlichem Gefälle für den Feldbau zu nutzen. So entstanden in den Flußrandzonen des Euphrats die ersten größeren Siedlungen, die sich nach und nach in die Ebenen außerhalb der Stromtäler vorschoben.

Die erfolgreiche Anlage von Be- und Entwässerungsgräben ermutigte die Bewohner des Zweistromlandes zu größeren Vorhaben, zum Bau von Bewässerungskanälen, von Stauwerken und Deichen zum Schutz vor der Überschwemmungsgefahr. Die Erfordernisse der künstlichen Bewässerung, der Bau und die Instandhaltung der Bewässerungsanlagen und die Bestellung der ausgedehnten Felder überstiegen die Kräfte der kleinen Siedlungsgemeinschaften. Die neue Produktionsweise des Bewässerungsfeldbaues führte zwangsläufig zum Zusammenschluß der Arbeitskräfte in größere, gut organisierte Gemeinschaften. So entstand erstmals eine »große Kooperation«, deren Leitung in den Händen der aus den Reihen



Der Pharao »Skorpion« öffnet mit einer Hacke den Deich, der das Nilwasser staut. Darstellung auf einer Prunkkeule der ägyptischen Frühzeit aus Hierakonpolis, um 3000 v. u. Z.

des Gentiladels hervorgegangenen Priester, der »Herren des Wassers«, lag.

Die Priester organisierten nicht nur die Feldarbeiten, sie sorgten auch für die Befestigung der Wohnplätze und ordneten den Bau von Speichern für die Aufbewahrung der Ernten und den Bau von Tempeln zur Verehrung der Stammesgötter an. Rings um die Speicher und Tempel wuchsen nach dem Plan der Priester die ersten Städte. Wenn die Ernte eingebracht und gespeichert war, blieb Zeit genug für Raubzüge gegen die Nachbarstämme mit dem Ziel, ihnen die Vorräte an Getreide, Werkzeugen und Waffen fortzunehmen, sich deren Herden oder Boden anzueignen, vor allem aber, um Gefangene einzubringen, die als Arbeitssklaven die eigene Massenkraft vermehrten. Und wieder waren es die Priester, die über die Verteilung und Verwendung der Beute bestimmten.

Ihre Verbindung zu den Göttern demonstrierten die Priester durch kultische Handlungen, zu denen auch die Ausarbeitung der Saat- und Erntekalender gehörte. Das war besonders in Ägypten der Fall, wo der Bewässerungsfeldbau auf den jährlichen Überschwemmungen des »Allvaters Nil«, des längsten Stromes der Erde, beruhte. Die klassische Bewässerungskultur Ägyptens bestand darin, das während der Monsunregenzeit auftretende Nilhochwasser in riesigen eingedeichten Becken aufzufangen. Wenn nach zwei bis drei Monaten der Boden gesättigt war, wurde das verbliebene Wasser in den inzwischen abgefallenen Flußlauf zurückgeleitet und das Getreide in den vom Wasser abgesetzten, fruchtbaren Schlamm ausgesät. Nach der Ernte, die vier Monate später im Februar oder März erfolgte, lag das Land, von einer steinharten, rissigen Kruste bedeckt, bis zum nächsten Durchstich brach.

Da Steigen und Fallen des Nilhochwassers von Jahr zu Jahr unterschiedlich eintraten, blieben Mißernten und Hungersnot nicht aus. Das in das umliegende Hochland eingeschnittene Niltal bot wenig Möglichkeit, die Anbauflächen in Dürrejahren durch Kanäle wie im Zweistromland zu bewässern. Neben der Beckenbewässerung, die nur eine Ernte gestattete, wurden erst



Altorientalischer Säpflug, auf einem akkadischen Rollsiegel (um 2400 v. u. Z.) als Göttersymbol dargestellt

in späterer Zeit tiefer gelegene Uferflächen durch den Einsatz von Wasserrädern und Ziehbrunnen künstlich bewässert.

Den Priestern also oblag es, auf der Grundlage des von ihnen erarbeiteten Kalenders des Sonnenjahres und nach Beobachtung der Wasserstände den Eintritt der Flut vorauszusagen. Nur ihnen war der Zutritt zu den Gebäuden gestattet, in denen sich die Wasserstandspegel befanden. Der Wasserstand wurde meist geheimgehalten, weil nach ihm gewisse Steuern erhoben wurden. Die Öffnung der Deiche blieb dem Pharao selbst vorbehalten, der sich dazu einer Hacke, dem Hauptinstrument des ägyptischen Bewässerungsfeldbaues, bediente. Der Nil kam also nicht so aus »freien Stücken auf ihre Äcker«, wie Herodot schilderte, sondern wurde durch die Anlage von Dämmen, Be- und Entwässerungsbecken sowie einfache Wasserschöpfeinrichtungen zu seiner Fruchtbarkeit spendenden Tätigkeit gezwungen.

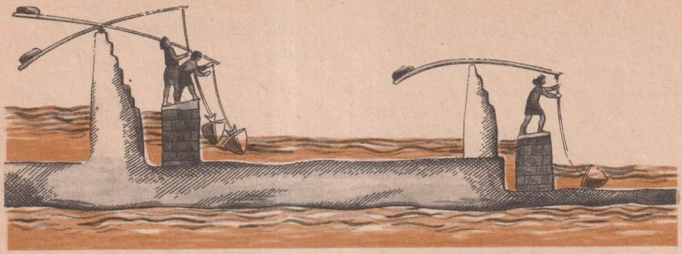
Anders als in Ägypten bildete im Zweistromland der Holzpflug mit Rindergespann das wichtigste Landwirtschaftsgerät. Aus dem 3. Jahrtausend v. u. Z. überlieferte Abbildungen lassen sogar schon einen Vorläufer der Sämaschine, den Säpflug, erkennen. Hinter der Pflugschar war ein Sätrichter angebracht, aus dem während des Pflügens das Saatgut in die Furchen fiel. In ähnlicher Weise wie an Euphrat und Tigris wurde der Bewässerungsfeldbau auch am Indus, am Huanghe und Changjiang betrieben. Hier wie dort ließ die Herrschaft über das Wasser die despotische Zentralgewalt erstarken und führte zur Entstehung der frühen Stadtstaaten, die im Vorderen Orient Ende des 3. Jahrtausends v. u. Z. von den ersten Großreichen der Geschichte wie dem der Sumerer abgelöst wurden. Aber mit der Betrachtung der gesellschaftlichen Konsequenzen des Bewässerungsfeldbaues sind wir der technischen Entwicklung vorausgeeilt, sind wesentliche Erfindungen übersprungen worden, z. B. die Wasserschöpfeinrichtungen.

Hebel und Räder schöpfen Wasser

Von Archimedes (etwa 285–212 v. u. Z.), der als Mathematiker, Physiker und Techniker gleichermaßen Berühmtheit erlangte, ist der stolze Ausspruch überliefert: »Gebt mir einen festen Standpunkt außerhalb der Erde, und ich will sie bewegen!« Als Hilfsmittel dazu dachte er, der als einer der ersten das Hebelgesetz formulierte, mit Sicherheit an den Hebel. Auf der Hebelwirkung beruhte auch das älteste Wasserhebegerät, das schon vier Jahrtausende vor Archimedes in der Bewässerungstechnik des Zweistromlandes zum Einsatz kam und sich im Vorderen Orient und in Afrika bis heute erhalten hat: der Schaduf. Hauptsächlich aber wurde der Schaduf in Ägypten eingesetzt, um das Nilwasser auf die höher gelegenen Ufer zu heben.

Als beweglicher Hebelarm diente ein zwischen zwei Pfählen angebrachter junger Baumstamm. Am längeren Teil des Hebelarmes hing an einem Seil das Schöpfgefäß. Der kürzere Hebelarm war durch ein Gewicht beschwert, das das Heben des gefüllten Schöpfgefäßes erleichterte. Das Funktionsprinzip des Schadufs ähnelt unverkennbar dem in ländlichen Gegenden weitverbreiteten, z. B. für die ungarische Pußta typischen, Ziehbrunnen.

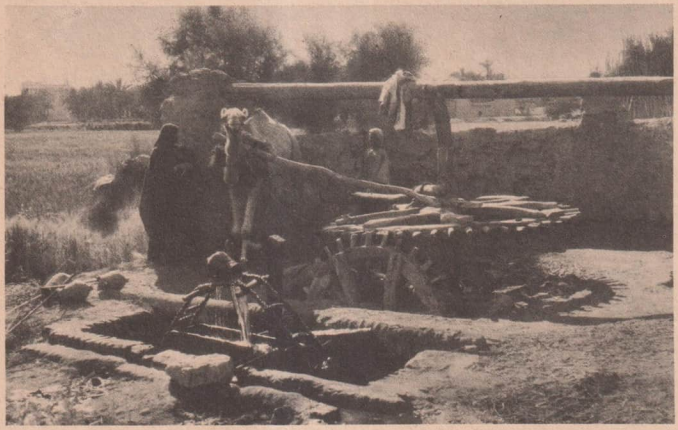
Mit Hilfe mehrerer stufenweise übereinander angeordneter Schadufs konnte das Wasser auch auf größere Höhen gehoben werden. Die Stundenleistung betrug je nach Gefäßgröße und Förderhöhe etwa 6 m^3. Die Hebelwirkung lag auch der in Indien gebräuchlichen Picoto oder Kupila zugrunde, einer Art Wippe, die durch Hin- und Hergehen der Wasserschöpfer auf einem breiteren Hebelarm auf- und abbewegt wurde.



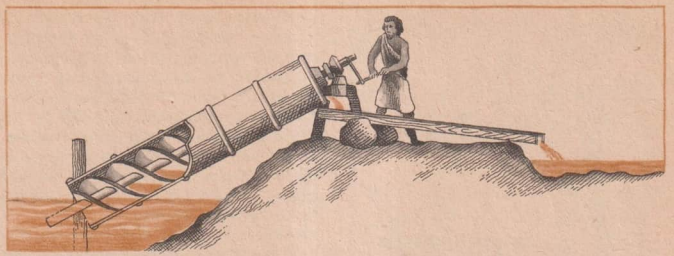
Schaduf aus dem Zweistromland. Anwendung des zweiarmigen Hebels zum Wasserheben aus Flüssen, Seen oder Zisternen (nach einem Relief aus dem 7. Jh. v. u. Z. im Palast von Ninive)

Selbst Haspel und Göpel, von menschlicher oder tierischer Muskelkraft betrieben, bis zur Erfindung der Dampfmaschine im Bergbau zum Wasserheben eingesetzt, waren den Bewässerungstechnikern lange vor Archimedes bekannt.

Einen komplizierteren Mechanismus, dessen Herstellung exakte Naturbeobachtung, geometrische Grundkenntnisse und handwerkliche Fähigkeiten voraussetzte, wiesen die später entwickelten Schöpfräder (etwa ab dem 3. Jahrtausend v. u. Z.) auf. In



Ägyptische Sakije mit Göpelwerk. Die Sakije besteht aus einem vertikalen Rad, über das Palmenstricke laufen, an denen die Schöpfgefäße befestigt sind. Der Antrieb des Rades erfolgt durch ein Göpelwerk, das durch Kamele oder Ochsen in Bewegung gesetzt wird. Diese Methode des Wasserhebens ist noch heute im Vorderen Orient verbreitet.

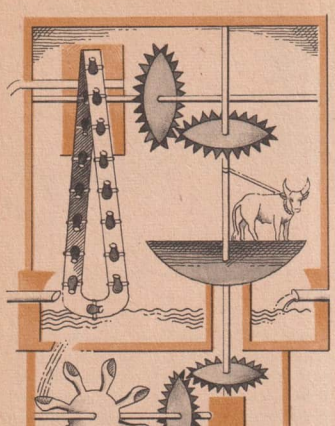


Archimedische Schraube (Schnecke) mit Verschalung. Zum Wasserschöpfen eingesetzt, erfolgte ihr Antrieb ursprünglich mittels Kurbel oder Tretrad.

Ägypten waren es die Sakije, die sich über ein von Kamelen oder Ochsen angetriebenes Göpelwerk bei niedrigem Wasserstand des Nils mit dem Schaduf in die künstliche Hebung des Wassers teilten. Andernorts unter Weglassung des Göpelwerkes in rascher und gleichmäßiger fließende Gewässer eingehängt und von der Strömung angetrieben, füllten sich die Gefäße des Schöpfrades mit Wasser, stiegen mit jeder Umdrehung des Rades nach oben und entleerten ihren Inhalt in hölzerne Rinnen, die



Wasserschöpfräder mit Bechern wie das am Huanghe drehten sich schon vor 5000 Jahren an Euphrat und Tigris, an Indus, Nil und den Ufern der großen chinesischen Ströme.



Vorrichtung zum Wasserheben mittels einer Eimerkette nach dem Paternosterprinzip mit Tierantrieb (nach arabischen Quellen des 13. Jh.)

das Wasser den Feldern zuführten. Der Durchmesser der Schöpfräder nahm bereits der Förderhöhe entsprechend beachtliche Ausmaße an. Rückblickend betrachten wir das Schöpfrad, das eine der Muskelkraft weit überlegene Leistung entwickelte, als den Prototyp aller nachfolgenden Kraftmaschinen. Es entbehrt nicht der Ironie, daß fast gleichzeitig mit dem Wasserrad, das den Menschen die Arbeit zu erleichtern vermochte, Tretrad und Tretmühle erfunden wurden, Sinnbild der schwersten und stumpfsinnigsten Arbeit, der schamlosesten Form der Ausbeutung menschlicher Muskelkraft.

Der Ideenreichtum und die Schöpferkraft des Menschen ließen sich auch im Schatten des Tretrades nicht unterdrücken. Aufzeichnungen aus dem 1. Jahrtausend v. u. Z. zeigen bereits völlig neue technische Lösungen, nämlich Pumpen zur Wasserhebung, die von Zugtieren angetrieben wurden, wobei die Kraftübertragung durch Zahnräder erfolgte. Ein ähnliches Antriebs- und Kraftübertragungsprinzip läßt ein paternosterähnliches Schöpfwerk erkennen, das der Wasserversorgung des Königspalastes in Babylon diente, bei dem wir auf unserer Wanderung durch »versunkene Städte« verweilen werden.

War es Archimedes, der uns zur Betrachtung der Wasserschöpfeinrichtungen der Bewässerungsfeldbauern verleitete, so gilt es auch seinen eigenen Beitrag zu würdigen, den er als Techniker zur Wasserhebung leistete. Auf der Grundlage der schiefen Ebene, die seit undenklichen Zeiten ein wichtiges, vielleicht überhaupt *das* wichtigste Arbeitsmittel für die Aufwärtsbeförderung von Lasten bildete, entwickelte Archimedes eine Wasserhebevorrichtung in Form einer endlosen Schraube. Universell einsetzbar zur Wasserhaltung in der Bewässerungstechnik, in der Trinkwasserversorgung von Gemeinwesen und zur Wasserhaltung im Bergbau, stand die »Archimedische Schraube« zweitausend Jahre später – Anfang des 19. Jahrhunderts – Pate bei der Erfindung des Schraubenantriebs für Dampfschiffe.

Staudämme und Kanäle

Nicht weniger eindrucksvoll als die von der kollektiven Massenkraft geschaffenen Pyramiden, die als eines der »Sieben Weltwunder« jedermann kennt und bestaunt, sind die in derselben Epoche der Sklavenhaltergesellschaft entstandenen Großbauten der

Wasserbautechnik. Die sich herausbildenden staatlichen Zentralgewalten schufen die Voraussetzungen dafür, daß die von den Stämmen und Völkerschaften des Zweistromlandes erbauten Bewässerungsanlagen zu territorialen Gesamtsystemen vereinigt und durch neue Anlagen ungewöhnlichen Ausmaßes ergänzt werden konnten. Unter den Sumerern entstanden Verbindungskanäle zwischen Euphrat und Tigris, durch die sich die künstlich bewässerte landwirtschaftliche Nutzfläche auf über 30 000 km² erhöhte. Das entspricht etwa einem Gebiet von der Größe Belgiens.

Ähnliche Entwicklungen vollzogen sich in Indien und China. Etwa zur gleichen Zeit wie die Kanalbauten der Sumerer entstand der »Große Kanal« in China, der mit einer Länge von 1782 km das Huanghebecken mit dem Changjiang, die Städte Hangtschu und Peking verband. Der für die damalige Zeit längste Kanal der Erde diente neben der Bewässerung der Felder zugleich dem Abtransport der Ernten aus den entlegenen Provinzen. Auf dem Wasserweg gelangten künftighin Reis, Tee, Baumwolle und Seide schneller und verlustärmer als auf dem mühseligen und gefahrvollen Landweg in die Speicher der Herrscher über das Reich.

In Ägypten erhöhte sich unter den Pharaonen die Gesamtlänge der Be- und Entwässerungsanlagen durch Neubauten nahezu auf die Länge eines Erdumfanges. Ungeklärt bleibt bis heute die Entstehung, Bestimmung und ursprüngliche Größe des von Herodot erwähnten Mevis-Staubeckens südlich von Kairo. Um das Jahr 1600 v. u. Z. erbaut, handelte es sich vermutlich um eine Art Talsperre, die eine Fläche von 686 km² eingenommen und 3 Mrd. m³ Wasser gefaßt haben soll. Allein die Schaffung der ausgedehnten Bewässerungsanlagen ermöglichte es der ägyptischen Landwirtschaft, so viel überschüssigen Reichtum zu produzieren, daß sie imstande war, die enormen finanziellen Lasten der staatlichen Bauten des ersten ägyptischen Reiches zu tragen.

Von Sagen und Legenden umwoben ist auch der Staudamm in der Oase Marib (Jemen), der auf Geheiß der Könige von Saba um das Jahr 800 v. u. Z. zur Bewässerung der berühmten Weihrauchplantagen errichtet wurde. Die Angaben über die Länge der Staumauer schwanken zwischen 140 und 3200 m, die der Mauerhöhe zwischen 9 und 37 m und der Mauerstärke zwischen 9 und 150 m. Glaubhaft erscheint, daß der historisch verbürgte Einsturz der Staumauer im Jahre 562 u. Z. eine verheerende Überschwemmungskatastrophe zur Folge hatte. Zuverlässigere Angaben als über das Mevis-Staubecken und den Staudamm in der Oase Marib liegen über einen anderen Staudamm vor, den indische Wasserbautechniker 494 v. u. Z. auf Tabrobane (Sri Lanka) erbauten, dessen Mauerlänge 20 km und dessen Mauerhöhe 100 m betragen haben soll. Diesen Zahlenangaben zufolge entsprach die Ausdehnung des Stauraumes in etwa der Größe des Genfer Sees.

Eine spezielle Art des Bewässerungsfeldbaues, in späteren Zeiten von Medern und Persern zur Meisterschaft geführt, entwickelte sich im armenischen Hochland: der Ackerbau mit Stollenbewässerung. Eine Bewässerungstechnik, die beträchtliche bergmännische Erfahrungen, technische und trigonometrische Kenntnisse erforderte. Durch das Abteufen von Tiefbrunnen und den Vortrieb unterirdischer Stollen wurden die Wasserreservoire im Schoße der Berge angezapft und deren Wasser durch ein Netz oberirdischer, zum Teil durch Felsen geschlagener Kanäle, Schleusen und Staubecken auf die Felder geleitet. Noch heute bewässern im Iran 40 000 Stollen aus jener fernen Zeit 3 Mill. ha landwirtschaftliche Nutzfläche.

Die im Hochland zwangsläufig entwickelte Technik des Stollen- und Kanalbaues durch Felsen und Berge trug entscheidend dazu bei, ein anderes herangereiftes Problem seiner Lösung zuzuführen: die Wasserversorgung der großen Städte des Altertums.

Wasser, das bergan und in die Häuser fließt

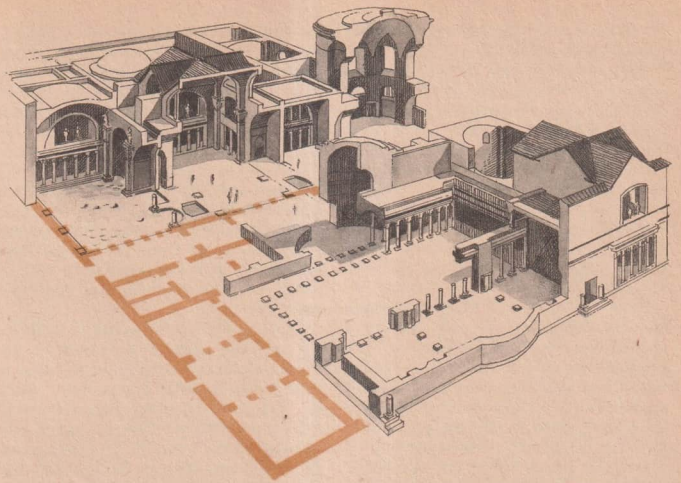
Menschliche Ansiedlungen sind undenkbar ohne Vorhandensein des lebenspendenden und lebensnotwendigen Wassers. Das veranlaßte schon die Jäger und Sammler, ihre Rastplätze an Stellen zu wählen, wo sie eine Quelle, einen Wasserlauf oder einen geeigneten See vorfanden. Mit dem Seßhaftwerden des Menschen, mit der Gründung von Siedlungen und Städten, erwies sich die ursprüngliche, die natürliche Art der Wasserversorgung bald als unzulänglich. Es galt, neue Möglichkeiten zu finden, um das Regenwasser aufzufangen und zu speichern, das Wasser der Quellgebiete an die Ansiedlungen heranzuführen oder durch Bohrungen den Grundwasserspiegel anzuzapfen. Brunnen wurden niedergebracht, Zisternen angelegt. Irgendwann entstanden die ersten Wasserleitungen, künstliche Gräben von größerer oder geringerer Neigung, Gefällewasserleitungen, anfangs noch unbedeckt, später mit Steinen ausgelegt oder mit Holz ausgekleidet. Das zugeführte Wasser mündete in Schöpfbecken, aus denen die Ansiedler ihren Wasserbedarf schlecht oder recht decken konnten. Spätestens aus dem 3. Jahrtausend v. u. Z. sind Reste von Wasserversorgungsanlagen bekannt geworden, deren technisches Niveau uns noch heute verblüfft.

Die Wasserversorgung von Ninive, der Hauptstadt des Neuassyrischen Großreiches am Tigris und einer der ältesten Metropolen der Welt, erfolgte mittels eines 55 km langen Kanals, angelegt im 8. Jahrhundert v. u. Z. Die Jahreszahl gewinnt an zusätzlicher Bedeutung, wenn hinzugefügt wird, daß dieser Trinkwasserkanal auf einem mehrere hundert Meter langen Aquädukt einen Flußlauf überbrückte. Wieder einmal – wie so oft und typisch für die Geschichte der Technik – wird offenbar, daß eine Erfindung – in diesem Falle den Römern zugeschrieben –, die komplizierte statische Berechnungen erforderte, schon Jahrhunderte früher im Vorderen Orient bekannt war und angewendet worden ist.

Berühmtheit erlangten auch die unter Salomo, 965–925 v. u. Z. König von Israel, errichteten Wasserversorgungsanlagen für Jerusalem, die das in den nahe gelegenen Bergen gesammelte Quellwasser in steinernen Röhren den öffentlichen Brunnen der Stadt zuführten. Gleichzeitig wurde ein weitverzweigtes Kanalsystem geschaffen, das die Abwässer aufnahm und den Feldern und Gärten vor den Toren der Stadt zur Bewässerung und Düngung zuleitete.

In Babylon, der Hauptstadt des Alten Orients, das um 580 v. u. Z. unter der Regentschaft des mächtigen Königs Nebukadnezar II. bereits 800 000 Einwohner gezählt haben soll, waren die meisten Gebäude der Stadt an die Wasserzuführung und die Abwässerkanäle angeschlossen. Dem hohen Stand der babylonischen Keramik entsprechend fanden für den Leitungsbau meist Tonröhren Verwendung. In den Palästen der Könige und den Häusern der Reichen fehlten weder ein Badezimmer noch das Wasserklosett, das in der Stadt Ur, der altsumerischen Metropole, schon im Jahre 2500 v. u. Z. nachgewiesen ist.

Viel später erst und unter völlig veränderten gesellschaftlichen Verhältnissen ging man im 6. Jahrhundert v. u. Z. in Griechenland zur zentralen Wasserversorung der Städte über. Dabei achteten die Baumeister besonders darauf, die Leitungen so zu verlegen, daß es dem Feind in Kriegszeiten unmöglich gemacht wurde, den belagerten Städten das Wasser »abzudrehen« oder – zu vergiften. Ein Beispiel dafür ist die Wasserleitung von Samos, erbaut unter der Regentschaft des Polykrates (535–522 v. u. Z.), die auf einem Kilometer Länge einen Berg



Die Thermen der Caracalla zu Rom, erbaut 206 bis 216. Die Gesamtanlage umfaßte eine Fläche von 109 000 m². Ihre kostbar ausgestatteten Badehäuser boten Platz für 1600 Besucher (Rekonstruktionszeichnung).



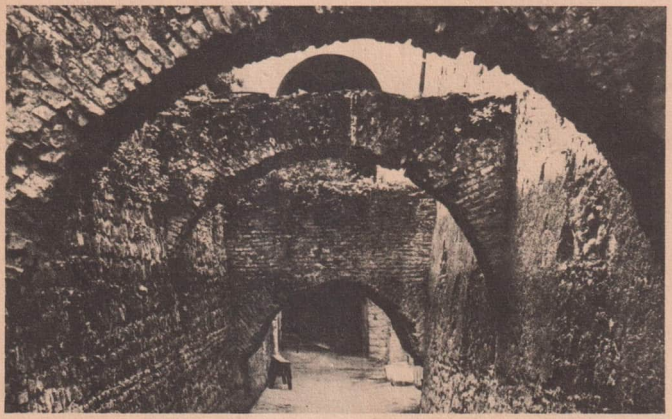
Teilabschnitt einer römischen Wasserleitung: der Pont du Gard bei Nîmes/Südfrankreich

durchquerte und unter einem Wasserlauf hindurchgeführt wurde.

Berühmter noch war die im 2. Jahrhundert v. u. Z. erbaute und als Druckwasserleitung angelegte Wasserleitung von Pergamon. Die topographischen Verhältnisse machten es erforderlich, das Quellwasser bis zu einer in 332 m über Meereshöhe gelegene Zisterne bzw. einem in 367 m Höhe errichteten Hochbehälter hinaufzuführen. Die Druckwasserleitung, die den Hochbehälter mit der Zisterne verband, durchquerte zwei tiefeingeschnittene Täler und den dazwischen aufragenden Bergrücken.

Ingenieurtechnische Meisterleistungen auf dem Gebiet der Wasserversorgungstechnik, die bis ins 19. Jahrhundert nicht ihresgleichen fanden, vollbrachten die Römer. Weder der Tiber, die natürliche Wasserader Roms, noch die zahlreichen Quellen und Brunnen in der Stadt und ihrer nächsten Umgebung vermochten auf die Dauer den Wasserbedarf der sprunghaft wachsenden Weltstadt zu befriedigen. Damit begann im 4. Jahrhundert v. u. Z. im Römischen Reich die große Zeit des Aquäduktbaues. Auf steinernen, oft mehrstöckigen Bogenkonstruktionen wurde das Wasser der hochgelegenen Quellen in den Sabiner und Albaner Bergen über weite Entfernungen in sanftem Gefälle der Stadt zugeführt, wo es die städtischen Wasserbassins, die Brunnen und Fontänen, die öffentlichen Bäder und die Zapfstellen in den Privathäusern speiste. Einige der insgesamt vierzehn Leitungen, die im Laufe der Zeit zur Wasserversorgung Roms entstanden, wurden neben- oder übereinander über die Aquädukte geführt.

Ähnliche Fernwasserleitungen errichteten die Römer später in den von ihnen besetzten Ländern, in Griechenland, in Frankreich, Spanien, Nordafrika und Germanien. Zu den architektonisch bedeutsamsten Bauwerken zählt der Pont du Gard bei Nîmes in Südfrankreich, eine 273 m lange und 49 m hohe zweistöckige Bogenbrücke mit aufgesetztem Aquädukt, erbaut im letzten

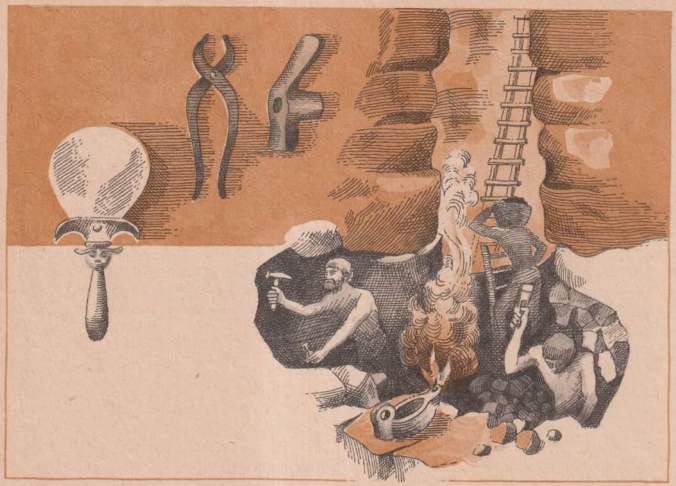


Blick in die Cloaca maxima, den zentralen Abwasserkanal Roms

Viertel des 1. Jahrhunderts v. u. Z. Die römischen Trinkwasserkanäle bestanden meist aus Stein- oder Ziegelmauerwerk. Innerhalb der Städte wurde das Wasser durch Tonröhren oder Bleirohre geleitet. Zur Instandhaltung des Leitungsnetzes standen in der Blütezeit Roms siebenhundert Handwerker bereit, die sich nach dem Material, mit dem sie umgingen, »Servie a plumbo« nannten – die ersten Klempner.

Der Trinkwasserversorgung ebenbürtig war die Kanalisation im antiken Rom. Vermutlich begann bereits unter den letzten römischen Königen der Bau der berühmten »Cloaca maxima«, des unterirdischen Hauptkanals, der mehr als fünfzehn Zweigkanäle aufnahm und unweit der Tiberinsel in den Fluß mündete. Von mit eisernen Fußfesseln geketteten Sklaven unter unmenschlichen Bedingungen in sprödes Lavagestein gehauen und ausgemauert, soll ihr Querschnitt groß genug gewesen sein, um »mit einem vollbeladenen Heuwagen hindurchfahren zu können«.

Zum erstenmal begegnen wir auf unseren Streifzügen durch die Geschichte der Technik im antiken Rom Arbeitsgegenständen aus einem neuen Werkstoff – aus Metall: den Bleirohren der Trinkwasserleitung, aber auch dem Eisen zur Unterdrükkung der Unterdrückten. Der Zeitpunkt für den Eintritt des Menschen in das Zeitalter der Metalle ist jedoch viel früher anzusetzen.



Eintritt ins Zeitalter der Metalle

»Jene Menschen, die in den Bergwerken arbeiten und ihren Herren unglaublich hohe Einkünfte verschaffen, siechen infolge der Tag und Nacht anhaltenden Arbeit in den unterirdischen Schächten dahin, und viele sterben an der übermäßigen Arbeit. Für sie gibt es weder Rast noch Ruh' . . .«

DIODOROS (80–29 v. u. Z.)

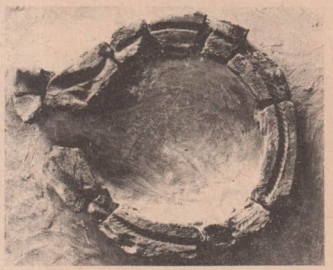
Kupfer + Zinn = Bronze

Die technischen Leistungen des Altertums, die das vorangegangene Kapitel vorstellte, und jene, denen wir später vielerorts noch begegnen werden, sind undenkbar ohne Inbesitznahme neuer Arbeitsmittel. Die Entdeckung und Verwendung von Metallen war und ist für die Menschheit so bedeutungsvoll, daß ganze technikhistorische Epochen nach den für die Werkzeugherstellung nutzbaren Metallen benannt wurden. Jahrzehntausendelang blieb der Mensch bei der Herstellung seiner Gerätschaften, Waffen und Schmuckgegenstände auf Stein, Holz und Horn angewiesen. Erst mit der Verwendung von Metall erschloß sich ihm ein qualitativ völlig neuer Werkstoff, der von der Steinzeit in die Metallzeit überleitete, in der wir trotz des Siegeszuges synthetischer Werkstoffe noch heute leben.

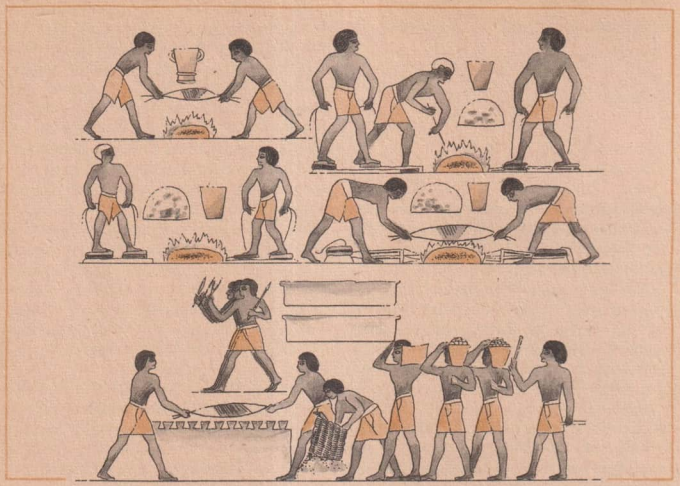
Vermutlich hat der Mensch von allen Metallen das auffällig gelb glänzende Gold zuerst kennengelernt, weil es sich in der Natur in gediegener Form findet. Beim Fischfang als Körnchen im Flußsand vielleicht oder bei der Werkzeugherstellung als Ader im Quarz, aus dem es nur herausgeschlagen zu werden brauchte, erweckte es seine Aufmerksamkeit. Aber die Goldvorkommen sind – ebenso wie die anderen Bodenschätze – nicht gleichmäßig über die Erde verteilt. In vielen Gebieten dürfte der Mensch längst andere Metalle gefunden und verarbeitet haben, ehe er das Gold zum erstenmal zu Gesicht bekam. Für die Herstellung von Werkzeugen oder Waffen kam Gold ohnehin nicht in Betracht, dazu war es zu dehnbar und weich. Ähnliches gilt für Silber.

Das erste Gebrauchsmetall, das der Mensch sich nutzbar machte, war das Kupfer. Funde, die über die Anfänge der Kupferverarbeitung Auskunft geben, reichen bis in die Mittelsteinzeit zurück, weisen zu jenen Bergstämmen Vorderasiens, bei denen auch der Feldbau, die Viehhaltung und die Töpferei in Blüte standen. Zwar besaß das Kupfer nicht die Härte wie der Feuerstein und die anderen Gesteinsarten, die in herkömmlicher Weise zur Werkzeugherstellung dienten, doch ließ es sich leichter verformen und gewann durch Hämmern auch an Härte. Verarbeitet wurde gediegenes Kupfer so wie Gold und Silber vorwiegend zu Schmuckstücken und Zierat, seltener zu Werkzeugen und Waffen, wie kleinen Dolchen und Beilen, Pfeil- oder Speerspitzen.

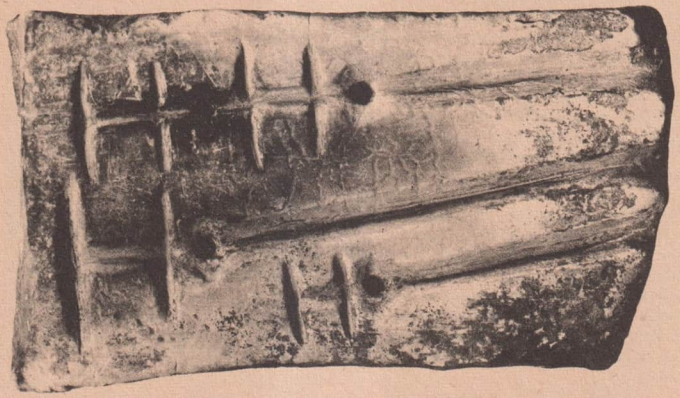
Erst die Beobachtung, daß sich im Feuer der Herdgrube Reinkupfer schmelzen und bei höheren Temperaturen sogar aus dem Erz gewinnen läßt, wurde zur Geburtsstunde der Metallurgie und der Metalltechnik. Die Reduktion von Kupfer aus kupferhaltigem Erz setzte also die Entwicklung der ersten primitiven Verhüttungsverfah-



Bereits in der Bronzezeit waren verschiedene Methoden bekannt, das erschmolzene Metall in Formen zu gießen. Neben dem Herd-, Schalen- und Überfangguß fand der Guß in die »verlorene Form« breite Anwendung. Die Abbildung zeigt eine solche Form für einen gedrehten Halsreif aus Bronze, gefunden bei Ammendorf.



Metallguß in der Bronzezeit. Zur Erzielung der erforderlichen Schmelztemperatur wurde dem Feuer mit Hilfe von Tretblasebälgen Sauerstoff zugeführt. Die Kübel mit der Schmelze wurden mit grünen Zweigen bewegt (Detail einer Wandmalerei aus dem Grab des Rechmire in Theben, um 1450 v. u. Z.).



ren, die Anlage von Schmelzgruben oder den Bau von Schmelzöfen voraus, zu denen der bereits bekannte und bewährte Töpferofen Pate stand. Um die erforderliche Schmelztemperatur zu erzielen, wurde dem Feuer Luft (Sauerstoff) mit Hilfe von Blattwedeln und Blasrohren zugeführt, aus denen sich später der Blasebalg aus Tierhäuten entwickelte. Wenn auch die Ausbeute des Schmelzverfahrens eine geringe war, ermöglichte die neue Verarbeitungstechnologie den Metallguß und damit die Herstellung von Gegenständen, die sich, wie Rohre, Draht oder Nägel, aus Stein nicht anfertigen ließen. Ein weiterer Vorteil des Kupfers gegenüber den Steinwerkzeugen bestand darin, daß man beschädigte Gerätschaften reparieren, unbrauchbar gewordene einschmelzen und so der Wiederverwendung zuführen konnte.

Mehr als tausend Jahre vergingen, bis die »Hüttenwerker der Jungsteinzeit« im Vorderen Orient entdeckten, daß die Beigabe anderer Metalle, wie Blei, Antimon oder Arsen, vor allem aber Zinn zur Kupferschmelze ein Metall mit veränderten Gebrauchseigenschaften entstehen ließ – die Bronze. Mit dem im Verlaufe langwieriger Versuche herausgefundenen »klassischen« Mischungsverhältnis von 90 % Kupfer und 10 % Zinn war eine der ältesten chemischen Umsetzungen zweier Elemente zu einem legierten Werkstoff vollzogen.

Erst die Bronze, die sich durch einen niedrigen Schmelzpunkt, außerordentliche Härte und große Zähigkeit auszeichnet, erwies sich dem Rohstoff Stein wie auch dem Kupfer produktionstechnisch überlegen. Ihre Verwendbarkeit für den Formguß ermöglichte den Übergang von der aufwendigen Einzelfertigung zur Massenherstellung von Werkzeugen und Waffen, zur Warenproduktion.

Die Beschickung der Schmelzöfen, vor allem aber der Gießvorgang selbst, erforderte bereits in seiner einfachsten Form – dem offenen Herd- oder Vollguß, bei dem die in Lehm eingearbeitete Form mit der Schmelze ausgefüllt wurde – die Bereitstellung »qualifizierter« Arbeitskräfte. Komplizierter noch war das in Mesopotamien bereits um 3000 v. u. Z. vielerorts angewandte



Gußformen für Fibelnadeln, Sichel und Ringe, gefunden bei Ballenstedt

Gießverfahren der »verlorenen Form«. Dabei wurde das aus Wachs geformte Modell mit einem Überzug aus Tonerde versehen und im Ofen erhitzt. Der durch das ausfließende Wachs entstandene Hohlraum wurde mit dem flüssigen Metall ausgegossen, die Tonform danach zerschlagen.

Die Einrichtung geeigneter Werkstätten, die Beschaffung der Kupfer- und Zinnerze sowie der Absatz der Fertigerzeugnisse lagen ausschließlich in den Händen der Herrschenden. Da die Lagerstätten der Erze räumlich meist weit auseinanderlagen, setzte die Metallurgie ein funktionierendes Transportwesen voraus. Die Herrschenden suchten deshalb bei ihren Raubzügen gegen die Nachbarstämme möglichst große Metallschätze in ihren Besitz zu bringen und solcherweise ihre Macht und ihr Ansehen nach innen und außen zu stärken.

Mit all ihren Licht- und Schattenseiten bestimmte die »Bronzezeit«, die seit Beginn des 2. Jahrtausends v. u. Z. auch weite Teile Mittel- und Nordeuropas erfaßte, fast zwanzig Jahrhunderte das Bild der Technikgeschichte.

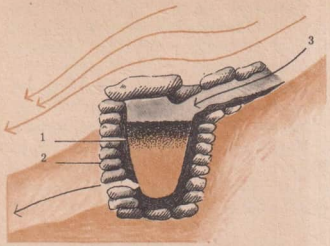
Am Schmiedefeuer des Hephaistos

Stärker noch als die Bronze beeinflußte das Eisen die sozialökonomische Entwicklung der Produktivkräfte, so daß die Historiker, auf neueste Forschungsergebnisse gestützt, von einer früheisenzeitlichen Revolution sprechen.

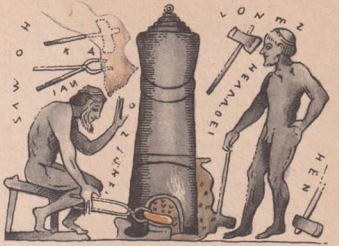
Die ältesten Funde, die über die Anfänge der Eisengewinnung und Eisenerzeugung Auskunft geben, stehen hinsichtlich ihrer Altersbestimmung den Bronzefunden kaum nach und reichen bis ins 4. Jahrtausend v. u. Z. zurück. Einige Ur- und Frühgeschichtsforscher vermuten die Anfänge der Eisenerzeugung sogar im 5. und 6. Jahrtausend v. u. Z. Als sicheres »Beweisstück« dafür, daß das Eisen um 2700 v. u. Z. in Ägypten in Gebrauch war, gilt ein in den Fugen der Cheopspyramide gefundenes Eisenmesser. In China ist der Eisengebrauch seit 2400 v. u. Z. nachgewiesen, obgleich Eisen noch über Jahrhunderte hinweg als Seltenheit galt und Eisengraupen – wie Edelsteine in Gold und Silber gefaßt – als Schmuck getragen wurden. Im »industriellen« Maßstab fand Eisen vor 1400 v. u. Z. wohl nirgends Verwendung. Historisch datiert die »Eisenzeit« erst von jenem Zeitpunkt an, als eiserne Werkzeuge und Waffen in größeren Mengen auftraten.

Das erste als Arbeitsgegenstand und Arbeitsmittel genutzte Eisen war vermutlich Meteoreisen. Der hohe Nickelgehalt der ältesten Fundstücke und die sprachliche Überlieferung scheinen darauf hinzudeuten. Im Land der Pharaonen und in China bezeichnete man das Eisen als »Metall des Himmels«. Sideros, »Himmelsgestein«, nannten es Jahrhunderte später die Griechen. Ein Geschenk der Götter also, im Stein- und Eisenregen niederstürzender Meteore auf die Erde gefallen.

Auf der Suche nach Metallen, in diesem Fall nach dem begehrten Meteoreisen, mag der Mensch auf oberflächennahe Eisenerzlagerstätten gestoßen sein und mit ihrem Abbau begonnen haben. Die Gewinnung des Eisens aus dem Erz stützte sich auf das metallurgische Wissen und Können der Kupferverhüttung und der Bronzeerzeugung. Vielleicht war es überhaupt so, daß bei diesen inzwischen eingespielten Verfahren leicht reduzierbare Eisenerze in das Schmelzfeuer gerieten und als Rückstände in der Schlacke auf ihre besondere Konsistenz aufmerksam machten. In fast allen alten Bronzen ist in geringen Mengen Eisen oder Nickel nachweisbar. Und schließlich



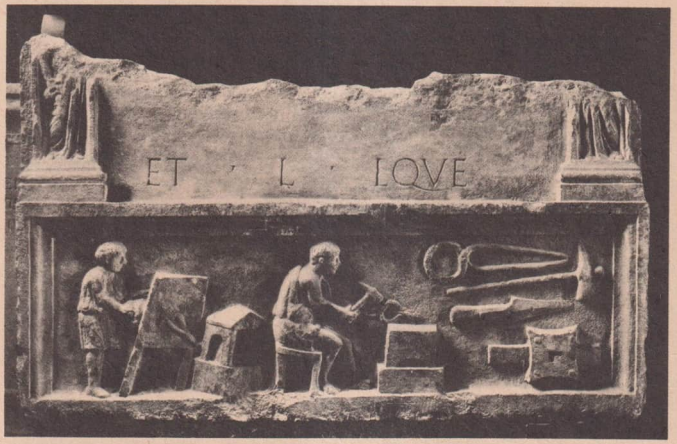
Eisenschmelzofen mit Ausnutzung des Hangwindes (Rennfeuer), um 1000 v. u. Z. An einem Berghang wurde eine Vertiefung ausgehoben, mit Steinen ausgelegt und mit Ton oder Lehm verkleidet. Die Zuführung des Hangwindes erfolgte durch Tonrohre (1 Ofenmantel aus Ton oder Lehm, 2 Herdgrube aus Steinpackung, 3 Windzuführung).



Metallguß in der Eisenzeit. An die Stelle der über offenem Herdfeuer verwendeten Schmelzkübel ist der Schmelzofen gerückt. Neu ist auch die zweiteilige, durch eine Schraube verbundene Zange (nach einem attischen Vasenbild, 5. Jh. v. u. Z.).

wurde bei der Metallschmelze auch das Glas entdeckt.

Den Ausgangspunkt der primitiven Eisenerzeugung bildeten zumeist einfache, mit Lehm oder Ton ausgekleidete, an der Wetterseite von Berghängen angelegte Schmelzgruben. Durch einen Windkanal gelangten die emporstreichenden Hang-



Blick in eine römische Eisenschmiede (Basrelief im Museum zu Aquileja)

winde in die Schmelzgrube und fachten das Holz- oder Holzkohlenfeuer so an, daß es die für die Reduktion des Eisens erforderliche Temperatur von etwa 700 °C erreichte. Zum Einsatz gelangten vorwiegend leicht reduzierbare Eisenerze, wie Brauneisenstein oder Raseneisenerz, die man vorher auf Nußgröße zerkleinerte und auf offenem Feuer röstete. Das erschmolzene, glutflüssige Eisen floß in einer geneigten Rinne in die vor dem Ofen befindliche Sammelgrube. Der teigartige, verschlackte Klumpen, als Luppe (lat.: lupus = Wolf) bezeichnet, wies viele Verunreinigungen auf — Holzkohlenreste, Gangart u. a. Durch Hämmern der rotglühenden Luppe wurde die Schlacke ausgetrieben, bevor man die Luppe durch Schmieden oder Schweißen in die gewünschte Form brachte. Aber auch das so gewonnene und weiterverarbeitete Luppeneisen war anfangs noch zu weich, um der Bronze als Ausgangsmaterial für Werkzeuge und Waffen überlegen zu sein.

Das geschilderte und ursprüngliche Einprozeßverfahren der Eisengewinnung wird in der Metallurgie als »Rennverfahren« bezeichnet, abgeleitet von »rennen« — rinnen, verflüssigen, wenngleich von einer Eisengewinnung in flüssiger Form noch keine Rede sein konnte. Ein ähnliches Verfahren stellte das Schmelzen leicht reduzierbarer Eisenerze in niedrigen, birnenförmigen Schmelzöfen, den Urahnen der Schachtöfen, dar, zu deren Betrieb man ebenfalls die Hangwinde ausnutzte. Obwohl beide Verfahren nur geringe Ausbeute erbrachten und das Ausbringen der Luppe mit schwerer körperlicher Arbeit verbunden war, bestimmten sie bis ins 14. Jahrhundert die Technologie der Eisenmetallurgie.

Das verständliche Bestreben, sowohl härtere, trotzdem aber elastischere Werkzeuge und Waffen herzustellen, veranlaßte die Schmiedestämme schon frühzeitig zu unterschiedlichen »Spezialbehandlungen« des von ihnen erschmolzenen Eisens, auch wenn die Qualität weitgehend von der Art der eingesetzten Erze abhängig blieb. Erst die Erfindung der Oberflächenbehandlung durch Abschrecken der Schmiedestücke im Wasser- oder Ölbad ließ das Eisen zum Gebrauchsmetall werden. Die jeweiligen Herstellungsverfahren und Bearbeitungstechniken, die zu verschiedenartigen, dem Gebrauchszweck angenäherten Eisenqualitäten führten, wurde von den Schmelzern und Schmieden als »strenges Berufsgeheimnis« gehütet, in dessen Besitz sie sich im Leben ihrer Gemeinschaft eine Sonderstellung erwarben.

In die Mythen der Völker ging der Schmied mit seinen außergewöhnlichen Fähigkeiten, aber auch wegen seines ungewöhnlichen Aussehens als Halbgott oder Höllenfürst ein. In der griechischen Mythologie wird Hephaistos, der kunstfertige Schmied, der auf Kreta den Hammer schwang, selbst auf die Stufe der Götter erhoben. Mit seinen Schmiedewerkzeugen soll er den Schädel des Göttervaters Zeus geöffnet und so der Athene, der Göttin der Weisheit, zur Geburt verholfen haben. Zu den strengsten Geheimnissen, die die Schmiede durch die Zeiten bewahrten und als Produktionserfahrung erst im Tode ihren Söhnen als Nachfolgern preisgaben, gehörte das der Stahlerzeugung.

Stahl — Erfinder unbekannt

Der Erfinder des Stahls ist ebenso unbekannt wie alle jene namenlosen Spezialisten und Handwerker, die im Laufe der Jahrtausende immer neue und wirksamere Produktionsmittel schufen. Selbst Standardwerke der Technikgeschichte begnügen sich deshalb mit der lapidaren Feststel-

lung: »Etwa seit Beginn des 14. Jahrhunderts v. u. Z. nahm die Herstellung stählerner Werkzeuge und Waffen ihren Anfang.« Jedenfalls unterschieden schon griechische Autoren zwischen »sideros«, dem Eisen, und dem Stahl, den sie »chalips« nannten.

Kennengelernt hatten die Griechen das »veredelte« Eisen auf dem legendären Argonautenzug, der sie zu den Chalyben führte, einem kleinen Schmiedevolk, das in der Bergwelt der Quellgebiete des Euphrats und Tigris lebte. Aus selbsterschmolzenen Eisenerzen gewannen die Chalyben einen vortrefflichen Stahl und schmiedeten daraus Klingen, von denen die Griechen so begeistert waren, daß sie diese »adamaos«, die »Unbesiegbaren«, nannten. Dabei handelte es sich vermutlich um sogenannten Schweißstahl, hergestellt durch Schweißen bei Weißglut im teigigen Zustand unterhalb der Schmelztemperatur.

Berühmtheit erlangte auch der Hyderabad- oder Wootzstahl, in der antiken Literatur als Serer-Eisen bezeichnet. Die arabischen Schmiede fertigten aus diesem Stahl die legendären Damaszener und Toledaner Klingen. Das Geheimnis ihrer Rezeptur bestand in der Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes des Eisens durch Einschluß von schwarzem Magnetit (der noch heute als »Stahlveredler« Verwendung findet), Bambuskohle und karbonhaltigen Blättern in Tongefäßen, die auf dem Holzkohlenfeuer mit Blasebälgen mehrmals erhitzt wurden. Das Schmelzergebnis betrug meist nur wenige hundert Gramm. Aus diesem kostbaren Material ist das grandioseste Monument der Eisenzeit in Indien geschmiedet und zusammengeschweißt, die 6 t schwere, 7 m über die Erde aufragende eiserne Säule in Kutub bei Neu-Delhi, Ashok ki Lath genannt, ihr Alter ist umstritten. Eine eingravierte Inschrift besagt, daß König Chandra die Kutubsäule im 5. Jahrhundert u. Z. errichten ließ. Über Datum und Ort der Herstellung ist damit nichts ausgesagt. Neuere Untersuchungen datieren ihre Herstellung bis ins 10. Jahrhundert v. u. Z. zurück. Das Phänomen an ihr ist, daß sie bis auf den heutigen Tag keinerlei Rostspuren aufweist.



Die Sage von Wieland dem Schmied auf einem angelsächsischen Runenkästchen aus Walfischbein (um 700)



»Ashok ki Lath« – die berühmte Eisensäule in Kutub bei Neu-Delhi

Als die Kutubsäule aufgestellt wurde, waren Eisen und Stahl längst zum Allgemeinbesitz der Völker geworden und hatten der Vorherrschaft der Zivilisation der alten Stromreiche Mesopotamiens und Ägyptens ein Ende gesetzt. Die eiserne Axt und die eiserne Pflugschar hatten dazu beigetragen, in den einstigen Wäldern und Steppen neues Siedlungs- und Ackerland zu erschließen. Der Bergbau mit Schlägel und Eisen bildete die wichtigste ökonomische Grundlage der Eisenzeitkulturen.

Mit Schlägel und Eisen

Der Vorstoß des Menschen in das Innere der Erde, sein Bestreben, ihr die Schätze abzugewinnen, die sie in ihrem Schoß verborgen hält, begann nicht erst mit dem Aufkommen der Metalle, sondern mit dem Abbau von Feuerstein aus der Kreide. In seinen ältesten Formen reicht der Bergbau bis etwa zum 12. Jahrtausend v. u. Z. zurück. Bei Cissbury (Südengland) wurde ein Abbausystem mit sechs Schächten von 10 bis 12 m Tiefe und zahlreichen Abbaustrecken und Abbaukammern freigelegt, das interessante Rückschlüsse auf die Anfänge der Bergbautechnik zuläßt.

Mit primitiven Grabpickeln aus Hirschgeweih und Schaufeln aus den Schulterblättern von Rindern teuften die Bergleute der Altsteinzeit die ersten Schächte ab, trieben sie im weichen Kreidegestein die Abbaustrecken vor. Auf Steigbäumen oder Leitern stiegen sie in die Tiefe. Aus Kreide geschnitzte Gefäße mit Dochten aus Moos dienten ihnen als Geleucht. An Stricken aus geflochtener Pflanzenfaser wurden die mit Feuersteinen gefüllten Körbe hochgezogen. Als Zulieferer für den Bau der Städte, Tempel und Paläste, der Trinkwasserkanäle, Brücken – und später der Pyramiden – übertraf der Steinbruch bis weit in die Metallzeit hinein alle anderen Bergbauformen.

Die allerersten Kupfergruben legten die Ägypter wahrscheinlich schon im 4. Jahrtausend v. u. Z. auf der Sinaihalbinsel an. Die gebräuchlichste Abbaumethode war das Feuersetzen. Mit Feuerbränden erhitzten die Bergwerkssklaven das erzhaltige Gestein, dann wurde es durch Wassergüsse abgekühlt und zermürbt. Mit schweren Granitbrocken, an langen, federnden Zedernholzstielen befestigt, erfolgte der Abschlag des brüchigen Gesteins. Als ein Vorläufer der Sprengtechnik konnte sich die nicht ungefährliche Methode des Feuersetzens bis zur Einführung der Schießarbeit im Bergbau erhalten. Eine andere pulverlose »Sprengmethode« beruhte auf der Verwendung trockener Holzkeile, die sich, in Felsspalten eingeschlagen, mit Wasser vollsaugten, aufquollen und so das Gestein absprengten.

In Nubien und in den Bergen am Roten Meer betrieben die Ägypter seit dem 14. Jahrhundert v. u. Z. die bergmännische Goldgewinnung in größerem Umfang. Die zum Öffnen der Berge erforderliche Kraft



Sklavenarbeit im Bergbau (korinthische Vasenmalerei, 6. Jh. v. u. Z.)

lieferten riesige Sklavenheere. Bei Fadi Fanehir schufteten drei Divisionen gefangener Nubier auf einem Arbeitsfeld, das bis zu 200 km lang und 30 km breit sein konnte. Mit Steinwerkzeugen untergruben sie die überhängenden Felsen, trieben Stollen in die Berge und arbeiteten so auf den Zusammenbruch hin. Andere Divisionen des Sklavenheeres, verurteilte Ägypter zumeist, legten unter Einbeziehung vorhandener Bewässerungsanlagen ein kompliziertes System von Kanälen, Speicherbecken und Schleusen an, um Wasser heranzuführen und zu stauen. Gab der oberste Grubenaufseher das Zeichen zum Öffnen der Schleusen, schlug der entfesselte Wasserstrahl wie eine Titanenfaust in die Trümmer der Berge. Der Anprall riß die Gesteinsmassen mit sich fort, wälzte sie über Geröll und Sand und entriß ihnen so das edle Metall, das sich im Rutenwerk der Abflußgräben sammelte.

Die ältesten bildlichen Darstellungen des antiken Bergbaues sind auf korinthischen Vasenmalereien aus dem 6. Jahrhundert v. u. Z. überliefert. Sie zeigen die inzwischen erfolgte Ablösung der Steinwerkzeuge durch die eiserne Keilhaue, durch Schlägel und Eisen, die bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Hauptproduktionsinstrumente der Bergleute blieben. Der Schlägel diente als Hammer, mit dem der Bergmann das Eisen in das Gestein hineintrieb und das Erz herausstemmte. Eine kräftezehrende Arbeit in Dunkelheit und Kälte, Feuchtigkeit und Steinstaub.

Das Zentrum des griechischen Bergbaues bildeten die Gruben von Laurion, die, auf der Südspitze Attikas gelegen, neben Silber auch Blei und Zink für die Messingherstellung lieferten. In Laurion befanden sich über 2000 Schächte, in denen bis zu 30 000 Bergwerkssklaven gearbeitet haben sollen. Ursprünglich als Tagebaue begonnen, wurden die Gruben im Verfolg der Erzadern immer weiter vertieft. Die erste Schwierigkeit, die den Bergleuten das Vordringen erschwerte, war der zunehmende Mangel an Frischluft. Deshalb die große Zahl von Schächten mit durchschnittlichen Teufen um fünfzig Meter, zu denen jeweils ein engbegrenztes Abbaufeld gehörte. Diese für das Altertum und das Mittelalter typische Bergbautechnik wird als »Duckelbau« bezeichnet.

Die Schächte waren meist nur im oberen Teil ausgemauert und der Holzausbau selten. Sicherheitsgründe zwangen dazu, die Schächte und Strecken mit möglichst geringem Querschnitt aufzufahren, so daß sich die Bergwerkssklaven nur kriechend darin bewegen konnten. Der Abtransport von Erz und taubem Gestein in ledernen Säcken oder Taschen, häufig auch in Flechtkörben oder Trögen, erfolgte, wie auf den korinthischen Vasenmalereien dargestellt, meistens durch Kinder. Für die Schachtförderung wurde schon der Haspel, der Urahne aller Fördermaschinen, eingesetzt, mit dem man auch das Grubenwasser hob, das den Grubenbetrieb mit dem Vordringen in größere Teufen zunehmend erschwerte. Erst der Einsatz von Schöpfrädern und anderen Mechanismen, die für den Bewässerungsfeldbau und die Wasserversorgung der Städte entwickelt worden waren, ermöglichten das Überschreiten des Grundwasserspiegels. So bieten auch der Bergbau und die Metallverarbeitung bereits in ihrer Frühzeit eindrucksvolle Beispiele dafür, wie im Gesamtsystem der Produktivkräfte zahlreiche Wechselbeziehungen die Weiterentwicklung der Arbeitsmittel und Produktionsmethoden beeinflussen.



Das Wasser öffnet seine Straßen

»Von der Größe, wie etwa ein
kluger Meister im Schiffbau
Zimmern würde den Boden des
breiten geräumigen Lastschiffs
Baute den breiten Floß der erfindungs-
reiche Odysseus . . .«

HOMER (um 700 v. u. Z.)

Am Anfang war das Floß

Ein Phöniker zeichnete vor viertausend Jahren eine Begebenheit auf, die jene Umstände erhellt, unter denen der Mensch seine Scheu vor dem Wasser überwand und ihm aus Angst vor dem Feuer sein Leben anvertraute. Es heißt in diesem Bericht: »Gewitter tobten über Tyrs Wald. Vom Blitz getroffen, gingen viele Bäume in Flammen auf oder zerbarsten. In panischem Schrecken packte Oscul einen der Baumstämme, entfernte die Äste und wagte sich, fest an den Stamm geklammert, als erster auf die Fluten hinaus . . .«

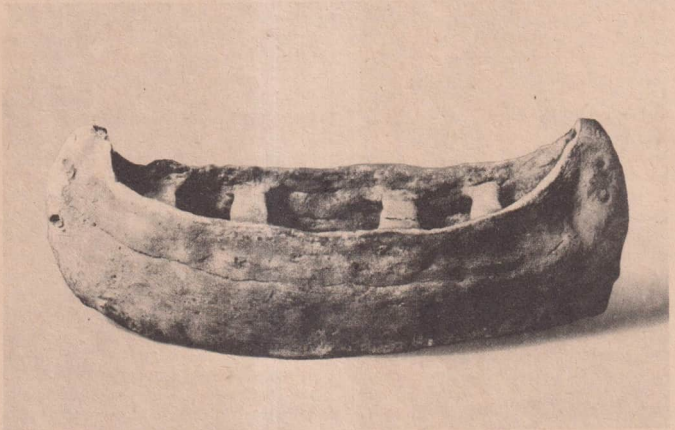
Ähnliches mag sich schon Jahrtausende früher auch anderswo zugetragen haben. Oder war es ganz einfach so, daß der Urmensch sah, wie bei Hochwasser der Gebirgsbach auf seinem Rücken entwurzelte Bäume mit sich forttrug, wie sich verängstigte Tiere auf schwimmende Baumstämme geflüchtet hatten und so auf Rettung hofften? Von Neugier gepackt, probierte der Urmensch, ob auch ihn der schwimmende Baumstamm oder Wurzelstock trug. Aber es war beschwerlich, den Stamm mit Händen und Füßen in der gewünschten Richtung zu halten, um ans jenseitige Ufer zu gelangen. Oft genug kam es vor, daß sich der Stamm in der Strömung um seine eigene Achse drehte, seinen Passagier abwarf und sich damit für den Transport der Jagdbeute oder anderer Güter als völlig ungeeignet erwies. Band man zwei oder mehrere Stämme zusammen, kenterten sie nicht mehr. Durch Staken mit einer Stange ließ sich das ungefüge Wasserfahrzeug in seichtem Wasser sicherer steuern. So könnte das Floß erfunden worden sein, das neben dem Tierrücken als ältestes Verkehrsmittel gilt. Der Einbaum – das Boot, dessen sich die Fischjäger als erste bedienten, um zu den ergiebigen Fischgründen im tieferen Wasser zu gelangen – muß logischerweise erst später aufgekommen sein, weil das Aushöhlen des Baumstammes die aufwendige Bearbeitung mit Steinwerkzeugen oder Feuer erforderte. Zudem besaßen die ersten Einbäume weder Bug noch Kiel, so daß sie leicht kenterten und zur Überwindung des Wasserwiderstandes den Ruderern viel Kraft abverlangten. Wieder muß ein Erfinder namenlos bleiben, der irgendwann auf den Gedanken kam, den Einbaum an seiner Vorderseite zuzuspitzen und an seiner Unterseite mit einer kielartigen Wulst zu versehen. Damit war die Grundform des Schiffes geboren.

Floß und Einbaum waren allen Völkern der Vorzeit bekannt. In Ländern, wo den Bewohnern der Flußgebiete und Küstenregionen kein Holz zur Verfügung stand, half man sich auf andere Weise. Einige afrikanische Stämme im oberen Nilgebiet fertigten Flöße aus zusammengeschnürten Papyrus- oder Korkholzbündeln, die so leicht waren, daß ein Mann drei solcher Flöße auf dem Rücken tragen konnte, während ein Floß drei Menschen zu tragen vermochte. Ihr südamerikanisches Gegenstück ist die »Balsa«, ein bis 25 m langes und 8 m breites Floß aus Rohrbündeln. Von den kalifornischen Indianern und den Maoris auf Neuseeland sind Flöße aus Teichbinsen bekannt, die sieben Personen mit Leichtigkeit befördern konnten. Eine Abart des Floßes ist in seiner ursprünglichen Form das in Vorderindien und Südostasien entwickelte Auslegerboot oder der Katamaran, gleichbedeutend mit »gebündeltes Holz«. Die starke Brandung an den Riffen zwang die Inselbewohner, ein kentersicheres Wasserfahrzeug von hoher Stabilität zu entwikkeln. Das erreichte man durch das Zusammenfügen von mehreren ungleich langen Stämmen oder indem seitlich von einem schmalen Bootskörper ein schwerer Balken

als Ausleger angebracht wurde. Beide Fahrzeugarten waren mit Mattensegeln ausgerüstet.

Eine andere Übergangsform zwischen Floß und Hohlschiff bildeten Wasserfahrzeuge, deren Schwimmkörper aus aufgeblasenen Tierhäuten bestanden. Bildliche Darstellungen aus altassyrischer Zeit zeigen den »Kelek« oder »Kilaak«, dessen Konstruktion relativ aufwendig war. Auf einem Gestell aus Weidenruten wurden Hunderte luftgefüllter Hammelhäute befestigt und mit Brettern, Moos oder Schilfgeflecht abgedeckt. Diese Fahrzeuge, mit denen die Bewohner des Zweistromlandes den Euphrat und Tigris befuhren, besaßen eine beachtliche Tragfähigkeit und vermochten selbst Stromschnellen unbeschadet zu überwinden. Aus den Abbildungen ist ersichtlich, daß für den Gefahrenfall schon damals aufgeblasene Tierhäute als Schwimmschläuche, als Rettungsringe an Bord, vorhanden waren. Die Küstenbewohner der Nordmeere entwickelten eine weitaus weniger aufwendige Bootsbautechnik als die Assyrer. Sie banden Walfischknochen zusammen und überzogen das Gestell mit Seehundfellen. Die wendigen Kajaks sind in einigen arktischen Regionen bis heute in Gebrauch.

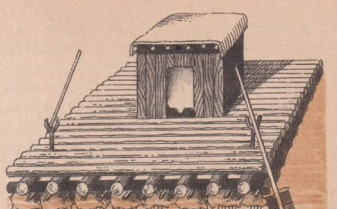
Daß der Mensch mit solcherart Flößen und Booten Flüsse und Seen befuhr, zu neuen Ufern vorstieß und dem Warenaustausch das Wasser als Transportweg erschloß, ist zweifelsfrei bewiesen. Daß sich der Mensch, der weder Kompaß noch Seekarte besaß, mit seinen gebrechlichen Fahrzeugen auf das offene Meer hinausgewagt und von den Inseln Besitz ergriffen haben soll, die dem Festland vorgelagert waren, verkünden Mythen und die Gesänge Homers. Daß der Mensch sogar die Ozeane überquert und erste Brücken von einem Teil der Erde zum anderen geschlagen ha-



Einbaum-Modell aus Mesopotamien (4000 v. u. Z.)

ben soll, behaupteten erst in jüngerer Zeit aufgestellte Hypothesen.

Wie aber, wenn nicht auf solche Weise, ist die frappierende Ähnlichkeit der Zeugnisse materieller Kultur Altamerikas – vom Faustkeil bis zum Bronzeguß – mit ur- und frühgeschichtlichen Funden in Eurasien und Afrika zu erklären? Welche Kontakte bestanden in »grauer Vorzeit« möglicherweise zwischen den Urbewohnern der Erde? Um diese und andere Fragen zu klären und die Seetüchtigkeit der Flöße und Boote zu erproben, unternahm der norwegische Ethnograph, Anthropologe und Zoologe Thor Heyerdahl (geb. 1914) eine der wagehalsigsten und spektakulärsten Expeditionen der Neuzeit. Auf einem aus Balsastämmen in Naturbauweise zusammengefügten, 10 m langen und 4 m breiten Floß, dem er den Namen »Kon-Tiki« gab, verließ Heyerdahl am 28. April 1947 mit fünf Begleitern Callao, den Hafen der peruanischen Hauptstadt Lima. Mit der Überquerung des Pazifiks hoffte er den Beweis zu erbringen, daß Polynesien ursprünglich durch südamerikanische Indianer besiedelt worden sei, daß eine Verbindung der alten Inkakulturen mit den Südseeinseln mehr als eine Hypothese ist.



Altassyrischer Kelek, ein Schlauchfloß aus aufgeblasenen Hammelhäuten



Die »Ra«, Nachbau eines ägyptischen Papyrusbootes der Pharaonenzeit (15 m lang, 5 m breit), mit der Thor Heyerdahl auf der Fahrt von Marokko nach Mexiko die Seetüchtigkeit der alten Ägypterboote zu beweisen versuchte

Erfahrene Seeleute schüttelten beim Anblick des seltsamen Fahrzeuges und der Ausrüstung seiner Mannschaft die Köpfe und veranschlagten die Chancen für ein Gelingen des Unternehmens äußerst gering. Aber die Skeptiker sollten sich täuschen. Getrieben vom Passat, getragen vom Humboldt- und Äquatorialstrom, erreichten Heyerdahl und seine Gefährten nach einer hundert Tage und hundert Nächte währenden Seefahrt über nahezu 4300 Meilen ihr vorgesetztes Ziel. Wohlbehalten landete die »Kon-Tiki« auf einer Insel des polynesischen Tuamotu-Archipels. Der Beweis schien erbracht, daß die Ozeane in der Frühzeit der Schiffahrt zuerst mit Flößen und nicht mit Schiffen befahren worden waren. Damit war auch ein Kulturaustausch in vorkolumbischer Zeit zwischen Ost und West, West und Ost nicht mehr absolut auszuschließen. Erreichten schließlich nicht auch die Normannen auf ihren Drachenschiffen – fast fünfhundert Jahre vor Kolumbus – die Küsten Amerikas? Aber die ältesten »Amerikaner« kamen, wie im Kapitel über die Bezwingung des Feuers angedeutet, nicht auf dem Wasser-, sondern auf dem Landweg vor 40 000 oder 20 000 Jahren als Großwildjäger von Sibirien nach Alaska. Und sie waren dem Großwild weiter südwärts gefolgt, bis sie vor etwa achttausend Jahren die Südspitze des Kontinents erreichten.

Die Verdienste Heyerdahls, der ähnliche Expeditionen mit »exotischen« Wasserfahrzeugen wiederholte, werden durch die Kritik und Zweifel an seinen Hypothesen nicht geschmälert. Ihm verdanken wir den überzeugenden Nachweis der beachtlichen Leistungsfähigkeit der Wasserfahrzeuge der Steinzeitmenschen.

Riesenschiffe der Antike

Der legendäre Bericht über den Bau der Arche Noahs, der Zentralfigur der alttestamentarischen Sintflutlegende, ist allgemein bekannt. Die Konstruktion der Arche wird im 1. Buch Mose detailliert beschrieben. Danach handelte es sich um einen 300 Ellen langen, 50 Ellen breiten und 30 Ellen hohen Kasten aus Tannenholz, die Fugen in- und auswendig mit Pech abgedichtet, dreibödig und mit Kammern versehen, einer breiten Tür in der Mitte des Schiffsleibes und einem Fenster nach oben hinaus. In dem so beschriebenen Kasten überstand Noah mit seiner Familie und dem an Bord genommenen Getier die vierzig Tage und vierzig Nächte währende Sintflut, die nach dem Willen Gottes alles Leben auf Erden vernichtete. Wie erstaunt aber mag Noah gewesen sein, als er sich und die Seinen mitsamt



Bau der Arche Noah (aus der »Weltchronik« von Hartmann Schedel, 1493)

der Arche weit von der Heimat entfernt in Armenien auf dem schneebedeckten Gipfel des 5156 m hohen Ararat, einem erloschenen Vulkan, wiederfand. Sensationslüsterne Fährtensucher der Vergangenheit werden nicht müde zu behaupten, im Gletschereis des Ararat Holzreste und andere Überbleibsel der Arche gefunden zu haben.

Aus dem in Keilschrift aufgezeichneten Gilgameschepos, einer der ältesten Dichtungen der Menschheit, geht hervor, daß den nichtsemitischen Sumerern in Ur und Babylon der Sintflutmythos lange vor der Entstehung der Alten Testaments bekannt war. Ihr Noah hieß Utnapishtim, ein Mann aus Shurupak, dem der Meeresgott die Weisung erteilte: »Reiß nieder dein Haus / Baue ein Schiff / Laß fahren Reichtum / Das Leben rette!«, und Utnapishtim selbst schilderte Größe und Aufriß seiner »Arche«:

»Seine Grundfläche betrug 12 iku (etwa 3500 m^2) / Je 10 gar (60 m) hoch waren seine Wände; / Ich gab ihm sechs Stockwerke. / Teilte seine Breite siebenfach. / Sein Inneres teilte ich neunfach. / 6 sar (unbekanntes Maß) Erdpech schüttete ich in den Brennofen . . .«

In diesem gepichten Riesenkasten nahm Utnapishtim außer seiner Familie und seinen Verwandten, dem Vieh des Feldes, Getier des Waldes und »allerlei Lebenssamen« — was besonders bemerkenswert erscheint — auch »alle Handwerker jeglicher Kunst« auf. Sechs Tage und sechs Nächte wütete die Flut. Am siebenten Tag beruhigte sich das Meer, legte das Schiff unversehrt am Berge Nissir an, der im Kurdestangebirge zu suchen ist, mit 400 m Höhe im Vergleich zum Ararat ein Zwerg.

Ohne Zweifel beruhen die bei vielen Völkern verbreiteten Sintflutmythen auf geschichtlichen, lokal begrenzten Überschwemmungskatastrophen, die im 4. oder 3. Jahrtausend v. u. Z. nicht nur im Zweistromland keine Seltenheit waren und überall, wo sie auftraten, verheerendes Unheil anrichteten. Für die Technikhistoriker sind die überlieferten Berichte insofern interessant, als aus ihnen hervorgeht, daß sich die Menschen schon frühzeitig konkrete Vorstellungen vom Bau aus Planken zusammengefügter Großschiffe machten und welches Vertrauen sie in deren Sicherheit setzten.

Das Schiff spielte auch in der ägyptischen Mythologie eine maßgebliche Rolle. Die Ägypter, die das Fruchtbarkeit spendende Nilhochwasser als »Segen der Götter« verstanden, verehrten den Sonnengott Ra, der in einer goldenen, sichelförmigen Barke über den Taghimmel fuhr, als eine ihrer obersten Gottheiten. Die Barkenkammer des Sonnengottes befand sich in der Tempelstadt Theben. Der Zugang zu ihr war nur den Pharaonen und ihrem priesterlichen Gefolge gestattet. Ein anderer Tempel umschloß die goldene, an Bug und Heck mit Widderköpfen verzierte Barke des Götterkönigs Ammon Rè. Im Inneren des Deckhauses thronte der Göttervater in Form einer überlebensgroßen goldenen Gliederstatue. An seinen Festtagen trugen die Priester die Götterbarke in feierlichem Zeremoniell zum Nil, um der Lebensader des Landes durch Berührung mit der Gottheit neue Kraft zu verleihen. Verhältnismäßig spät — nämlich erst 1955 — wurde in einer unterirdischen Kammer zu Füßen der Cheopspyramide eine weitere gut erhaltene Barke entdeckt, vermutlich dazu bestimmt, den toten Pharao in das wasserumschlossene »Reich der Glückseligkeit« hinüberzugeleiten.

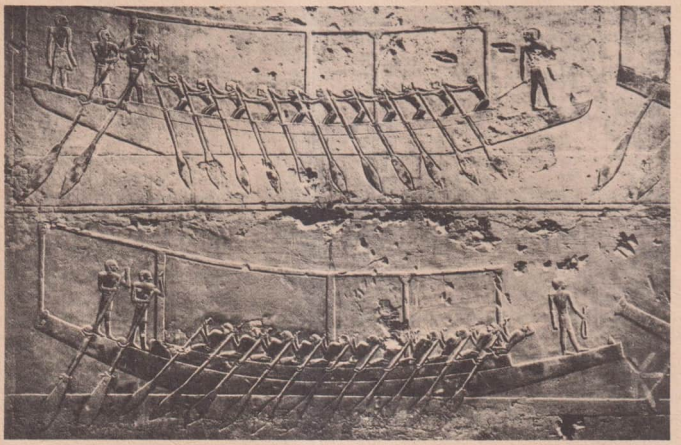
Über den altägyptischen Schiffbau informiert eine Fülle bildlicher Darstellungen. Den hydrographischen Gegebenheiten und gesellschaftlichen Verhältnissen des Landes entsprechend, reichten die Boots-Schiffstypen von der leichten, aus Schilf gefertigten Nilbarke bis zur kostbaren Lustjacht und dem Trauerschiff der Pharaonen. Ebenso vielfältig waren die Typen der hölzernen, bis 65 m langen Last-, Kauffahrtei- und Kriegsschiffe mit Segel und Ruder. Die ägyptischen Lastschiffe beförderten beträchtliche Mengen des für den Tempel- und Pyramidenbau erforderlichen Mate-

rials. Ihre erstaunliche Tragfähigkeit belegt die Beförderung eines 750 t schweren Obelisken für die Tempelstadt Luxor. Um die Festigkeit der Schiffe in Längsrichtung zu erhöhen und einem Auseinanderbrechen des Schiffskörpers vorzubeugen, wurde vom Vorder- zum Hintersteven ein starkes Seil gespannt.

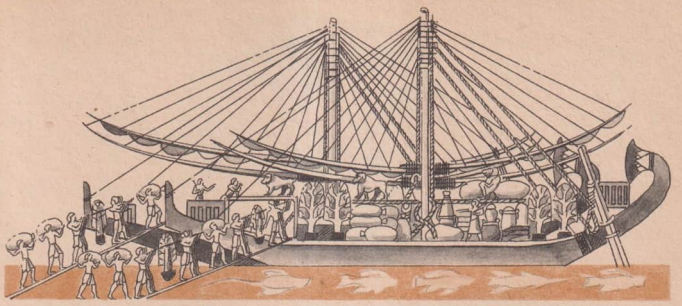
Die altägyptischen Kriegsschiffe, von denen unter den Königen der XIX. Dynastie (etwa 1335–1204 v. u. Z.) eine Flotte von 400 Einheiten im Roten Meer stationiert war, unterschieden sich von den Lastschiffen durch erhöhte Aufbauten an Bug und Heck für die Aufstellung der Bogenschützen. Auch waren sie zum Schutz der Ruderer vor den Geschossen des Gegners mit einem Schanzkleid versehen.

Noch geschicktere Schiffbauer als die Ägypter sollen die Phöniker gewesen sein, denen in den Zedernwäldern des Libanon für den Schiffbau bestens geeignetes Langholz reichlich zur Verfügung stand. Ihre auf Kiel und Spanten gebauten, für Hochseefahrten bestimmten Handelsschiffe besaßen hohe Bordwände mit hochgezogenen Vorder- und Achtersteven, die den Schiffen eine bauchige Form verliehen. Im Gegensatz dazu bauten sie ihre Kampffahrzeuge schmaler und länger und versahen den Bug mit einem gewaltigen Rammsporn. Außer dem Einmastsegel, mit dem auch die Handelsschiffe ausgerüstet waren, besaßen die Kampfschiffe zwei übereinanderliegende Reihen von Ruderbänken. Damit schufen die phönikischen Schiffbaumeister die Grundform eines neuen seetüchtigen Schiffstyps – die Triere. Mit ihr entfalteten sie einen regen Seehandel im Mittelmeerraum, betrieben einträgliche Seeräuberei, fuhren zu Entdeckungen und Eroberungen auf die Meere hinaus.

Die Erfahrungen der phönikischen Schiffbauer beeinflußten nicht nur die wei-



Ägyptische Ruderboote (Darstellung auf einem Kalksteinrelief aus dem Grab des Ti, eines hohen Staatsbeamten, bei Sakkara, um 2600 v. u. Z.)

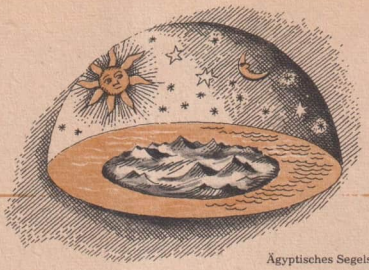


Schiffe aus der Flotte der Hatschepsut werden vor der Fahrt nach dem Lande Punt beladen. Die Segel sind gerefft. Die Taue dienten der Mannschaft zur Segelbedienung (nach dem Relief im Tempel Deir el-Bahari um 1500 v. u. Z.).

tere Entwicklung des ägyptischen Schiffbaues. Sie wurden später auch von den Griechen aufgenommen, die mit ihren »Dreiruderern« – Trieren mit drei übereinanderliegenden Reihen von Ruderbänken auf jeder Bordseite – fast so etwas wie einen Standardtyp des Mittelmeerschiffes zu Wasser brachten. Um die Fahrtgeschwindigkeit der Schiffe zu beschleunigen und deren Ladefähigkeit zu erhöhen, bauten die Griechen später auch Tetreren, Penteren und sogar Ekteren mit vier, fünf oder acht übereinanderliegenden Rudererreihen. Die Bezeichnung Ruder- oder Mehrriemenantrieb darf den Leser nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Betätigung der Ruder durch die Muskelkraft von Sklaven erfolgte, die an den Ruderbänken angeschmiedet waren.

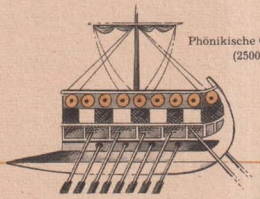
Wie aus altgriechischen Aufzeichnungen zu entnehmen ist, soll das größte Schiff der Antike die auf Weisung des Hiero II. von Syrakus (269–215 v. u. Z.) erbaute »Alexandreia« gewesen sein, ein dreistöckiger Dreimaster mit 2000 Rudererplätzen. Die gleiche Anzahl Ruderer wurde als Ablösung in Holzverschlägen unter Deck gehalten. Die Ladefähigkeit des 124 m langen, 32 m breiten, mit mehr als 60 Kabinen und Sälen, 20 Pferdeställen, mit Bibliothek, Schwimmhalle, Turnplatz und Bordgarten luxuriös ausgestatteten Schiffsriesen wird mit etwa 4200 t angegeben. Damit besaß die »Alexandreia« die zwanzigfache Größe der berühmten »Santa Maria«, die Kolumbus zur Verfügung stand, als er fast zweitausend Jahre später westwärts segelte.

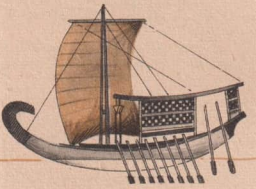
Verständlich, daß bei dem zunehmenden Bedarf an Schiffen der Schiffbau spezialisierte Produktionsstätten – die Vorläufer der Werften – und qualifizierte Handwerker, vor allem Zimmerleute und Schmiede, erforderte. Die Bearbeitung der Hölzer erfolgte vorwiegend mit dem Breitbeil. Zum Bohren benutzte man den Drillbohrer, der sich aus dem Feuerbohrer entwickelt hatte. Die Säge, anfangs aus Kupfer, später aus Bronze und Eisen hergestellt, ähnelte unserem Fuchsschwanz. Glättung und Schliff der Plankenhölzer erfolgten mit Raspeln aus Metall und Sand als Schleifmittel. Im Prinzip handelte es sich also um Werkzeuge und Bearbeitungstechnologien, die auch in anderen Bereichen der Holzbearbeitung angewandt wurden und die sich mit der Ausweitung des Fernhandels von Land zu Land verbreiteten.



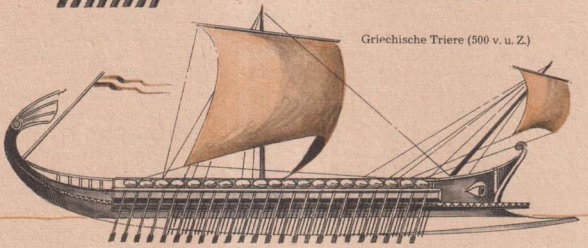
Ägyptisches Segelschiff (2000 v. u. Z.)

Phönikische Galeere (2500 v. u. Z.)

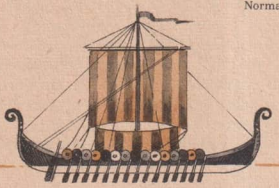




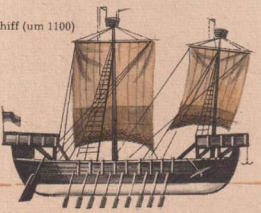
Griechische Triere (500 v. u. Z.)



Wikingerschiff (um 900)



Normannenschiff (um 1100)



Von der phönikischen Galeere zum Normannenschiff

Von Küste zu Küste

Die wichtigste technische Vorbedingung für das Befahren offener Gewässer, den Vorstoß zu neuen Ufern und unbekannten Küsten, bildete die Konstruktion von Wasserfahrzeugen mit Steuer, Mast und Segel. Der Seehandel selbst, die Beschaffung von Rohstoffen und das Bedürfnis zum Austausch der Mehrprodukte, wurde zu einer der Haupttriebkräfte für den Bau seetüchtiger Schiffe.

Schon im 4. Jahrtausend v. u. Z. holten die Ägypter das Holz zum Bau ihrer Schiffe aus den Zedernwäldern des Libanons, dem Land der Phöniker. Vom Roten Meer segelten sie bis zum Weihrauchlande Punt (Pyene), das sich von der über 2000 km entfernten Somaliküste aus nach Süden erstreckte. Seit etwa 2500 v. u. Z. befuhren die Kreter, das erste bedeutende Seefahrer- und Handelsvolk des Mittelmeeres, den Seeweg in das erzreiche Südspanien, von wo sie vor allem Zinn bezogen. Ihre Nachfolge traten um die Mitte des 2. Jahrtausends v. u. Z. die Phöniker an, die an den Küsten des Mittelmeeres Umschlag- und Stapelplätze anlegten, aus denen sich später blühende Städte mit eigenem Seehandel, wie Sidon, Tyros, Karthago, Cadiz oder Tarsis, entwickelten. Phönikische Nauten waren die ersten, die um das Jahr 1200 v. u. Z. durch die Straße von Gibraltar, vorbei an den Säulen des Herkules, in den Atlantischen Ozean einfuhren und die Kanarischen Inseln erreichten, durch die gefürchtete Biskaya bis an die Südküste Britanniens und die Westküste Jütlands vordrangen, wo sie gegen Waren des Orients Zinn und Bernstein einhandelten.

Nach Herodot umsegelten phönikische Seeleute um 600 v. u. Z. im Auftrage des ägyptischen Pharao Necho Afrika von der Ostküste her und kehrten nach drei Jahren durch die Straße von Gibraltar nach Karthago zurück. Die lange Fahrtdauer erklärt sich damit, daß die Reise dreimal unterbrochen werden mußte, um an Land zu gehen und zur Ergänzung des Proviants Getreide anzubauen und zu ernten.

Der Entdeckerdrang der Phöniker lebte weiter in ihren Kolonien, am lebhaftesten in Karthago, von wo aus um die Mitte des 6. Jahrhunderts v. u. Z. unter Admiral Hanno eine Flotte von 60 Fünfzigruderern auslief, die mit Hunderten von Kolonisten besetzt war. Ihre verwegene Fahrt entlang der Nordwestküste Afrikas führte sie bis zum »Götterwagen«, d. h. vermutlich bis zum Kamerunberg im innersten Winkel des Golfs von Guinea. Damit erreichten sie eine südliche Breite, die erst zweitausend Jahre später von portugiesischen Seefahrern überboten wurde. Auf ihrer abenteuerlichen Seereise begegneten Hanno und seine Begleiter zum erstenmal den Vorgängern des Menschen: langhaarigen Wesen, die auf Bäumen lebten, halbaufgerichtet durch die Steppe liefen und unartikuliertes Gekreisch von sich gaben. Der Dolmetscher nannte die seltsamen Tiere Gorillas ...

Über die frühen Seereisen der Griechen, die mit ihren Schiffen das östliche Mittelmeer und das Schwarze Meer befuhren, die ebenso aktive Kolonisten wie die Phöniker waren, berichten die Homerischen Gesänge der »Odyssee« und die Argonautensage. Als der berühmteste griechische Reisende hielt Pytheas aus Massilia, dem heutigen Marseille, Einzug in die Entdeckungsgeschichte. Im Interesse der Kaufleute seiner Heimatstadt unternahm er zwischen 350 und 320 v. u. Z. auf dem Landwege eine ausgedehnte Reise nach dem Norden, um zuverlässige Kunde von der Zinninsel Britannia und der Bernsteinküste einzuholen. Von der Kanalküste aus befuhr er die Nordsee mit ihren Gezeiten, umschiffte Britan-

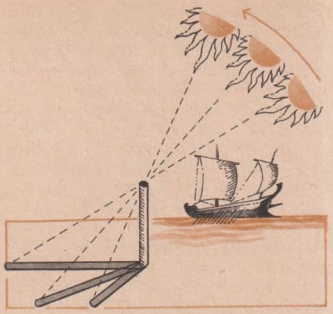
nia, entdeckte Thule, das sagenhafte Land unter dem Polarkreis, und brachte die ersten Augenzeugenberichte von den Wattenerscheinungen an der Nordseeküste, vom Eismeer und vom Nordlicht mit in die Heimat. Vor allem aber konnte Pytheas seinen Landsleuten berichten, daß die Nordsee von den an ihren Küsten ansässigen Völkerschaften ebenso lebhaft mit Handelsschiffen befahren wurde und dem Warenaustausch diente wie das Mittelmeer.

Reger Schiffsverkehr bestand seit dem 3. Jahrtausend v. u. Z. auch zwischen den Küstenländern des Indischen Ozeans, wobei die Sabäer, die Bewohner des heutigen Jemens, eine ähnliche Vermittlerrolle gespielt zu haben scheinen wie die Phöniker im Mittelmeerraum. Es fehlt nicht an Anzeichen dafür, daß sie ihre Handels- und Entdeckungsfahrten bis zur Halbinsel Malakka in Hinterindien ausdehnten. Ausgangspunkte für die Seefahrt im östlichen Indischen Ozean bildeten die Städte im Gangesdelta. Wagemutige und erfolgreiche chinesische und malayische Seefahrer sollen ihrerseits den Seehandel bis nach Indien und an die Ostküste Afrikas ausgeweitet haben.

Die Leistungen der Seefahrer des Altertums verdienen Bewunderung und Anerkennung. Trotz der Seetüchtigkeit, die den Trieren und Galeeren von zeitgenössischen Historikern bestätigt wird, würde ihnen heutzutage jede Seefahrtsbehörde der Welt aus Sicherheitsgründen selbst für »Kleine Fahrt« die Zulassung versagen. Völlig unzulänglich war, wie schon an anderer Stelle erwähnt, die Orientierung auf offener See. Zur Messung der Meerestiefe gab es zwar schon das Senklot, aber die Kursbestimmung richtete sich allein nach dem Stand der Sonne und der Gestirne, dem wahr-



Griechische Schiffe werden von den Lästrygonen am Strand zerstört (Fresko nach der Odysseussage. Rom, Vatikan, 1. Jh. v. u. Z.)



Der Gnomon als Schatten- bzw. Zeitstab

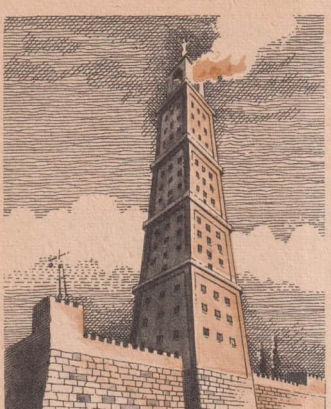
nehmbaren Verlauf der Luft- und Wasserströmungen. Durch das Auflassen von Vögeln versuchte man, wie es Utnapishtim und Noah vor Landung ihrer Archen getan haben sollen, zu ergründen, in welcher Richtung und Entfernung festes Land lag. Erst die Erfindung des Schattenstabes, des »Gnomons«, ermöglichte es, aus der Länge des Schattens, den die Sonne warf, die ungefähre geographische Breite zu bestimmen. Der Gebrauch des Schattenstabes, den auch Pytheas aus Massilia auf seiner Nordlandreise mit sich führte, setzte jedoch gewisse astronomische und mathematische Kenntnisse voraus, die nicht jeder Kapitän oder Steuermann besaß. Die von den Seefahrern über den Verlauf und die Beobachtungen während der Reise gemachten Aufzeichnungen, die später die Grundlagen für die ältesten »Segelanweisungen« und »Seekarten« bildeten, waren deshalb nicht frei von Fehlern und Übertreibungen.

Als Landestellen und Ankerplätze für ihre Schiffe bevorzugten die antiken Nauten natürliche Buchten, aus denen sich bei günstiger Lage die ersten Häfen mit Kaimauern, Molen und Vertäuungspflöcken entwickelten.

Häfen, die Geschichte machten

Der älteste und größte ausgebaute Seehafen der Frühgeschichte wurde nicht, wie zu vermuten wäre, an den Küsten des Mittelmeeres, sondern an den Gestaden des Indischen Ozeans nachgewiesen, ein Beweis mehr für die rege Seefahrt in jener Region. Der Hafen wurde im 3. Jahrtausend v. u. Z. bei Lothal, am Golf von Cambay, angelegt und ständig ausgebaut. Seine Molen besaßen die beträchtliche Länge von 240 m. Eine 12 m breite Öffnung gewährte den Schiffen die Einfahrt in das 214 × 36 m große, gemauerte Hafenbecken, in dem gleichzeitig bis zu dreißig Schiffe mit 50 t Tragfähigkeit festmachen konnten. Ein Stichkanal mit Schleuse leitete das Flutwasser ab und regulierte den Wasserstand im Hafenbecken.

Die Zahlen schreiben sich leicht hin, ohne eine konkrete Vorstellung von den damit verbundenen Bauleistungen zu vermitteln. Der Molenbau ist auch heute noch eine schwierige Aufgabe, selbst angesichts modernster Technik, die es ermöglicht, vorgefertigte Betonblöcke mittels Schwimmkranen zur Baustelle zu transportieren und »maßgerecht« ins Meer abzusenken. Den Hafenbauern der Frühgeschichte standen weder Schwimmkrane noch Schwimmbagger zur Verfügung. Zur Fundierung der Molen schüttete man so lange Gestein und Geröll in das Meer, bis sich ein fester Damm über den Wasserspiegel erhob, auf dem sich die eigentliche Mole errichten ließ. Begnügten sich die Bauleute anfangs damit, die Blöcke einfach aufeinanderzutürmen, wurden sie später mit wasserdichtem Mörtel, z. B. einem Gemisch aus Kalk und Öl, verbunden.



Leuchtturm auf der Insel Pharos im Hafen von Alexandria (Rekonstruktionszeichnung)

Als Meister des Hafenbaues im Mittelmeerraum gelten die Phöniker, deren Seestädte Sidon und Tyros große, durch massive Dämme befestigte Hafenanlagen besaßen. Ausgedehnter noch waren die Hafenanlagen von Karthago, das in seiner Blütezeit die gesamte Küstenregion Nordafrikas, Südspaniens, Sardiniens und Siziliens beherrschte und deshalb auf den Seeverkehr besonders angewiesen war. Aus Sicherheitsgründen hielten die Karthager die Liegeplätze für Handelsfahrer von denen der Kriegsschiffe streng getrennt.

Wie im Schiffbau erwiesen sich die Griechen auch im Hafenbau als gelehrige Schüler der Phöniker. Um die Hafenbecken vor dem Versanden zu schützen, besaßen schon die ältesten griechischen Häfen, wie Methone, Samos oder Rhodos, teilweise künstliche Molen aus Doppelmauern von beträchtlicher Länge und Höhe. So war z. B. die Mole des Hafens von Samos 35 m hoch, während die Mole von Rhodos eine Länge von fast 500 m aufwies. In Konkurrenz zu Karthago entwickelte sich Piräus am Golf von Ägina, die Hafenstadt Athens, zu einem bedeutenden Handelsplatz im Mittelmeerraum. Auch in Piräus waren der Handels- und Kriegshafen voneinander getrennt.

Über den größten Mittelmeerhafen verfügte Ägypten mit dem Hafen von Alexandria. Es war der einzige Hafen, in dem die »Alexandreia«, das Riesenschiff der Antike, vor Anker gehen konnte. Auf der dem Hafen vorgelagerten Insel Pharos erhob sich die 80 m hohe, unter König Ptolemäus Philadelphus um 250 v. u. Z. aus weißem Marmor erbaute Landmarke, auf deren Spitze die vergoldete Alexanderstatue in der Sonne glänzte. Später mit einem Leuchtfeuer ausgestattet, das nachts den Schiffen den Weg in den Hafen wies, zählte der Leuchtturm von Pharos zu den sieben Wundern der Welt.

Als Weltwunder galt auch die 20 m hohe Bronzestatue des griechischen Sonnengottes Apollo, die sich vor der Hafeneinfahrt von Rhodos aus dem Meer erhob. Erst dreihundert Jahre später machte der Hafen von Rom, an der Tibermündung bei Ostia gelegen und unter Kaiser Trajan (um 55–117 u. Z.) großzügig ausgebaut, den griechischen Häfen den Anspruch streitig, in Anlage und Ausstattung den Anforderungen des Seeverkehrs in mustergültiger Weise zu entsprechen.

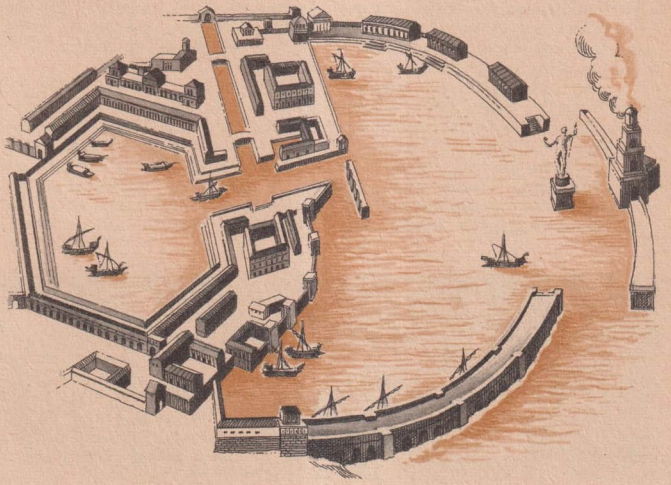
Gemäß ihrer Funktion als Umschlag- und Stapelplatz für Handelswaren besaßen die Häfen der Frühzeit einfache zum Löschen der Ladung bestimmte mechanische Vorrichtungen, wie Winden und Rollenzüge. Als Liegeplätze der Kriegsflotte waren sie zudem durch Befestigungen geschützt und so eingerichtet, daß man die Hafeneinfahrten durch Ketten, Querbalken oder auch Tore vor unerwünschten Eindringlingen absperren konnte. In einer ständig von Schlachtenlärm erfüllten Zeit bildeten die

in den Häfen liegenden Flotten und die auf den Kais stehenden Warenspeicher das wichtigste Angriffsziel der gegnerischen Heere.

Mit Rammsporn und Enterbrücke

Rammsporn und Schanzkleid beweisen augenfällig, daß schon die Ägypter und Phöniker damit begannen, ihre Handelsschiffe für den Seekrieg umzurüsten und einen speziellen Typ von Kriegsschiffen zu entwickeln. Historische Bedeutung erlangte die Seeschlacht von Salamis, in der im Jahre 480 v. u. Z. die griechische Flotte die der Perser und Phöniker besiegte, in der die schnelleren und wendigeren griechischen Drei- und Fünfruderer die schwerer gebauten Schiffe ihrer Gegner zu Hunderten in den Grund bohrten.

Den Oberbefehl über die aus 390 Einheiten bestehende griechische Flotte führte Themistokles (um 527–459 v. u. Z.), der aus den Einkünften der Silberbergwerke von Laurion den Ausbau der griechischen Häfen und den Aufbau einer starken Kriegsflotte finanziert hatte. Die zahlenmäßig überlegene, von König Xerxes befehligte Flotte der Perser bestand vorwiegend aus Schiffen der phönikischen Mutterstädte. Innerhalb nur weniger Stunden sollen die



Ostia, der alte Römerhafen an der Tibermündung (nach einem Kupferstich aus dem 16. Jh.)

Perser in der Seeschlacht von Salamis mehr als zweihundert Schiffe verloren haben, während die Verluste der Griechen mit vierzig Schiffen beziffert werden. Ein zweiter Angriff der Perser im Jahr darauf am Vorgebirge von Mykôle endete für Xerxes nicht weniger verlustreich und zwang ihn, seine Herrschaftsansprüche in der Ägäis aufzugeben.

Fast zur gleichen Zeit, als die Seeschlacht von Salamis tobte, fügten die Truppen der Gründerstädte Italiens in der Schlacht bei Hirera den Karthagern eine empfindliche Niederlage zu und vernichteten viele ihrer Schiffe. War es der griechischen Flotte gelungen, dem persischen Vordringen ins östliche Mittelmeer Einhalt zu gebieten, setzten die im 3. Jahrhundert v. u. Z. zwischen Rom und Karthago mit wechselndem Kriegsglück geführten Punischen Kriege der Vorherrschaft der Karthager im westlichen Mittelmeer ein Ende.

Als sich die Römer zur Eroberung Siziliens anschickten, besaßen sie im Schiffbau nur geringe eigene Erfahrungen. Seit Jahrhunderten benutzten die römischen Seestädte Galeeren mit Vorder- und Hinteraufbau sowie breiten, flachen Böden. Sie wurden von Sklaven oder Sträflingen gerudert und waren zusätzlich mit zwei Masten versehen, an denen dreieckige Segel, sogenannte Lateinsegel, befestigt waren. Obwohl wenig seetüchtig, ließ sich die römische Galeere vielseitig als Handelsschiff, als Truppen- oder Sklaventransporter verwenden. Als Kampfschiff war die Galeere den Schiffen der Karthager, ihrer ärgsten Rivalen, unterlegen. Nach dem Vorbild einer gekaperten karthagischen Pentere ließ 261 v. u. Z. General Appius in der Rekordzeit von zwei Monaten hundert Penteren und zwanzig Trieren bauen. Mit der in Eile mehr schlecht als recht zusammengezimmerten Flotte gelang es den Römern schon ein Jahr später, den Karthagern in der Seeschlacht bei Mylae eine empfindliche Niederlage zuzufügen. Ihre ersten Seesiege verdankten die Römer wohl kaum der Wendigkeit ihrer Schiffe als vielmehr einer neuen Taktik der Seekriegsführung, die auf einer Erfindung des römischen Ingenieurs Duilius beruhte. Der von Duilius konstruierte Corvus (Rabe) war eine am Vordermast des Schiffes angebrachte, schwenkbare Enterbrücke mit krallenartigen Widerhaken. Über die Enterbrücke stießen die römischen Legionäre wie beim Landkampf an Bord der feindlichen Schiffe vor und erstürmten im Nahkampf die Decks.

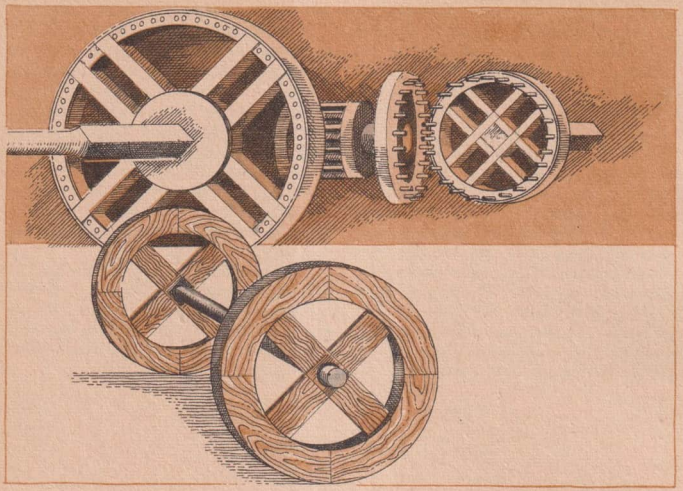
Mit der völligen Zerstörung von Karthago im Jahre 146 v. u. Z. war der Abgang der Karthager von der weltpolitischen Bühne besiegelt. Bevor jedoch das westliche Mittelmeer uneingeschränkt zum »Mare romanum« wurde, kam es im Jahre 31 v. u. Z. zu einer erbitterten Seeschlacht zwischen der weströmischen, von Rom ge-



Römische Seeschlacht (Relief, etwa 30 v. u. Z.)

stellten, Flotte und der oströmischen Kriegsflotte, die im Zeichen der in Ägypten herrschenden Ptolemäer kämpfte. In der Seeschlacht bei Actium hatten die Römer ihre Penterenflotte durch hochbordige Liburnen verstärkt, die den im Mittelmeer kreuzenden schnellen Piratenschiffen nachgebaut waren. Ihre Bewaffnung bestand nicht nur aus Bogenschützen und Schleuderern. Die Liburnen führten als wirksame Fernwaffen auch Torsionsgeschütze an Bord. In ihrer neuen Formierung und Bewaffnung war der weströmischen Flotte der Sieg über die zahlenmäßig überlegene ägyptische Flotte, auf deren Führungsschiff Kleopatra VII., die »Königin der Könige«, an der Seite ihres Gatten Antonius als erster weiblicher Admiral in die Seeschlacht zog, von vornherein sicher. Für Antonius und Kleopatra endete die erlittene Niederlage von Actium tragisch. Gemeinsam wählten sie in Alexandria, das vor den Siegern kapitulierte, den Freitod. Damit erlosch die Ptolemäerdynastie. Ägypten wurde römische Provinz, und in der Geschichte des Römischen Reiches begann die Periode der Kaiserzeit. Rammsporn, Enterbrücke und Schiffsgeschütz verdeutlichen, welcher Anteil der Schiffbau- und Kriegstechnik an den wechselvollen Geschicken der antiken Sklavenhalterstaaten zukommt.

Die Ausweitung des Handels und die Ausbreitung der Kultur vollzogen sich aber nicht nur unter windgeblähten Segeln von Küste zu Küste, sie nahmen ihren Weg auch auf Lasttierrücken und knarrenden Gefährten von Land zu Land.



Das Rad beginnt sich zu drehen

»Nehmen Sie uns das Rad – und wenig wird von der Technik und Industrie der Neuzeit übrig bleiben. Es verschwindet alles. Vom Spinnrad bis zur Spinnfabrik, von der Drehbank bis zum Walzwerke, vom Schiebkarren bis zum Eisenbahnzuge, alles ist weg!«

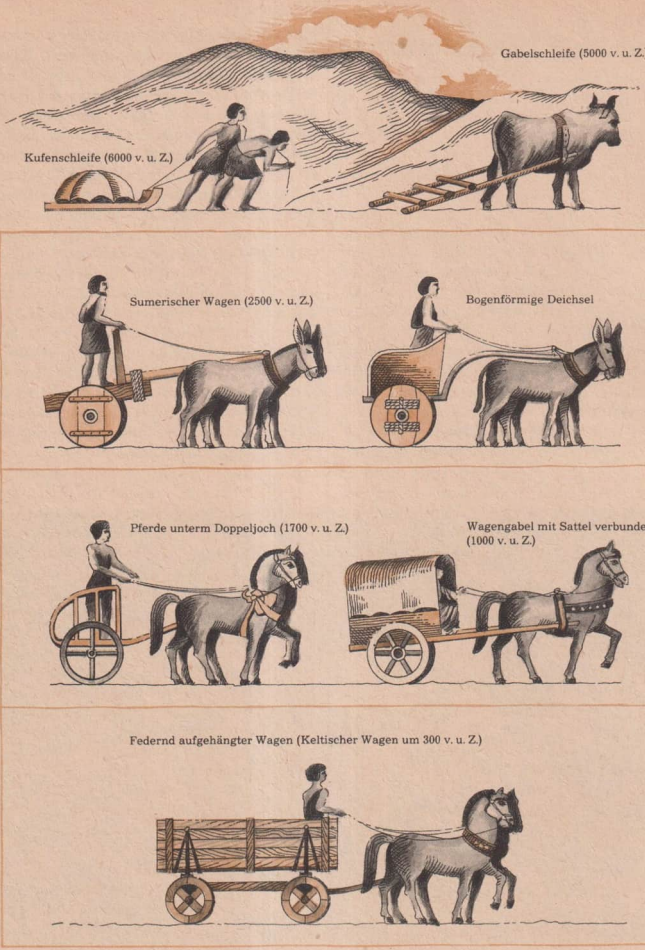
Ernst Mach (1838–1916)

Von der Schleife zum Rad

Es bedarf nicht der Suche nach einer Jahreszahl (die sich ohnehin nicht findet), um die Anfänge des Landverkehrs zeitlich zu fixieren. Transportiert wird, seit es Menschen gibt; denn seitdem werden Gegenstände von einem Ort zum anderen befördert. Die gesammelten, erjagten oder angebauten Nahrungsmittel, das Holz zur Erhaltung des Feuers, das Material für die Werkzeugherstellung, den Bau der Höhle oder Hütte, alles mußte der Urmensch zum Lagerplatz transportieren. Jahrtausendelang stand dafür nur die menschliche Muskelkraft zur Verfügung, erfolgte der Lastentransport auf Schultern, Rücken oder Kopf, erleichtert durch die gezogene Astgabel, aus der sich die Schleife und später die schlittenartige Kufe entwickelten. Dabei blieb es selbst dann noch, nachdem es gelungen war, die tierische Muskelkraft als Zugmittel einzusetzen und für den Transport schwerer Gegenstände den rollenden Baumstamm zu verwenden. Die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit erreichten die ursprünglichen Transport- und Fortbewegungsmittel mit der Herausbildung der arbeitsteiligen Produktion innerhalb der Stämme und dem Aufkommen regelmäßiger Tauschverbindungen zu anderen Stämmen, vor allem aber mit der Gründung von Städten. Von nun an war es erforderlich, schwere Lasten, die nicht in Einzelteile zerlegt werden konnten, über größere Entfernungen zu transportieren.



Quadriga (Kupferguß), Mesopotamien 2600 v. u. Z.



Von der Kufenschleife zum Wagen

Für uns ist eine Technik ohne das rollende, das rotierende Rad, ohne Rad als Bewegungswandler und Energiespeicher mit allen seinen Konsequenzen unvorstellbar. Allzuoft vergessen wir darüber, daß es hohe Kulturen wie die der mittelamerikanischen Indianervölker gab, die weder Rad noch Wagen kannten. Schließlich findet sich in der belebten Natur, die in mannigfaltiger Weise technische Erfindungen anregte, kein Ansatz für ein Radprinzip, weil alle Teile des belebten Organismus im Sinne einer Transmission durch Nerven, Muskelstränge, Blutgefäße verbunden sein müssen. Wie und von wem, wo und wann das Rad erfunden wurde, ist deshalb bis heute eine der vielen ungeklärten Fragen geblieben, mit denen die Frühgeschichte der Technik aufwartet. Es wäre zu einfach zu sagen: Das Rad wurde überall da erfunden, wo es gebraucht, wo ein echtes gesellschaftliches Bedürfnis zur Triebkraft der Erfindung wurde. Immerhin stimmen die Technikhistoriker darin überein, daß das Rad als eine der im Wortsinne »umwälzendsten« Erfindungen der Menschheit und »krönende Großtat der urgeschichtlichen Zimmermannskunst«, auf der das gesamte moderne Verkehrswesen und die Maschinerie beruhen, in vielen Gebieten der Erde zu unterschiedlichen Zeiten erfunden worden ist.

Ähnlich wie für den ägyptischen Barkenbau, könnte die über das Himmelszelt rollende »Sonnenscheibe« Anregungen zur Erfindung des Rades vermittelt haben. Wahrscheinlicher ist, daß die immer breitere Anwendung der Drehbewegung als Bohrer, Spindel und Spinnwirtel oder Töpferscheibe die »Initialzündung« auslöste. Mit dem Rad mußten zwangsläufig die Achse und der Karren oder Wagen erfunden werden. Der Räderkarren trat zuerst zu Beginn des 4. Jahrtausends v. u. Z. im Vorderen Orient in Erscheinung. Die auf der hölzernen Achse angebrachten Scheibenräder bestanden aus drei zusammengeklammerten Segmenten, die sich verhältnismäßig leicht aus gleichrunden glatten Baumstämmen gewinnen ließen, oder auch aus parallel verbundenen Brettern. Zur Erhöhung ihrer Haltbarkeit und Elastizität zog man Lederstreifen auf, die sich beim Trocknen zusammenzogen und so die Holzscheibe vorspannten und zusammenpreßten. In der weiteren Entwicklung des Rades wurde der Lederstreifen, die Urform der Bereifung, durch Kupfer-, Bronze-, Eisen- oder Stahlreifen abgelöst. Räder und Achsen waren mit der Deichsel starr verbunden und durch Lederschlaufen am Wagenkörper befestigt. Wo immer im Flachland Karren und Pflug verwendet werden konnten, trugen sie zur Intensivierung der Landwirtschaft bei.

Neben den zweirädrigen Ochsenkarren waren schon im 3. Jahrtausend v. u. Z., wie eine Mosaikarbeit aus den Königsgräbern von Ur zeigt, vierrädrige Prunk- und Kampfwagen mit hölzernen Speichenrädern bekannt, die von Halbeseln (Onagern) gezogen wurden. Bedeutsamer noch als das Aufkommen des leichteren Speichenrades war die Erfindung der Radnabe (2. Jahrtausend v. u. Z.), die es ermöglichte, das Rad drehbar auf der feststehenden Achse zu befestigen. Dadurch, daß sich die Nabenräder – vor dem Abgleiten von der Achse durch Bolzen gesichert – nunmehr unabhängig voneinander drehen konnten, erhielt das Fahrzeug größere Wendigkeit und Stabilität.

Seit Beginn der Frühbronzezeit erfuhr der mit Speichenrädern ausgestattete Wagen ständig weitere Verbesserungen. Bei den Völkern, die sich auf den Bronzeguß verstanden, löste das bronzene das hölzerne Speichenrad ab. Die Beherrschung des Gießens, Schmiedens, Schweißens und Lötens von Metallen ergab festere Achsen, Speichen, Felgen und Radnaben, die den Räderfahrzeugen auch wegloses und unebenes Gelände erschlossen. Als zweirädrige Streit- und Kampfwagen, nunmehr vom gezähmten Pferd gezogen und in Geschwadern von mehreren hundert Fahrzeugen eingesetzt, bildeten sie im 2. Jahrtausend v. u. Z. die »schwere« Waffengattung



Sethos I. (um 1300 v. u. Z.) kämpft gegen die Hethiter in Syrien (nach einem Wandbild in einem Tempel von Theben).

der Sklavenhalterdynastien der Alten Welt von Ägypten bis China. In dem mit Bronzeplatten gepanzerten Wagenfond stehend, ausgerüstet mit Speer, Pfeil und Bogen und blanker Waffe, rollten die Kampfwagenfahrer ins Schlachtgetümmel. In friedlicheren Zeitläufen fand der »geländegängige« Kampfwagen bei der Groß- und Raubwildjagd sowie für sportliche Wettkämpfe Verwendung.

Besondere Kunstfertigkeit (wir würden es heute »Design« oder »Styling« nennen) offenbaren die mit Gold und Edelsteinen reichverzierten Prunkwagen der assyrischen und babylonischen Despoten ebenso wie die Galawagen der ägyptischen Pharaonen. Den Römern blieb es vorbehalten, die von den Ägyptern übernommenen und weiterentwickelten Streitwagen nicht nur zur Kriegsführung, sondern auch zu blutigen Kampfspielen in der Arena einzusetzen, während sie bei den Völkern des Vorderen Orients – nach Erfindung der Sattelschlaufe und des Steigbügels – gegenüber berittenen Kriegern, der Kavallerie, an Bedeutung verloren. Spätbronzezeitliche Darstellungen von Kampfszenen aus Assyrien und Ägypten zeigen als Trainfahrzeuge auch robuster gebaute, von Pferden oder Rindern gezogene Karren und Wagen, wie sie ab Mitte des 1. Jahrtausends v. u. Z. als Verkehrs- und Transportmittel allgemeine Verbreitung fanden.

Von den nordischen Stämmen waren es besonders die Kelten – sie besiedelten etwa im 6. Jahrhundert v. u. Z. bis zum Beginn unserer Zeitrechnung das südliche Mitteleuropa –, die sich hervorragend auf die Kunst des Wagenbaues verstanden. An der Konstruktion ihrer Kampf-, Reise-, Repräsentations- und Lastenwagen ist bemerkenswert, daß sie den Wagenkasten nicht auf den Radachsen aufsetzten, sondern zwischen aufrecht stehenden Pfosten einhängten, die über den Achsen befestigt waren. Dadurch wurde beim Durchfahren von Furtstellen die Beschädigung der Fracht oder die Belästigung der Passagiere weitgehend vermindert. Außerdem ermöglichte der angehobene Wagenkasten beim vierrädrigen Wagen einen günstigeren Lenkradius der starren Vorderachse. Die Parallelen zu modernen Konstruktionsprinzipien im Fahrzeugbau (Federung, Schwingungsdämpfung, Wendekreis) sind nicht zu übersehen.

Die Kelten verstanden sich zudem auf die Kunst des Straßenbaues nicht schlechter

als die Römer. Ihre stellenweise gepflasterten Straßen begünstigten Handel und Verkehr. Die Erkenntnis, daß die neuen Formen des Warentransportes den Ausbau von Überlandwegen erforderten, war indessen schon gereift, als sich das Rad erst zu drehen begann.

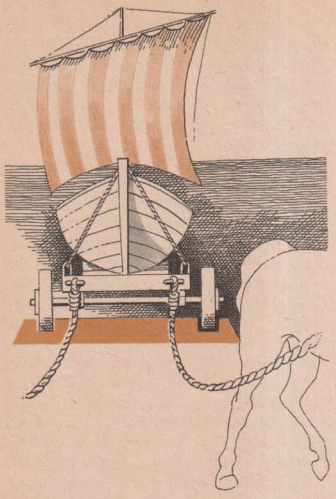
Vom Wildpfad zur Fernstraße

Der Verkehrsweg, den wir als Straße bezeichnen, ist aus dem Wildpfad, dem ältesten Landweg der Menschheit, hervorgegangen. Der Beweis dafür läßt sich noch heute erbringen. Überall dort, wo es zwischen zwei Festpunkten weder Wege noch Straßen gibt, entstehen »Trampelpfade«. Als Ackerbau und Viehzucht die Daseinsbedingungen der seßhaft gewordenen Menschen zu bestimmen begannen, entstanden aus Wild- und Trampelpfaden Wirtschaftswege zwischen den Siedlungsplätzen und den Feldern, zwischen Weideplätzen und Wasserstellen.

Die Zunahme des Warentransportes und die Ausweitung des Handels sowie militärische Bedürfnisse erforderten nach Einführung der Räderfahrzeuge die Anlage von Heer- und Handelsstraßen. Dabei kam es – den jeweiligen gesellschaftlichen Verhältnissen und geographisch-topographischen Gegebenheiten der Landschaft entsprechend – zu recht unterschiedlichen Lösungen. Historiker betrachten deshalb Anlage und Zustand frühgeschichtlicher Straßen als einen brauchbaren Maßstab für die sozialökonomischen Verhältnisse der betreffenden Staatswesen, so wie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Schienenkilometer zu einem Kriterium für die industrielle Entwicklung eines Landes wurden. Die Geschichte der großen historischen



Der Assyrerkönig Assurnarsirpal II. (883–859 v. u. Z.) benutzt Jagdwagen zur Löwenjagd (Abguß von einem Marmorrelief aus dem Palast in Ninive).



Griechischer Schiffswagen auf Spurgleisen (Rekonstruktionszeichnung)

Straßen, auf denen sich der Austausch von Waren und Ideen vollzog, ist zugleich eingebettet in die Geschichte der menschlichen Zivilisation.

Zu den hierzulande bekanntesten natürlichen Verbindungen zählen zwischen Süd und Nord die »Bernsteinstraßen«, deren ältester Zug (2500–2000 v. u. Z.) aus den Mittelmeerländern über den Brennerpaß bis zur nordfriesischen Küste führte, und als Ost-West-Verbindung die »Seidenstraßen«, die China mit Indien und dem Mittelmeerraum verbanden. Die älteste Kunststraße im Vorderen Orient, von der wir sichere Kunde besitzen, war die 3400 km lange »Straße der Könige«, die Susa, die alte Hauptstadt von Elam am Rande des persischen Hochlandes, mit Sardes, der Hauptstadt des Königreiches Lydien an der Westküste Kleinasiens, verband.

Ihre Ursprünge werden bis auf die sagenhafte Assyrerkönigin Semiramis (um 800 v. u. Z.) zurückgeführt. Nachweislich erfolgte der Ausbau für den Staatspostverkehr jedoch erst unter Kyros II., der 559 v. u. Z. den Königsthron bestieg und als Gründer des Altpersischen Reiches den Beinamen »der Große« erhielt. Für den Straßenbau ließ er zur Unterstützung der Sklavenheere auch die Armee einsetzen, die bereits über Pioniereinheiten mit Pontonbrücken verfügte. Für den Pferde- und Botenwechsel bestanden entlang der »Straße der Könige« – wie Herodot berichtet – 111 Poststationen, die zugleich als Fremdenhäuser dienten. Meilensteine am Rand der Straße zeigten dem Postreiter die Entfernungen zwischen den Stationen an. Die durchschnittliche Tagesleistung betrug dank des guten Straßenzustandes etwa 120 km. Während von Susa eine zweite, etwa 300 km lange Postroute nach Babylon führte, zweigte bei Kelená von der »Straße der Könige« eine 2000 km lange Straße nach Mittelasien ab.

Die topographischen Verhältnisse Ägyptens beiderseits des Nils, der »Hauptverkehrsader« des Landes, erforderten weniger aufwendige Straßenbauten, um den Bedürfnissen des Personen- und Güterverkehrs zu genügen. Auf dem Landweg war Ägypten mit der Außenwelt hauptsächlich durch Karawanenstraßen verbunden, zu denen eine uralte Karawanenstraße zählte, die am Rande der nordafrikanischen Wüsten und parallel zur südlichen Mittelmeerküste bis zu den Säulen des Herkules führte.

Ganz anderen Bedingungen als in Ägypten sahen sich die Straßenbauer in Griechenland gegenüber, wo es darauf ankam, die zahlreichen an den Randmeeren des Mittelmeeres gelegenen Häfen mit den politischen Zentren des Landes zu verbinden. Neben den Handels- und Heerstraßen spielten die Kult- und Feststraßen, die zu den Tempeln der Götter, z. B. zum Orakel von Delphi, führten, eine herausragende Rolle.

Diese Straßen mußten so beschaffen sein, daß die bei den Tempelfesten in Umzügen mitgeführten, kostbar geschmückten Festwagen keinen Schaden erlitten. Das erreichte man dadurch, daß in den Straßenbelag Fahrrinnen eingemeißelt wurden, die der Spurweite der Festwagen entsprachen. Streitigkeiten über das »Vorfahrtsrecht« führten zur Anlage von Ausweichstellen und Doppelgleisen. Daraus den Schluß zu ziehen, die Urform der Schiene und der Schienenbahn sei in Griechenland zu suchen, gilt nur bedingt. Die erste »Straßenbahn« rumpelte schon tausend Jahre früher durch die Hauptstraße von Assur und verband den Stadtkern mit dem Neujahrstempel. In das Kalksteinpflaster waren die Kupferschienen der Kultbahn eingebettet, auf denen die Schiffswagen, die den Thron der Götter trugen, zum Neujahrsfest aus dem Tempel herausgezogen und nach Beendigung der Festlichkeiten zurückgefahren wurden. Ähnlicher Schiffswagen, die ebenfalls in einer Gleisanlage liefen, bedienten sich später die Griechen, um Schiffe über die Landenge von Korinth zu ziehen.

Schienenbahn und Schiffswagen – beide sind technische Meisterleistungen der Antike und symbolisch für das Zusammenwirken von Land- und Seeverkehr. Wen nimmt es danach noch wunder, daß der Grundaufbau unserer heutigen Straßen mit wasserdurchlässigem Packlager, Zwischenlager und witterungsbeständiger Decke bereits in der Römerzeit allgemeine Anwendung fand?

Zur Besichtigung freigegeben: die Via Appia

Nachdem sich das »Imperium Romanum« auf der Höhe seiner Macht über große Teile Europas bis hin nach Britannien, über Kleinasien, den Vorderen Orient und Nordafrika erstreckte, erwies es sich als nötig, ein Straßennetz zu schaffen, das es Rom jederzeit gestattete, Truppen an weit entfernte Grenzen zu werfen, Güter über große Entfernungen zu transportieren. Diese Straßen, die in immer dichterem Netz fast die ganze damals bekannte Welt umfaßten, waren nach einem wohldurchdachten Plan angelegt. Mittelpunkt aller Fernstraßen bildete Rom, Sitz der Zentralgewalt der größten Militär- und Handelsmacht ihrer Zeit. In beinahe 600jähriger Arbeit schufen römische Sklaven und Legionäre mehr als 90 000 km ausgebaute, zum großen Teil gepflasterte Heer- und Handelsstraßen, ferner 200 000 km häufig benutzte oder von anderen Völkern übernommene Nebenstraßen und Verbindungswege. Insgesamt also ein Straßennetz von etwa der siebenfachen Länge des Erdumfanges!

Entwickelt hatte sich die römische Straßenbautechnik aus einfachsten Anfängen, nämlich der Nutzung natürlicher sowie dem Ausbau vorhandener Verbindungswege. Ihnen folgte später der Bohlenweg, der aus fugenlos aneinandergelegten, durch Pflöcke im Boden befestigten Bretterbohlen aus Eichen- oder Kiefernholz bestand. In Sumpfgebieten wurden die Bohlen mit balkenförmigen Längsschwellen unterlegt. Die Bohlenwege sind für die Römerzeit ebenso typisch wie die Heer- und Handelsstraßen mit fester Decke, die unter Kaiser Augustus ihre größte Ausdehnung und



Römische Straßenprofile um die Zeitenwende

höchste Leistungsfähigkeit erreichten. Bei ihrem Bau verfuhr man so, daß zunächst zwei parallellaufende Gräben gezogen wurden. Die Gräben markierten die Begrenzung der künftigen Straße und dienten außerdem dazu, das ablaufende Regenwasser aufzunehmen. Dann begann man damit, die Erde zwischen den beiden Gräben abzutragen und in die Vertiefung das aus großen Steinen bestehende Packlager einzubringen. Schon jetzt wurden beiderseits der Packlage die Randsteine gesetzt, bevor die eigentliche Bettung aus wechselweise bis zu drei Schichten Grobschlag und Kies erfolgte. Die Decklage bestand aus festgestampftem und mit Kies oder Sand verfülltem Schotter. Dabei achtete man besonders darauf, eine gleichmäßig gewölbte Straßendecke zu erhalten, von der das Wasser nach beiden Seiten ablaufen konnte. Wo es sich anbot, wurde die Straßendecke gepflastert oder mit Lavaplatten belegt.

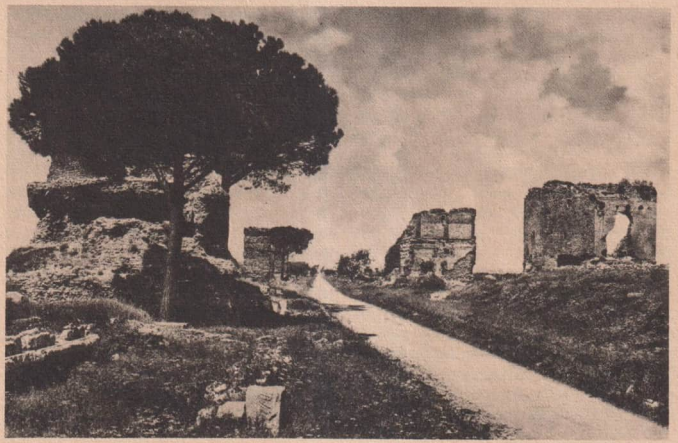
Eine solche Plattenstraße war bereits die um 312 v. u. Z. von Sklaven angelegte Via Appia, die älteste römische Heerstraße, die berühmt-berüchtigte Prachtstraße, die Rom mit Capua verband, die nach der Niederwerfung des von Spartacus (gest. 71 v. u. Z.) geführten größten Sklavenaufstandes der Antike zur Golgathastraße für 6000 gekreuzigte Sklaven wurde. Vor den Toren Roms, wo sich die Via Appia und die Via Latina kreuzten, befand sich die Area carruces, ein Standplatz für Mietwagen, weil es Überlandfahrzeugen verboten war, in das Stadtinnere einzufahren.

Die römischen Straßenbauingenieure, die sich auf die reichen Erfahrungen der Assyrer, Babylonier und Perser stützen konnten, die sich die Kenntnisse der römischen Bergwerksarbeiter, der Wasserbauingenieure und Architekten zunutze machten, schreckten in der Trassenführung vor keinem Hindernis zurück. Wasserläufe wurden anfangs mit Schiffs- und Holzbrükken, später mit steinernen Bogenbrücken überspannt. In Gebirgsgegenden sprengten sie Durchlässe in die Felsen und trieben Tunnel durch die Berge. Nach dem Vorbild der Schienenbahnen wurden in den Hochgebirgspässen Spurrinnen für Räderfahrzeuge und Trittstufen für Trag- und Zugtiere angebracht, um sie leichter und sicherer befahr- und begehbar zu machen. Allein über die Alpen kannten die Römer siebzehn Übergänge, von denen sie den Brenner und

den Großen Sankt Bernhard am häufigsten benutzten.

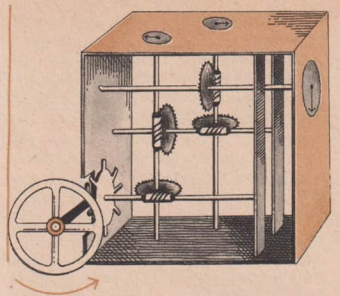
Die entlang den Römerstraßen in regelmäßigen Abständen aufgestellten Meilensteine trugen als Bezugspunkte nur die eine Angabe: die jeweilige Entfernung von bzw. nach Rom. Dort, wo sich die Straßen den Städten näherten, waren sie beiderseitig mit Fußwegen versehen und wurden oft den Bestattungssitten der Zeit entsprechend von prächtigen Grabdenkmälern flankiert. Innerhalb der Städte berücksichtigte die Ausstattung der Straßen sowohl die Bedürfnisse der Verkehrssicherheit als auch die der städtischen Hygiene. Dem entwickelten Überlandverkehr trugen Straßen- und Ortsverzeichnisse Rechnung, die als Hinoraria scripta (Stationsverzeichnisse) zu Vorläufern der späteren Kurs- und Reisehandbücher wurden. Zuweilen jedoch sahen sich die staatlichen Reiseaufseher veranlaßt, jeden Verkehr zu stoppen, weil sich auf der Heerstraße eine carruca näherte. Der kostbar verzierte Staats- und Galawagen der Kaiserzeit, der seinen Insassen – vielleicht dem Kaiser selbst – neben der Vorfahrt alle Bequemlichkeiten bot, war ein direkter Vorläufer der Karosse, die ihrerseits später zum Vorläufer des Automobils wurde.

Obwohl emotional verständlich, bleibt es kultur- und technikgeschichtlich zu bedauern, daß die nach dem Untergang des Römischen Imperiums befreiten Bewohner der ehemals besetzten Gebiete als erstes die Römerstraßen zerstörten, um eine Rückkehr der gefürchteten Legionen zu verhindern. Anderenorts geriet das Straßennetz im Laufe der Zeit in Verfall, weil es an Kräften und Mitteln für die Instandhaltung fehlte. Und so sind es, von Archäologen freigelegt, nur wenige römische Bohlenwege und Fernstraßen, die sich wie die Via Appia bis in unsere Zeit erhalten haben.



Reste der Via Appia, der ältesten römischen Heerstraße, die ihren Namen nach dem Zensor Appius Claudius Caecus erhielt, unter dem 312 v. u. Z. der Bau begann. Der erste Abschnitt dieser Straße war 198 km lang und 8 m breit.

Mechanische Probleme praktisch gelöst



Taxameter mit Zahnrädern und Schneckengetriebe nach Heron von Alexandria

Bleiben wir bei den entlang der Römerstraße aufgestellten Meilensteinen, auf denen die jeweilige Entfernung vom bzw. zum Zentrum des Römischen Imperiums eingemeißelt war. Ihre Beschriftung und ihr Aufstellungsort setzten zweierlei voraus: erstens die allgemeine Kenntnis eines Maßsystems, zweitens das Vorhandensein einer mechanischen Vorrichtung, die es ermöglichte, Entfernungen relativ einfach, schnell und zuverlässig zu messen.

Maß und Gewicht, Messen und Wägen gehen in ihren Anfängen bis in die Frühzeit der Vorratswirtschaft, der Ausweitung der ökonomischen Beziehungen der Menschen und des Handels zurück. Grundlage der gebräuchlichsten Maßsysteme bildeten die menschlichen Körpermaße, das Arbeitsvermögen des Menschen und Gegenstände seiner Umwelt, die mit wachsender Naturkenntnis an Genauigkeit gewannen. Ohne Vorhandensein von Meßmethoden und Maßsystemen wären die Meisterwerke der antiken Technik, die Bewässerungsanlagen und die Trinkwasserversorgung der Städte, die Palast- und Tempelbauten, die Pyramiden und die Staatsstraßen der Perser und Römer undenkbar.

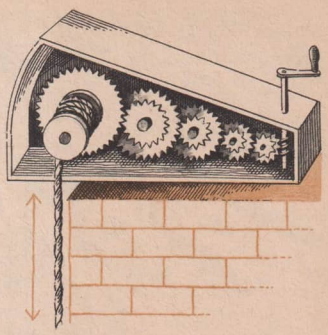
Die Vermessung und Trassierung der Römerstraßen erfolgte unter Leitung von sogenannten Agrimensoren (Feldvermessern). Zum Messen größerer Entfernungen standen bereits relativ komplizierte, auf dem Wirkprinzip kombinierter Räder beruhende Vorrichtungen zur Verfügung, in der Technikgeschichte als Taxameter bezeichnet, Urformen des Kilometerzählers. Zeitgenössische Beschreibungen dieser Apparate beweisen, daß das Rad in der Antike auch schon als Zahnrad bekannt war und als Zahnradgetriebe Anwendung fand. Pollio Marcus Vitruvius (geb. um 70 v. u. Z.), römischer Techniker und Technikhistoriker, beschreibt u. a. einen Wegemesser, bei dem »an der Nabe eines Wagenrades ein kleines einzähniges Rädchen befestigt wird, das in ein 400zähniges Rad eingreift«. Bei jeder Radumdrehung öffnete sich ein Speichergefäß, aus dem eine kleine Steinkugel in ein Zählgefäß fiel. Ein Wagenrad von 4 Fuß Durchmesser legte bei einer Umdrehung 12,5 Fuß zurück, bei 400 Umdrehungen also $12{,}5 \times 400 = 5000$ Fuß, gleich 1000 Schritt oder eine römische Meile (1478,7 m). Das Nachzählen der Kugeln und das Nachfüllen des Speichers ließen bei den Reisenden keine Langeweile aufkommen.

Noch komplizierter im Aufbau, aber einfacher ablesbar war ein anderes Registriergerät, dessen Erfindung dem vielseitigen Heron von Alexandria (geb. um 120 v. u. Z.) – der Leser lernt ihn im übernächsten Kapitel als »Automatenbastler« kennen – zugeschrieben wird. Bei dieser Konstruktion griff ein an der Radachse angebrachter Zapfen in die Speichen eines horizontal gelagerten kleinen Rades, dessen Umdrehungen durch Zahnräder und Schneckenge-

triebe auf eine Achse übertragen wurden, an der ein Zeiger befestigt war. Aus der Zeigerstellung ließ sich auf einer Markierungsscheibe jederzeit die zurückgelegte Wegstrecke ablesen.

Erste Erwähnung fanden die Zahnräder schon zwei Jahrhunderte vor Heron bei Aristoteles (384–322 v. u. Z.), der in seiner »Mechanische Probleme« betitelten Schrift eine Darstellung der von den Handwerkern und Technikern seiner Zeit gebrauchten Mechanismen gab. Neben dem Hebel, dem Keil, der Walze, der Rolle und dem Rad war das vor allem der Rollen- oder Flaschenzug. Der Flaschenzug, der vermutlich aus der Winde entstand und sich später zum Kran entwickelte, zählte zu den wichtigsten Hebezeugen der Antike. Er erleichterte die Lade- und Löscharbeiten in den Häfen, die Arbeit auf Baustellen und Werften. Im Prinzip handelte es sich bei den Rollen um aufgehängte, durch einen Seilzug verbundene Räder in unterschiedlicher Zahl und von verschiedener Größe.

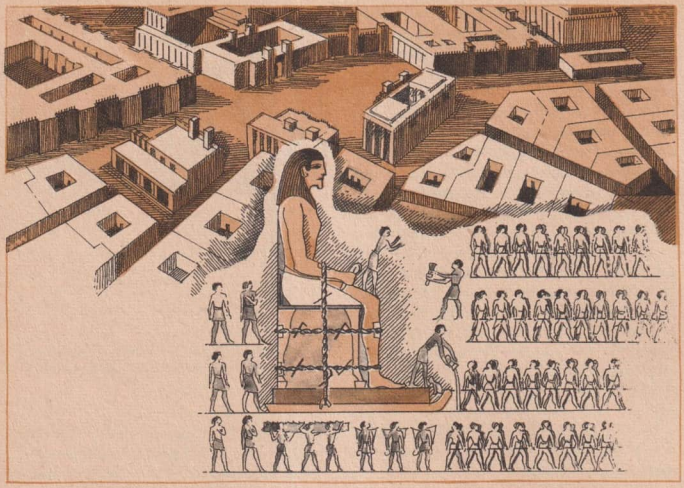
Die theoretische Begründung für das Gleichgewicht mehrrädriger Rollen- oder Flaschenzüge formulierte Archimedes, der als einer der ersten mathematische und physikalische Erkenntnisse auf technische Probleme anwandte. In der griechischen Geschichtsschreibung wird ihm besonders nachgerühmt, daß er mit Hilfe von Hebeln und Flaschenzügen der römischen Flotte eine vernichtende Niederlage zufügte, als diese sich im Jahre 214 v. u. Z. anschickte, die damals griechische Kolonie Syrakus zu erobern. Archimedes, damals 74jährig, hatte rechtzeitig Anweisung gegeben, auf den Hafenmauern verschiedene der von ihm konstruierten Mechanismen zur Abwehr der feindlichen Flotte aufzustellen. Mit ihrer Hilfe gelang es den Verteidigern, die römischen Schiffe mit mächtigen Greifarmen unter Wasser zu drücken, in die Höhe zu heben oder umzukippen. Zu solchen gewaltigen Kraftleistungen sind die noch heute bei Reparatur- und Montagearbeiten eingesetzten Flaschenzüge mit drei



Glossokomon mit Schneckenradantrieb und Zahnradübersetzung, die leistungsfähigste »Hebemaschine« der Antike

Rollen freilich kaum imstande, eher schon die fünf- und vielzügigen Flaschenzüge wie der »Potenzflaschenzug« von Archimedes mit acht losen Rollen, dessen Kraftverstärkung das 161- bis 256fache betrug.

Die leistungsfähigste »Hebemaschine«, die auf den Hafenmauern von Syrakus ihre »Feuerprobe« bestand, war das Glossokomon – eine Kombination von Schneckenantrieb und Zahnradübersetzung, die höchste Anforderungen an die Beschaffenheit der Achsen, Lager, Zahnräder und der Seile stellte. Neben Seilen aus geschmiedetem Draht wurden auch Bronzeseile benutzt. Die Parallelschaltung mehrerer solcher »Hebemaschinen« ermöglichte es, Massen von 100 t und mehr zu bewegen, also Tragfähigkeiten zu erreichen, die denen moderner Hebezeuge nahekommen. Verschiedene Technikhistoriker vertreten deshalb die Ansicht, daß Archimedes nicht an den einfachen Hebel, sondern an das Glossokomon dachte, als er sich der Fähigkeit rühmte, die Erde aus den Angeln zu heben. Den Einsatz von Hebezeugen und »Hebemaschinen« erwähnt unser weitgereister Gewährsmann Herodot auch für den Bau der Pyramiden.



Die Sieben Weltwunder und andere Monumentalbauten der Antike

»Wer baute das siebentorige Theben?
In den Büchern stehen die Namen von Königen.
Haben die Könige die Felsbrocken herbeigeschleppt?
Und das mehrmals zerstörte Babylon –
Wer baute es so viele Male auf? In welchen Häusern
Des goldstrahlenden Lima wohnten die Bauleute?
Wohin gingen an dem Abend, wo die chinesische Mauer fertig war
Die Maurer? Das große Rom
Ist voll von Triumphbögen. Wer errichtete sie? Über wen
Triumphierten die Cäsaren? Hatte das vielbesungene Byzanz
Nur Paläste für seine Bewohner? . . .«

BERTOLT BRECHT (1898–1956)

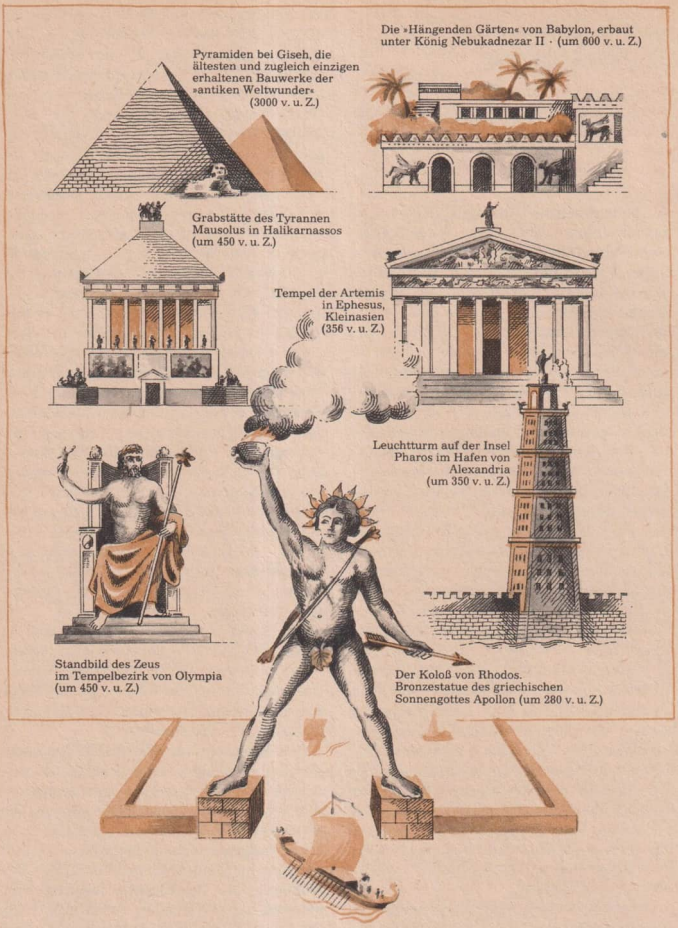
»Die ungeheuerste Architekturidee«

Die bedeutendsten Zeugnisse der vom Altertum hervorgebrachten Monumentalarchitektur, Bauwerke von imponierender Größe, Pracht und Schönheit, galten schon zu ihrer Zeit als »Weltwunder«. Die Bewunderung der Mitwelt galt der technischen Leistung, dem handwerklichen Können, der künstlerischen Meisterschaft ihrer Erbauer. Dabei gab es weitaus mehr bewunderungswürdige Bauwerke, als die symbolische Siebenzahl erfaßte, so daß ihre Auswahl unterschiedlich ist. In der Regel zählt man den Leuchtturm von Pharos, dessen Fundament erst in den letzten Jahren von Tauchern aufgefunden wurde, und den Koloß von Rhodos dazu, die der Leser bei unserem Besuch in den »Häfen, die Geschichte machten«, kennenlernte. Ferner: das Grabmal des Tyrannen Mausolos in Halikarnassos, der mehrmals zerstörte und wiederaufgebaute Artemistempel in Ephesos, das von Phidias geschaffene Standbild des Göttervaters Zeus im Heiligen Hain von Olympia, die Hängenden Gärten der Semiramis in Babylon und – am populärsten – die Pyramiden in Giseh bei Kairo, das älteste und einzige der Sieben Weltwunder, das Touristen aus aller Welt noch heute bestaunen können. Aber auch die Stadtmauern von Babylon, die tönenden Memnonssäulen bei Theben, die Große Chinesische Mauer, das Kolosseum und die Katakomben in Rom, die Hagia Sophia in Istanbul und andere antike Bauwerke werden mitunter zu den Weltwundern gezählt.

Die ungeheuren Massen verwendeten Baumaterials, der erforderliche Bauaufwand und die oft unerklärliche Art der Bauausführung ließen neben die Bewunderung immer wieder die Verwunderung, die Wundergläubigkeit treten, die in der Spätantike und im Mittelalter die einmaligen Architekturwerke vergangener Kulturepochen mit einem Kranz von Baulegenden und Wundergeschichten umrankten, in denen Riesen, Dämonen und Teufel ihre Rolle als Bauhelfer spielten. Schließlich versuchten im 16. und 17. Jahrhundert nicht wenige europäische »Gelehrte«, die Entstehungsgeschichten auf pseudowissenschaftlich-phantastische Weise zu erklären, indem sie an die Stelle der Riesen und Dämonen geheimnisvolle Baumeister aus fernen, unbekannten Welten rückten. Obwohl die Entzifferung der Hieroglyphen und die Erkenntnisse archäologischer Forschungsgrabungen die mythischen Deutungsversuche und utopischen Spekulationen schon bald widerlegten, wurden in den sechziger Jahren unseres Jahrhunderts neue Versionen der Baulegenden kolportiert, die die Entstehung der Pyramiden und anderer antiker Monumentalbauten der Einflußnahme »außerirdischer Intelligenzen« – ausgestattet mit hervorragenden, uns bis heute unbekannt gebliebenen wissenschaftlichen Kenntnissen, schöpferischen Fähigkeiten und technischen Hilfsmitteln – zuzuschreiben versuchten.

Die Antwort darauf nahm bereits im Jahre 1797 der dänische Archäologe Georg Zoegra vorweg, als er die altägyptischen Obelisken erforschte: »Weder in den Obelisken noch in den Pyramiden steckt ein übermenschliches Geheimnis!«

Den Erbauern der »Sieben Weltwunder« standen tatsächlich nur jene einfachen mechanischen Hilfsmittel zur Verfügung, die sich bei Aristoteles beschrieben finden. Die oft verblüffenden Kenntnisse der Bauleute, die Grundgesetze der Mechanik, der Statik oder der mathematisch-geometrischen Berechnung von Baukörpern beruhten vorwiegend auf empirischer Erfahrung. Folglich war es in erster Linie der straff organisierte und geleitete Masseneinsatz von Ar-



Die »Sieben Weltwunder«

beitskräften, der die Errichtung der Monumentalbauten ermöglichte. Das gilt besonders für den Bau der Pyramiden, die Goethe (1749–1832), als er 1787 eine bildliche Darstellung zu Gesicht bekam, zu dem Tagebucheintrag veranlaßten: »Das ist die ungeheuerste Architekturidee, die ich zeitlebens gesehen, und ich glaube nicht, daß man sie noch überbieten kann.«

Bau der »Ewigen Häuser«

Folgt man von Kairo aus der belebten Al-Ahram-Straße, erstrecken sich am linken, Afrika zugewandten Ufer des Nils in einem Gebiet von 160 km Länge neun Pyramidenfelder mit etwa achtzig Grabmälern in Pyramidenform, entstanden in der Zeit zwischen 2950 und 1800 v. u. Z., unterschiedlich in ihrer Größe, ihrer Bauausführung sowie ihrem Erhaltungszustand. Anlaß für den Bau der »Ewigen Häuser« war der Glaube an ein Fortleben nach dem Tode bei Erhaltung des Leibes – in Form der Mumie – oder wenigstens seines Abbildes als Statue, als Relief. Die älteste Pyramide ist die etwa um 2950 v. u. Z. erbaute, 58 m hohe, sechsstöckige Stufenpyramide in Sakkara, das Grabmal des Pharao Djoser (Zoser), des Begründers der 3. Dynastie. Sie gilt als der erste große Steinbau, der bisher in der Geschichte der Architektur bekannt ist.

Die drei berühmtesten Pyramiden stehen in Giseh, von denen die Cheopspyramide, erbaut um 2650 v. u. Z., die größte ist. Über ihre ursprünglichen und heutigen Dimensionen liegen unterschiedliche Angaben vor. So wird ihre einstige Höhe mit 146,59 bis 147,80 m (heute 137 m), ihre Seitenlänge mit 232,16 bis 232,77 m (heute 230,38 m), die Grundfläche mit rund 54 000 m^2 angegeben, eine Grundfläche, auf der im Größenvergleich die Dome zu Mailand und Florenz samt Peterskirche zu Rom bequem Platz finden würden. Der Monumentalbau wurde aus rund 2 300 000 Steinblöcken gefügt, deren jeder etwa 2,5 t wog. Rechnet man den Felskern ab, über dem sich die Cheopspyramide erhebt, handelt es sich um rund 2,5 Mill. m^3 Mauerwerk. Napoleon Bonaparte war es, der 1798 nach gewonnener Schlacht in Gedanken die Vergleichsrechnung anstellte, daß die zum Bau der Cheopspyramide benötigten Steine ausreichen würden, um ganz Frankreich mit einer 3 m hohen, 30 cm breiten Mauer zu umgeben.

Der Standort der nach Cheops benannten Pyramide, die, hätte Herodot in seinen Aufzeichnungen die Namen nicht durcheinandergebracht, in Wirklichkeit für den Pharao Khufu erbaut wurde, war überlegt gewählt. Das Kalksteinplateau am Rande der westlichen Wüste bot ein solides geologisches Fundament. Das vorwiegend verwendete Material, libyscher Kalkstein, stand in unmittelbarer Nähe an. Das übrige Baumaterial wurde auf dem Nil transportiert und über eine mehrere hundert Meter lange Straße herangeschafft. Das Baugeschehen, von Herodot wortreich geschildert, auf später entdeckten Bildtafeln veranschaulicht, stellt sich heute etwa so dar: Die Bausaison währte jeweils 120 Tage, vom Beginn einer Nilüberschwemmung bis zu ihrer Beendigung. Die Gesamtbauzeit wird mit zwanzig Jahren angegeben. Die Arbeiter waren in Gruppen von acht bis zehn Mann organisiert, die Gruppen in Abteilungen zusammengeschlossen. Insgesamt sollen 100 000 Arbeiter eingesetzt gewesen sein, Fellachen, die ihre Arbeit als Kultdienst verrichteten, Soldaten, Sträflinge und Sklaven. Die Mehrheit von ihnen arbeitete vermutlich in den Steinbrüchen und in den Transportkolonnen. Die in jüngerer Zeit auf dem Pyramidenfeld von Giseh freigelegten Reste von Arbeiterunterkünften lassen darauf schlie-

ßen, daß unmittelbar auf der Baustelle höchstens 3500 bis 4000 Arbeiter eingesetzt waren.

Der Transport der 2,5-t-Blöcke erfolgte in der gleichen Weise, wie es auch heute noch die Arbeiter der ägyptischen Altertümerverwaltung bei Reparaturarbeiten tun. Mittels Hebebäumen wurden die Steine auf einen breiten Holzschlitten gewuchtet und auf hölzernen Gleitbahnen mit Muskelkraft zur Baustelle geschleppt. Auch Rinder und Esel wurden als Zugkräfte eingesetzt. Während man beim Bau der Stufenpyramide von Sakkara mit Sicherheit die schiefe Ebene in Form steinerner Rampen benutzte, um die Blöcke von Stufe zu Stufe in die Höhe zu zerren, berichtete Herodot, daß beim Bau der Cheopspyramide »Hebemaschinen«, also einfache Rollenzüge, eingesetzt wurden, um die Steinquader von Absatz zu Absatz zu hieven. Neuere Forschungen lassen vermuten, daß auch der Schaduf als Hebezeug beim Pyramidenbau Verwendung fand. Die Werkzeuge der Bauleute waren aus Stein, Kupfer und Bronze hergestellt. Zu den wichtigsten Hilfsmitteln der Bauführer zählten Lot und Winkelmaß. Dabei steht es heute außer Zweifel, daß dem Pyramidenbau mehr oder weniger detaillierte Bauzeichnungen zugrunde lagen.

Die Außenverkleidung der Cheopspyramide bestand aus feinkörnigen, polierten und fast fugenlos aneinandergefügten weißen Kalksteinplatten, deren Reflexionsvermögen die Pyramide im Sonnenlicht weithin sichtbar in strahlendem Weiß aufleuchten ließ. Für Thomas Mann stellte sich das Weltwunder weniger strahlend dar. Bei ihm lesen wir: »Da die Reisenden näher kamen, zog sich das Spitzgebirge auseinander im Sande, und man sah die Schadhaftigkeit seiner Dreiecksflächen, deren polierte Deckplatten zu bröckeln begannen ...« Es war nicht nur der Wüstenwind, der dem



Die Stufenpyramide von Sakkara, erbaut von Imuthes für König Djoser (Zoser), Begründer der 3. Dynastie (3000 v. u. Z.)

Bauwerk wie ein Sandstrahlgebläse seine Leuchtkraft nahm. Durch die Jahrtausende hindurch diente die Pyramide als eine Art Steinbruch für den Bau der Moscheen und Paläste Alt-Kairos. Damit erklären sich auch die Differenzen zwischen den ursprünglichen und späteren Abmessungen des Baukörpers.

Das Grabmal des Pharaos Khufu ist aber nicht nur in seiner äußeren Dimension die »ungeheuerste Architekturidee«, wie es Goethe formulierte, sie zeugt auch in ihrem Inneren von genialen Einfällen, bemerkenswerten Fähigkeiten und verblüffenden bautechnischen Lösungen, wie der Anlage der Lüftungsstollen und der Zugänge zur Grabkammer des Königs.

Die »Königskammer«, 10,45 m lang, 5,20 m breit und 5 m hoch, ist in poliertem Granit ausgeführt, in ihrer Mitte steht der steinerne Sarkophag des Khufu. Über der Grabkammer befinden sich fünf weitere niedrige Kammern, nach oben abgeschlossen durch zwei in umgekehrter V-Form aneinandergefügte Platten, die den Druck der über der »Königskammer« lagernden Steinmassen abfangen. Über die astronomisch-geodätischen Bezüge der Pyramidenschnitte, die ständig neuen Anlaß zu abenteuerlichen Hypothesen und Spekulationen geben, können wir auf unserem Streifzug nur bekräftigen, daß sie mit »Göttern aus dem All« nicht das geringste zu tun haben.

So wie die altägyptischen Pyramiden und Tempel ihre »Baugeheimnisse« den ernsthaften Forschern stets nur stückweise preisgegeben haben, halten es auch die rätselhaften Sphinxe, die sich im Vorfeld der Pyramidenkomplexe befinden. Am bekanntesten von ihnen ist wiederum der Sphinx von Giseh, der das berühmte Weltwunder bewacht. Ein aus dem Fels gehauenes Fabeltier, von den ausgestreckten Löwenpranken bis zum Schweif 74 m lang und 20 m



Der Sphinx vor der Chefrenpyramide bei Giseh (um 2600 v.u.Z.)

hoch, mit stolz erhobenem Kopf, dessen Antlitz, wie Ägyptologen vermuten, die Züge eines Königs, vielleicht sogar des Sonnengottes, trägt. Erbaut wurde der Sphinx schon zweitausend Jahre vor der Cheopspyramide, jahrtausendelang lag er unterm Wüstensand begraben. Erst im 19. Jahrhundert begannen die wissenschaftlichen Ausgrabungen. Und erst sie ließen erkennen, daß sich zwischen den ausgestreckten Pranken des Sphinx ehemals ausgedehnte Tempelanlagen befanden, deren Ausmaße hinter denen der Cheopspyramide kaum zurückstanden. Auch sie waren nur dem Zweck untergeordnet, den verstorbenen Pharao glanzvoll ins Reich der Toten zu geleiten.

Historiker und Ökonomen sind sich darin einig, daß die »Ewigen Häuser«, Tempel und Paläste, die als »Weltwunder« in die Kulturgeschichte der Menschheit eingegangen sind, die Staatskassen Ägyptens stärker erschöpften als die von den Pharaonen geführten Kriege.

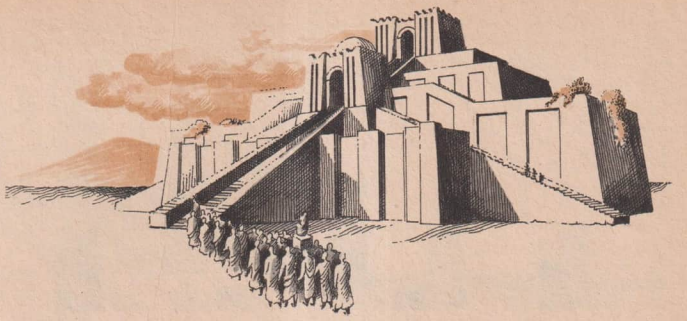
Gang durch eine versunkene Stadt

Lange vor den Pyramiden am Nil sahen im Zweistromland die monumentalen Stufentürme, Zikkurate genannt, deren oberste Plattform Tempel- oder Palastbauten krönten, Jahrhunderte, Jahrtausende aufsteigen, wirken und vergehen. Von den Grabmalen der Pharaonen unterscheiden sich die Zikkurate, Meisterwerke sumerischer, babylonischer und assyrischer Baukunst, nicht nur hinsichtlich ihres Alters, ihrer Bauweise und ihrer Baugeschichte. Bemerkenswert sind vor allem die Unterschiede in der Standortwahl und in ihrer gesellschaftlichen Funktion. Die Pyramiden erheben sich abseits der Lebensadern ihrer Zeit in der Wüsteneinsamkeit, die Zikkurate jedoch standen im Mittelpunkt großer Gemeinwesen, der ältesten Städte der Welt, der Wiege der ersten Stadtstaaten und der frühen Großreiche des Alten Orients.

Namen wie Ur und Uruk, Mari, Ninive und Nippur, Assur oder Babylon, durch griechische Schriftsteller und die Bibel bereits im frühen Mittelalter in Europa bekannt, erhielten durch die im 19. Jahrhundert begonnenen und bis heute weitergeführten systematischen Ausgrabungen einen neuen Glanz, der selbst den Ruhm Karthagos und Trojas überstrahlt.

In oft jahrelanger, mühevoller Feldarbeit legten die Spatenforscher im Wüstensand versunkene Städte frei, die dereinst Zentren der politischen und wirtschaftlichen Macht des Alten Orients bildeten, die Auskunft geben über das Alltagsleben der Menschen in ferner Vergangenheit. Planvoll angelegte Metropolen, umgeben von zyklopischen Wällen und Mauern, reich an imposanten Bauwerken, bringen eine enge Verknüpfung von Religion und Staatsmacht zum Ausdruck, sind Zeugnisse der kollektiven Massenkraft, der großen Kooperation, wie die Bewässerungsanlagen vor den Toren der Städte. Und jede von ihnen ist auf ihre Art und mit ihren Sehenswürdigkeiten den »offiziellen« Weltwundern der damaligen Zeit ebenbürtig.

Zum Beispiel Babylon, das Babel der Bibel – 100 km südlich von Bagdad am Euphrat gelegen, heute für Touristen ein Haltepunkt der Bagdadbahn –, mit dessen Freilegung 1899 die Deutsche Orientgesellschaft unter Leitung von Robert Koldewey (1855–1925) begann. Als Koldewey die Spaten ansetzen ließ, wußte er über die Geschichte der Stadt, die unter dem Schutt der Jahrtausende begraben lag, bereits gut Bescheid. Die Aufzeichnungen der Tontafelbibliotheken, denen die Weltkultur das Gilga-

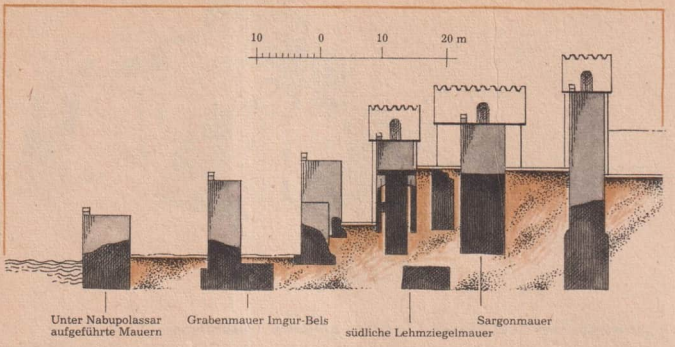


Zikkurat (Stufentempel) in Chaldäa, erbaut um 2100 v. u. Z. (Rekonstruktionszeichnung)

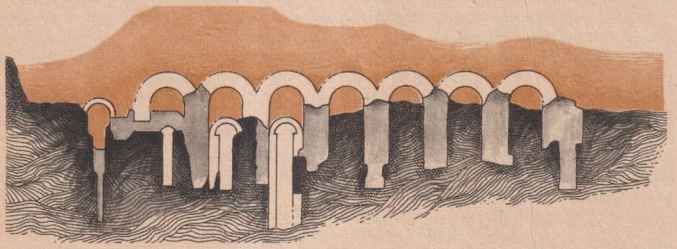
meschepos verdankt, reichten bis in das 4. Jahrtausend zurück, als Babylon noch ein Wohnplatz der Sumerer war. Sie berichteten von ihrer ersten Blütezeit als Residenz des Altbabylonischen Reiches unter Hammurabi (1786–1686 v. u. Z.) und von Nabupolassar und Nebukadnezar II., den Gründern des Neubabylonischen Reiches. Nabupolassar und Nebukadnezar II. waren es, die Babylon nach der Zerstörung durch die Assyrer in neuer Pracht erstehen ließen, größer als Theben oder Memphis, Ur oder Ninive, so wie es Herodot noch um das Jahr 458 v. u. Z. mit eigenen Augen sah und in überschwenglichen Worten beschrieb, bevor die Perser die Stadt abermals in Schutt und Asche legten.

Vier Bauwerke waren es vor allem, deren Ausgrabung durch Koldewey die Welt aufhorchen ließ: die Mauern der Stadt, die »Hängenden Gärten«, der »Turm zu Babel« und die Prozessionsstraße, die, wie die Zeitungen damals schrieben, »alle vier nicht ihresgleichen auf Erden haben!« Die Mauerreste verschiedener Bauepochen, aus Lehmziegeln die älteren, aus gebrannten Steinen die aus jüngerer Zeit, bis 25 m hoch und mit bis zu 8 m breiter Krone, so daß auf ihnen zwei Vierergespanne nebeneinander fahren konnten, sechsfach gestaffelt mit Wassergräben dazwischen, mit mehr als dreihundert Wachttürmen besetzt und hundert erzenen Toren versehen, ließen etwas von der einstigen Ausdehnung des Stadtgebietes ahnen. Die Außenmauer umschloß eine Grundfläche, die doppelt so groß war wie die von London oder Paris zur Zeit der Jahrhundertwende. Man sagt, eine Karawane hätte mehr als einen Tag gebraucht, um die Stadt vom Nord- zum Südtor zu durchqueren. Mit einem Wort: die größte Stadtbefestigung, die je von Menschenhand errichtet wurde.

Bei Grabungen an der Südburg stieß Koldewey auf mehrere material- und bautechnische Besonderheiten, die ihn nachdenklich stimmten. Es handelte sich um die ersten bisher in Babylon freigelegten Kellerräume, Gewölbe aus Ziegelwerk und Hausteinen. Im Keller befand sich ein Brunnen mit einem paternosterähnlichen, nach oben führenden Schöpfwerk, das nicht allein zur Trinkwasserversorgung des Palastes gedient haben konnte und wohl eher zur kontinuierlichen Bewässerung einer besonderen Einrichtung bestimmt gewesen war. Dafür sprach auch die ungewöhnliche Länge der Anlage von mehr als 125 m.



Staffelung der Festungsmauern nördlich der Südburg in Babylon, nach Koldewey



Querschnitt durch den von Koldewey freigelegten Gewölbebau in Babylon, der vermutlich die »Hängenden Gärten der Semiramis« trug

Hausteine aber waren den Tontafelaufzeichnungen zufolge nur an zwei Stellen der Stadt verwendet worden – beim Bau der Nordburg und beim Bau der »Hängenden Gärten«. Kein Zweifel, das zweitälteste Weltwunder war gefunden, die Gewölbe mußten als eine Art Dach oder Terrassen die »Hängenden Gärten« der sagenhaften Semiramis getragen haben, bewässert durch das ungewöhnliche Schöpfwerk.

Dann gruben die Archäologen jene Straße aus, die im Norden der Stadt vom Ischtartor als »Prozessionsstraße« zum Haupttempel des Großen Marduk führte, die stadtauswärts als Festungsstraße Babylon mit einem Vorwerk verband. In diesem Abschnitt wurde sie beiderseits von 7 m hohen Festungswällen gesäumt, deren Innenwände mit glänzenden Glasurreliefs verkleidet waren. Sie zeigten einen Zug von 120 riesigen Löwen, die mit geöffnetem Rachen und blitzenden Zähnen den Ankömm-

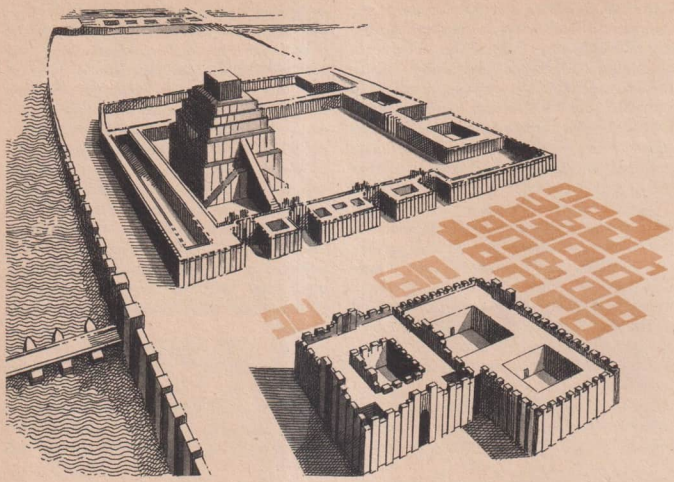
lingen entgegenzuschreiten schienen, für feindliche Eindringlinge ein furchterregender Hohlweg, eine Todesschlucht, noch bevor sie das 12 m hohe Torgebäude mit den beiden vorgelagerten Türmen erreichten. Auch Tor und Türme waren aus gebrannten Ziegeln erbaut und vom Boden bis zu den Zinnen mit Glasurreliefs verziert, die den heiligen Stier und den vierbeinigen, gehörnten Drachen von Babylon zeigten. Reliefs zierten die beiden Seiten der 23 m breiten, ornamental gestalteten Prozessionsstraße, die Straßendecke war mit großen weißen und rosafarbenen Kalksteinplatten ausgelegt. Noch heute kann jedermann ohne aufwendige Orientreise das Ischtartor und einen Teil der Prozessionsstraße durchschreiten – wieder aufgebaut in der Vorderasiatischen Abteilung der Staatlichen Museen zu Berlin.

Im Zentrum des Tempelbezirkes gelang Koldewey und seinen Männern schließlich die sensationellste Entdeckung; hier stieß er auf das Fundament der Zikkurat Elemenaki – »Grundstein des Himmels und der Erde« – des legendären Turmes von Babel. Koldewey wußte, daß es sich dabei nicht um das ursprüngliche Bauwerk handeln konnte, von dem die Bibel berichtet, sondern um einen Nachbau, den Nebukadnezar II. auf angebliche Weisung Marduks errichten ließ. Ein massiver Lehmziegelbau, von jeweils 90 m Länge, Breite und Höhe, gegliedert in sieben stufenförmige Terrassen mit unterschiedlichen Abmessungen, auf deren höchster Plattform sich der 15 m hohe, reich mit Gold geschmückte Tempel des Gottes Marduk erhob. Ein steinerner Koloß, aufgerichtet aus 85 Millionen Ziegelsteinen.

Die Überlieferung besagt, daß man ein Jahr benötigt hätte, um die Steine und den Mörtel für den Tempelbau auf die oberste Plattform zu befördern. Ursprünglich sei geplant gewesen, den Turm »bis in den Himmel« aufragen zu lassen. Wegen sol-



Das Ischtartor (um 570 v. u. Z.) in Babylon während der Ausgrabungen unter Koldewey (1899–1914)



Zikkurat Elemenaki mit Marduktempel im Tempelbezirk von Babylon (Rekonstruktionszeichnung)

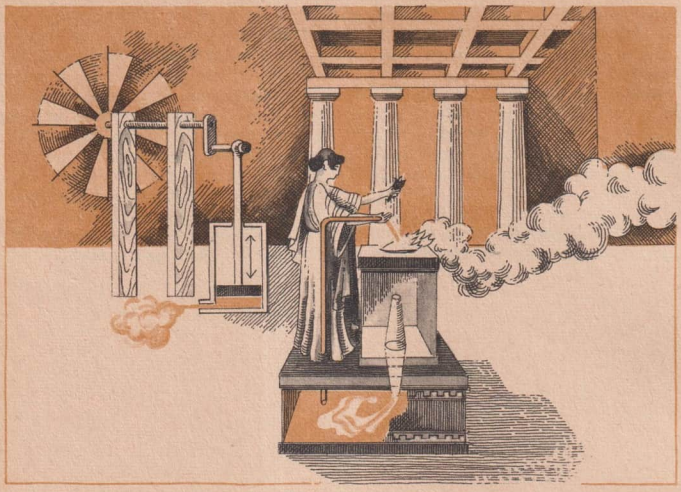
cher menschlichen Vermessenheit habe Gott der Mythologie zufolge Verwirrung unter den Bauleuten gestiftet und sie verschiedene Sprachen reden lassen, so daß das Bauwerk unvollendet bleiben mußte. Das sprichwörtlich gewordene »babylonische Sprachengewirr« erklärt sich wohl damit, daß Nebukadnezar II. für die unter seiner Regentschaft entstandenen Prachtbauten aus allen Teilen des Reiches Tausende Sklaven als Lastträger und Bauleute in die Metropole bringen ließ, die ihrer Herkunft nach verschiedene Idiome sprachen.

Neben dem Haupttempel des Marduk soll es in Babylon alten Inschriften zufolge die unvorstellbare Zahl von Hunderten weiterer Tempel der Großen Götter sowie Kapellen und Altäre für andere Gottheiten gegeben haben. Herodot schrieb: »Die innere Stadt, die voll von dreistöckigen und vierstöckigen Gebäuden ist, wird von lauter geraden Straßen durchschnitten, in der anderen Richtung sowohl als in der Quere, wo sie an den Fluß hinüberreichen.« Ohne Zweifel ist Babylon eine der ältesten und größten planmäßig angelegten Städte der Welt, eine Stadt, die – abgesehen von ihren Palästen und Kulturbauten – hinsichtlich ihres Straßen-, Brücken- und Häuserbaues, ihrer Wasserversorgung und Kanalisation Beispiel für die Anlage späterer Planstädte geben konnte.

Die Zerstörung Babylons – der »Stadt der Händler im Krämerland« – erfolgte nicht durch den Zorn Gottes, sondern durch feindliche Heere. Die Perser unter Xerxes waren es, die den wiedererbauten Turm von Babel und die Gärten der Semiramis in Trümmer legten. Alexander der Große, der nach der Eroberung Persiens und seinem Zug nach Indien in Babylon Einzug hielt, sah nur noch die Ruinen der Metropole. Sie

beeindruckten ihn so, daß er sein Heer in 600 000 Tagewerken den Schutt beiseite räumen ließ, um den Turm von Babel als Zeichen seiner eigenen Größe neu zu errichten. Die Erinnerung an ihn, der 323 v. u. Z. auf der Höhe seiner Macht in Babylon starb, blieb in dem auf seine Weisung und zu seiner Unterhaltung errichteten griechischen Amphitheater vor den Toren der Stadt erhalten.

Der Turm von Babel, das Ischtartor, die Prozessionsstraße, die Gärten der Semiramis, die City der antiken Weltstadt sollen mit Hilfe moderner Restauriertechniken bis zur Jahrtausendwende originalgetreu wiedererrichtet werden. Mit diesem 1978 von der Generaldirektion für Altertümer der Republik Irak beschlossenen Wiederaufbauplan lief das gigantischste archäologische Projekt in der Geschichte des Zweistromlandes an, unterbrochen durch einen neuen Wüstenkrieg zwischen den Nachkommen der Babylonier und Perser, mit Waffensystemen geführt, an deren Anfängen die Kriegsmaschinen der findigen Mechaniker des Altertums standen.



Die findigen Mechaniker des Altertums

»Wunderbar erscheint, was zwar naturgemäß erfolgt, wovon aber die Ursache sich nicht offenbart; dergleichen was gegen die Natur geschieht, durch Kunst, für menschliches Bedürfnis . . .«

ARISTOTELES (384–322 v. u. Z)

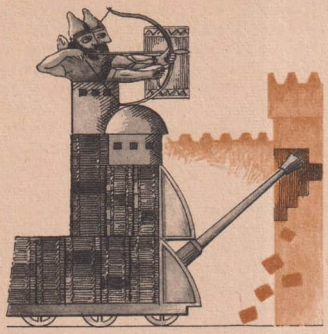
Die Kunst derer, die Wurfmaschinen bauen

Der »Fall von Babel« und anderer mauerumwehrter antiker Städte wirft die Frage auf, wie und mit welchen technischen Mitteln es den Angreifern gelang, solche für uneinnehmbar geltende Befestigungsanlagen zu überwinden und zu schleifen. Im gleichen Maße, in dem die ständigen militärischen Auseinandersetzungen in der Sklavenhaltergesellschaft die Befestigung der Städte zum Schutze ihrer Bürger ins Gigantische trieben, förderten sie andererseits die Entwicklung neuartiger Belagerungsgeräte und wirksamerer Fernwaffen, von Kriegsmaschinen, bei deren Konstruktion bereits bekannte Gesetzmäßigkeiten und Elemente der Mechanik praktische Anwendung fanden.

Schon das mit Kampfwagen ausgerüstete und durch Pioniereinheiten verstärkte assyrische Heer setzte bei der Erstürmung der nordsyrischen Stadt Dabigu im Jahre 859 v. u. Z. fahrbare, in einer Art Panzerwagen untergebrachte hölzerne Rammböcke und Belagerungstürme ein. Besondere Gunst genossen die Kriegsingenieure im Gefolge so bedeutender Heerführer wie des Atheners Perikles (um 500 bis 429 v. u. Z.) oder Alexanders von Makedonien. Trotzdem wissen wir nur wenig über deren Persönlichkeit. So soll ein gewisser Artemon Kriegsmaschinen gebaut haben, die auf der Anwendung des Hebels beruhten und die Perikles bei der Belagerung von Samos (439 v. u. Z.) zum Einsatz brachte. Von Diades, der unter Alexander die Belagerung von Tyros (332 v. u. Z.) und Babylon leitete, wird berichtet, daß er außer zerlegbaren Belagerungstürmen besondere Bohrer und Widder zum Anbohren und Zertrümmern von Befestigungsmauern erfand. Später, bei der Belagerung von Rhodos (305–304 v. u. Z.), soll ein auf acht Rädern rollender Belagerungsturm von 53 m Höhe eingesetzt worden sein. Er gehörte zu den von den Griechen erbeuteten Belagerungsmaschinen, deren größten Teil sie verkauften. Mit dem Verkaufserlös der Kriegsbeute finanzierten sie die Anfertigung des Bronzestandbildes des griechischen Sonnengottes Helios, des Schutzgottes von Rhodos.



Eroberung einer Festung durch assyrische Krieger (Alabasterrelief aus Kalach/Kalchu)



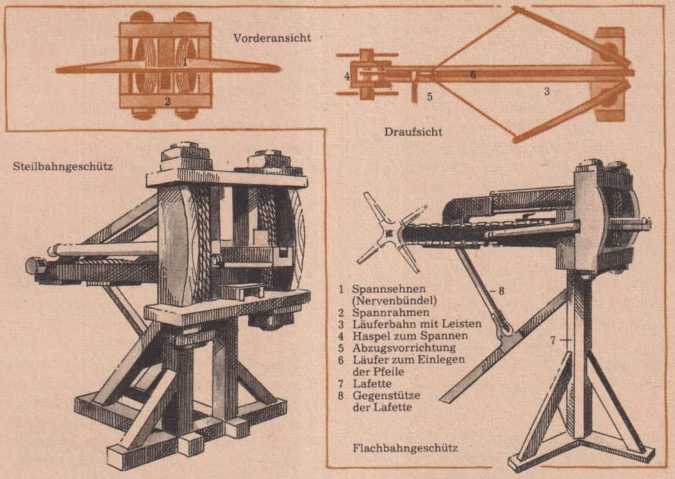
Assyrische Krieger mit Belagerungsturm (deutlich erkennbar der sogenannte Mauerbrecher)

Unter Ausnutzung der Elastizität entwikkelten die Waffenmeister der Antike Pfeil und Bogen, die ältesten Fernwaffen des Menschen, zur Armbrust, die einfache Schleuder zur mechanischen Speerschleuder, aus Armbrust und Speerschleuder die ersten Bogen- und Wurfgeschütze, Katapulte und Ballisten. Die neuen Waffensysteme, die sich sowohl für den Angriff als auch für die Verteidigung eigneten, waren imstande, eisenbeschlagene Pfähle oder gewaltige Steine als Wurfgeschosse über beachtliche Entfernungen zu schleudern.

Das Wirkprinzip der antiken Geschütze beruhte auf dem der steinzeitlichen Torsionsfallen. Ihren wichtigsten Bestandteil bildete das sogenannte Nervenbündel, ein aus Tiersehnen oder Roßhaaren zusammengedrehter Strick, der mittels Hebeln oder Winden gespannt wurde. Auf dieselbe Weise wird bis heute die Zimmermannssäge gespannt, wobei das in das gespannte Seil eingeklemmte Holzstück mit gewaltiger Kraft gegen den mittleren Sägebalken schlägt. Als Baumaterial der Geschütze verwendete man wie für die Belagerungsmaschinen Holz, das durch Metallbeschläge verstärkt wurde. Dabei bildeten sich schon bald als Grundformen die Flachbahn- und die Steilwurfmaschine, so etwas wie eine leichte und eine schwere »Artillerie«, heraus. Selbst der Vorläufer des Maschinengewehres war in den Arsenalen der griechischen Kriegstechnik vertreten: das »Polybolon«. Dabei handelte es sich um einen von Dionysius von Alexandria entwickelten Mehrlader, der mittels Kurbeltrieb gespannt und, mit einem Pfeilmagazin versehen, automatisch geladen wurde. Ein »Spitzenerzeugnis« der antiken Präzisionsmechanik.

Von den »Künsten«, die auf der Erkenntnis mechanischer Gesetzmäßigkeiten beruhten und für die »Praxis« von Nutzen waren, stand die des Wurfmaschinenbaues so hoch im Kurs, daß sich ihre Meister – noch vor denen, die Maschinen zum Wasser- und Lastenheben bauten – »Mechaniker« nennen durften. Das mag vielleicht auch für Archimedes Ansporn gewesen sein, Wurfmaschinen, Kriegsmaschinen, zu konstruieren. Von ihm wird sogar gesagt, daß er die erste Dampfkanone, den »Urdonnerer«, der freilich nie zum Einsatz kam, erfunden habe. Schon zu seinen Zeiten entwickelten die alexandrinischen Mechaniker eine auf die Erfahrung gestützte Formel, die die Abhängigkeit des Kalibers der Wurfmaschine von der Länge des abzuschießenden Pfeiles oder dem Gewicht der zu schleudernden Steinkugel festlegte. Unter Kaliber verstand man damals den Durchmesser des Spannloches, durch das das »Nervenbündel« gezogen wurde. In der »Schrift vom Geschützbau« findet sich die folgende, nicht unkomplizierte mathematische Formel: »Gewicht in Minen des zu verschießenden Steines mal 100, 3. Wurzel aus dem Produkt, dazu $\frac{1}{10}$ des Resultats. Das ist das Kaliber in Daktylen: $\delta = 1{,}1\sqrt[3]{100\,\mu}$, z. B. Steingewicht = 80 Minen, 100 mal $^{80}/_{8000}$, $\sqrt[3]{8000} = 20$, $^{20}/_{10} = 2$; 2 + 20 = 22, Kalibermaß = 22 Daktylen. Gibt die 3. Wurzel keine ganze Zahl, so rundet man unter Hinzufügung von $\frac{1}{10}$ ab.«

Verfasser besagter »Schrift vom Ge-



Römische Geschütze

schützbau« war Heron von Alexandria, wie vor ihm seine Landsleute Archimedes, Ktesibios und Philon von Byzanz einer der findigsten Mechaniker der Antike.

»Heureka! Ich hab's!«

Über Archimedes, den bedeutendsten Mathematiker, Physiker und Mechaniker der Antike, gibt es viele Anekdoten und Histörchen. So wird berichtet, daß er eines Tages in höchster Eile, splitternackt und unverständliche Worte rufend, durch die Straßen der Stadt zum Palast des Tyrannen lief. Wer ihm begegnete, wer ihn kannte, mochte glauben, der berühmte Gelehrte habe über seinen Studien und Experimenten den Verstand verloren. Woher sollten sie wissen, daß Archimedes gerade in dieser Stunde eine neue fundamentale Entdeckung gelungen war? Vor Tagen hatte ihn der Tyrann von Syrakus beauftragt, nachzuprüfen, ob eine für ihn angefertigte Krone wirklich aus reinem Gold bestand, wie es der Goldschmied versicherte. Die Nachprüfung wäre für Archimedes kein Problem gewesen, hätte er die Krone einschmelzen und der chemischen Analyse unterziehen können. Aber dabei wäre von der kunstvollen Arbeit des Goldschmiedes nichts übriggeblieben. Archimedes hatte lange über die Aufgabe nachgedacht, ohne eine Lösung zu finden. Bis ihm schließlich beim Morgen-

bad in der reichlich gefüllten Wanne auffiel, daß um so mehr Wasser überschwappte, je tiefer er seinen Körper eintauchte. Die Wasserverdrängung – der Schlüssel zur Lösung der Aufgabe war gefunden. Beglückt lief Archimedes, nackt wie er war, in den Palast und rief: »Heureka! Ich hab's!«

Aus der Schatzkammer ließ sich Archimedes einen Goldbarren und einen Silberbarren vom Gewicht der zu prüfenden Krone bringen. Vor den Augen des Tyrannen ermittelte er die von den beiden Barren verdrängte Wassermenge, verglich sie mit der Wasserverdrängung der Krone und stellte fest, daß deren Gewicht zwischen dem des Gold- und Silberbarrens lag. Der Indizienbeweis für einen antiken Kriminalfall: Der betrügerische Goldschmied war überführt und die Wissenschaft um eine wichtige Naturerkenntnis reicher. Archimedes hatte das Prinzip des hydrostatischen Auftriebes entdeckt, mit dessen Hilfe sich die Dichte von Körpern bestimmen läßt.



Archimedes von Syrakus (287–212 v. u. Z.), bedeutendster Mathematiker, Physiker und Mechaniker der Antike

Ob Dichtung oder Wahrheit – die Anekdote schildert anschaulich die Umstände, unter denen eine neue naturwissenschaftliche Erkenntnis gewonnen und, was die Untersuchung der Krone anging, sofort praktisch angewandt wurde. Archimedes erweiterte mit seiner »Sandrechnung« den Zahlenbereich in einer bis dahin unbekannten Weise, berechnete Kreisumfang und Kreisinhalt und bestimmte die dazu notwendige Zahl Pi (π). Desgleichen führte er statische und Schwerpunktberechnungen aus. Bei diesen Berechnungen bediente er sich der sogenannten Exhaustionsmethode, eines mathematischen Verfahrens, das vor der Erfindung der Integralrechnung dazu diente, den Inhalt krummlinig begrenzter Flächen sowie nicht durch Ebenen begrenzter Körper zu berechnen. Insgesamt werden Archimedes mehr als vierzig Entdekkungen und Erfindungen zugeschrieben, von denen die Archimedische Schraube – ein Schneckenrad, das zum Wasserheben diente – die populärste ist.

Jede neuentdeckte mechanische oder physikalische Gesetzmäßigkeit verbreiterte die Grundlagen, auf denen sich die Herausbildung selbständiger Wissenschaftszweige vollzog. Trotzdem fanden die neugewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse, von den Kriegsmaschinen und den Vorrichtungen zum Lasten- oder Wasserheben abgesehen, kaum praktische Nutzanwendung für die eigentliche Maschinentechnik, etwa für die Konstruktion einer Kraftmaschine, die es ermöglicht hätte, menschliche und tierische Muskelkraft einzusparen oder abzulösen. Die Sklavenhaltergesellschaft, die keinen Mangel an Arbeitskräften kannte, solange man immer neue Sklaven aus den unterworfenen Ländern aufbringen konnte, zeigte an derartigen Erfindungen kein Interesse. Selbst Plato und Aristoteles sprachen sich in ihren

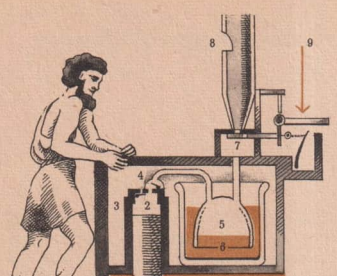
Werken dagegen aus, daß die Mathematik, die »Krone der Wissenschaften«, in den Dienst der Physik und Mechanik, der Technik, gestellt werde. Die Arbeit, das Handwerk galt als unwürdig für den »freien Bürger«, die Beschäftigung mit praktischen Dingen als unvereinbar mit der Würde eines Gelehrten.

Bezeichnend für diese Einstellung ist die groteske Begebenheit, derzufolge Appolonius von Perge, der ein bekanntes Werk über Kegelschnitte geschrieben hat, den Ausschluß des fünfundzwanzig Jahre älteren Archimedes aus dem »Museion«, der berühmten Gelehrtenschule Alexandrias, veranlaßt haben soll. Angeblich begründete er seinen Antrag damit, Archimedes beschäftige sich zuviel mit praktischen Dingen und Experimenten, anstatt der »reinen Wissenschaft« zu dienen. Das Grabmal, das man Archimedes in Syrakus errichtete, zeigte denn auch keine seiner zum Nutzen der Menschen gemachten technischen Erfindungen, sondern die in Stein gemeißelte Abbildung eines Zylinders, einer diesem einbeschriebenen Kugel und eines Kegels. Das Symbol sollte daran erinnern, daß es Archimedes war, der entdeckt hatte, daß sich die Rauminhalte der drei Körper wie 3 : 2 : 1 verhalten. Die findigen Mechaniker der Antike mußten sich damit abfinden, daß auch die von ihnen konstruierten feinmechanischen Apparate und Automaten, die uns noch heute in Erstaunen versetzen, keine nützlichere Verwendung fanden, als den Herrschenden zur Unterhaltung, den Priestern für Kult- und Tempeldienste zu dienen.

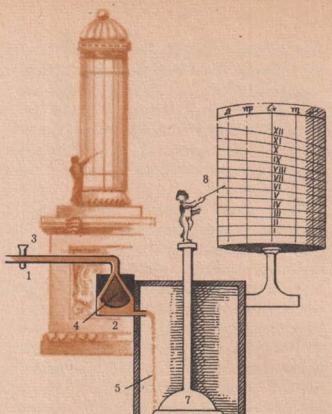
Tränen zeigen die Stunde an

Das Grundmaß der Zeit hat die Natur im Wechsel von Tag und Nacht festgelegt, ihre Zeitanzeiger sind Sonne, Mond und Gestirne. Die nachweisbar älteste Methode der Zeitbestimmung ist die Sonnenuhr, ihr Heimatland Babylonien. Ihre Urform: ein in die Erde gesteckter Stab, aus dessen Schattenlänge man die Zeit ablas. Schien die Sonne nicht, ließ sich die Zeit nur nach dem Gefühl bestimmen. Also galt es, ein Gerät zu erfinden, mit dem sich die Tagesstunde auch ohne das Himmelsgestirn feststellen ließ. Vielleicht war es der feinkörnige Wüstensand, den ein nachdenklicher Greis durch die Finger rieseln ließ, der zur Erfindung der Sanduhr beitrug. Vielleicht war es ein gesprungenes Tongefäß, aus dem das Wasser auslief, das dazu anregte, aus der ausgelaufenen und noch verbliebenen Wassermenge Rückschlüsse auf die »verflossene« Zeit zu ziehen. Die Wasseruhr war den Assyrern bereits um 640 v. u. Z. als einfaches Auslaufgefäß bekannt. Vom Auslaufgefäß – einem Hohlzylinder mit einer winzigen Öffnung im Boden – bis zur mechanischen Wasseruhr war es jedoch noch ein weiter Weg.

Gewiß ist nicht ohne weiteres vorstellbar, was ein gewöhnlicher Trinkhalm aus Stroh oder Plaste oder ein gläsernes Trinkröhrchen als Urform des Saughebers mit dem Mechanismus einer Wasseruhr im Sinne eines Zeitmessers oder einer tönenden Wasserorgel gemeinsam haben soll. Noch verwegener scheint es, daraus ein Grundgesetz der Hydraulik ableiten zu wollen. Saug-, Stech- oder Druckheber dienen seit ältesten Zeiten nicht nur zum bequeme-



Wasserorgel des Ktesibios: Beim Niedertreten des Hebels (1) hebt sich der Kolben (2) im Zylinder (3) und drückt die in ihm enthaltene Luft durch das Saug- und Druckventil (4) in den Windkessel (5). Die in den Windkessel einströmende Luft verdrängt das im Behälter (6) enthaltene Wasser, wobei der Wasserdruck bewirkt, daß die in der Windkammer (7) befindliche Luft durch die Orgelpfeifen (8) strömt und diese zum Tönen bringt, sobald durch Tastenanschlag (9) die Verbindung zwischen 7 und 9 hergestellt wird. Mit Kolben und Zylinder fanden bereits in der Antike wichtige Bauelemente der späteren Kraftmaschinen Anwendung.



Rekonstruktion und Funktionsprinzip der Wasseruhr des Ktesibios (1 Wasserleitung, 2 Regulierbecken, 3 Wasserhahn, 4 Schwimmer, 5 Sammelbecken, 6 Abflußhahn, 7 Schwimmer, 8 Zeitanzeiger)

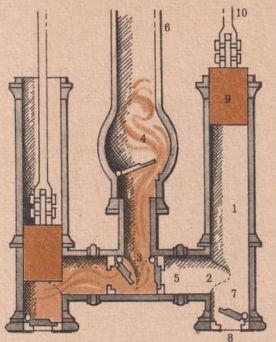
ren Trinken oder zum Entleeren von Gefäßen, sondern auch zum Wasserheben und – neben vielen anderen Zwecken – zur Zeitmessung.

Stellen wir uns vor: Eine Glasröhre von geringem Durchmesser endigt an ihrem Unterteil in einer kugelförmigen Erweiterung, deren Boden mit kleinen Löchern versehen ist, einen Stechheber also, der sich, in Wasser getaucht, allmählich auffüllt. Solange die obere Öffnung zugehalten wird, verhindert der Luftdruck ein Ausfließen des Wassers durch die Bodenöffnungen. Es fließt erst aus, wenn die verschlossene Öffnung frei wird. Das geschieht mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, stets läßt sich aber aus der Fließdauer ein Maßstab für die inzwischen verflossene Zeit ableiten. Auf diesem Prinzip beruht die Klepsydra genannte Wasseruhr, die um 420 v. u. Z. zu einem allgemeinen und obendrein offiziellen Zeitmesser wurde. Die Ärzte benutzten sie als Pulszähler, bei Gerichtsverhandlungen wurde den Sprechern der Parteien die Redezeit nach Klepsydren zugemessen.

Nach demselben hydraulischen Prinzip funktionierte die kunstvolle Wasseruhr des Ktesibios (296–228 v. u. Z.), konstruiert vor über zweitausend Jahren, die außer der Stunde auch Tag und Monat anzeigte. Im würfelförmigen Sockel der fast 3 m hohen Uhr war außer einem kleineren Regulierbecken mit Schwimmer, über das der gleichmäßige Wasserzufluß erfolgte, der eigentliche Sammelbehälter untergebracht. Der Schwimmer des Sammelbehälters trug eine Zahnstange, die über ein Räderwerk – wie es schon beim Taxameter Verwendung fand – mit der 1 ¼ m hohen Rundsäule in Verbindung stand. Auf der Säulenwandung

waren senkrecht von unten nach oben jeweils zweimal zwölf Stunden in Strichform angegeben. An ihrem Fußende standen rechts und links kleine weibliche Figuren, durch Röhrensysteme mit dem Sammelbehälter verbunden. Aus den Augen der einen Figur tropften fortwährend »Tränen«, die über das Röhrensystem die zweite Figur langsam emporsteigen ließen. Diese Figur zeigte mit einem Stab die Stunde an. Waren die zweimal zwölf Stunden durchlaufen, öffnete sich im Röhrensystem ein Ventil und ließ das gehobene Wasser auf ein Wasserrad abfließen, das über das Räderwerk die Anzeigesäule um einen Tag weiterrückte. Auf diese Weise drehte sich die Säule, in deren Oberteil ein Fries von Tierkreiszeichen die Monate markierte, in 365 Tagen einmal um ihre Achse.

Außer der Wasseruhr schuf Ktesibios auch eine Wasserorgel, Hydraulis genannt, und eine Wassertrompete. Bei seinen Experimenten mit dem Druck des Wassers und der Luft benutzte er als Konstruktionselemente häufig Kolben und Zylinder. Sein »Werkverzeichnis« nennt deshalb auch Saug- und Druckpumpen für verschiedene Zwecke, eine mit komprimierter Luft arbeitende Feuerspritze und Modelle von Druckluftgeschützen.

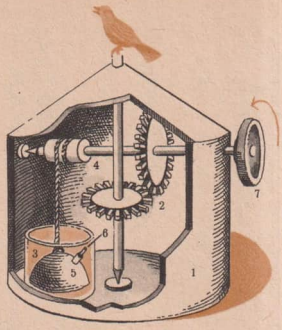


Druckpumpe (Feuerspritze) aus Bronze (1 Zylinder, 2 Verbindungsstück, 3 Verbindung zum Windkessel, 4 Windkessel, 5 Druckluftventile, 6 Steigrohr, 7 Bodenventile, 8 Ansaugöffnung, 9 Kolben, 10 Kolbenstange)

Besuch in Herons Automatentheater

»Auf einer Basis steht ein Bäumchen, um das sich eine Schlange windet, daneben steht Herakles als Schütze. Auch ein Apfel liegt auf der Basis. Hebt man mit der Hand den Apfel ein wenig von der Basis auf, schießt Herakles den Pfeil nach der Schlange, diese dagegen zischt . . .«

So beschreibt Heron von Alexandria, den wir bereits als vielseitigen Wissenschaftler und Techniker kennenlernten, mit eigenen Worten eines der Szenarien seiner »Automatentheater«. Ein anderes Programm zeigt einen »Tanz der Bacchantinnen«, ein drittes nennt sich »Vogeltheater«, wobei sich ein Vogel auf einer Stange dreht und sein Lied dazu pfeift. Als eine Art »Galaprogramm« erwähnt Heron in seinem Buch »Über die Kunst der Verfertigung von Automaten« die Darbietung eines fünfaktigen Dramas mit zahlreichen mechanisch bewegten Figuren und Requisiten, die Leben und Sterben des Helden Ajax, der die schöne Kassandra aus Troja raubte, in Szene setzten. Höhepunkt des fünften Aktes bildete der Untergang des Schiffes, auf dem Ajax mit Kassandra zu flüchten versuchte. Alle diese durch den Druck des Wassers oder der Luft angetriebenen Automaten wurden durch Räderwerk, Rollen und Zuggewichte unterstützt und durch verschiedene Formen und Anwendungsprinzi-



Die »Zwitschermaschine« – eine Kombination von Zahnrädern und Winde – nach Heron von Alexandria. Der Vogel dreht sich und pfeift, wenn das Rad (7) gedreht wird (1 Gehäuse, 2 Zahnradübersetzung, 3 Wassergefäß, 4 Winde, 5 Windkessel, 6 Pfeife, 7 Antriebsrad).



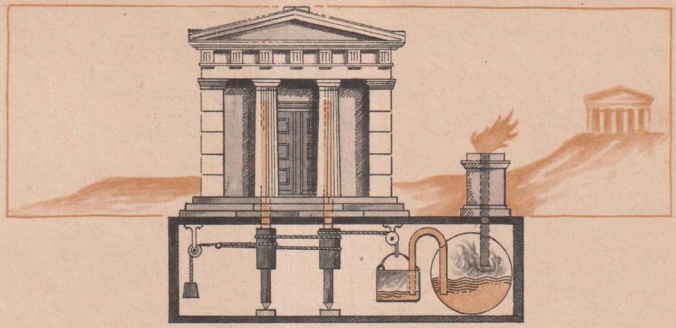
Die Aeolopile des Heron (1 Dampfkessel mit Deckel, 2 Dampfrohr, 3 drehbar gelagerte Hohlkugel, 4 rechtwinklig gebogene Abdampfröhrchen)

pien des Hebers zwangsgesteuert in Bewegung gehalten.

Im Vergleich mit diesem Automatentheater nimmt sich die Konstruktion des bekannten Weihwasserautomaten, der das Prinzip der Schwerkraft ausnutzte, verhältnismäßig einfach aus. Die durch einen Schlitz eingeworfene Münze fiel auf eine kleine Platte, die am längeren Ende eines Hebelarmes befestigt war. Durch ihr Gewicht bewegte sich der Hebel wie ein Waagebalken nach unten, wobei sich die Platte in Schräglage stellte und die Münze in die Opferkasse gleiten ließ. Gleichzeitig öffnete der kürzere Hebelarm ein Ventil, so daß aus einem Sammelbehälter mit Schwimmer ein bestimmtes Quantum Weihwasser ausfließen konnte.

Eine der interessantesten Erfindungen Herons ist die »Aeolopile« (häufig mit dem sogenannten Heronsball verwechselt), eine »Kugel, die sich über einem geheizten Kessel um einen Zapfen bewegt«, der erste in der Geschichte der Technik beschriebene (und wohl auch gebaute) Apparat, der das Prinzip der Rückstoß-Dampfturbine vorwegnahm. Anhand einer Funktionsskizze gibt Heron folgende Beschreibung: »Es sei ein mit Wasser gefüllter, geheizter Kessel. Seine Mündung sei mit einem Deckel verschlossen; durch diesen sei eine gebogene Röhre getrieben, deren Ende luftdicht in eine Hohlkugel eingepaßt ist. Dem Ende liegt ein auf dem Deckel feststehender Zapfen diametral gegenüber. Die Kugel sei mit zwei gebogenen, einander diametral gegenüberstehenden Röhrchen versehen, die in sie münden und nach entgegengesetzten Richtungen gebogen sind. Wird nun der Kessel geheizt, so ist die Folge, daß der Dampf in die Kugel dringt, durch die umgebogenen Röhren hin ausströmt und die Kugel zur Drehung bringt ...«

Auch dieser Erfindung, die eine neue Naturkraft nutzbar machte, blieb der Einzug in die Produktionssphäre versagt. Um die Dampfkraft praktisch anzuwenden, entwarf Heron eine Vorrichtung, mittels deren sich die Tempeltüren selbsttätig öffneten, wenn das Altarfeuer entzündet wurde, und sich schlossen, wenn das Feuer erlosch. Flammte das Feuer des Rauchopfers auf,



Der Heronsball, der unter anderem zum selbsttätigen Öffnen der Tempeltüren Verwendung fand

brachten auf dem Altar bewegliche Figuren nach dem Vorbild der Automatentheater das Trankopfer dar. Sinnreich ausgedachte mechanische Vorgänge, undurchschaubar jedoch für die in Unwissenheit gehaltenen Menschen, denen der Blick hinter die Kulissen verwehrt blieb, die sie an göttliche Wunder glauben ließen und in religiöse Furcht versetzten. Die Mechaniker, die diese Kunst des Apparate- und Automatenbaues beherrschten, wurden deshalb im alten Griechenland auch »Traumaturgen«, Wunderkünstler, genannt.

In der Literatur wird Heron von Alexandria, der solcherart »Wunder« vollbrachte, zuweilen als ein Schüler des Ktesibios bezeichnet. Das gilt wohl nur in übertragenem Sinne. Herons Lebensdaten und Lebensumstände liegen im dunkel, wie auch das Grab des Archimedes bald in Vergessenheit geriet. Nach einer von Heron selbst beobachteten und beschriebenen Mondfinsternis, die eindeutig auf das Jahr 62 u. Z. datierbar ist, hält man neuerdings für wahrscheinlich, daß Heron im 1. Jahrhundert u. Z., drei Jahrhunderte nach Ktesibios, lebte und wirkte. Die Werke, die er über Meßkunde und Pneumatik, über Geschützbau, Druckwerke und Automatentheater verfaßte, waren vermutlich schon zu seiner Zeit als Lehrbücher und Nachschlagewerke weit verbreitet und übten nach ihrer Wiederentdeckung auf die Mechaniker des Mittelalters und der Renaissance großen Einfluß aus.

Neben solchen »Wunderwerken« der antiken Technik wie den hier beschriebenen Automaten, deren Konstruktions- und Funktionsprinzipien längst aufgehellt sind, sorgen gelegentlich Neufunde von Gerätschaften oder Apparaturen, deren Zweckbestimmung selbst der Wissenschaft nicht ohne weiteres erklärbar ist, für Überraschungen.

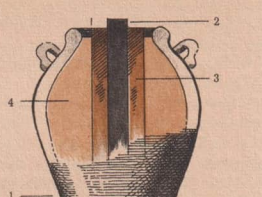
Rätselhafte »elektrische Töpfe«

Die Tatsache, daß das Substantiv »Elektrizität« griechischen Ursprungs ist, weist darauf hin, daß schon den »findigen Mechanikern« und ihren Zeitgenossen die elektrische Aufladung von Gegenständen aus Horn oder Bernstein, den sie »electron« nannten, durch Reibung mit Wolle ebenso bekannt war wie deren Fähigkeit, leichte, isolierende Stoffe anzuziehen. Versuche dieser Art unternahm z. B. der vielseitige griechische Naturforscher Thales von Milet (625 – etwa 545 v. u. Z.), der die Anziehungskraft des electron »vis electria« = elektrische Kraft nannte. Das Wesen dieser merkwürdigen Erscheinung vermochte er sich jedoch nicht zu erklären, und von ihrer praktischen Anwendung ist nichts bekannt. Erst zweitausend Jahre später wurde auf der Grundlage der Reibungselektrizität die Elektrisiermaschine entwickelt, weitere hundert Jahre mußten bis zur Erfindung der »elektrischen Flasche« und noch einmal ein Jahrhundert bis zur Entdeckung der galvanischen Elektrizität vergehen.

Es ist nicht uninteressant, daß sich das Bekanntwerden der neuen Erfindungen zuerst die Bibelerklärer zunutze machten. Auf die Elektrizität gestützt, versuchten sie, endlich den schlüssigen Beweis dafür zu erbringen, warum Ussa ums Leben kam, als er die geheiligte »Bundeslade«, die beim Transport vom Wagen glitt, mit den Händen stützte (2. Sam. 6,7). Nur Priesterhände durften geheiligte Gegenstände berühren. Hatte man vorher angenommen, Ussa sei unter die Räder gekommen oder vom Blitz erschlagen worden, sagte man nun, die goldbeschlagene Bundeslade sei durch eine in ihr verborgene »Leydener Flasche« elektrisch aufgeladen gewesen. Und noch vor wenigen Jahren erkühnte sich ein moderner »Bibelausleger« und Erfinder vielgelesener »Astronautenmärchen« zu der phantastischen Behauptung, die Bundeslade selbst habe mit ihren Goldbeschlägen als Kondensator gewirkt.

Mehr oder weniger stützen sich solche und ähnliche pseudowissenschaftlichen Hypothesen auf Ausgrabungsfunde, die Anfang der dreißiger Jahre im heutigen Irak gelangen und die vermuten lassen, daß tatsächlich schon im 3. Jahrhundert v. u. Z. galvanische Elemente als Spannungsquellen bekannt und in Gebrauch gewesen sein müssen. Bei Seleucia am Tigris – in ihrer Blütezeit einer der größten Handelsplätze Mesopotamiens, der das Erbe Babylons übernahm –, bei Ktesiphon, der ehemaligen Hauptstadt des Sassanidenreiches, und anderen Orten fand man mehrere faßartige, mit Bitumen überzogene und verschlossene Tongefäße. Ihre nähere Untersuchung ergab, daß sie einen mit Bitumen isolierten Kupferzylinder enthielten, in dem sich ein mit Blei überzogener Weicheisenstab befand. Füllte man Weinessig in das Gefäß, ließ sich eine Stromabgabe von 1,5 V erzielen. Die Urform der Trockenbatterien mußte folglich auch den alexandrinischen Gelehrten bekannt gewesen sein, wenngleich sich in ihren Schriften keine Hinweise darauf finden.

Der Verwendungszweck der »elektrischen Töpfe« kann bis heute nur vermutet werden. Die abgegebene Stromleistung hätte durchaus zur galvanischen Versilberung oder Vergoldung von Kupfergeräten ausgereicht, obwohl damals chemische Verfahren des Vergoldens und Versilberns längst bekannt waren. Möglich ist auch, daß der galvanische Strom als »Elektrotherapie« in der Medizin Anwendung fand, wurden doch auch die elektrischen Stöße von Zitterfischen zur Heilbehandlung genutzt. Vor allem aber werden die orientalischen »Wunderkünstler«, die Zauberer, vom Ein-



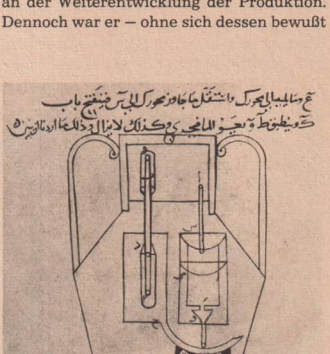
Die Rekonstruktion der bei Grabungen im Irak gefundenen »elektrischen Töpfe« läßt in ihnen die Urform der galvanischen Elemente vermuten (1 Tongefäß, 2 Weicheisenkern mit Blei- und Bitumenüberzug, 3 Kupferröhre mit Bitumenüberzug, 4 Flüssigkeit).

satz der »elektrischen Kraft« profitiert haben. Wie der »Aeolopile« von Heron und vielen anderen erstaunlichen Erfindungen jener Zeit, zu denen sogar schon ein durch komprimierte Luft angetriebener hölzerner Flugapparat gehörte, fehlte den Vorläufern der galvanischen Elemente der ökonomische Zwang zur Einführung in die Produktion.

Was den Fortschritt hemmte

Es schreibt sich leicht hin: Die Zeit war noch nicht reif dazu, die Erfindungen des Ktesibios oder Heron von Alexandria in die materielle Produktion einzuführen. Es fehlte das gesellschaftliche Bedürfnis, der ökonomische Zwang. Mitunter drängt sich jedoch die hypothetische Frage auf: Wo stünde die Menschheit heute, wäre schon vor 2500 Jahren die Aeolopile zur Dampfmaschine, der elektrische Topf zum galvanischen Element, der mit komprimierter Luft betriebene Flugapparat zum Luftverkehrsmittel weiterentwickelt worden? Ebensowenig wie die Gesellschaft entwikkeln sich Wissenschaft und Technik fortlaufend gleichmäßig. Jede Stagnation, jeder Rückschlag in der Entwicklung hat Ursachen und Gründe. Das gilt auch für die Epoche, die der Glanzzeit der griechisch-römischen Zivilisation folgte.

Der römische Sklave, der das Feld und den Weinberg seines Herrn bestellte, das Erz aus der Erde grub, die Straßen, Aquädukte und Paläste baute, hatte nur die Wiedererlangung seiner Freiheit im Sinn. Zum sprechenden Werkzeug erniedrigt, zeigte er kaum Interesse an technischen Dingen, an der Weiterentwicklung der Produktion. Dennoch war er – ohne sich dessen bewußt



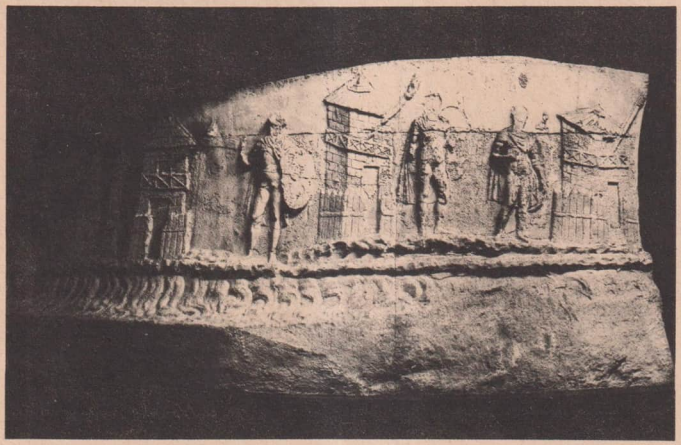
Arabische »Zauberkanne« mit Ausflußöffnung und eingebautem Regelmechanismus, der abwechselnd Wasser oder Wein aus dem Gefäß fließen ließ (Trickbude der Söhne des Musa ibn Schakir, um 850).

zu sein – die Haupttriebkraft der Epoche. Die rechtlose Lage der Sklaven und der wirtschaftliche Ruin der freien Produzenten, der kleinen Handwerker, schürten Unruhe und Haß. Noch lebte der Aufstand des Spartacus um die Zeitenwende in aller Erinnerung. Neue Sklavenerhebungen und Volksbewegungen erschütterten die Sklavenhalterordnung. Die kriegerischen Händel zwischen Westrom und Ostrom und der Einfall der Barbaren aus dem Norden beschleunigten unaufhaltsam den Zusammenbruch des Römischen Imperiums und mit ihm den Untergang der antiken Gesellschaft und ihrer auf Sklaverei beruhenden Produktionsweise, ihrer Technik, Wissenschaft und Kultur.

Nicht nur die Heerstraßen und Grenzbefestigungen der Römer wurden zerstört. Im Jahre 391 erstürmten religiöse Eiferer die Bibliothek Serapion in Alexandria und verbrannten die nach Zehntausenden zählenden Schriftrollen, die all das Wissen speicherten, das sich die Menschheit in Jahrtausenden mühevoll erworben hatte. Darunter auch die Schriften des Aristoteles und des Archimedes, die Pläne und Zeichnungen des Ktesibios und Heron.

Aus dem allgemeinen Zusammenbruch heraus entwickelte sich in West- und Mitteleuropa die Feudalordnung, die auf der Naturalwirtschaft beruhte, die den Sklaven ihre Ketten nahm und sie zu Leibeigenen der Feudalherren machte. Den ökonomischen Mittelpunkt bildete das Dorf, das sich mit allem, was zum Leben gehörte, selbst versorgte. Die Hauptproduktionsinstrumente bildeten Axt, Spaten und eiserne Pflugschar, als hätte es die römische Technik mit ihrem stark spezialisierten Handwerk, mit Karrenpflug, Wassermühlen und Lasthebevorrichtungen nie gegeben. Der Handel kam zum Erliegen, und mit ihm verfielen die Städte.

In jener Epoche, die nicht zu Unrecht das »finstere Mittelalter« genannt wird, rückte



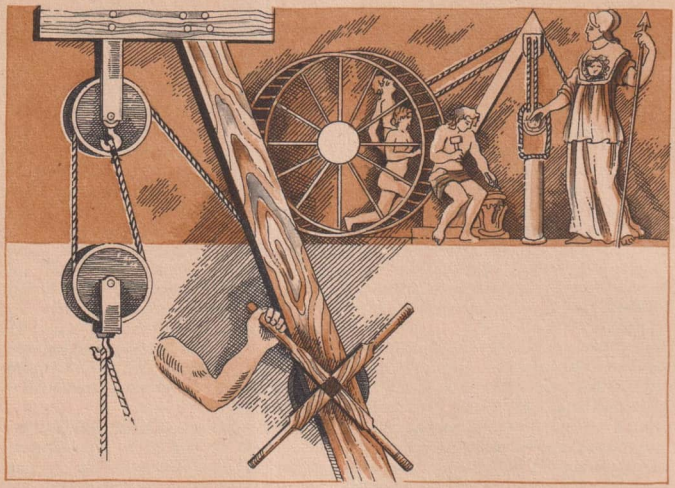
Darstellung römischer Grenzbefestigungen auf der Trajanssäule in Rom

an die Stelle der Wahrheitssuche, des Probierens und Experimentierens die Religion, wurde die Wissenschaft zur »Magd der Theologie«. Während die gesellschaftlichen Verhältnisse und Normen in Europa das schöpferische Denken in Fesseln legten, entfalteten sich in den Reichen des Ostens, in Indien und China, Naturwissenschaft und Technik desto kraftvoller, begann von Mekka aus die Eroberung der damals bekannten Welt unter dem grünen Banner des Islams. In kaum mehr als fünf Jahrzehnten – am Ende des siebenten und zu Beginn des achten Jahrhunderts – erstreckten sich die arabischen Eroberungen bis Cordoba in Spanien, bis Buchara in Mittelasien.

Die Araber waren nicht nur erfolgreiche Eroberer, sondern auch wagemutige Händler und Mittler der Kultur zwischen Ost und West. Auf ihren Handelsreisen nach Indien und an die Grenzen Chinas lernten sie Papier, Seide, Porzellan und die Magnetnadel kennen. Von ihren Eroberungszügen nach dem Westen brachten sie die für verschollen gehaltenen Aufzeichnungen der griechischen Naturphilosophen und Techniker mit und übersetzten sie aus der Sprache Aristoteles' und Homers in die Sprache des Korans.

Als türkische Seldschuken und die abendländischen Kreuzritter von allen Seiten das Islamische Großreich bedrängten, fand die arabische Wissenschaft Zuflucht in Cordoba. Aus Cordoba vertrieben, nahmen sich gelehrte Männer in Salamanca, in der Provence und in Süditalien der Werke des Archimedes, Euklid und Ptolemäus an und übersetzten sie ins Hebräische und Lateinische, die Sprache der Bibel. Die kostbaren Pergamenthandschriften bildeten den Grundstock der Klosterbibliotheken und der Bücherschätze der neugegründeten Universitäten. Die arabischen Lehrbücher der Naturwissenschaften in lateinischer Sprache weckten den Erkenntnisdrang der klügsten Köpfe ihrer Zeit. Einer von ihnen, denen wir an anderer Stelle des Buches wiederbegegnen werden, war der englische Franziskanermönch Roger Bacon (1214–1294), der eine Wissenschaft zum Nutzen der Menschheit und die Eroberung der Natur durch Wissenschaft und Technik verkündete, der Motorschiffe, Automobile und Flugzeuge voraussah, ohne selbst Techniker zu sein. Aber das gesellschaftliche Bedürfnis zur Verwirklichung seiner Ideen fehlte noch immer.

Dennoch begann sich seit dem 12. Jahrhundert die Erstarrung zu lösen. Die Zunahme der landwirtschaftlichen Produktion nach Einführung des Räderpfluges und der Dreifelderwirtschaft belebten den Warenaustausch und den Handel. Die größeren Dörfer entwickelten sich zu Marktplätzen, die Marktplätze zu Städten, die dem Handwerk, das sich in Zünften organisierte, günstigere Entfaltungsmöglichkeiten boten. Jetzt erst entsann man sich der Errungenschaften der antiken Technik, konnte der Einfluß der islamischen Kultur ungehindert wirksam werden, kam es vorrangig darauf an, eine den neuen Bedürfnissen entsprechende Antriebskraft zu finden.



»Ohne sie bewegt sich nichts . . .«

»Die Kraft trachtet immer danach,
sich zu verlieren und zu verschwenden.
Hat sie sich selbst bezwungen,
so bezwingt sie jeden Körper.
Ohne sie bewegt sich nichts.«

LEONARDO DA VINCI (1452–1519)

Das Tretrad – Ausbeutung der Muskelkraft

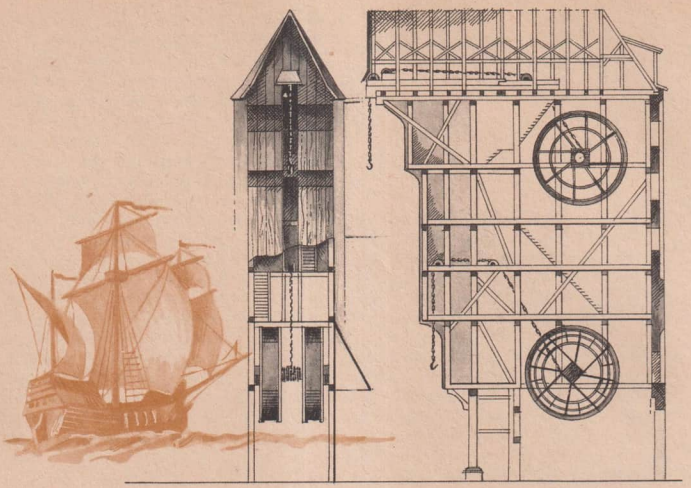
In den Ruinen des unter Kaiser Hadrian erbauten Amphitheaters in Capua, jener Stadt, von der aus Spartacus die Sklaven zum Aufstand führte, ist ein interessantes Relief erhalten geblieben, das vom Baugeschehen berichtet. Es zeigt zwei Jünglinge, die nackt in einem Tretrad laufen, um über Rolle und Zugseil eine der schweren Säulen aufzurichten, eine Seilmaschine, angetrieben von menschlicher Muskelkraft. Es gab sie also wirklich, die sprichwörtlich gewordene »Tretmühle«, und sie war lange vor den griechisch-römischen Mechanikern den Bewässerungsfeldbauern des Zweistromlandes bekannt. Als Antriebskraft für Arbeitsmaschinen und Hebezeuge beeinflußte das Tretrad – im Gegensatz zum Wind- und Wasserrad unabhängig von den Launen der Natur – drei Jahrtausende die Entwicklung der Produktivkräfte. Wie die Rudersklaven der Trieren und Galeeren wurde der Mensch in der Tretmühle zum Symbol für die schlimmste Ausbeutung des Menschen durch den Menschen. Neben Hebeeinrichtungen mit Seil und Rollen, wie sie das Relief von Capua zeigt, verwendeten die Römer bei ihren Monumentalbauten und für Verladearbeiten in den Häfen den Kran mit Tretradantrieb, Flaschenzüge, die an einem galgenförmigen Ausleger befestigt waren.

Die Anpassung an die speziellen Bedürfnisse des Bauwesens und der Hafenwirtschaft führten im Spätmittelalter zur Entwicklung von hölzernen Drehkränen mit mehreren Auslegern, zum Bau von Kranhäusern und flachgehenden Kranschiffen mit Tretradantrieb. Als eines der ältesten Kranhäuser in Mitteleuropa gilt das um 1330 erbaute Kranhaus in Lüneburg. Zum Wahrzeichen einer Stadt wurde das Krantor in Gdańsk. Zu Beginn des 15. Jahrhunderts als eines der größten und leistungsfähigsten seiner Art erbaut, im zweiten Weltkrieg zerstört, als technisches Denkmal originalgetreu wiedererrichtet und 1962 zur Besichtigung freigegeben, vermittelt das Krantor einen anschaulichen Einblick in das Funktionsprinzip der mittels Treträdern angetriebenen Hebezeuge.

Das Krantor in Gdańsk verfügt über zwei Doppeltreträder von 6,5 und 8 m Durchmesser, angebracht in Höhen von 5 und etwa 20 m. Beide Tretradpaare sind jeweils durch eine hölzerne Welle von 80 cm Durchmesser verbunden, die zugleich zum Aufwickeln des Lastseiles dient. Daraus ergibt sich eine Übersetzung von etwa 1 : 10. Ihre Tragfähigkeit betrug bis 6 t. In jedem Radpaar arbeiteten vier bis fünf Läufer, die



Kran mit Flaschenzügen, durch Tretrad bewegt (Flachrelief aus dem Hateriergrab von Centocelle. Rom, Lateran, 200)

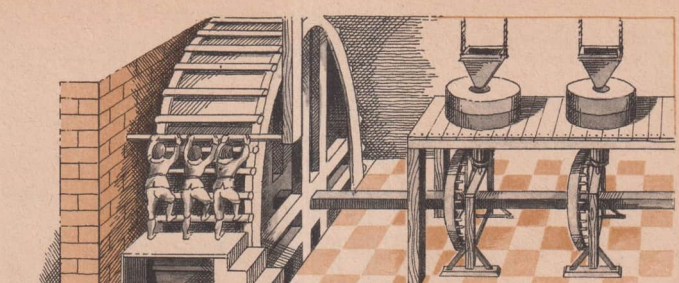


Der Schnitt durch das Krantor in Gdańsk zeigt die Anordnung der beiden Doppeltreträder.

zum Heben einer Last um 5 m neun Minuten brauchten. Rechnet man für das An- und Abschlagen der Last weitere zehn Minuten hinzu, erscheint es theoretisch möglich, an einem zehnstündigen Arbeitstag in 32 Hüben 192 t zu bewegen. Bedingt durch das An- und Abfahren des Ladegutes, das Umschirren der Fuhrwerke usw., dürfte die tatsächliche Tagesleistung mit 100 t anzusetzen sein. Da zur Hansezeit auch die Schiffsgrößen in Lasten angegeben wurden, wobei eine Lübecker Schiffslast etwa 10 bis 12 t entsprach und die Schiffe durchschnittlich etwa 200 Lasten groß waren, konnte ihre Fracht innerhalb von zwei Tagen gelöscht werden. 1618, kurz vor Beginn des Dreißigjährigen Krieges, betrug allein der durch den Hafen von Gdańsk gehende Getreideexport nicht weniger als 115 000 Lasten, also 11 500 t. Die Hafenmeister ha-



Fuß- oder Tretgöpel aus dem sächsischen Erzbergbau (aus: Georgius Agricola »De re metallica«, Basel 1556)

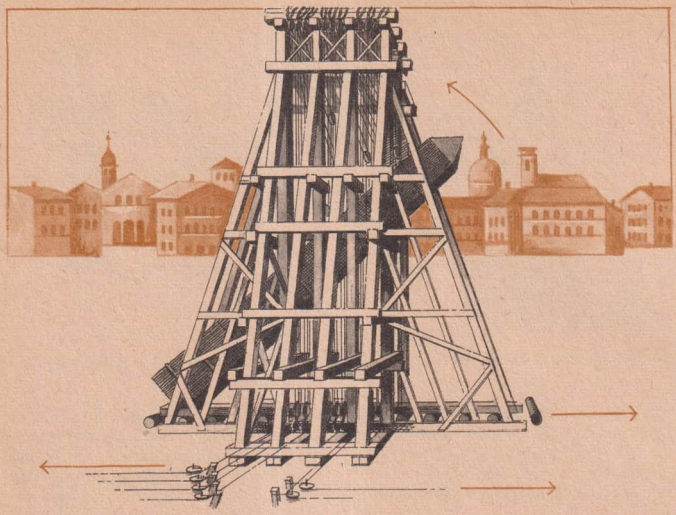


Tretrad zum Antrieb eines Mahlwerkes (nach einem Kupferstich aus Veranzio »Maschinae novae«, Venedig 1616)

ben über den Güterumschlag gewissenhaft Buch geführt. Über die Sklavenarbeit der Männer in der Tretmühle, die Dauer ihrer Arbeitszeit und die Höhe ihres Lohnes, schweigt sich die schriftliche Überlieferung aus.

Noch größere hölzerne Treträder als in den Kranhäusern befanden sich im mittelalterlichen Bergbau über und unter Tage im Einsatz. Mit solchen Treträdern, auch »Künste« genannt, war es möglich, das Grubenwasser bis aus Teufen von 20 m zu heben. Zur Erzförderung fanden vorwiegend wie eh und je Haspel und Göpel Verwendung. Als eine neue Form des Göpels setzte sich Anfang des 16. Jahrhunderts der sogenannte Fußgöpel durch, bei dem sich jeweils zwei Göpelknechte, gegen ein Querholz gestemmt, über eine mit Sparren versehene waagerechte Tretscheibe ständig im Kreis bewegten und so die senkrechte Antriebswelle in Umdrehung versetzten. Wo die menschliche Muskelkraft nicht ausreichte, um größere Schachttiefen zu überwinden, spannten die Bergherren Pferde ein. Seit Einführung des Brustblattgeschirres mit Halskummet und seitlichen Strängen sowie des Hufbeschlages im 11. Jahrhundert hatte sich die Zugkraft des Pferdes auf das Fünffache erhöht. Unter Vorspann von acht Pferden, die jeweils vier Stunden im Kreise gingen – wobei 32 Pferde für den Einsatz am Pferdegöpel bereitgehalten werden mußten –, konnte das Grubenwasser aus Tiefen von 150 m gehoben werden. Aber 32 Pferde erforderten mehr Futter und Unterbringungsaufwand als ein Dutzend anspruchsloser Göpelknechte, deshalb mußte es auch dem »Kameraden Pferd« versagt bleiben, den arbeitenden Menschen aus den Sielen zu erlösen.

Rückblickend erscheint es geradezu als Hohn auf die Ausbeutung der menschlichen Arbeitskraft, wenn ein 1616 in Italien neuentwickeltes Tretrad, bei dem die Knechte, auf einem Podest stehend, das mühlradähnliche Rad mit ihrer Muskelkraft von außen antrieben, als bedeutsamer Fortschritt gepriesen wurde. Wörtlich heißt es in der Beschreibung, die der Abbildung beigegeben ist: »Diser newen Radtribs Erfindung mögen wir uns billich berühmen ... In anderen Tritträdern gehen die Männer im inneren und understen Theil des Rads, in unserem Rad aber stehen sie außerhalb inmitten des Rads.«



Fontanas Gerüst zum Aufstellen des großen Obelisken auf der Piazza San Pietra in Rom, 1586

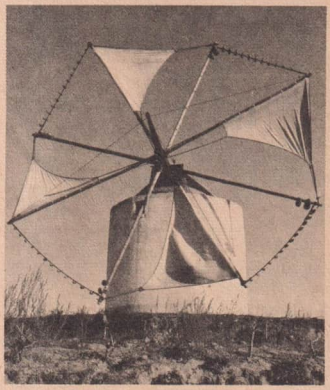
Zu welchen erstaunlichen Leistungen die massenhaft eingesetzte und kooperiert arbeitende Muskelkraft von Mensch und Tier fähig ist, belegt ein anderes Beispiel aus der Technikgeschichte: Am 5. Oktober 1585 erteilte Papst Sixtus V. dem Ingenieur und Architekten Domenico Fontana (1543–1607) den Auftrag, den zur römischen Kaiserzeit aus Heliopolis in Ägypten nach Rom verbrachten 23 m hohen und 327 t schweren Obelisken, der damals hinter der Peterskirche Aufstellung gefunden hatte, auf die Piazza San Pietra zu versetzen. Fontana, als Sieger in einem Wettbewerb zur besten Lösung des kniffligen Problems hervorgegangen, hatte vorher gründliche mathematische Berechnungen angestellt. Das ermöglichte es ihm, den Auftrag unter Zuhilfenahme Hunderter tierischer und menschlicher Arbeitskräfte in kürzester Zeit ohne Unfall oder Havarie erfolgreich auszuführen. Unter seiner Anleitung umkleideten die Zimmerleute den Obelisken mit einem massiven hölzernen Gerüst, an dem die aus Hanf gedrehten, über Rollen laufenden Zugseile von 48 Göpeln befestigt wurden. An jedem Göpel standen 3 Pferde und 16 Männer bereit, um auf ein einheitliches Kommando die Zugseile zu spannen. Nach jeweils drei oder vier Umdrehungen der Göpelwelle ließ Fontana eine Pause einlegen, wurden die Spannung und der Zustand der Zugseile geprüft und durch Begießen mit Wasser elastischer gemacht. Die Anordnung der Göpel und das Arbeitsprinzip bewährten sich so gut, daß sie Fontana zur Aufstellung von vier weiteren Obelisken beibehielt.

Bei der Mechanisierung der Handwerksproduktion spielten Tretrad und Tretmühle nur eine mittelbare Rolle, obwohl noch um 1800, also lange nach Erfindung und Einführung der Dampfmaschine, in zahlreichen englischen Gefängnissen, in Zeughäusern und Manufakturen auf dem Kontinent Treträder in Betrieb waren. Das Verlangen nach einer stärkeren Antriebskraft konnte auch durch den Einsatz von Riesentreträdern, in denen zwanzig bis fünfzig Menschen nebeneinander und immer schneller liefen, nicht befriedigt werden. Bleibt die Frage, wie die Menschheit seit Erfindung des Wind- und Wasserrades mit der Nutzung der natürlichen Energiequellen vorangekommen war.

»Wind, Wind, gar mächtig bist du . . .«

Die Überschrift ist einem Gedicht von Alexander Puschkin entnommen, in dem er die Kraft des Windes besingt. Daß eine Naturkraft wie der Wind, der die Wolken vor sich hertreibt, das Meer aufwühlt, den Sand der Wüsten zu Dünen türmt, der, zum Sturm verstärkt, Bäume entwurzelt, Wälder niederbricht, zerstört, was Menschenhand erbaut, schon in frühesten Zeiten die Aufmerksamkeit der Menschheit fand, ist verständlich. Warum sollte der Wind seine ungeheuren Kräfte, von denen wir heute wissen, daß ihr jährliches Energiepotential das des Wassers um ein Mehrfaches übertrifft, ungenutzt vergeuden? Bestrebt, die Windkraft zu nutzen, erfand der Mensch zuerst das Segel, das ihn von der schweren Arbeit des Ruderns befreite. Das Segel ermöglichte den Antrieb von Windrädern, die Windräder den Antrieb von Schöpfwerken, aber auch der Mahlsteine, mit denen das Korn gemahlen wurde. So gesellte sich zur Göpelmühle wahrscheinlich schon um 1200 v. u. Z. die Windmühle. In Ägypten sind bis heute die steinernen, zylinderförmigen Türme der Windmühlen zu sehen, die schon das Korn für die Pharaonen und die Erbauer der Pyramiden mahlten.

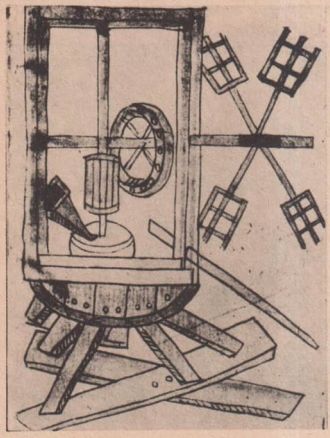
Im 9. Jahrhundert werden die ersten Windmühlen in England, Frankreich und in Rußland urkundlich erwähnt. Aber erst im 11./13. Jahrhundert, zur Zeit der Kreuzzüge, in der eine Fülle wissenschaftlicher und technischer Kenntnisse des Orients nach Europa gelangte, begann die Windkraft zu einer Triebkraft der mittelalterlichen Produktion zu werden, die auch zum Antrieb von Fördergöpeln und Schlagwerken genutzt wurde. Aus dem Jahre 1105 sind Windmühlen aus der Normandie bekannt, bald darauf finden sie in Flandern und Holland Eingang, 1222 in Köln. Schon im ältesten und bedeutendsten Rechtsbuch des deut-



Die im 12. Jahrhundert von den Arabern nach Europa gebrachte orientalische Windmühle ist noch heute im Mittelmeerraum weit verbreitet.

schen Mittelalters, dem zwischen 1220 und 1235 entstandenen »Sachsenspiegel«, werden diejenigen, die eine Mühle beschädigen, zerstören oder plündern mit harten Strafen bedroht. Einer der Artikel ist als Sprichwort in unsere Umgangssprache eingegangen: »Wer zuerst zur Mühle kommt, mahlt auch zuerst!« Eine Regel, die indirekt den Hauptmangel der Windmühlen deutlich macht. Eine Windmühle mahlt nur, wenn der Wind ihre Flügel bewegt. Bei Windstille kam es vor, daß die Bauern, die das Korn von weither zur Mühle gebracht hatten, oft tagelang warten mußten.

Während die Windmühlen im Orient vorwiegend horizontale, von der Windrichtung weniger abhängige Flügelräder besaßen, setzte sich in Europa die vertikale Anordnung der Flügelräder durch, die ständig der jeweiligen Windrichtung angepaßt werden mußte. Dabei bildeten sich zwei Grundformen heraus: die aufgebockte Windmühle – kurz Bockwindmühle genannt –, die als Ganzes mit Hilfe eines Schwenkbalkens »in den Wind gedreht« wurde, und die aus Holz oder Stein ausgeführte Turmwindmühle mit drehbarer Haube, bekannt als Holländerwindmühle. Entwürfe von Turmwindmühlen finden sich u. a. in den umfangreichen Skizzenbüchern von Leonardo da Vinci (1452–1519), des großen italienischen Künstlers und Wissenschaftlers, dem wir in der Geschichte der Technik noch mehrmals begegnen werden.

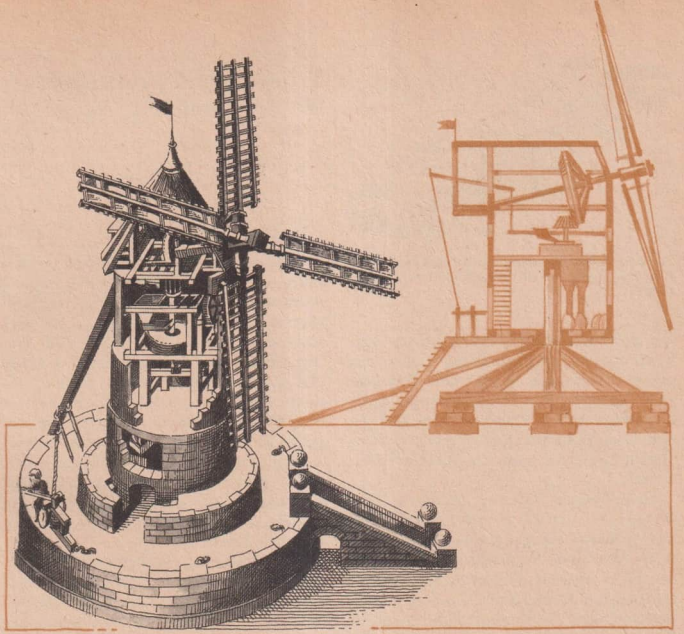


Älteste bildliche Darstellung einer deutschen Bockwindmühle (aus »Anonymus der Hussitenkriege«, 1430)

Schon die älteste (deutsche) bildliche Darstellung einer Bockwindmühle aus dem Jahre 1430 veranschaulicht ihr Funktionsprinzip: das auf einem Bock ruhende Mühlenhaus mit dem Schwenkbalken, dem »Sterz«; das vierflügelige, mit Klappen versehene Windrad; die Flügelwelle mit dem großen Kammrad; das Stockgetriebe mit der senkrechten Welle zum Antrieb des Mahlganges; den Trichter zum Einschütten des Getreides. Daß der Wirkungsgrad der mittelalterlichen Windmühlen nur 10 bis 20 % betrug, fiel im Wettbewerb mit der Tretmühle wenig ins Gewicht. Während bei der Bockwindmühle, deren Flügel im Laufe der Entwicklung 7 bis 12 m Durchmesser erreichten, die Leistung auf 3 bis 4 kW begrenzt blieb, konnte die Leistung der Holländermühle in ihrer Weiterentwicklung mit Flügeldurchmessern bis zu 28 m auf etwa 40 kW erhöht werden.

Durch Kombination der Windmühle mit der Wasserpumpe wurde bereits im Jahre 1394 eine neue Form der Windkraftausnutzung bekannt, die nicht allein für die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen Bedeutung erlangte. Eine noch wichtigere Rolle spielte die Wind-Wasserpumpe bei der Entwässerung, der Trockenlegung und Landgewinnung im Küstenbereich der Nord- und Ostsee. Allein in Holland erhöhte sich die Zahl der Windmühlen bis Mitte des 18. Jahrhunderts auf neuntausend.

In der Schiffahrt führte die Ausnutzung des Windes, wie eingangs angedeutet, über Jahrhunderte hinweg die Glanzzeit der Se-



Die Schnittzeichnungen zeigen das Innere einer typischen Bockwindmühle (rechts) und einer steinernen Turmwindmühle (links) des 17. Jahrhunderts.

gelschiffahrt herauf, die das Zeitalter der Entdeckung, Erforschung und Eroberung der Erde einleitete und zum Hauptträger des Welthandels wurde. Räderfahrzeuge mit Winddrachen oder Segeln ausgestattet, erbrachten den Beweis, daß der Wind auch Landfahrzeuge fortbewegen kann. Alte russische Chroniken wissen zu berichten, daß Fürst Oleg im Jahre 907 bis dicht vor Byzanz vordrang. Um die zurückweichenden Feinde zu verwirren, bediente er sich einer Kriegslist. Er gab Anweisung, die Schiffe auf Räder zu stellen, ließ Segel setzen und befahl, über den Fahrzeugen Drachen aufzuziehen, die die Umrisse von Reitern hat-



Segelwagen des Holländers Simon Stevins, erbaut um 1600 für den Prinzen von Oranien (zeitgenössische Darstellung)



Römische Wassermühlenanlage in Barbegal bei Arles in Frankreich, 3. Jahrhundert (Rekonstruktionszeichnung)

ten. Unter günstigem Wind rollten die Fahrzeuge Byzanz entgegen, in den Lüften von einem wirren Heer sonderbarer Drachenreiter begleitet. Fürst Oleg nutzte die unter den gegnerischen Truppen beim Anblick der unerklärlichen Erscheinung ausbrechende Panik und nahm die Stadt im Handstreich.

Zuverlässiger als der mittelalterliche Kriegsbericht ist die Kunde von dem Holländer Simon Stevins (1548–1620), der im Jahre 1600 einen Segelwagen für 28 Personen baute und damit mehrere erfolgreiche Fahrten am Strand zwischen Petten und Scheveningen unternahm. Für sportliche Zwecke sind luftbereifte, dreirädrige Segelwagen noch heute in Gebrauch.

Die Mühlenbauer, hochqualifizierte Handwerker, die sich in mechanischen Dingen auskannten, versuchten immer wieder, durch Vergrößerung der Windräder und Neugestaltung der Flügelprofile den Wirkungsgrad der Windmühlen entscheidend zu verbessern. Vor allem lag ihnen daran, die Tourenzahl des Windrades bei Änderung der Zuströmrichtung und Größe der Windgeschwindigkeit regulierbar zu machen. Aber gegen die Flaute blieben sie machtlos. Zuverlässiger als der launische Wind verrichtete die Wasserkraft den ihr abgeforderten Dienst.

Triumph und Grenzen des Wasserrades

Die Überlegenheit der Wasserkraft im Vergleich mit Tretrad und Windmühle demonstriert die Rekonstruktion einer römischen Wassermühlenanlage, die im 3. Jahrhundert u. Z. in Barbegal bei Arles in der Provinz Gallien das Getreide der in weitem Umkreis liegenden Dörfer mahlte. An einem Berghang mit 30° Neigung fiel das Wasser eines römischen Aquädukts mit großer Kraft auf 16 Wasserräder, die in zwei Reihen terrassenförmig angeordnet waren und 32 Mahlwerke betrieben. Ein »frühmittelalterliches Mühlenkombinat«, das in 24 Stunden 28 t Korn mahlen konnte, Nahrung für 80 000 Menschen.

Die allgemeine Verbreitung des als Schöpfrad schon in der Antike bekannten Wasserrades fällt in Europa etwa in die gleiche Zeit, da sich die Flügel der Windmühlen zu drehen begannen. Seit dem 12. Jahrhundert mehren sich die Nachrichten über Wasserräder zum Antrieb von Mahlmühlen und Sägewerken, von Fördereinrichtungen der Bergwerke, der Blasebälge in Schmelzhütten und der Hämmer in Pochwerken, aber auch von mechanischen Einrichtungen in Zwirnmühlen, Drahtziehereien, Filzwalkereien und anderen handwerklichen Produktionsstätten.

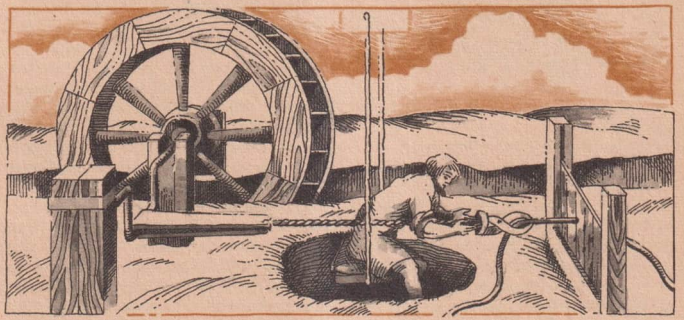
In manchen Orten des Erzgebirges, dessen Besiedlung im ausgehenden 12. Jahrhundert mit der Entdeckung der Freiberger Silbererzlagerstätten begann, kann man die mittelalterlichen Hammerwerke noch heutigentags besichtigen. Am bekanntesten ist der Frohnauer Hammer im Sehmatal bei Annaberg-Buchholz. Urkundlich als Mühle Ende des 14. Jahrhunderts erstmals

erwähnt, im 15. Jahrhundert Münzstätte, nahm er Anfang des 17. Jahrhunderts seinen Betrieb als Hammerwerk auf. In Frohnau leitet der Hammergraben das Wasser der Sehma in einen Flutkasten, aus dem es auf die beiden Wasserräder fällt, die die hölzernen Nockenwellen zum Antrieb der Schwanzhämmer und der Blasebälge treiben. Die drei klobigen Hämmer, zwei, vier und sechs Zentner schwer, sind beweglich in einem massiven Holzgerüst gelagert. Die auf der Welle angebrachten Nocken drükken auf den Schwanz der Hämmer, heben sie hoch und lassen sie, wenn sich der Nokken vorbeigedreht hat, im Dreitakt auf den Amboß niederfallen. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Welle und damit die Schlagfolge der Hämmer sind über den Wasserzufluß regulierbar und ermöglichen 40 bis 120 Anschläge in der Minute.

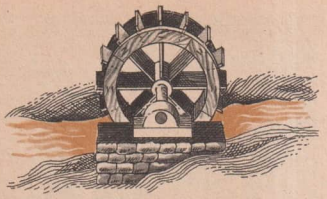
Die Hammerwerke lieferten jahrhundertelang das Vormaterial für die Blech-, Löffel-, Sensen- und Nagelschmiede, die Waffen- und Schloßschmiede. Der Antrieb großer Blasebälge, die im Frohnauer Hammer die Frischfeuer anbliesen, diente anderwärts zur Windversorgung der Schmelzöfen. Mit ihrer Hilfe war es möglich, die erforderlichen hohen Temperaturen für das Schmelzen der Eisenerze und den Eisenguß



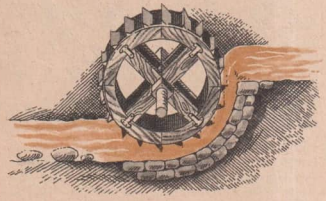
Zain- oder Reckhammer, dessen Hämmer über eine Nockenwelle von Wasserkraft angetrieben werden. Seit dem 14. Jahrhundert in allen europäischen Bergbaugebieten verbreitet (Kupferstich aus Christian Weigel »Gemeinnützige Hauptgegenstände«, Regensburg 1698)



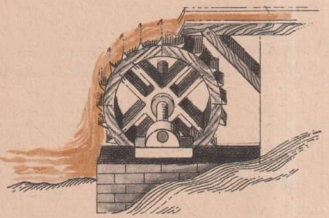
Drahtziehen (Schockenziehen) mit Wasserkraft. Der Drahtzieher sitzt auf einer Schiebebank, die durch das Wasserrad hin- und herbewegt wird. Mit einer Zange zieht er den Draht durch die Löcher des Zieheisens (nach einem Holzschnitt aus Biringuccio »Della Pirotechnia«, 1540).



Unterschlächtiges Wasserrad



Mittel- oder rückenschlächtiges Wasserrad



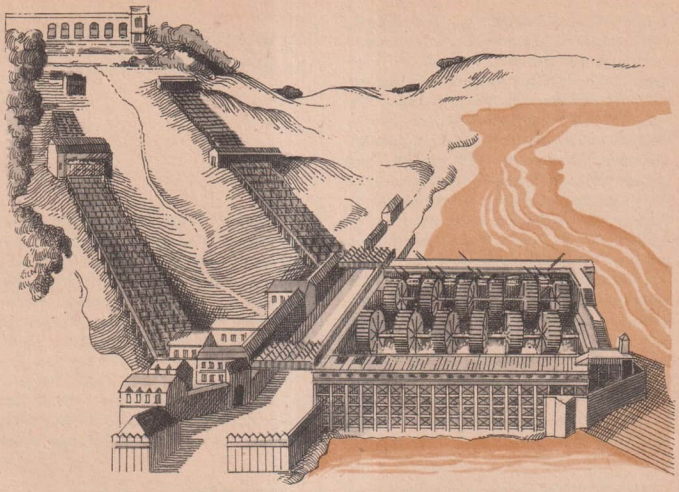
Oberschlächtiges Wasserrad

Die drei Hauptformen von Wasserrädern

zu erzeugen. Der Wirkungsgrad der Wasserräder hing wesentlich davon ab, wie sie die Strömungsenergie des Wassers zu nutzen verstanden. Die ältesten Konstruktionen waren unterschlächtige Wasserräder, die von unten her durch die Kraft des gegen die Schaufel drückenden Wassers in Umdrehung versetzt wurden. Ihrer relativ einfachen Bauweise stand der Nachteil gegenüber, daß sie nur einen geringen Teil der Bewegungsenergie des Wassers auszunutzen vermochten. Trifft das Wasser in Höhe der Radachse auf die Schaufeln, spricht man vom mittelschlächtigen Wasserrad, das einen günstigeren Wirkungsgrad aufweist. Am leistungsfähigsten war das oberschlächtige Wasserrad, bei dem das Wasser von oben auf die Schaufeln des Rades fiel, wie z. B. bei den Wassermühlen von Barbegal oder beim Frohnauer Hammer.

Ein anderes konstruktives Problem bildete die Erhöhung der niedrigen Drehzahl aller drei Rädertypen. Man konnte zwar zwischen Wasserrad und Antriebsmaschine Übersetzungsgetriebe einschalten, die jedoch infolge stärkerer Reibung den Wirkungsgrad der gesamten Anlage verringerten. Die Leistung der Wasserräder lag deshalb nur wenig über der von Bockwindmühlen. Die Kombination mehrerer Wasserräder zu Großanlagen vermochte das Verhältnis zwischen technischem Aufwand und erreichbarer Leistung nicht grundlegend zu verbessern.

Die größte Wasserkraftanlage, die vor Einführung der Wasserturbine erbaut worden ist und nicht zu Unrecht als »technisches Wunder« galt, wurde auf Geheiß Ludwigs XIV. von Frankreich in den Jahren 1681 bis 1685 bei Marly an der Seine errichtet. Ihre einzige Funktion bestand darin, die Fontänen im Schloßpark von Versailles mit Wasser zu versorgen. Vierzehn Wasserräder von je 12 m Durchmesser, angetrieben von den Wassern der Seine, setzten über Stangenkünste 22 Pumpen in Bewegung, die das Wasser durch gußeiserne Röhren in drei Stufen 162 m hoch auf den Aquädukt von Louveciennes hoben. Auf der ersten Stufe wurde das Wasser von 64 Kolbenpumpen in einen 48,5 m Höhe gelegenen Zwischenbehälter getrieben. Von hier aus drückten 79 Kolbenpumpen das Wasser um weitere 56,5 m Höhe in einen zweiten Zwischenbehälter. Die restlichen 57 m legte das Wasser mit Hilfe von 78 Kolbenpumpen zurück. 1800 Menschen arbeiteten fünf Jahre auf dem Bauplatz der Anlage. Ganze Wäl-



Wasserhebeeinrichtung bei Marly an der Seine, erbaut, um die Wasserkünste im Schloßpark von Versailles mit Wasser zu versorgen (nach einem Kupferstich um1700).

der wurden abgeholzt, 17500 t Eisen, 900 t Blei, 850 t Kupfer verbraucht, um das »Wunderwerk« in Gang zu setzen. Nach ihrer Inbetriebnahme förderte die Anlage, die 8 Millionen Livres (etwa 80 Millionen Mark) verschlang und einen beträchtlichen Aufwand zur Unterhaltung erforderte, täglich etwa 3200 m^3 Wasser. Ihre Gesamtleistung betrug jedoch nur 60 kW, weniger als heute ein mittlerer LKW-Motor an Leistung abgibt, umgerechnet je Wasserrad ebenfalls kaum mehr als 4 kW.

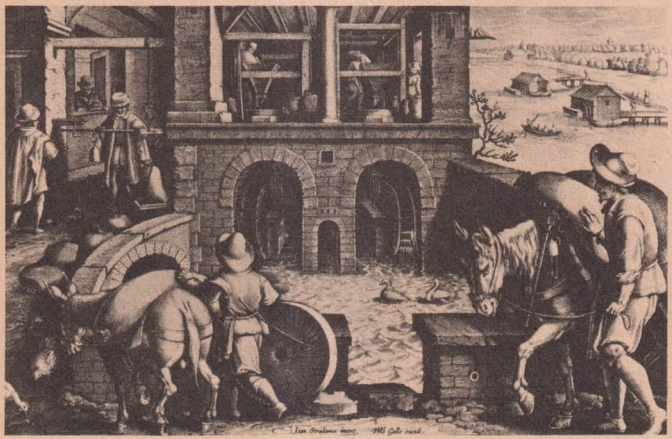
Konstrukteur und Architekt der gigantischen Anlage soll ein gewisser Rennequin Sualem (1645–1708) aus der Gegend von Lüttich gewesen sein, »ein Mann von vortrefflicher natürlicher Neigung zu denen Maschinen überhaupt, welchem es zu einer so wichtigen Unternehmung an Kühnheit nicht mangelte . . .«.

Das Wasserhebewerk von Marly, von den Zeitgenossen als »Huldigung der Technik an den Sonnenkönig« gepriesen, legt einmal mehr Zeugnis ab für die großartigen handwerklichen Leistungen der Mühlen- und Pumpenbauer. Zugleich machen seine Leistungsparameter deutlich, daß das Wasserrad, obwohl es als wichtigste energetische Antriebskraft des Mittelalters die Ausweitung der handwerklichen Produktion, die Arbeitsteilung und Spezialisierung entscheidend förderte und ihren Übergang zur maschinellen Großproduktion vorbereiten half, an den Grenzen seiner Leistungsfähigkeit angelangt war. Die physikalischen Gesetze und mechanischen Prinzipien, nach denen die Anlage arbeitete, die technischen Elemente, aus denen sie bestand, waren schon im Bergbau des 16. Jahrhunderts bekannt und boten keine weiterführenden

konstruktiven Lösungen an. Der Einsatz einer solchen gigantischen Maschinerie wäre selbst im Bergbau, wo sich der Übergang zur Großproduktion zuerst vollzog, unrentabel gewesen. Die Wasserradmaschine von Marly blieb – wie einst die Druckwerke und Automaten des Heron – ein nobler königlicher Zeitvertreib. 1817 genügte eine einzige fünfzigpferdige Dampfmaschine von Watt, um die gleiche Arbeit wie die 14 Wasserräder zu leisten. Noch aber war es nicht soweit. Die Entwicklung einer solchen universellen Kraftmaschine, die sowohl in der Großproduktion als auch in den Werkstätten der Handwerker eingesetzt werden konnte, war jedoch nur in Anwendung völlig neuer technisch-physikalischer Prinzipien möglich. Ob in Frohnau oder Marly – im Winter, wenn das Wasser der Flüsse und Bäche zu Eis erstarrte, oder bei großer Trokkenheit im Sommer standen auch die Wasserräder still.

Ein unerfüllbarer Traum – das Perpetuum mobile

Der Traum von einer Maschine, die, einmal angestoßen, aus eigener Kraft unaufhörlich weiterläuft und nützliche Arbeit verrichtet, hat über Jahrhunderte hinweg geniale Techniker und kühne Phantasten, unverbesserliche »Erfinder« und skrupellose Scharlatane gleichermaßen in Atem gehalten. Als Perpetuum mobile ging der »Immerbeweger« – wenn auch mehr als Kuriosum – in die Geschichte der Technik ein. Die Geringschätzung, die dem Perpetuum mobile auf solche Weise widerfährt, ist un-



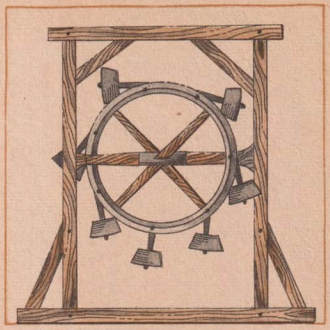
Wassermühle für Getreide (Kupferstich von Philipp Galle nach Jan van der Straat, Stradano, »Nova reperta«, um 1570)

gerechtfertigt. Schließlich soll sich schon Heron von Alexandria mit der konstruktiven Lösung des Problems beschäftigt haben, eine Vermutung, die der komplizierte Mechanismus seiner Druckwerke und Automaten durchaus berechtigt erscheinen läßt.

Der älteste uns bekannte Entwurf eines Perpetuum mobile findet sich in dem um 1235 erschienenen »Bauhüttenbuch« des französischen Ingenieurs und Architekten Villard de Honnecourt abgebildet und beschrieben. Darin heißt es: »Gar manchen Tag haben Meister darüber beratschlagt, wie man ein Rad machen könne, das sich von selbst dreht. Hier ist eines, das man aus einer ungeraden Anzahl von Klöppeln oder mit Quecksilber machen kann.«

Die sieben beweglich angebrachten Klöppel sollten, wie die Abbildung zeigt, das auf einer Achse sitzende hölzerne Speichenrad dadurch in Umdrehung versetzen und halten, daß sich auf einer Seite des Rades stets ein Klöppel mehr (nämlich vier) als auf der anderen Seite (drei) befindet. Folglich müßten die jeweiligen vier Klöppel das Rad nach links herum in Schwung bringen. Der Denkfehler der Konstrukteurs bestand darin, daß nach wenigen Umdrehungen drei Klöppel auf jeder Seite einander die Waage halten und der siebente am tiefsten Punkt des Rades auspendelt. Auf Villard de Honnecourt folgten viele »Radspezialisten«, die alle davon ausgingen, daß eine Hälfte des Rades stets schwerer sein müsse als die andere, dann komme die Umdrehung von selbst. So ist aus der Zeit um 1500 ein Schwerkraftrad bekannt, das, wie von Honnecourt vorgeschlagen, durch fünf am Radkranz angebrachte kugelförmige, mit Quecksilber gefüllte Blechbehälter in Bewegung gesetzt werden sollte.

Sogar der geniale Leonardo da Vinci, in dessen Skizzenbüchern Kraft- und Arbeitsmaschinen breiten Raum einnahmen, beschäftigte sich mit diesem Problem. Die Skizze zeigt ein schweres Schwungrad, dessen Speichen zur Achse hin gebogen und



Der älteste bekannte Entwurf eines Perpetuum mobile (nach einer Zeichnung von Villard de Honnecourt »Bauhüttenbuch«, um 1235)

oben und unten mit Laufrinnen für sechs Metallkugeln versehen sind. Beim Drehen des Rades rollen die Kugeln in den Laufrinnen hin und her und verändern dadurch ständig ihren Abstand von der Drehachse. Die am weitesten vom Zentrum entfernte Kugel soll aufgrund der größeren Hebelwirkung das Rad um etwa 60° drehen. Dann rollt die ihr folgende Kugel nach außen und bewirkt den weiteren Antrieb.

Noch eine zweite Skizze wird Leonardo da Vinci zugeschrieben, ein Rad, an dem zwölf bewegliche Stäbe mit Kugelköpfen befestigt sind, die beim Andrehen auf der einen Radhälfte nach außen streben und dadurch das Drehmoment gegenüber der anderen Seite des Rades, auf der die Kugelstäbe anliegen, erhöhen. Dem Funktionsprinzip nach also eine Variante des Schwerkraftrades von Villard de Honnecourt. Wie Leonardos Studien über die Reibung, den Luftwiderstand, die Umwandlung von Bewegungsenergie in Wärmeenergie und andere physikalische und mechanische Probleme vermuten lassen, handelt es sich bei dieser Skizze aber nicht um einen weiteren Entwurf zu einem Perpetuum mobile, son-



Perpetua mobilia nach den Skizzenbüchern von Leonardo da Vinci

dern um eine Untersuchung der Gleichgewichtsbedingungen am Schwerkraftrad, mit der die Unmöglichkeit eines »Immerbewegers« nachgewiesen werden sollte. Schließlich war Leonardo da Vinci einer der ersten, der erkannte und aussprach, daß die Kraft immer danach trachtet, sich »zu verlieren, zu verschwenden«. Ergo: »Ohne sie bewegt sich nichts!«

Aber so bald wurde diese empirisch formulierte fundamentale Erkenntnis nicht Allgemeingut, als daß sie die Tüftler davon abgehalten hätte, weiter ihren unerfüllbaren Träumen nachzujagen. So veröffentlichte um 1683 Leonardos Landsmann Alessandro Capra einen Entwurf, der sowohl von Honnecourt als auch von Leonardos Rad mit den Kugelstäben inspiriert ist. Statt der sieben Klöppel bzw. zwölf Kugelstäbe war es jedoch mit achtzehn Kugeln behängt.

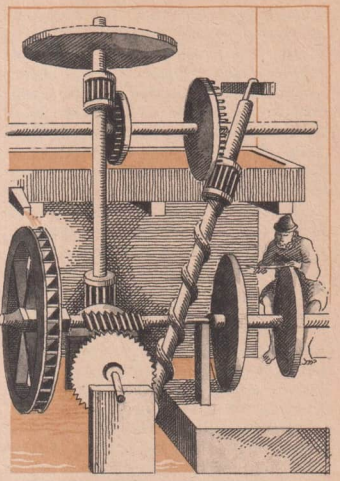
Es konnte nicht ausbleiben, daß sich dort, wo es galt, die Leistung der Wasserräder zu erhöhen, die Projektanten der »Immerbeweger« bald schon dem Wasser selbst als Beweger zuwandten. Der Übergang von den Gewichten zum Wasser wird an zwei um 1575 ausgearbeiteten Entwürfen des italienischen Ingenieurs Jacob de Strada deutlich, der alles andere als ein Dilettant war. Nicht nur, daß de Strada als erfolgreicher Maschinenbauer die zu seiner Zeit bekannten Grundgesetze der Physik und Mechanik beherrschte, bediente er sich bei seinen Konstruktionen auch der gebräuchlichen Maschinenelemente und nannte den Verwendungszweck seiner »Immerbeweger«: Sie waren als Antriebskraft für eine Schleiferei gedacht.

Im ersten seiner Entwürfe bediente sich de Strada noch loser Kugeln, die in die Kammern eines Schaufelrades fielen, es durch Schwerkraft in Drehung versetzten und über einen Wellbaum die Schleifsteine antreiben sollten. Unterhalb des Schaufelrades befand sich eine Fangvorrichtung für die Kugeln, aus der sie durch eine schräggelagerte Archimedische Schraube nach oben

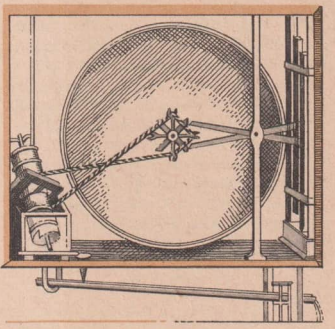
in die Ablaufrinne zurückbefördert wurden und ihren Kreislauf erneut beginnen konnten. Der zweite Entwurf, Wirbel- oder Schneckenkunst genannt, zeigt eine komplizierte Kombination von Wasserkasten, Schaufelrad, Wellbaum, Archimedischer Schraube, Zahnradgetrieben und Schwungrad, deren »geschlossener« Wasserkreislauf zwei Schleifsteine antreiben und in ständiger Bewegung halten sollte. Aber schon nach wenigen Umläufen blieben die Schleifsteine stehen, kam der gesamte knarrende und plätschernde Mechanismus zum Stillstand. Die zugeführte Energie war durch die kurzzeitig geleistete Arbeit, die Reibung und den Luftwiderstand aufgebraucht.

Wie die Versuche mit den »Wasserdrehern« scheiterten auch die Experimente zur Ausnutzung des Luftdruckes und die Bemühungen des Bischofs von Chester, John Wilkins, der seine Hoffnungen in den Magnetismus setzte. Fast schien es, als sollte der Ruhm, das Problem der Probleme dennoch gelöst zu haben, einem Deutschen zufallen, der sich hochtrabend Orffyreus nannte, in Wirklichkeit Johann Ernst Elias Beßler hieß und aus der sächsischen Oberlausitz stammte.

Seit 1712 reiste Orffyreus durch die sächsischen Lande und stellte seine selbstgebastelten Perpetua mobilia auf Jahrmärkten und Messen zur Schau. Der Ruf seiner »Wundermaschinen« gelangte bis in höchste Kreise, und der für Kunst und Wissenschaft begeisterte Landgraf Karl von Hessen-Kassel rief Orffyreus an seinen Hof, bot ihm auf Schloß Weißenstein Unterkunft und ermutigte ihn, seine Arbeit fortzusetzen. Kurze Zeit später hatte der gewiefte sächsische Tausendsassa ein neues, größeres Perpetuum mobile konstruiert, das er in einer auf Kosten des Landgrafen gedruckten Broschüre allen »Potentaten, hohen Häuptern, Regenten und Ständen der Welt« zur Anschaffung empfahl. Die Abbildung zeigt eine Trommel von 6 Ellen Durchmesser, die bei 50 U/min eine Last von 20 kg um



Wirbel- oder Schneckenkunst zum Antrieb von Schleifsteinen (nach einem Kupferstich aus de Strada »Kunstlicher Abriß allerhand ... Mühlen«, Frankfurt/Main 1629)



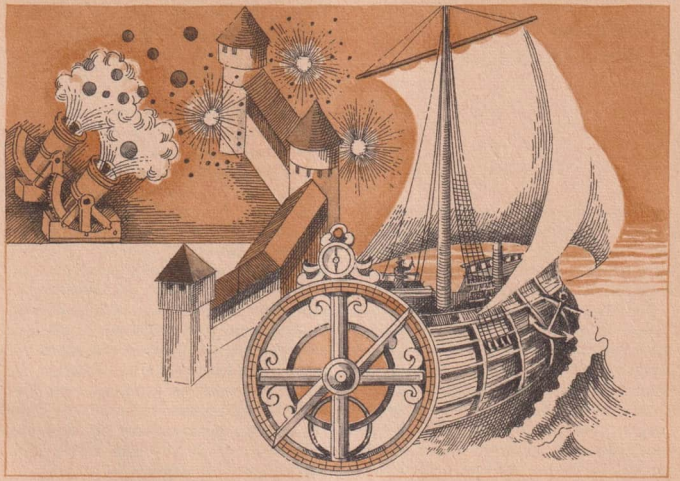
Perpetuum mobile des Johann Ernst Elias Beßler, genannt Orffyreus, nach einer Zeichnung des »Erfinders«

5 Fuß gehoben haben soll. Dem Leser wird versichert, daß das Perpetuum mobile in einem verschlossenen und versiegelten Raum auf Schloß Weißenstein wochenlang ununterbrochen gelaufen sei. Der »Erfinder« bot demjenigen 10000 Taler Belohnung, der ihn der Unredlichkeit überführen könne. Ein großes Wort. Der Landgraf ernannte seinen Hofmechanikus zum Kommerzienrat und schenkte ihm ein Landgut zu Karlshafen, damit er sein Perpetuum mobile so vervollkommne, daß es den Menschen dienstbar gemacht werden könne.

Erst nach dem Tode Beßlers lüftete sich das Geheimnis um seinen »Immerbeweger«. Durch Wellen und »sophistische Strickzüge« war die Maschine unauffällig mit einem Nebenraum verbunden, von wo aus sie von der Frau des Betrügers, seinem Bruder und einer Dienstmagd (die beiden letzteren um je zwei Groschen Stundenlohn) abwechselnd in Bewegung gehalten wurde. Mit der Zahl der »Perpetuomobilisten« mehrten sich die Stimmen derer, die erkannt hatten, daß sich, wie schon von Leonardo da Vinci formuliert und später von Isaac Newton (1643–1727) mathematisch bewiesen, »ohne Kraft nichts bewegt«. Einer ihrer engagiertesten Wortführer war der Leipziger Mechanikus Jacob Leupold (1674–1726), Landsmann und Zeitgenosse des Orffyreus. In seinem neunbändigen Werk »Theatrum machinarium oder Schauplatz der Hebezeuge« schrieb Leupold: »Etliche wollen mit wenig Kraft große Gewalt tun, und zwar eben in kurzer Zeit. Mit wenig Worten: Sie suchen dasjenige, was schon vor undenklichen Jahren ihrer verschiedene mit entsetzlichen Kosten, Sorgen und Mühe zwar in Gedanken gefunden, aber ehe es zum Effekt gekommen, zu ihrem großen Leidwesen wieder verloren, nämlich das Perpetuum mobile; denn wer da suchet mit der Kraft mehr auszurichten, als unser bisheriger Calculus oder Theorie bei der Mechanik ausweiset, der suchet wiewohl vergeblich das Perpetuum mobile, und wird es auch nicht finden . . .«

1775 faßte die Akademie der Wissenschaften zu Paris den Beschluß, keine »Immerbeweger«-Projekte mehr anzunehmen und zu prüfen, ganz gleich, was für Prinzipien diesen Projekten zugrunde lägen. Das Problem des Perpetuum mobile sei ebenso unlösbar wie die Quadratur des Kreises. Trotzdem vergingen nach diesem denkwürdigen Akademiebeschluß noch rund sieben Jahrzehnte, bis der deutsche Arzt und Physiker Julius Robert Mayer (1814–1878) den Energieerhaltungssatz erstmals klar formulierte, jenes Grundgesetz der Physik, das besagt: Die Summe aller Energien eines abgeschlossenen Systems bleibt stets gleich – auch wenn sie sich anders verteilen oder andere Formen annehmen, wenn sich beispielsweise ein Teil durch Reibung in Wärmeenergie umsetzt. Nichts kommt aus dem Nichts, und nichts geht verloren!

Seit Villard de Honnecourt den Entwurf des von ihm erdachten Perpetuum mobile zu Papier brachte, brauchte der menschliche Erkenntnisdrang sechs Jahrhunderte, um schlüssig nachzuweisen (und einzusehen!), daß die Suche nach der »Wundermaschine« ebenso töricht war wie die Suche nach dem »Stein der Weisen«, weil es keine Wunder gibt. In ihrem Eifer übersahen die »Perpetuomobilisten«, daß schon Ende des 13. Jahrhunderts in Europa mit dem Schießpulver eine neue Energieform bekannt geworden war, die – tausendfach stärker als Wind und Wasser –, eines Tages friedlich genutzt, die Welt der Technik verändern, revolutionieren würde.



Erfindungen, die von sich reden machten

»Es gibt nichts Einfacheres auf der Welt als ein gelöstes Problem.«

BLAISE PASCAL (1623–1662)

Pulver aus der Alchemistenküche

Die Redensart »Er hat das Pulver nicht erfunden!« ist weithin bekannt. Wer jedoch das Schwarzpulver, eine der folgenreichsten Erfindungen des Mittelalters, wirklich erfunden hat, kann nur vermutet werden.

Der Sage nach soll der Franziskanermönch Berthold Schwarz, ein Alchemist, der eigentlich Constantin Arkliken hieß, um das Jahr 1300 zu Freiburg im Breisgau das Schwarzpulver durch Zufall beim »Goldmachen« entdeckt haben. Anderen Überlieferungen zufolge ging es dem Mönch nicht ums Goldmachen, sondern darum, die Lehren des Aristoteles experimentell zu überprüfen. Aristoteles, das gefeierte Universalgenie der Antike, der Wasser und Feuer, Luft und Erde als die vier Urelemente der Materie betrachtete, hatte gelehrt, daß sich Stoffe von »heißer« und »kalter« Natur schlecht miteinander vertragen würden. In einem Mörser mischte Schwarz den »hitzigen« Schwefel mit dem »kalten« Salpeter, gab etwas gestoßene Holzkohle und dickes Leinöl dazu und bedeckte das Gefäß mit einem Stein. Unvorsichtigerweise fiel beim Feuerschlagen ein Funke in das Gemenge und entzündete es. Die Explosion zerstörte den Mörser und schleuderte den Stein mit großer Gewalt gegen die Decke. Der »Schwarze Berthold«, von dem man sagte, er stünde mit dem Teufel im Bunde, kam mit dem Schrecken davon und führte die riskanten Versuche weiter. Anfangs verstärkte er den Mörser durch hölzerne, dann eiserne Ringe. Später habe er eiserne Büchsen gebaut und aus ihnen mit Hilfe des Schwarzpulvers Steinkugeln, Blei- und Eisenklumpen herausgeschossen ...



Berthold Schwarz, Franziskanermönch und Alchemist, dem die Legende die Erfindung des Schwarzpulvers zuschreibt (zeitgenössische Darstellung)

Als bewiesen gilt, daß die Chinesen schon zu Beginn unserer Zeitrechnung ein dem Schwarzpulver ähnliches Gemenge kannten und als Brandsätze für Feuerwerk und Raketen verwendeten. Nachweisbar ist auch, daß ein Ordensbruder des Berthold Schwarz, der schon erwähnte Roger Bacon, in seinen um die Mitte des 13. Jahrhunderts verfaßten »Epistolae Frateris Rogerii Baconis de secretis operibus artis et naturae et de nullitate magiae« (Briefe des Bruders Roger Bacon über die geheimen Werke der Kunst und Natur und über die Nichtigkeit der Magie) die Rezeptur des Schwarzpulvers beschrieben hatte.

Die Anfänge der Chemie, die Anwendung chemischer Reaktionen und Prozesse, reichen – über Bacon hinaus – bis tief in die Urgesellschaft zurück. Wir erinnern uns: Im Besitz des Feuers machte sich der Mensch erstmals chemische Reaktionen zur Erzeugung von Wärme und Licht, zur Aufbereitung der Nahrung, später zum Brennen von Ton und Schmelzen von Glas zunutze. Den

scheinbar geheimnisvollen chemischen Reaktionen, die sich beim Verhütten der Erze und bei der Herstellung von Stahl vollzogen, verdankten die Schmelzer und Schmiede ihren legendären Ruf.

Babylonische und ägyptische »Chemiker« stellten sogar schon »Ersatzstoffe« wie falschen Marmor her, imitierten durch Beimengung von Kobalt zum Glasfluß den kostbaren Lapislazuli, formten und brannten aus Sand, Malachit, Natron und Kalk einen Kunststein, »Fritte« genannt, der ebenfalls als Ersatz für Lapislazuli bei Großbauten wie dem Ischtartor in Babylon Verwendung fand. Chemische Prozesse erlangten auch bei der Nahrungsmittelaufbereitung, besonders bei der Käseherstellung, der Essig- und Alkoholerzeugung zunehmende Bedeutung. Die Herstellung von Farben und Gerbstoffen, von Kosmetika und Heilmitteln nahm teilweise bereits den Charakter einer chemischen Produktion an. Die Vorgänger unserer diplomierten Chemiker, die Kleopatra ihre faszinierende Schönheit verliehen, denen es oblag, die Pharaonen für das »ewige Leben« nach dem Tode einzubalsamieren, hantierten mit Destilliergefäßen, Sublimiergeräten, Filtern, Wasserkühlern, Tropfflaschen und anderen Gerätschaften. Ohne den Aufbau der Stoffe und die Gesetzmäßigkeiten der Stoffumwandlungen zu kennen, verwendeten sie die verschiedensten Chemikalien und beherrschten erstaunlich viele chemische Prozesse. Grund genug für die Herrschenden, von den »Alleskönnern« das Unmögliche zu verlangen, nämlich mit Hilfe der Alchemie ihren Reichtum und damit ihre Macht zu mehren.

In den ältesten alchemistischen Aufzeichnungen vermischen sich mit der Aristotelischen Lehre von den vier Urelementen und ihrer gegenseitigen Umwandelbarkeit religiös-mystische Anschauungen wie die chaldäische Lehre von den sieben Planetengottheiten, die die sieben Metalle hervorbringen sollten. So galt es z. B. als Grundsatz, daß die Sonne das Gold, der



Mittelalterliche Adepten bei einem chemischen Experiment (Holzschnitt aus dem 15. Jh.)

Mond das Silber, die Venus das Kupfer, der Mars das Eisen, der Saturn das Blei, der Jupiter das Zinn und Merkur das Quecksilber in der Erde entstehen ließ. Die Planetensymbole bildeten die ersten chemischen Formelzeichen, unter denen die Alchemisten mit Zaubersprüchen und magischen Handlungen, durch Filtrieren, Kalzinieren und Destillieren, durch Sublimieren und Lösen den »Stein der Weisen« oder das »Große Elixier« zu gewinnen versuchten, jene Wunder bewirkenden Substanzen, von denen einige wenige Körnchen oder Tröpfchen genügen sollten, große Mengen Blei, Eisen, Kupfer oder Zinn in Gold oder Silber umzuwandeln.

Neben den »Techniten«, die sich ernsthaft mit der Metallurgie beschäftigten, neben Glasmachern und »Pharmazeuten« gab es Scharlatane und Betrüger genug, die Rezepturen ersannen und gewinnbringend in Umlauf setzten, wie man unedle Metalle so verwandeln könne, daß sie sich in ihrem Aussehen von Gold oder Silber nicht unter-

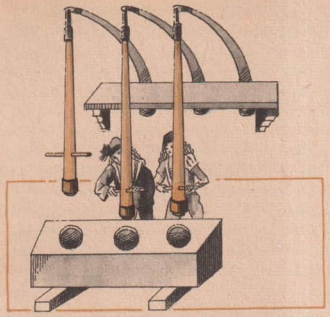
scheiden ließen, wie man Edelsteine und Perlen fälschte oder der begehrte Purpur nachzumachen sei. In solchen »Alchemistenküchen« mögen aus Zutaten wie Holzkohle und Pech oder Harz, Schwefel und Bitumen die ersten Brandsätze für »Feuerwaffen« gemischt worden sein, lange bevor der byzantinische Kriegsingenieur Kallinikos das »Griechische Feuer«, die gefürchtetste Waffe des Frühmittelalters, erfand. Vermutlich handelte es sich dabei ebenfalls um ein Gemisch aus Schwefel, Steinsalz, Harz und Naphta, dem man gebrannten Kalk zusetzte, damit sich der Brandsatz im Wasser selbst entzündete und nicht verlosch.

Aus bronzenen Druckpumpen gegen feindliche Schiffe geschleudert, setzten die Byzantiner die neue Waffe erstmals im Jahre 671 gegen die arabische Flotte ein. 941 stellten sich fünfzehn byzantinische »Feuerschiffe« im Vertrauen auf die Wirksamkeit ihres Waffensystems der aus mehr als zehntausend »Kähnen« bestehenden russischen Flotte des Fürsten Igor zum Kampf. Auch diesmal trugen sie den Sieg davon. Bemerkenswert erscheint, daß man bei Gebrauch dieser und ähnlicher Brandsätze den bei der Verbrennung entstehenden Gasdruck unbeachtet ließ und sich lediglich darum bemühte, ihre Brandwirkung zu erhöhen. Erst die Beimengung von Salpeter zu Schwefel und Holzkohle führte zum Schießpulver, leitete die Entwicklung von Feuerwaffen ein, die den Gasdruck nutzten und dem »Griechischen Feuer« weit überlegen waren. Daß damit zugleich eine neue Energieform als Antriebskraft entdeckt und genutzt wurde, erkannte keiner der Adepten der Alchemie.

Wenige Jahrzehnte, nachdem Berthold Schwarz, der »Pulvermönch«, die Explosivkraft des Schwarzpulvers entdeckt haben

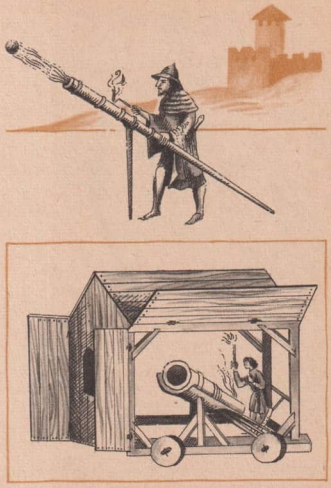


Blick in eine mittelalterliche Alchemistenküche (Kupferstich von Pieter Brueghel d. Ä.)



Schießpulverstampfe. Die Stößel zum Stampfen sind an federnden Hölzern aufgehängt (nach einem Wasserfarbenbild aus einer kriegstechnischen Bilderhandschrift um 1470).

und von der geistlichen Obrigkeit »wegen seiner Schwarzen Kunst vom Leben in den Tod befördert« worden sein soll, donnerten auf den europäischen Kriegsschauplätzen die ersten Kanonen Salut zum Untergang der in kunstvollen eisernen Rüstungen mit Lanze, Schwert und Schild kämpfenden Ritterschaft.



Oben: Mittelalterliche Lotbüchse mit Stützgabel. Ihre Zündung erfolgte mit einem glühenden Eisenhaken. Unten: Mittelalterliche Steinbüchse, zur Tarnung unter einem Schirmdach aufgestellt (nach Abbildungen in Konrad Kyeser von Eichstätt »Bellifortis«, 1405)

Steinbüchsen bringen Burgen und Mauern zu Fall

Die ältesten Abbildungen spätmittelalterlicher Feuerwaffen finden sich in der kriegstechnischen Bilderhandschaft »Bellifortis« aus dem Jahre 1405, die den Kriegsingenieur Konrad Kyeser von Eichstätt zum Verfasser hat. Die Miniaturen zeigen neben Streitwagen, Belagerungsmaschinen und anderem Kriegsgerät jene ersten »Steinbüchsen«, wie sie vermutlich König Ferdinand IV. von Kastilien im Jahre 1308 bei der Belagerung von Gibraltar einsetzte. Auch die auf einer Stütze ruhende »Lotbüchse«, ein Vorläufer der Handfeuerwaffen, ist abgebildet und beschrieben.

Zu den wenigen Geschützen, die aus jener Zeit erhalten geblieben sind, gehört die erst 1955 auf der Festung Königstein wiederentdeckte »Faule Magd«, gebaut um das Jahr 1410. Dieser Koloß von 4,5 m Länge, 2710 kg schwer, der auf massiven Rädern aus Eichenholz in Feuerstellung geschleppt werden konnte, schleuderte Steinkugeln von etwa 45 kg Gewicht über 500 m weit.



Gepanzerter »Stützbüchsenreiter«. Der Reiter hält eine Hakenbüchse im Anschlag. Die linke Hand stützt den Schaft der Waffe, die auf einem am Sattel befestigten Haken ruht, gegen den Brustpanzer. Die rechte Hand hält die brennende Lunte (nach einer Zeichnung um 1450).

Nur wenige Jahre jünger, aber fast fünfmal so schwer und von beträchtlich größerem Kaliber als die »Faule Magd« ist die »Tolle Grete« in Gent, ein Riesengeschütz, mit 325 kg schweren Kugeln geladen.

Die ersten sogenannten Steinbüchsen waren Stab-Ring-Konstruktionen, deren Flüge (Rohre) aus einem Bündel schmiedeeiserner Stäbe bestanden, die über einem Holzkern aneinandergefügt und durch eiserne Ringe ähnlich den Dauben eines Fasses zusammengehalten wurden. Riesengeschütze wie die »Tolle Grete« ruhten in Feuerstellung auf einer Holzbettung mit Rückstoßlagern aus Pfosten und Balken. Ihr Stellungswechsel erforderte deshalb erheblichen Aufwand an Zeit und Kraft. Ebenso umständlich waren das Laden und Schießen. Mit Schaufeln füllten die Stückknechte das Pulver in die Pulverkammer im hinteren Teil der Flüge und verschlossen sie mit einem Holzpflock. Auch die von vorn geladenen Steinkugeln wurden in den Flügen mit Holzkeilen festgeklemmt. Das Verkeilen erfolgte aus zweierlei Gründen, einmal, um die unterschiedliche Größe der Steinkugeln auszugleichen, vor allem aber, um dem sich langsam ausbreitenden Gasdruck Widerstand entgegenzusetzen und dadurch die Mündungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Gezündet wurde das Pulver anfänglich mit einem glühenden Eisenhaken, später mit der brennenden Lunte. Nach erfolgtem Abschuß mußte das Rohr gründlich ausgewaschen werden, damit keine glimmenden Pulverreste das neueinzufüllende Pulver vorzeitig entzündeten. Bei großen Steinbüchsen betrug die Feuerpause zwischen zwei Abschüssen oft mehr als zwei Stunden.

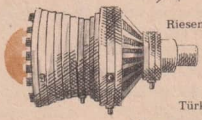
Um ein schnelleres Laden und Schießen zu ermöglichen, führten sich Anfang des 15. Jahrhunderts neben den Vorderladern die Hinterlader, Kammerbüchsen genannt, ein, bei denen der Flug mit einem Kammergehäuse verschweißt war, in das die Pulverkammern, die geladen bereitlagen, nur eingesetzt zu werden brauchten. Heute würden wir diesen Ladevorgang als Kassettenprinzip bezeichnen.

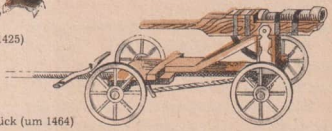
Für den Transport kleinerer Steinbüchsen gab es fahrbare Bockgestelle, Stückwagen und, wie die »Faule Magd« auf der Festung Königstein zeigt, auch hölzerne, von Pferden gezogene Lafetten. Um ein solches Geschütz samt Kugel- und Pulverwagen in Stellung zu bringen, mußten oft mehr als vierzig Pferde vorgespannt werden. Eine andere Methode, den Transport schwerer Geschütze zu erleichtern, bestand in der Entwicklung zweiteiliger Flüge, die getrennt transportiert und erst in der Feuerstellung miteinander verschraubt wurden. Ein solches türkisches »Schraubstück« aus dem Jahre 1464 (5,30 m lang, Kaliber 60 cm) steht im Tower zu London. Das 18 t schwere Geschütz, dessen Verschraubung Präzisionsarbeit voraussetzte, ist aus Bronze gegossen.

Die Rückbesinnung auf den jahrtausendealten Bronzeguß stellte im Geschützbau durchaus einen Fortschritt dar. In Verbindung mit der fast gleichzeitig erfolgten Ein-



Riesensteinbüchse (um 1425)



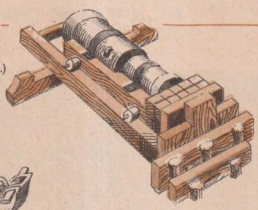


Türkisches Schraubstück (um 1464)

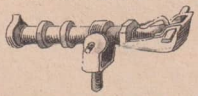


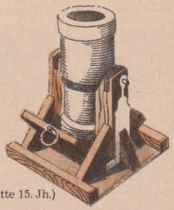
Kleine Steinbüchse auf Räderlafette (Mitte 15. Jh.)

Große Steinbüchse mit Rückstoßlager (Mitte 15. Jh.)

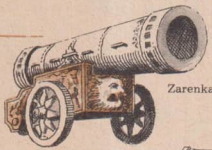


Kammerbüchse (15. Jh.)



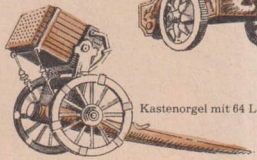


Mörser (Mitte 15. Jh.)

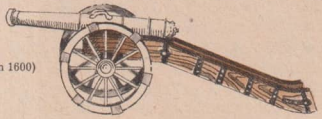


Zarenkanone (1586)

Sechspfünder (Kurbrandenburg um 1680)



Kastenorgel mit 64 Läufen (um 1600)



Geschütze des 15. bis 17. Jahrhunderts

führung gegossener Eisenkugeln und der Verwendung eines neuen, körnigen Pulvers wurden die Voraussetzungen für größere Maßhaltigkeit der Geschosse geschaffen, die es ermöglichte, die Vielzahl unterschiedlicher Kaliber zu verringern und die Kalibergrößen kleiner zu halten.

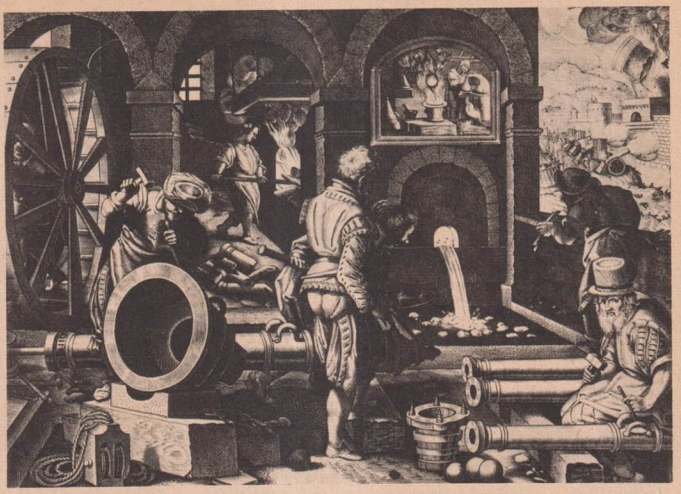
Von dem erfolgreichen Bemühen der Büchsenmeister um Geschützkonstruktionen mit erhöhter Feuerkraft zeugen die im 15. Jahrhundert aufgekommenen Orgelgeschütze oder Kastenorgeln, in Deutschland Totenorgeln genannt, die bis zu 64 neben- und übereinanderliegende Flüge aufwiesen, die einzeln, gruppenweise oder gleichzeitig abgefeuert werden konnten. In offener Feldschlacht eingesetzt, rissen die Orgelgeschütze verheerende Breschen in die Reihen der Ritterheere. Das galt ebenso für die Verwendung von Ketten-, Stangen- oder Traubenkugeln.

Die Fernwirkung der Geschütze gab letztlich den Anstoß dazu, die Kraft des Schießpulvers auch für kleinere, tragbare Waffen zu nutzen. Das Miniaturgeschütz wurde zum Handrohr, die »Lot-« und »Stangenbüchse« entwickelten sich zur »Hakenbüchse«, der Hauptverteidigungswaffe der Burgen und Städte. Die um 1540 erfolgte Einführung gezogener Flüge bzw. Läufe, die das Geschoß durch die drehende Bewegung stabilisierten und dadurch die Mündungsgeschwindigkeit, Schußgenauigkeit und Durchschlagskraft beträchtlich erhöhten, kam Geschützen und Handfeuerwaffen gleichermaßen zugute.

Welche Wirkung der Einsatz der Feuerwaffen auf die Menschen ausübte, hatte schon der große italienische Dichter Francesco Petrarca (1304—1374), von den ersten Geschützsalven der Weltgeschichte aus seinen Träumen aufgeschreckt, in bewegten Klageworten ausgedrückt: »Es ist ein grausam rasend' Ding zu großem Verderben der



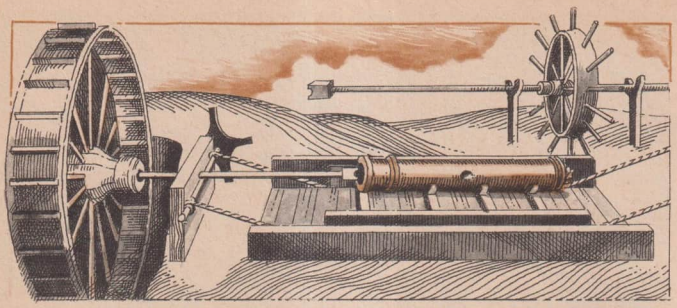
Große Steinbüchse auf der Festung Königstein, die »Faule Magd« genannt (erbaut um das Jahr 1410)



Geschützgießerei aus der 2. Hälfte des 16. Jahrhunderts. Links im Bild ein Tretrad zum Antrieb der Blasebälge, Hämmer und Bohrwerke, rechts Abstich des flüssigen Eisens und Ziselur der gegossenen Geschützrohre (Kupferstich von Philipp Galle nach Jan van der Straat, Stradano, »Nova reperta«, um 1570)

Land und Leute, Instrumente erfinden und aufrichten, damit man Feuer, Stein, bleierne und eiserne Kugeln in die Leut', Mauern, Städt' und Türme mit erschrecklichem Hall und Donner wirft, bis man sie fälle ... Der Teufel hat solche Erfindung aufgebracht und ist deren Urheber wahrlich ein schädlicher Mensch gewest, männiglich Schaden zuzufügen geneigt.« In weniger gewählten Worten wetterte später Martin Luther (1483–1546) in seinen Tischreden wider dieses »Werk des Teufels und der Hölle«, während Leonardo da Vinci, der selbst Kriegsmaschinen konstruierte, die neue Waffentechnik nicht an sich verteufelte, sondern ihren rücksichtslosen Einsatz durch die Heerführer eine »bestialische Tobsucht« nannte.

Die Militärtechnik des Spätmittelalters gibt aufschlußreiche Einblicke in Produktionsverfahren und Produktionsverhältnisse jener Epoche. Unmöglich, sich das Aufziehen der zentnerschweren Ringe auf die schmiedeeisernen Flüge einer Steinbüchse in einer landläufigen Waffenschmiede vorzustellen. Der »Büchsenmeister«, wie sich die Vertreter des neuen Gewerbes nannten, mußte über solide wissenschaftliche Kenntnisse und handwerkliche Fertigkeiten der verschiedensten Art verfügen, um die Arbeit der Grobschmiede, Schmiedegesellen und Zuschläger, die er beschäftigte, anzuleiten. Die Werkstatt mußte mit großen Herden, kräftigen Blasebälgen, mechanischen Hämmern und Hebezeugen ausgestattet sein, denen sich mit Einführung gezogener Läufe mechanische Geschützbohrwerke hinzugesellten. Als An-



Geschützbohrwerk, von Wasserkraft angetrieben (nach einer zeitgenössischen Abbildung um 1540)

triebskraft dienten ausschließlich Wasser- oder Treträder.

Großes handwerkliches Können erforderte auch der Guß der Riesengeschütze aus Bronze mit seinen zahlreichen Arbeitsgängen von der Herstellung der Form, der gleichzeitigen Schmelze beträchtlicher Kupfer- und Zinnmengen bis zum eigentlichen Guß. Außer Formern und Gießern, Schmieden, Ziseleuren, Zimmerleuten, Stellmachern und Mechanikern wurden immer mehr Gewerke in die Geschützherstellung einbezogen, entwickelte sich die Großwerkstatt zur Manufaktur. Ein anschauliches Beispiel für die Kunstfertigkeit der Bronzegießer, Ziseleure und der anderen beteiligten Gewerke bietet die im Jahre 1586 gegossene »Zarenkanone«, eine der vielen kulturhistorischen und künstlerischen Sehenswürdigkeiten im Moskauer Kreml. Mit einem Kaliber von 89 cm ist sie das größte erhaltene Bronzegeschütz. Zur Zeit ihrer Fertigstellung war jedoch die technologische Entwicklung bereits über sie hinweggeschritten, hatte in England die Serienherstellung gußeiserner Kanonen begonnen.

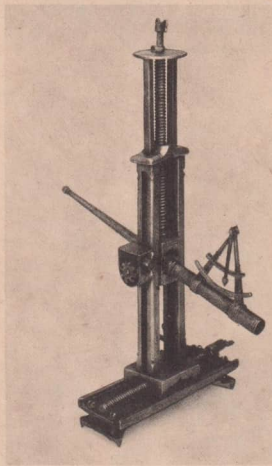
Nicht weniger aufschlußreich als der Blick in eine Großwerkstatt zur Herstellung von Feuerwaffen ist ein Blick in die Waffenarsenale der mittelalterlichen Städte. Im Zeughaus der Stadt Straßburg lagerten 1592 nicht weniger als 295 Geschütze und 967 Doppelhakenbüchsen. Als Munition für die Geschütze werden 372 dreißigpfündige Eisenkugeln und 28000 Dreipfünder, für die Handfeuerwaffen 2700 Schrot- und Hagelgeschosse angegeben. Die Bereitstellung derartiger Stückzahlen allein für eine Stadt bestätigt, daß die Waffenproduktion im 16. Jahrhundert längst den Charakter der Massenproduktion angenommen hatte. Der damit verbundene, ständig wachsende Werkstoffbedarf stimulierte seinerseits die Entwicklung im Bergbau und Hüttenwesen.

Die Erzförderung erfuhr eine geradezu sprunghafte Steigerung. Der herkömmliche Schacht- oder Stückofen gewann an Höhe und Fassungsvermögen, wurde zum Hochofen. Von oberschlächtigen Wasserrädern angetriebene Blasebälge ermöglichten eine verstärkte Luftzufuhr, erhöhten die Schmelztemperatur, beschleunigten den Schmelzvorgang und schufen damit die technologischen Grundlagen für den Bronze- und Eisenguß. Der Blick in ein Zeughaus wie das zu Straßburg läßt zugleich ahnen, was für riesige Geldsummen die Anschaffung, die Unterhaltung und der

Einsatz der Feuerwaffen verschlangen, wenn man bedenkt, daß eine Hakenbüchse etwa dem Gegenwert von sechs bis acht Kühen entsprach, eine große Steinbüchse dem einer vielhundertköpfigen Viehherde.

J. D. Bernal (1901–1971), ein bekannter britischer Wissenschaftler, schreibt in seinem Buch »Die Wissenschaft in der Geschichte«: »Nur reiche Republiken und von Kaufleuten gestützte Könige konnten über Metallvorräte verfügen und die technischen Kräfte bezahlen, die daraus Kanonen zu machen vermochten. Dadurch wurde die Unabhängigkeit des Landadels ebenso sicher zerstört wie ihre Burgen von Kanonenkugeln. Der Triumph des Schießpulvers war der Triumph des Nationalstaates und der Anfang vom Ende der Feudalordnung.«

Die Fernwirkung der Geschütze ließ nicht nur Burgen und Stadtmauern fallen.



Geschützaufsatz (Winkelmeßgerät) zum Richten des Geschützes, um 1490

Als Schiffsbestückung trugen die Fernwaffen auch dazu bei, die von der griechischen Mythologie an der Meerenge von Gibraltar errichteten Herkulessäulen zu Fall zu bringen.

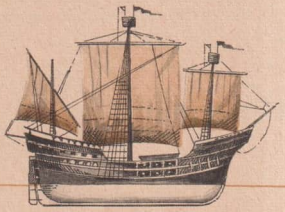
Kurs liegt an

Summiert man alles geographische Wissen von der Erde, das um das Jahr 1400 – hundert Jahre nach der Gründung der ersten Universitäten – in den Gelehrtenstuben Europas vorhanden war, offenbart sich ein betrübliches Ergebnis. Seit Beginn der Entdeckungsfahrten im Altertum war kaum mehr als der zehnte Teil (11,2 %) der Erdoberfläche in das Blickfeld der Wissenschaft gerückt. Von der Oberfläche der Kontinente überblickte man rund ein Fünftel (21 %), während die Ausdehnung der Ozeane und ihrer Nebenmeere kaum zu 7 % bekannt war.

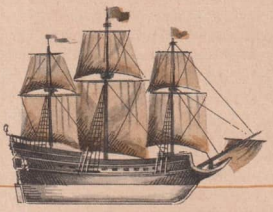
Dieses Mißverhältnis macht verständlich, daß es aussichtslos gewesen wäre, den Zeitgenossen der Jeanne d'Arc und des Francesco Petrarca zu erklären, die Erdoberfläche bestehe nur zu einem Drittel aus Festland, zu zwei Dritteln aber werde sie von den Weltmeeren bedeckt. Noch fehlten die wissenschaftlichen und praktischen Beweise, um zu klären, ob die Erde eine Scheibe sei, wie es die Bibel lehrte, oder eine Kugel, wie einige der griechischen Naturphilosophen behauptet hatten.

Dem Leser, der von den wagemutigen Entdeckungsfahrten der alten seefahrenden Völker gehört und ihre für die damalige Zeit bemerkenswerten Leistungen im Schiffbau bewundert hat, mag es noch ver-

Hansekogge (um 1470)



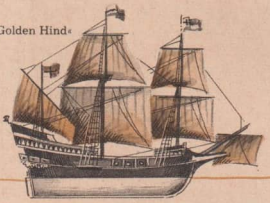
Karavelle



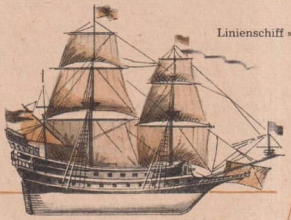
Karacke
»Jesus von Lübeck«
(um 1540)



Fregatte »Golden Hind«
(um 1570)



Linienschiff »La Couronné« (1636)



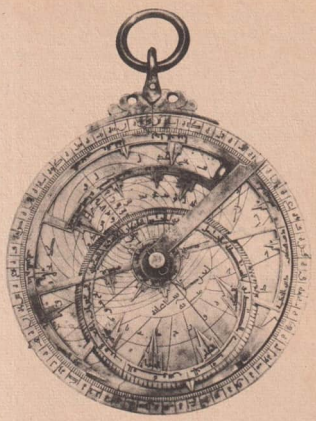


Von der Hansekogge zum Linienschiff

wunderlicher erscheinen, daß im Schiffbau der nachfolgenden Jahrhunderte keine grundlegenden konstruktiven Weiterentwicklungen zu verzeichnen waren. Der Einmaster und der Riemenantrieb, die Klinkerbauweise des Schiffskörpers und das Seitenruder bestimmten bis ins Spätmittelalter die Konstruktionsprinzipien. Nach wie vor waren die Seefahrer auf die von den antiken Nauten überkommenen Navigationsmittel angewiesen.

Trotz erweiterter Ware-Geld-Beziehungen nach Aufblühen der Städte und dem Erstarken des Bürgerturms, der Bildung von Zünften und Handelskompanien, also auf der Basis grundlegend veränderter sozialökonomischer Verhältnisse, verlief der Warenaustausch mit dem »Wunderland« Indien, aus dem Europa in wachsendem Umfang Rohstoffe, Fertigwaren und Spezereien bezog, auf den altbewährten Handelswegen zu Lande und in Küstennähe. Das Vordringen des Islams in den Mittelmeerraum, vor allem aber die Eroberung Konstantinopels durch die Türken (1453) und die damit verbundene Sperrung der Handelswege zwischen Europa und Asien brachten folglich den eingespielten Transithandel jäh zum Erliegen, ließen die Hol- und Bringeplätze veröden. Also galt es, unter erschwerten Bedingungen neue Seewege zu den überseeischen Rohstoffquellen und Absatzmärkten, Goldländern und Gewürzinseln zu finden.

Die Forderung nach leistungsfähigeren Hochseeschiffen und zuverlässigeren Navigationsmitteln rückte unüberhörbar auf die Tagesordnung. Die Antwort der Schiffbaumeister blieb nicht aus. Der neue Schiffstyp, der für das Zeitalter der großen geographischen Entdeckungen charakteristisch werden sollte, war der zuerst in Spanien und Portugal gebaute »Kravell«, später Karavelle genannt. Ein Schiff mit verfugt aneinandergesetzten Planken und drehbarem Heckruder ausgerüstet, zwei- oder dreimastig mit Segeln getakelt, das schneller, manövrierfähiger und damit seetüchtiger war als die gedrungenen, schwergebauten Kauffahrteischiffe des Mittelalters. Ihre Bestückung mit Schiffsgeschützen und Hakenbüchsen löste Rammsporn und Enterbrücke ab.

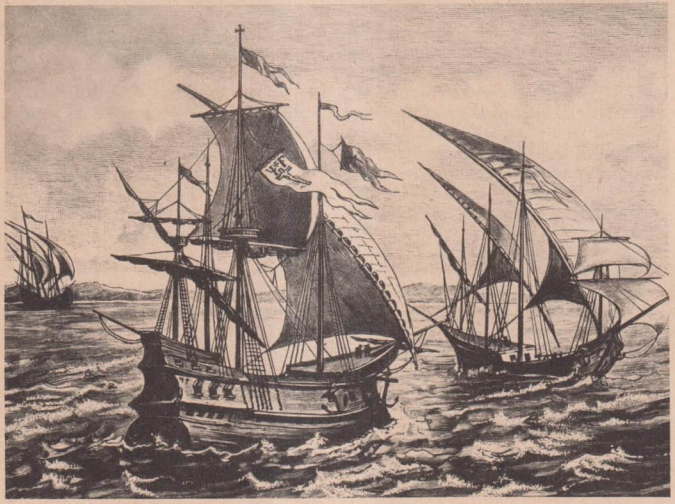


Die Überlieferung führt dieses Astrolabium (Winkelmeßgerät) auf die Zeit Karls des Großen, also in das 9. Jahrhundert, zurück.

Von gleicher Wichtigkeit war, der neuen Generation tatendurstiger Entdeckerkapitäne navigatorische Hilfsmittel in die Hand zu geben, die es ihnen ermöglichten, die Position und den Kurs der Schiffe auf hoher See und in unbekannten Gewässern sicherer als bisher zu bestimmen. Schon um das Jahr 1300 begann man in Italien, wo Venedig, Genua und Pisa Hauptumschlagplätze für den Orienthandel bildeten, die alten Segelanweisungen durch Seekarten, die sogenannten Portplane, zu ersetzen. Die Kurs- und Breitenbestimmung mit Hilfe der Gestirne setzten zuverlässige astronautische Kenntnisse, neue Methoden der messenden Geographie und die Entwicklung von Instrumenten voraus, die an Bord von Schiffen verwendet werden konnten. Dem Gno-

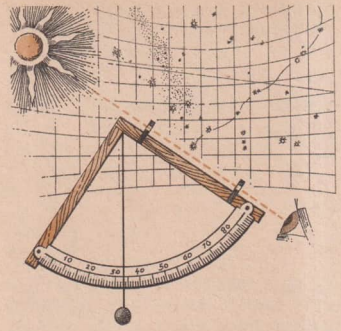
mon – als Schattenstab einer der ältesten Zeitmeßinstrumente – und dem Jakobsstab zur Bestimmung der geographischen Breite gesellte sich das vermutlich von Ptolemäus erfundene, von den Arabern weiterentwickelte nautische Astrolabium hinzu. Zu den ältesten und schönsten Astrolabien, die in den Weltverzeichnissen geführt werden, gehört ein tellergroßes Astrolabium aus vergoldetem Messing mit antiken arabischen, lateinischen und gallischen Lettern, hergestellt zur Zeit Karls des Großen (9. Jahrhundert), das im Institut und Museum für Geschichte der Wissenschaft in Florenz aufbewahrt wird. Es handelte sich dabei um ein kompliziertes feinmechanisches Gerät zur Bestimmung der Sternenhöhe, das als Vorläufer des Sextanten noch Anfang des 18. Jahrhunderts zu den Prüfungsarbeiten künftiger Meister des wissenschaftlichen Instrumentenbaues gehörte.

Ein einfacheres, aber nicht weniger kunstvoll ausgeführtes Instrument zur Breitenbestimmung war der nautische Quadrant. Auf einem Viertelkreis mit einer Skale von 1° bis 90° versehen, wurde mittels eines drehbaren Stabes der Polarstern anvisiert. Ein an diesem Stab befestigtes Fadenblei ließ sodann die Gradzahl dort ablesen, wo der Faden die Skale schnitt. Das



Die Schiffe des Kolumbus und ihre Maße:

	»Santa Maria«	»Pinta«	»Nina«
Länge	23 m	20,1 m	17,5 m
Breite	6,7 m	7,28 m	5,6 m
Tiefgang	2,8 m	2,08 m	1,9 m
Wasserverdrängung	237 t	167,4 t	101,24 t
Besatzung	90 Mann	65 Mann	40 Mann



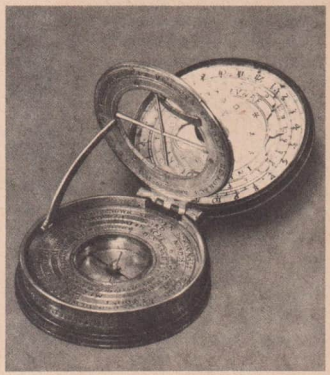
Quadrant zur Bestimmung der geographischen Breite (Prinzipskizze)

Problem der geographischen Längenbestimmung fand erst Ende des 16. Jahrhunderts eine befriedigende Lösung, nachdem die sphärische Trigonometrie die mathematischen Grundlagen dafür geschaffen hatte. Zum gebräuchlichsten Navigationsinstrument der Seefahrer des Entdeckungszeitalters aber wurde die »Bussole«, der Kompaß, der die Nord-Süd-Richtung anzeigte.

Erdmagnetismus und Magneteisenstein waren schon lange vor der Zeitrechnung bekannt. Aus dem 3. Jahrhundert v. u. Z. datieren erste Hinweise auf den Gebrauch des Kompasses in China, wo man ihn »Tschinnen-kin«, Andeuter des Südens, nannte. Bei ihren Karawanenzügen durch die weiten Steppengebiete des Landes benutzten die Chinesen zur Orientierung einen Karren, auf dem sich eine drehbare Figur befand, die mit ausgestrecktem Arm nach Süden zeigte. Als Beweisstück gilt eine bei Ausgrabungen gefundene Kupferplatte mit Gradangaben, über der sich vermutlich ein natürlicher Magneteisenstein, in Form eines Löffels zugeschliffen, als Richtungsweiser bewegte.

Wie zahlreiche andere technische Erfindungen und naturwissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Fernen Osten, von den Arabern als Mittlern nach Europa gebracht, wird der Kompaß als »Seeweiser« erstmals gegen Ende des 12. Jahrhunderts erwähnt. Anfänglich bestand er aus einem mit Wasser gefüllten Gefäß, in dem ein Stück Holz oder Kork mit der darauf befestigten Magnetnadel schwamm. Um das Ablesen zu erleichtern, wurde Anfang des 14. Jahrhunderts unter der nunmehr in einem Gehäuse gelagerten Magnetnadel eine Kompaßrose (Windrose) mit 16 Teilstrichen angebracht und im 16. Jahrhundert auf 32 Teilstriche erweitert. Selbst die sogenannte kardanische Aufhängung des Seekompasses zum Ausgleich des Wellenganges soll damals schon bekannt gewesen sein. Fast gleichzeitig mit der Verwendung des Kompasses als »Seeweiser« führte er sich zur Orientierung unter Tage im europäischen Bergbau ein.

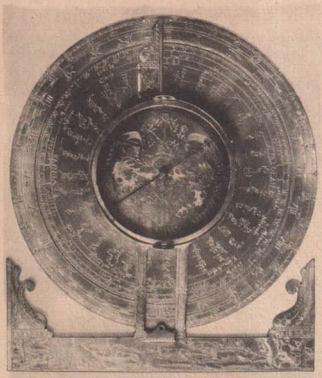
Karl Marx nannte den Kompaß – neben der Erfindung des Schießpulvers, des Buchdruckes und der Uhr – eine der wichtigsten Erfindungen des Spätmittelalters. Damit unterstrich er die Bedeutung der Wechsel-



Kompaß von Ulrich Schniep, Uhr- und Instrumentenmacher in München um 1555

beziehungen, die sich aus dem anwachsenden Schiffsverkehr auf den offenen Meeren und dem Beginn des Zeitalters der großen geographischen Entdeckungen für alle Bereiche der materiellen Produktion und des geistigen Lebens ergaben. Hatte die Kirche die Kreuzfahrer noch auf Galeeren zur Eroberung des »Heiligen Landes« ausgesandt, so schickten Kaiser und Könige des Spätmittelalters, unterstützt vom Handelskapital, Männer wie Kolumbus, Vasco da Gama oder Magalhães an Bord seetüchtiger Karavellen, ausgestattet mit Jakobsstab und Kompaß, Segelhandbüchern und Seekarten, auf die Reise in unbekannte Fernen, um neue Welten zu entdecken und mit Hilfe der Feuerwaffen für ihre Auftraggeber in Besitz zu nehmen.

Daß die Kunde von den abenteuerlichen Fahrten zu den neuentdeckten Ländern in Übersee, die den endgültigen Beweis für die Kugelgestalt der Erde erbrachten, sich so rasch über Europa verbreiten konnte, war einer dritten Erfindung zu danken – der »Schwarzen Kunst«, dem Buchdruck.



Auftragsbussole aus der Werkstatt von Erasmus Habermel, astronomischer Instrumentenmacher am Hofe Kaiser Rudolfs II. in Prag um 1585

»Schwarze Kunst« ist keine Magie

Als um das Jahr 1445 in Mainz ein in deutscher Sprache abgefaßtes »Andachtsblatt über das Weltgericht« erschien, sah man ihm nicht an, daß es nach einem neuen Druckverfahren hergestellt war, erfunden von einem gewissen Johannes Gensfleisch zum Gutenberg (1394–1468). Weitere kleine Schriften, so eine damals beliebte lateinische Schulgrammatik, Ablaßbriefe und verschiedene Kalender, folgten. Mit ihnen wollte Gutenberg die Leistungsfähigkeit seines neuen Druckverfahrens erproben, ohne es vorzeitig der Öffentlichkeit bekanntzugeben. Da es in damaliger Zeit noch keinen Erfinderschutz, keine Patentrechte, gab, pflegten die Jünger der »Schwarzen Kunst« gleich den Alchemisten ihre Berufsgeheimnisse ängstlich zu hüten.

Der Buchdruck basierte zu Zeiten Gutenbergs, dessen Lebensumstände wenig erhellt sind, bereits auf jahrhundertelangen Erfahrungen. Auch waren die wichtigsten materiell-technischen Erfindungen, wie Papier, Druckerschwärze, Block- und Letterndruckverfahren einschließlich Druckpresse, vorausgegangen. Die Herstellung von Papier aus Pflanzenbasten, besonders der Rinde des Maulbeerbaumes, und aus Baumwolle, später aus Abfällen von Gewebe und Gespinsten, Hadern und Lumpen, hatten die Araber von den Chinesen übernommen und um die Mitte des 8. Jahrhunderts mit dem Siegeszug des Islams nach Europa gebracht. Da sich die Kunst des Le-

sens und des Schreibens fast ausschließlich auf die Geistlichkeit und die Klöster beschränkte, war der Papierbedarf gering, stand das teure Pergament als Beschreibstoff ausreichend zur Verfügung. Aber schon bald nach Gründung der ersten europäischen Universitäten stieg der Bedarf an billigem Papier, gesellten sich den von Wasserkraft betriebenen Mühlen verschiedener Art, zu denen auch die Pulvermühlen gehörten, Papiermühlen hinzu.

Die Tusche, eine weitere wichtige Voraussetzung für den Buchdruck, dürfte ebenfalls eine chinesische Erfindung sein. Es ist deshalb kein Zufall, wenn die ältesten, im 8. Jahrhundert angefertigten Blockdrucke, bei denen die Schriftzeichen seitenverkehrt in Holztafeln geschnitten oder in Kupfer- oder Steinplatten eingearbeitet wurden, aus den Ländern des Fernen Ostens, aus China, Japan und Korea, stammen. Selbst bewegliche Lettern, aus Ton geformt und gebrannt, später aus Holz geschnitten und schließlich aus Kupfer, Zinn oder Bronze gegossen, wurden im 12./13. Jahrhundert im Buchdruck der fernöstlichen Länder gebräuchlich.

Der Blockdruck ersparte zwar die mühevolle Schreibarbeit mit Tuschpinsel oder Gänsekiel und ermöglichte die Herstellung einer größeren Anzahl von Abzügen, trotzdem löste er nur eine Seite des Vervielfältigungsproblems. Die Herstellung der Druckplatten oder die Einzelanfertigung der Lettern erforderten einen kaum geringeren Zeitaufwand als die Anfertigung einer handgeschriebenen Kopie. Gutenberg, der die Buchstaben als Grundbausteine des Schriftbildes betrachtete, strebte deshalb danach, den gesamten Vervielfältigungsvorgang zu mechanisieren, wirtschaftlicher zu gestalten.

Als Goldschmied mit den Techniken des Stempelschneidens, des Gravierens, Prägens und Metallgießens vertraut, entwickelte Gutenberg zunächst ein neues Verfahren des Letterngusses unter Verwendung von Patrize und Matrize, das es ermöglichte, die der Handschrift nachgebildeten Lettern maßgerecht und in beliebiger Menge herzustellen. Dabei begnügte er sich nicht damit, die 25 Groß- und Kleinbuchstaben des Alphabetes neu zu schaffen, sondern er stellte nahezu dreihundert Buchstabenbilder unterschiedlicher Form und Größe her. In Verbindung damit erfand er ein geeignetes Letternmaterial, das aus einer Legierung von Blei, Zinn und Antimon bestand, und konstruierte ein brauchbares Handgießgerät. Die damit gegossenen Lettern wiesen Vorsprünge und Nuten auf, um sie im Winkelhaken, in Schienen und Schließrahmen zu Textteilen zusammensetzen und festhalten zu können.

Eine weitere Erfindung Gutenbergs war eine neue, ölhaltige Druckerschwärze, die ein zweiseitiges Bedrucken der Bogen ermöglichte. Weitaus schwieriger war es für den gelernten Goldschmied, die gebräuchliche hölzerne Spindelpresse so umzubauen,



Johannes Gensfleisch zum Gutenberg (1394—1468), Erfinder des Buchdruckes mit gegossenen beweglichen Lettern

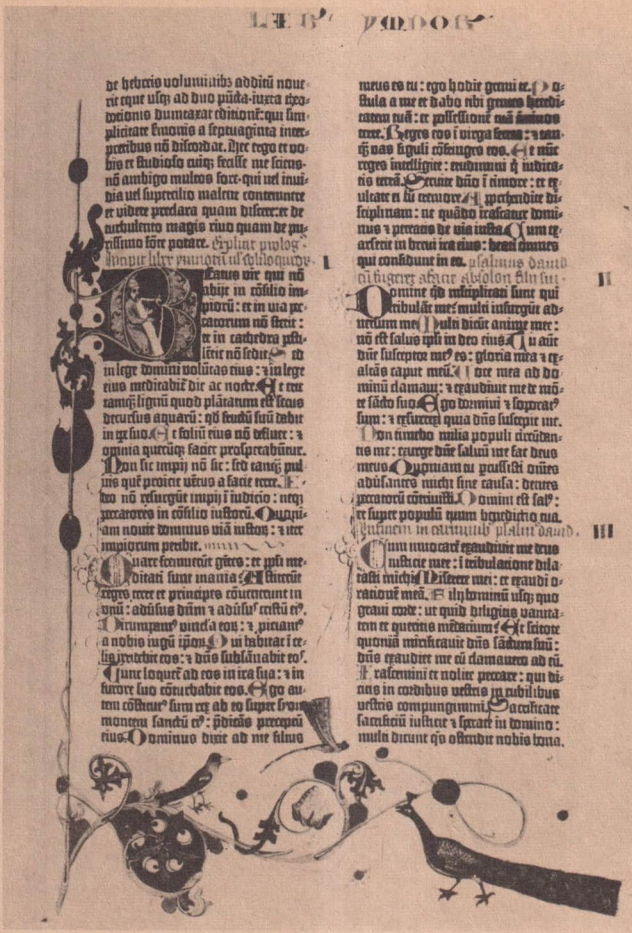
daß die schwere Druckform mit den Matrizen mechanisch unter die Presse geschoben werden konnte. Auch der Schriftsatz warf knifflige, bislang unbekannte und deshalb ungelöste Probleme auf. Abgesehen davon, daß sich die beweglichen Lettern allen Wortverbindungen harmonisch einfügen mußten, galt es, das spätere Einbringen von Initialen und Illustrationen zu berücksichtigen.

Die aufwendigen Vorarbeiten und die Einrichtung einer Druckerei, die den Anforderungen der neuentwickelten Drucktechnik entsprach, überstiegen bei weitem Gutenbergs finanzielle Mittel. Wohl oder übel sah er sich genötigt, bei dem reichen Mainzer Patrizier Johann Fust einen Kredit in Höhe von 1600 Gulden aufzunehmen, der es ihm ermöglichte, 1450 mit den Vorbereitungen zu seinem bedeutendsten Werk zu beginnen, dessen Satz und Druck fast fünf Jahre beanspruchte. Gemeint ist die in lateinischer Sprache gedruckte Bibel, zwei Foliobände mit insgesamt 1282 Seiten, jede Seite zweispaltig mit je 42 Zeilen gesetzt. Wie spätere Nachrechnungen ergaben, mußten Gutenbergs Gesellen dafür etwa drei Millionen Lettern gießen. Gedruckt wurden vermutlich 185 bis 200 Exemplare, davon 35 Exemplare auf Pergament, der größere Teil auf Papier. Die »Gutenbergbibel« gilt als ein Meisterwerk, dessen Satz, Druck und buchkünstlerische Gestaltung bis heute unübertroffen sind.

Bevor noch die Bibel ausgedruckt war, Gutenberg währenddessen aber schon mit den langwierigen Vorbereitungen zum dreifarbigen Druck des »Psaltarium Moguntium« begonnen hatte, forderte Fust den Meister vor die Schranken des Mainzer Schuldgerichtes. Angeklagt, die Zinsen für den aufgenommenen Kredit nicht pünktlich gezahlt zu haben, wurde Gutenberg dazu verurteilt, seine Werkstatt samt Inventar an Fust zu übergeben, der sie mit seinem Schwiegersohn Peter Schöffer – Gutenbergs ehemaligem, in alle Geheimnisse des Buchdruckes eingeweihtem Meisterschüler – gewerbsmäßig weiterführte. Unter deren Namen erschien das »Psaltarium« mit dem nachträglich eingefügten Schlußwort: »Durch die künstliche Erfindung des Druckens und der Typenbildung, ohne einen Gebrauch der Feder ist dieses Werk so hergestellt und zu Gottes Ehre mit Fleiß vollendet durch Johann Fust, Bürger zu Mainz, und Peter Schöffer aus Gernsheim im Jahre des Herrn 1457 am Himmelfahrtsabend.« Die Verdienste Gutenbergs fanden in dem anmaßenden Epilog mit keinem Wort Erwähnung, wurden bewußt verfälscht, verschwiegen. Fust und Schöffer brachten Gutenberg damit nicht allein um die ihm gebührende Anerkennung als Erfinder, sie betrogen ihn auch um das finanzielle Äquivalent seiner Erfindung. Dieser erste historisch belegbare Fall des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Erfinder und Geldgeber bietet ein geradezu »klassisches Beispiel« für eine der dunkelsten Seiten der Technikgeschichte, das sich späterhin unter kapitalistischen Verhältnissen hundertfach wiederholte.

Gutenberg, der sich nach diesem Rückschlag keine neue Existenz aufzubauen vermochte, fand vorübergehend in einer kleinen Mainzer Druckwerkstatt Unterkommen und ging bald darauf wegen seiner Opposition gegen den von Kaiser und Papst neueingesetzten Erzbischof außer Landes. Erst 1465 kehrte er in seine Heimatstadt zurück. Gustav Adolf, Graf von Nassau, der von Gutenbergs Schicksal erfahren hatte und die Bedeutung seiner Erfindung zu ahnen schien, ernannte Gutenberg zum »Hofkavalier«. Ferner ließ er ihm als eine Art Altersrente jährlich 20 Malter Korn und 2 Fuder Wein aussetzen, ein Almosen für einen verarmten, von Gott und aller Welt enttäuschten genialen Erfinder.

Vergebens verschrie die Geistlichkeit, die um das Dogma der Kirche bangte, geifernd unterstützt von schreibbeflissenen Mönchen, die eine Schmälerung ihrer Einkünfte fürchteten, die ersten gedruckten Bücher – Inkunabeln oder Wiegendrucke genannt –



Buchseite der 42zeiligen Gutenbergbibel, einem Meisterwerk der Buchdruckerkunst

als Teufelswerk wie Schießpulver und Kompaß. Dabei verstiegen sie sich zu der infamen Behauptung, die auf den Titelseiten und als Initialen gedruckten roten Buchstaben seien mit Menschenblut geschrieben. Dennoch fand kaum eine andere technische Erfindung des Spätmittelalters innerhalb kürzester Zeit eine so rasche und weite Verbreitung wie der Buchdruck. Der Hunger nach Büchern, nach Wissen war grenzenlos. Konstruktive Verbesserungen der Gutenbergschen Erfindungen ermöglichten es, bis Ende des 15. Jahrhunderts die tägliche Druckleistung je Presse auf 1500 Folioseiten zu steigern. Knapp fünfzig Jahre nach Erscheinen der Gutenbergbibel arbeiteten allein in Mainz 9 Druckereien, zählte Deutschland 60, Europa insgesamt 260 Druckorte. Die Zahl der bis dahin gedruckten Werke wird auf weit über 30 000 Bücher mit einer Gesamtauflage von 8 Millionen Exemplaren geschätzt. Hinzu kommen rund 10 000 Einblatt- und Kleindrucke.

Daß sich unter den Wiegendrucken Werke wie das kriegstechnische Maschinenbuch »De re militari« von Roberto Valturio (Verona 1472) oder »De architectura« von Vitruvius (Rom 1487) befanden, beweist, welcher Stellenwert dem Buch für den technischen Fortschritt und damit der Entwicklung der Produktivkräfte zukommt. Erfolgte vor der Verbreitung des Buchdruckes die Weitergabe der Produktionserfahrungen vom Meister zum Lehrling und Gesellen, von einer Generation zur nachfolgenden Generation, wurden sie fortan durch das gedruckte Buch in Wort und Bild erläutert, schneller und zuverlässiger einem unvergleichlich größeren Interessentenkreis als jemals zuvor weitervermittelt.

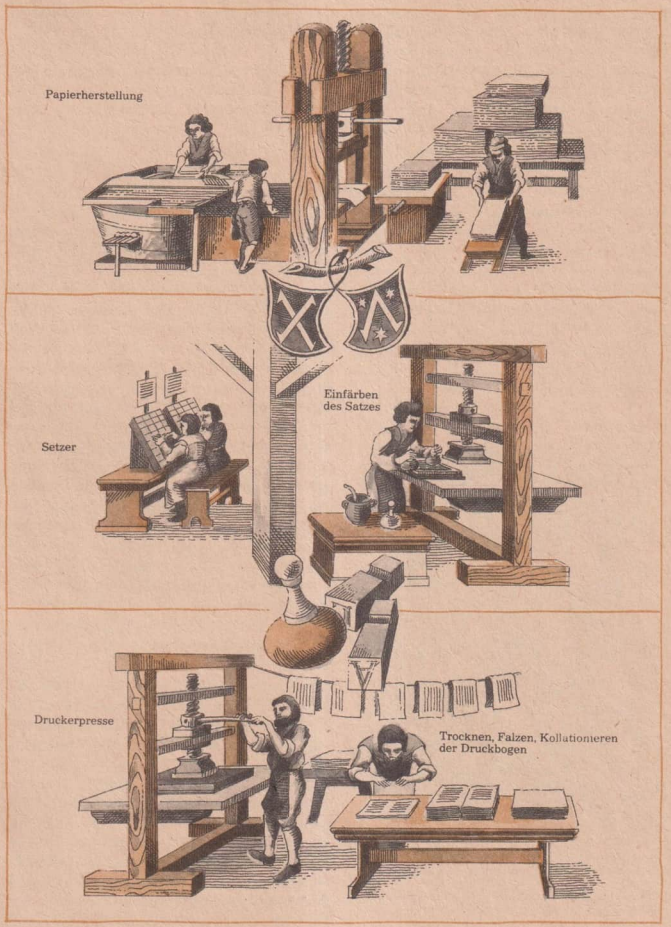


Älteste bekannte Darstellung einer Druckerstube. Links im Bild der Setzer, der Drucker an der Presse, ein anderer bereitet die Bürsten vor (Holzschnitt aus dem »Lyoner Totentanz«, 1499).

Das gleiche gilt für die Weiterverbreitung philosophischer Anschauungen und naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Als Beispiel dafür sei die berühmte, in deutscher Sprache verfaßte »Weltchronik« von Hermann Schedel aus dem Jahre 1493 genannt, ausgestattet mit nahezu 2000 Holzschnitten von Michael Wohlgemuth, dem Lehrer Albrecht Dürers, gedruckt von Anton Koberger in Nürnberg, dem Paten Dürers. In der Druckerei Koberger, der als »Fürst der Buchhändler« galt, arbeiteten an 24 Pressen über hundert Gesellen. Als Betätigungsfeld reicher Patrizier ermöglichte es der Buchdruck, die Ideen des aufstrebenden Bürgertums, formuliert in den Schriften der Humanisten, allgemein bekanntzumachen und damit Einfluß auf die gesellschaftliche Entwicklung auszuüben.

In Würdigung der Verdienste Gutenbergs wird oft übersehen, daß er mit seinem Druckverfahren zugleich den Grundstein zum Zeitungswesen, zur aktuellen Information der Öffentlichkeit über zeitgeschichtliche Ereignisse in Form von Flugschriften und Fliegenden Blättern gelegt hat. Die Nachrichten über die Entdeckung neuer Länder und Völkerschaften gingen als Einblattdrucke ebenso von Hand zu Hand wie die Flugschriften der frühbürgerlichen Revolutionäre, deren Ideen in der Reformation und im Großen Deutschen Bauernkrieg ihre Höhepunkte fanden.

Für die Entwicklung der Produktionsverhältnisse erscheint noch ein weiterer Gesichtspunkt bemerkenswert: Wie das Geschützwesen drängte der Buchdruck über die engen Grenzen des herkömmlichen



Der Buchdruck förderte gleichermaßen die Spezialisierung wie die Arbeitsteilung.

Werkstattbetriebes mit Meister, Geselle und Lehrling hinaus. Eine Produktionsstätte wie die des Anton Koberger erforderte die Spezialisierung und Arbeitsteilung in den Bereichen der Papierherstellung und Schriftgießerei, die präzis abgestimmte Aufeinanderfolge der einzelnen Arbeitsgänge wie Drucksatz (Setzer), Einfärben des Satzes, Auflegen des Papiers, Ein- und Ausfahren des Wagens (Drucker), Feuchten, Trocknen, Falzen, Kollationieren der Bogen bis hin zum Binden des Buches.

Dreieinhalb Jahrhunderte lang, bis zur Erfindung des Holzschliffpapiers, der Setzmaschine und Schnellpresse, verlief der Buch- und Zeitungsdruck in den von Gutenberg vorgezeichneten Bahnen. Von den vier Erfindungen, die Karl Marx die folgenreichsten des Spätmittelalters nannte, bleibt uns nur eine noch zu nennen – die Uhr.

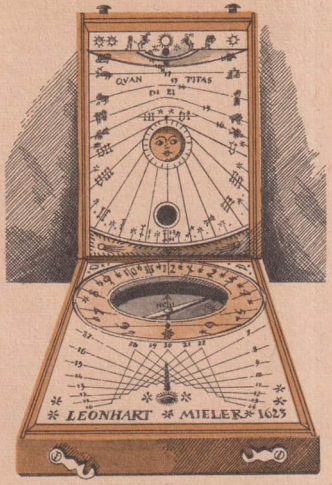


Französische Druckerstube im 16. Jahrhundert (aus A. Claudin »Histoire de l'imprimerie en France«)

Zeit nach Maß

Die Historie weiß aus längst vergangenen Zeiten von einem Benediktinermönch Augustin zu berichten, dessen Amt es war, früh drei Uhr das Klosterglöckchen zu läuten, das die Mönche zum Gebet, die Klosterbauern zur Arbeit rief. Den Zeitablauf pflegte Augustin nach dem Buch der Psalmen zu bemessen. Bei Sonnenuntergang begann er mit der Lektüre, und wenn er zu den Worten kam »Singt Jehova, meine Lieben . . .«, eilte er flugs zum Turm, um den Glockenstrang zu ziehen. Exakt drei Uhr war es nie, weil die Zeit des Sonnenauf- und -unterganges täglich eine andere ist und Pater Augustin einmal schneller, einmal langsamer las. Hatte er zuweilen tiefer in das Glas geschaut, als es einem frommen Mönchlein geziemte, schlief er über den Psalmen ein und erwachte mit beträchtlicher Verspätung. Anfänglich glaubten die Klosterbrüder, die Sonne sei wunderbarerweise mitten in der Nacht aufgestiegen, wenn Pater Augustin am späten Morgen das Läuten eilig nachholte. Bald aber fanden die Dorfleute heraus, daß der Hahnenschrei und die große »Himmelsuhr«, die Sonne, die Tageszeit zuverlässiger anzeigten als die »Leseuhr« des trinkfreudigen Augustin.

Bis ins 13. Jahrhundert bildeten Sonnen-, Wasser- und Sanduhren, Kerzen- und Öluhren die einzigen Zeitmesser, die den Menschen zur Verfügung standen. Welche kunstvollen Mechanismen die antiken Wasseruhren darstellten, zeigte die Wasseruhr des Ktesibios. Prächtiger noch waren die Wasseruhren gestaltet, die im Frühmittelalter arabische Mechaniker für die Großen



Zusammenklappbare Horizontalsonnenuhr mit Kompaß von Leonhard Mieler, 1623

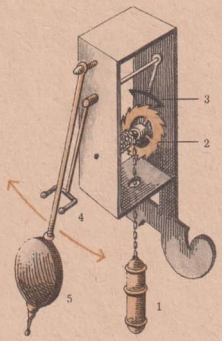
ihrer Reiche schufen. Gleichviel, ob die Wasseruhr nur aus einem einfachen Auslaufgefäß bestand oder, reich mit Gold und Edelsteinen besetzt, ein ganzes Figurenensemble in Bewegung hielt: Tragbar waren die Wasseruhren nicht.

Einer der ersten tragbaren Zeitmesser dürfte die indische Stockuhr gewesen sein, ein Schattenstab mit waagerecht angebrachtem Griff, der, in die Erde gesteckt, seinen Schatten rechtwinklig auf den mit Kerben versehenen Stock warf. Die Einkerbungen entsprachen dem später aufkommenden Zifferblatt. Größeres handwerkliches Geschick erforderte die Anfertigung zusammenklappbarer Taschensonnenuhren, die man auf Reisen bequem mit sich führen konnte. Ein kleiner, im Gehäuse angebrachter Kompaß ermöglichte es, die Taschensonnenuhr auf die geographische Breite des jeweiligen Standortes einzustellen. Die Tragbarkeit hob jedoch den allen Sonnenuhren anhaftenden Nachteil nicht auf: Sie können, wie ihr Name sagt, nur dann nach der Zeit befragt werden, wenn die Sonne scheint.

Erst Anfang des 14. Jahrhunderts kamen in Europa die mechanischen Gewichtsräderuhren auf, bei denen Zuggewichte über ein Räderwerk (im Grundprinzip einer leichteren Form des Mühlengetriebes) die Welle mit dem Stundenzeiger antreiben. Die auf den Ablauf der Zuggewichte einwirkende Erdbeschleunigung hatte zur Folge, daß sich die Antriebswelle zunächst relativ langsam, dann immer schneller drehte und die Stundenlänge erhebliche Differenzen aufwies. Die erste grundlegende Erfindung zur Regulierung der Ganggenauigkeit von Räderuhren war die Waag (von Waage), ein drehbarer Balken, der als Spindelhemmung wirkte und so eine annähernd gleich lange Stundenanzeige ermöglichte. Eine der ältesten deutschen Räderuhren dieser Art zeigte bereits im Jahre 1304 den Mönchen des Klosters Sankt Peter in Erfurt an, was die Stunde geschlagen hat.

Große Gewichtsräderuhren, mit Schlagwerken und Automaten verbunden, krönen die Technik des späten Mittelalters. So wird bereits im Jahre 1324 eine astronomische Uhr mit Planetarium in der Abtei Saint Albanus (England) erwähnt. Die astronomische Uhr des Straßburger Münsters, zu der auch Gutenberg nach seiner Flucht aus Mainz aufblickte, wurde 1352/53 von einem bis heute unbekannten Meister geschaffen. Mit ihren mächtigen Räderwerken und schweren Zuggewichten blieb der Einbau von Gewichtsräderuhren auf die Türme großer Kirchen, von Schloß- und Rathausbauten beschränkt.

Die wichtigste Voraussetzung für die Herstellung kleinerer und transportabler Räderuhren war die Erfindung des Federantriebs, die einem Holländer namens Arnold (um 1427) zugeschrieben wird. Das Funktionsprinzip ist allgemein bekannt:

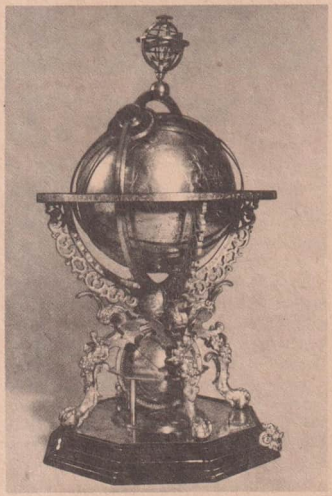


Pendelhemmung von Huygens (1 Gewicht, 2 Hemmrad, 3 Anker, 4 Gabel, 5 Pendel)

Die durch Aufziehen mit einem Schlüssel in der Spiralfeder gespeicherte Kraft wird relativ kontinuierlich wieder abgegeben und hält die Uhr ebenso in Gang wie die Zuggewichte. Die seit Anfang des 15. Jahrhunderts gefertigten Tischuhren mit Federantrieb stellten an das handwerkliche Können der Kleinschlosser und Mechaniker, in deren Händen der Uhrenbau lag, bevor die »Orelmacher« eigene Zünfte bildeten, höhere Anforderungen als der Bau einer einfachen Turmuhr mit ihrem vergleichsweise »groben« Räder- und Wellenwerk. Die Tischuhren waren nicht nur kleiner, sondern wiesen auch eine größere Anzahl ineinandergreifender und aufeinander abzustimmender Einzelteile und Baugruppen auf. Vor allem kam es darauf an, ein neues Prinzip der Spindelhemmung zur Regulierung der Ganggenauigkeit zu entwickeln.

Viele findige Köpfe und kunstfertige Meister trugen ihren Teil dazu bei, mit der tragbaren Kleinuhr einen zuverlässigen Zeitmesser für jedermann zu schaffen. Aus ihrer Mitte ragt einer besonders heraus: Peter Henlein, der Schlossermeister aus Nürnberg, dem unbestreitbar das Verdienst gebührt, die erste funktionstüchtige Taschenuhr geschaffen zu haben. Henleins Kindheit, Jugend und Lehre liegen ebenso im dunkel wie die seines Vorgängers Gutenberg. Vermutlich um 1480 geboren, wurde er 1509 als Meister in die Zunft der Schlosser zu Nürnberg aufgenommen. Die Freie Reichsstadt Nürnberg galt zu jener Zeit als bedeutender Handelsplatz, war weithin bekannt durch Künstler wie Albrecht Dürer, Veit Stoß, Peter Vischer und Hans Sachs, war berühmt durch seine Druckerzeugnisse, Erd- und Himmelskarten, die ersten Erdgloben, astronomischen Instrumente und Feldmeßgeräte.

Die eigentliche Leistung Henleins bestand darin, daß er das komplizierte Problem der Gangregulierung löste, indem er den Waagarm durch die von ihm erfundene



Globusuhr mit Armillarsphäre von I. Reinhold und G. Roll in Augsburg, 1586, ein Meisterwerk feinmechanischer Präzisionsarbeit

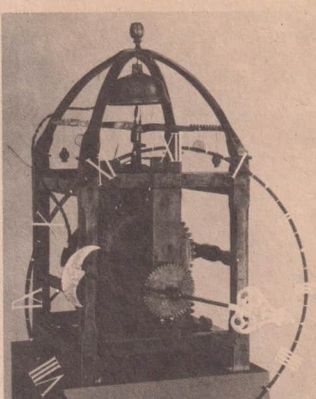
Radunruh ersetzte. Reguliert wurde das »Herz der Uhr« von zwei ordinären, aber elastischen Schweinsborsten, die, an einem winzigen, beweglichen Balken befestigt, die Schwingungen der Unruh begrenzten.

Henleins erste »selbstgehende« Uhren besaßen ein trommelförmiges Gehäuse, während die späteren Modelle schon eine abgeflachtere Form aufwiesen. Die berühmt gewordenen »Nürnberger Eier« bezogen sich vermutlich auf eine andere Formvariante mit eiförmigem Gehäuse oder erhielten ihre Bezeichnung durch eine Wortverzerrung von »Oerlein« zu »Eilein«. Obwohl auch ihre Erfindung häufig Peter Henlein zugeschrieben wird, dürfte sie erst später aufgekommen sein.

Peter Henlein starb hochangesehen um 1542 in Nürnberg, das 1565 die Gründung der ersten Kleinuhrmacherzunft erlebte, deren Meister jahrzehntelang die uhrentechnische Weiterentwicklung bestimmten. Solange die technologischen Voraussetzungen für eine maschinelle, serienmäßige Uhrenherstellung nicht gegeben waren, blieb die tragbare Uhr ein Luxusgegenstand, galt ihr Besitz als Statussymbol der Reichen, entwickelte sich die einfache Eisenuhr zur Schmuck- und Prunkuhr. Henlein selbst baute nachweislich die ersten »Bisamäpfel«, eine Art vergoldeter, kugelförmiger Parfümbehälter, die neben dem wohlriechenden Moschus (Bisam) am Boden ein kleines Uhrwerk enthielten. Wer es sich leisten konnte, ließ das Gehäuse seiner Uhr vergolden oder versilbern, mit Gravierungen, Ziselierungen und Edelsteinen schmücken. Andere gaben Sonderanfertigungen in Auftrag, die es ermöglichten, die Uhr als Brust- oder Halsschmuck, im Ohr- oder Fingerring zu tragen. Die Sorgfalt der manuell hergestellten Uhrwerke verblüfft noch heute, auch dann, wenn die absonderliche Formgebung und prunkvolle Gestaltung der Uhrengehäuse zu Lasten der Ganggenauigkeit ging.

Die entscheidenden Fortschritte im Uhrenbau begannen sich erst nach Beendigung des Dreißigjährigen Krieges zu vollziehen, wobei England und Frankreich die führende Rolle übernahmen. Unabhängig voneinander setzten um 1670 der Holländer Christian Huygens, Erfinder der Pendeluhr, und der englische Physiker Robert Boyle der Kleinuhr anstelle der Henleinschen Schweinsborsten die Spiralfeder mit Hakenhemmung zur Regulierung der Unruhschwingungen ein. Erst mit dieser Erfindung begann in Gesellschaft des Stundenzeigers der Minutenzeiger seine Runden um das 12-Stunden-Zifferblatt zu drehen.

Trotz erhöhter Ganggenauigkeit genügten weder die Uhren mit Spiralfeder noch jene, die mit dem 1695 erfundenen Zylindergang ausgestattet waren, den hohen Anforderungen der auf See notwendigen Längenbestimmung nach dem Sonnenstand. Die

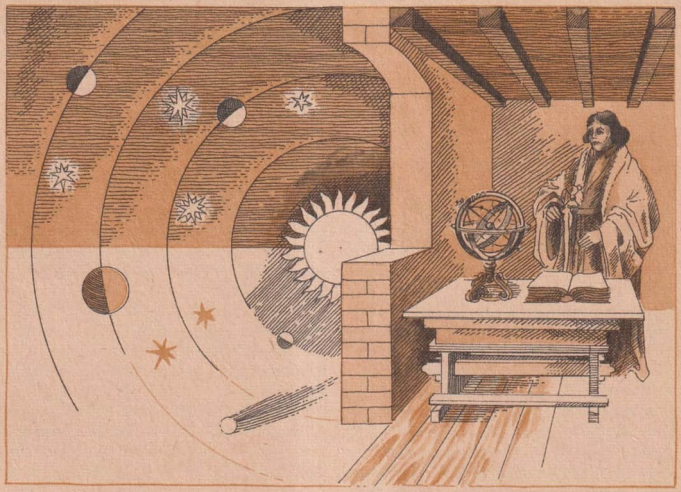


Frühe deutsche Zimmeruhr aus der 1. Hälfte des 17. Jahrhunderts. Im Original hatte die Uhr noch einen Gewichtsantrieb, der später durch einen Federmechanismus ersetzt wurde.

englische Admiralität sah sich deshalb veranlaßt, 1724 eine Prämie in Höhe von 20 000 Pfund Sterling für die Verbesserung der Schiffsuhren auszusetzen. Den Preis erhielt 1760 der englische Uhrmacher John Harrison für das von ihm konstruierte Marinechronometer, das seine Bewährungsprobe auf den Schiffen des berühmten englischen Weltumseglers James Cook glänzend bestand. Während einer 156tägigen Seereise differierte die Ganggenauigkeit lediglich um 54 Sekunden. Eine ansehnliche Leistung, wenn man bedenkt, daß die Radunruh, während der Stundenzeiger einmal das Zifferblatt umkreist, 432 000mal um seine zierliche Mittelachse hin und her pendelt. Nun erst erhielt auch die Kleinuhr ihren Sekundenzeiger.

Die Präzision der Uhr veranlaßte Karl Marx in einem Brief an Friedrich Engels zu der Feststellung: »Die Uhr ist der erste zu praktischen Zwecken angewandte Automat und die ganze Theorie über Produktion gleichmäßiger Bewegung an ihr entwikkelt.«

Gleich der Mühle vermittelte die Uhr ständig neue Anregungen zu neuen Fragestellungen, zu neuen Versuchen mit Getrieben, Übersetzungen und Transmissionen, zu neuen Konstruktionen. So wie Mühle und Uhr den Übergang vom Handwerk zur Manufaktur vorbereiten halfen, bildeten sie innerhalb der Manufaktur die beiden materiellen Basen zur Vorbereitung der Maschinenindustrie, deren typische Arbeitsmaschinen sich schon in den Zeichnungen und Skizzen des Renaissancegenies Leonardo da Vinci vorweggenommen finden.



Eine Zeit, die Riesen zeugte

»In der Mitte aber von allem steht die Sonne. Denn wer wollte diese Leuchte in diesem wunderschönen Tempel an einen anderen noch besseren Ort setzen als dorthin, von wo aus sie das Ganze zugleich beleuchten kann? ...
So lenkt in der Tat die Sonne, auf dem königlichen Thron sitzend, die sie umkreisende Familie der Gestirne ...«

MIKOLAJ KOPERNIK (1473–1543)

»O Jahrhundert! O Wissenschaft!«

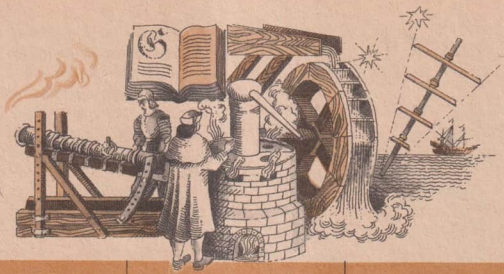
»O Jahrhundert! O Wissenschaft! Es ist eine Lust zu leben, wenn auch nicht auszuruhen. Es blühen die Studien, die Geister regen sich. Nimm den Strick Barbarei und mache dich auf Verbannung gefaßt!«

Das Briefzitat aus der Feder des streitbaren Journalisten und Humanisten Ulrich von Hutten (1488–1523) atmet den frischen Geist jener Epoche, die in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts zuerst in Italien anbrach und sich in der Folgezeit auf fast alle Länder Europas auswirkte. Von den Italienern das Cinquecento, von den Franzosen die Renaissance, die Wiedergeburt, genannt, bezog sich diese Bezeichnung zunächst auf die bildende Kunst, die Wiederentdeckung der griechischen und römischen Kultur und ihres Schönheitsideals, die den Menschen wieder in den Mittelpunkt künstlerischer Darstellungen rückte. Aus den Schriften der Antike, der »vorchristlichen Zeit«, eigneten sich die Gelehrten ein neues naturphilosophisches Weltbild an, das die Schranken der mittelalterlichen Scholastik durchbrach und an die Stelle des »credo« der römisch-katholischen Kirche die »ratio«, die Vernunft, rückte. Getragen vom aufstrebenden Bürgertum, erfaßte der Wandel alle Gebiete des Lebens, vollzog sich, wie Friedrich Engels 1875/76 in der Einleitung zur »Dialektik der Natur« rückblickend schrieb, »... die größte progressive Umwälzung, die die Menschheit bis dahin erlebt hatte, eine Zeit, die Riesen brauchte und Riesen zeugte, Riesen an Denkkraft, Leidenschaft und Charakter, an Vielseitigkeit und Gelehrsamkeit«.

Symbolfigur der Epoche ist unstreitig Leonardo da Vinci, der aus der Toscana stammende uneheliche Sohn eines begüterten florentinischen Notars und dessen Dienstmagd, den der Leser bereits kennenlernte. Als Maler weltberühmt durch die von ihm geschaffenen Gemälde des »Abendmahls« und der »Mona Lisa«, zugleich Bildhauer, Architekt und Baumeister, Schriftsteller und Anatom, Mathematiker, Mechaniker und Ingenieur, pflegte sich Leonardo da Vinci selbst »Sohn und Schüler des Experiments« zu nennen, nannte ihn König Franz I. von Frankreich, sein letzter Dienstherr, »Meister jedweder Kunst und Wissenschaft«.

Um die Dinge zu ergründen, die er als Künstler darstellen wollte, suchte Leonardo da Vinci nach den Wurzeln, den Ursprüngen der Kunst in der Natur, und studierte ihre Gesetze, wurde er zum Mitbegründer der sich aus den Fesseln der scholastischen Philosophie befreienden Naturwissenschaften, zum Wegbereiter der modernen Maschinentechnik. Sein Verständnis von der Wissenschaft formulierte er so: »Keine menschliche Forschung kann sich wahre Wissenschaft nennen, wenn sie nicht mathematische Beweisführung hat. Und wenn du sagen wirst, daß die Wissenschaften, die Anfang und Ende im Geist finden, Wahrheit enthielten, so wird dies aus verschiedenen Gründen nicht zugegeben, sondern verneint, und der erste ist, daß in solchen Gedankengängen keine Erfahrung vorkommt, ohne die kein Ding Gewißheit seiner selbst hat!«

Das wissenschaftliche Herangehen an die Dinge – wie es Leonardo nennt – belegen mehr als 10 000 Zeichnungen, Skizzen, Tagebuchblätter von seiner Hand, die ihn als einen tiefschürfenden Theoretiker und genialen Techniker ausweisen, der eine Fülle wissenschaftlicher Erkenntnisse, technischer Erfindungen und Konstruktionen vorwegnahm, die erst Jahrhunderte später Allgemeingut werden sollten. Das Erstaunlichste seiner Universalität ist, daß er es vermochte, zur gleichen Zeit als



GESCHICHTE

1337 Beginn des Hundertjährigen Krieges zwischen England und Frankreich
1350 Gründung der Hanse

1453 Türken erobern Konstantinopel
1492 Wiederentdeckung Amerikas durch Kolumbus

1517 Beginn der Reformation in Deutschland
1519 Kaiser Maximilian I., der »letzte Ritter« stirbt, Regierungsantritt Karl V., in dessen Reich »die Sonne nie untergeht«
1525 Großer Deutscher Bauernkrieg
1529 Türken belagern Wien

1600 Giordano Bruno als Ketzer verbrannt
1618/48 Dreißigjähriger Krieg
1640/88 Bürgerliche Revolution in England

WISSENSCHAFT

1325 Wiedererfindung des Schwarzpulvers
1348 Gründung der Universität Prag
1367 – der Universität Wien
1386 – der Universität Heidelberg
1392 – der Universität Erfurt

1409 – der Universität Leipzig
1419 – der Universität Rostock
1456 – der Universität Greifswald
1460 Erste deutsche Sternwarte in Nürnberg
1477 Gründung Universität Uppsala

1543 Hauptwerk des Kopernik
1550 »Pratica« von Adam Ries
1556 »De re metallica« von Agricola
1590 Galilei entdeckt Fallgesetz Janszen konstruiert Mikroskop

1609 Galilei verwendet Fernrohr zur Himmelsbeobachtung
1628 Harvey entdeckt Blutkreislauf
1642 Rechenmaschine von Pascal
1654 Guerickes Luftdruckversuche auf dem Reichstag in Regensburg
1657 Huyghens erfindet Pendeluhr

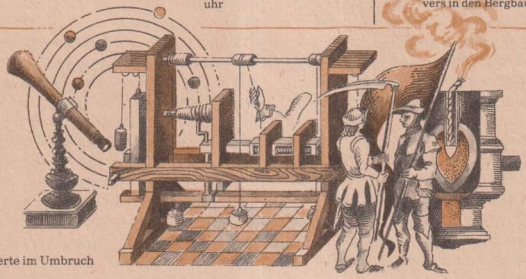
TECHNIK

1304 Erste große Gewichtsräderuhren
1320 Oberschlächtiges Wasserrad
1325 Einführung der Feuerwaffen in die Militärtechnik

1400 Erste Brillen in Italien
1409 Drehbank mit Wippe und Handkurbel
1435 Gutenberg beginnt Arbeiten zur Verbesserung des Buchdrucks
1480 Pferdegöpel im Bergbau Flügelspinnrad mit Handantrieb

1510 Henlein konstruiert tragbare Taschenuhren
1550 Schienenbahn auf Holzgleisen im englischen Bergbau
1561 Drehbank mit Support
1580 Drehbank mit Gewichtsantrieb
1589 Strumpfwirkstuhl von Lee

1619 Erste Verwendung der Steinkohle in der Eisenverhüttung
1621 Einführung des Bandwebstuhls
1627 Einführung des Schwarzpulvers in den Bergbau



Jahrhunderte im Umbruch



Selbstbildnis Leonardo da Vincis (Rötelzeichnung)

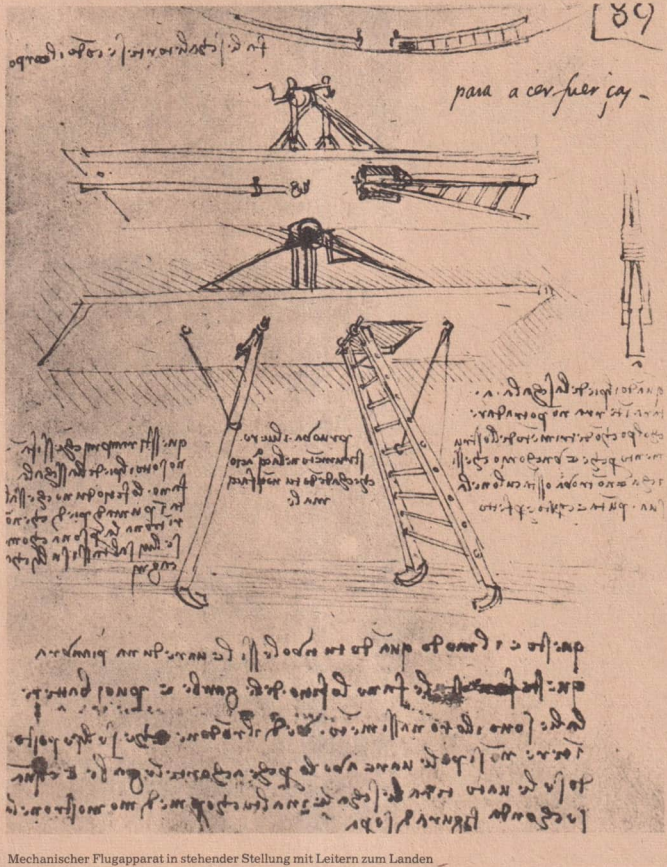
Künstler zu gestalten, als Wissenschaftler zu forschen und zu experimentieren, als Techniker Problemlösungen für die Alltagspraxis zu entwickeln.

Bereits während seiner Ausbildung als Maler und Bildhauer, die er mit fünfzehn Jahren in Florenz begann, träumte er davon, den Arno zwischen Pisa und Florenz zu kanalisieren, faszinierte ihn die Nutzbarmachung der Wasserkraft zum Antrieb von Maschinen, um den Menschen die Arbeit zu erleichtern. Als der Dreißigjährige dem Herzog Lodovico Sforza in Mailand seine Dienste anbot, nannte er an erster Stelle des Bewerbungsschreibens seine Fähigkeiten als Militäringenieur und Militärbaumeister. Ausführlich legte er dar, daß er tragbare Belagerungsgeräte und Bombarden, gedeckte Kampfwagen und zahlreiche andere bewegliche und feststehende Angriffs- und Verteidigungswaffen bauen könne, bevor er seine künstlerischen Fähigkeiten erwähnte. Stärker als das ihm in Auftrag gegebene Reiterstandbild des Francesco Sforza beschäftigte ihn während dieser Zeit das Studium des Vogelfluges. Neben den Skizzen und Kartons entwarf er Pläne für die Befestigung der Städte in der Romagna und für die Anlage einer »Idealstadt« ohne Mauern, mit gehobenen Straßen, Fußgängerunterführungen und zentraler Abwasserregulierung.

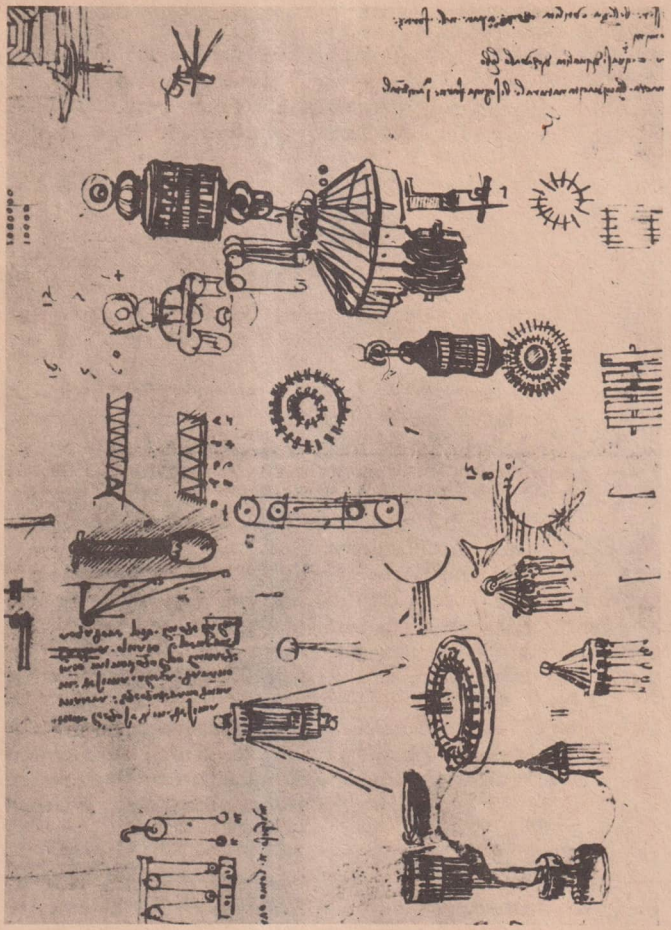
Im Dienste Cesare Borgias mit Michelangelo mit der Ausgestaltung des Großen Ratssaales zu Florenz beauftragt, sezierte Leonardo da Vinci in der Totenkammer des Hospitals Santa Maria Nuova Leichen beiderlei Geschlechtes, betrieb er mit Eifer anatomische und physiologische Studien. Selbst die Arbeit am Gemälde der Mona Lisa konnte ihn nicht davon abhalten, das Traktat über den Vogelflug zu beenden und mechanische Flugapparate zu entwerfen. In künstlerischen Belangen vom Papst nach Rom berufen, richtete Leonardo da Vinci neben seinen Wohnräumen eine geräumige Werkstatt ein, in der er ein halbes Dutzend Gesellen mit dem Bau der von ihm konstruierten Maschinen und Instrumente beschäftigte. Neben der Staffelei mit Madonnenbildern häuften sich auf seinem Arbeitstisch Pläne zur Trockenlegung der Pontinischen Sümpfe, Entwürfe für Kanäle, Schleusen, Staudämme.

Die Mappen mit den auf große Folioseiten gezeichneten und mit ausführlichen handschriftlichen Erläuterungen versehenen Studien führte Leonardo da Vinci auf allen seinen Reisen und unsteten Wanderungen mit sich. Ihnen ließ er größere Sorgfalt angedeihen als seinen künstlerischen Werken, von denen manches unvollendet blieb. Nach seinem Tod auf Schloß Cloux bei Amboise in Frankreich erbte sie sein treuer Begleiter und Schüler Francesco Melzi, der sie zu ordnen begann. Später wurden sie durch Schenkung, Erbschaft, aber auch Diebstahl und Verkauf in alle Windrichtungen verstreut, gelangten sie über mehrere Zwischenstationen nach Frankreich, England und Spanien. Seither

gelten viele Manuskripte als verschollen, bedeutet jede Wiederentdeckung ein wissenschaftliches Ereignis. So auch 1965, als in der Nationalbibliothek Madrid zwei umfangreiche Manuskripte mit Aufzeichnungen zu theoretischen und praktischen Fra-



Mechanischer Flugapparat in stehender Stellung mit Leitern zum Landen

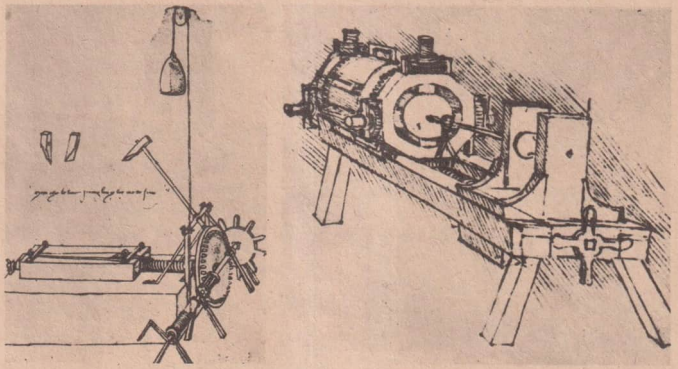


Verschiedene Flaschenzüge (Skizzenblatt aus dem Codex Atlantico II)

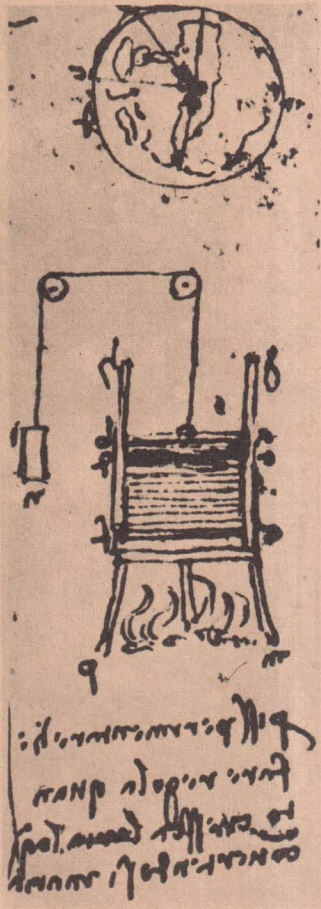
gen der Mechanik, der Hydrologie und Aerodynamik wiederaufgefunden wurden. Andererseits war es noch 1980 möglich, daß auf einer Versteigerung in London ein amerikanischer Erdölmilliardär den berühmten »Codex Leicester« für 2,2 Millionen Pfund Sterling in seinen Privatbesitz bringen konnte.

Technikhistorisch betrachtet und damit für unser Buch von besonderem Interesse, sind jene Arbeiten Leonardo da Vincis, die sich unmittelbar auf die Verbesserung der Produktionsinstrumente beziehen. Entsprechend seiner Maxime »Das Buch der Wissenschaft kommt vor dem Buch der Anwendung derselben« bemühte er sich einfallsreich um die exakte Definition grundlegender Begriffe der Mechanik, wie Kraft, Bewegung und Druck, Gewicht und Gravitation. Mit seinen Experimenten nahm er die Erkenntnisse Galileis über die Schwingungen des Pendels vorweg. Als einer der ersten Theoretiker befaßte er sich mit den Bewegungsgesetzen und dem Energieverlust durch Reibung, mit der Belastbarkeit und Elastizität von Werkstoffen und Konstruktionselementen. Als Praktiker entwarf er in Anwendung der neugewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse eine Fülle verbesserter oder neuartiger Maschinenelemente, wie Kolben, Zylinder und Ventile, Zahnräder und Zahnstangen, Schwungräder, Kupplungen, Endlosschrauben, Getriebe, Transmissionen und Gliederketten als Übertragungs- und Bewegungsorgane, Rollen und Kugellager zur Verringerung der Reibungsverluste.

Im Gegensatz zu den Mechanikern der Antike betrachtete Leonardo da Vinci die Maschine nicht als »Produkt einer besonderen Kunst«, sondern als einen aus Erfahrung gewonnenen »Komplex zusammenwirkender mechanischer Elemente«. Die graphische Darstellung der Maschinenelemente und Mechanismen nimmt bei ihm schon den Charakter moderner Werkstattzeichnungen an. Auf jedem der Blätter ist erkennbar, daß es ihm darauf ankam, von seinen Konstruktionen die größtmögliche Präzision der Bewegung und eine maxi-



Links: Feilenhaumaschine, die durch ein Spanngewicht betätigt wird. Rechts: Bohrmaschine (Skizzen aus dem Codex Atlantico II)



Vorrichtung mit Kolben und Zylinder, um die Ausbreitung des Wasserdampfes zu messen (Codex Leicester)

male Leistung zu verlangen, um die zur Verfügung stehenden natürlichen Energiequellen rationell auszuschöpfen, den arbeitenden Menschen zu helfen, Zeit und Kraft zu sparen.

Mit den von ihm entworfenen Werkzeug- und Textilmaschinen betrat Leonardo da Vinci völliges Neuland. Neben Drehbänken und Bohrmaschinen mit Pedal- und Schwungradantrieb und zentrischem Spannfutter zeigen die Blätter Fräsmaschinen, Maschinen zum Gewindeschneiden, Walzwerke für Bänder, Maschinen zur Herstellung von Flintenkugeln, Streckmaschinen, Ziehmaschinen für Profile, wie z. B. von Stäben für Geschützflüge, aber auch eine verbesserte Buchdruckpresse. Einmalig in ihrer Art und für ihre Zeit ist eine Feilenhaumaschine, angetrieben durch ein Pendelgewicht, deren Lauftisch automatisch von dem Hauwerkzeug gesteuert wurde. Das besondere Interesse des Ingenieurs und Konstrukteurs galt der Verbesserung der Produktionsbedingungen im einheimischen Textilgewerbe, für das er eine Seilmaschine mit fünfzehn Spindeln, Maschinen zum Scheren der Tuche, Spinnmaschinen mit automatischer Spindel und andere Arbeitsmaschinen entwarf.

Wie alle Erfinder vor ihm und um ihn, die sich im Maschinenwesen auskannten, träumte Leonardo da Vinci davon, »Maschinen zu bauen, mit denen man die Kraft selbst erzeugen kann, weil man mit ihr unendliche Welten bewegen könnte«. Daß das Perpetuum mobile als Kraftmaschine keine Aussicht auf Verwirklichung besaß, hatte er experimentell und mathematisch nachgewiesen. Er dachte vielmehr an einen sich aus eigener Kraft fortbewegenden, an den selbstfahrenden Wagen, wobei er vom Kurbeltrieb zum Antrieb mit Federkraft gelangte. Seine »Selbstfahrer«, ausgestattet mit Differentialgetriebe, Steuerrad und Bandbremsen, können durchaus unter die frühen Vorläufer des Automobils eingeordnet werden, wenngleich es zweifelhaft erscheint, ob sie tatsächlich gebaut und er-

probt worden sind. Das gilt auch für eine andere Erfindung Leonardo da Vincis, der auf der Suche nach einer von Muskel-, Wind- oder Wasserkraft unabhängigen Antriebsquelle wie dereinst Heron von Alexandria mit der Expansionskraft des Wasserdampfes experimentierte. So enthält der bereits erwähnte »Codex Leicester« mehrere Zeichnungen einer Vorrichtung mit Kolben und Zylinder, um die Ausbreitung des Wasserdampfes zu messen. Sie gleichen frappierend jenen Versuchsanordnungen, die später von Huygens und Papin zur Nutzung der Pulver- oder Dampfkraft entworfen wurden. Die ökonomische Triebkraft zur Entwicklung derartiger Antriebsmaschinen bildete einmal mehr der Bergbau.

»De re metallica« — Zwölf Bücher vom Bergbau

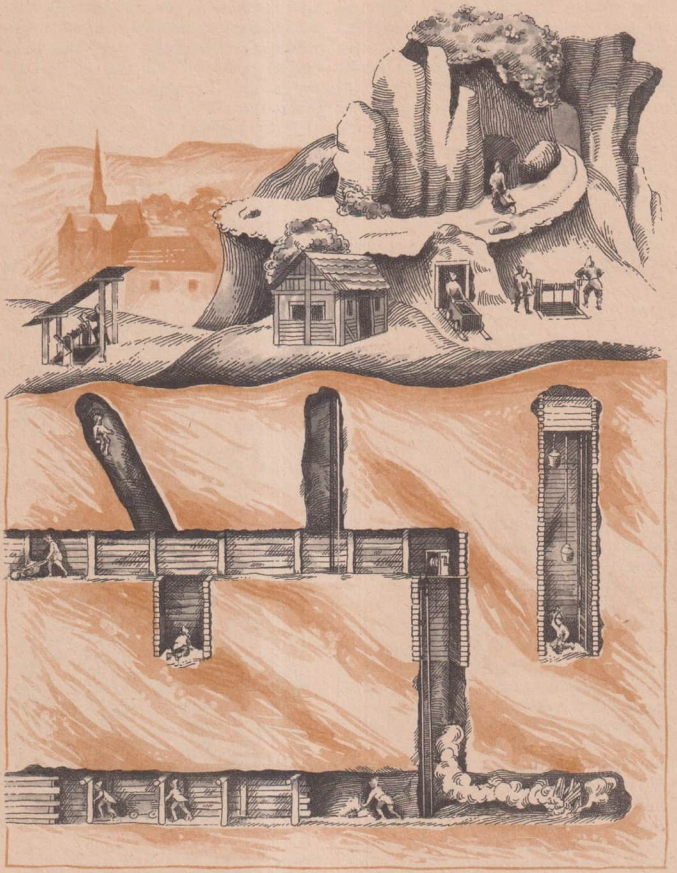
Die Vielseitigkeit seines Wissens und die Breite seines Wirkens veranlaßten die Wissenschaftshistoriker, Georgius Agricola, der eigentlich Georg Bauer hieß und als Tuchmacherssohn 1494 in Glauchau geboren wurde, mit Plinius d. Ä. (23—79 u. Z.), Albertus Magnus (1207—1280) und sogar Leonardo da Vinci, seinem älteren Zeitgenossen, zu vergleichen. Aber Agricola war kein Ingenieur, der sich durch technische Erfindungen hervortat. Er war ein humanistischer Gelehrter, der in Leipzig die alten Sprachen, Theologie und Philosophie, später in Bologna, Padua, Venedig Medizin studierte, der als Schulmann, Knappschaftsarzt und Apotheker, Diplomat, Historiograph und Bürgermeister wirkte und Hervorragendes leistete. Sein bleibendes Verdienst erwarb er sich auf »Fachgebieten«, mit denen er sich neben seiner eigentlichen beruflichen Tätigkeit beschäftigte.

Über die zeitgenössische Medizin, die ihre Heilmittel vorwiegend aus dem Mineralreich gewann, erwachte Agricolas Interesse für die Mineralogie, kam er von der Mineralogie zwangsläufig zur Geologie und zum Bergbau. Er selbst schrieb: »Als ich aus Italien zurückkam, lag mir nichts mehr am Herzen, als mich ins Erzgebirge zu begeben, dem silberreichsten Gebiet in ganz Europa. Und kaum war ich dort angelangt, als ich auch schon vor Begierde brannte, das Bergwesen kennenzulernen, weil ich fast alles über meine Erwartungen fand.«

1526 ließ sich Agricola als Stadtphysikus und Apotheker in Joachimsthal (heute Jáchymov) nieder, der damals jüngsten »Silbergräberstadt« des Erzgebirges. Im Umgang mit den Berg- und Hüttenleuten, unter denen er lebte, mit den Berg- und Hüttenschreibern, die zu seinem Freundeskreis zählten, nahm er begierig in sich auf, was sie über die Beschaffenheit der Erzlagerstätten, den Abbau, die Förderung und Verarbeitung der Erze berichteten. Seine erste wissenschaftliche Arbeit beschäftigte sich mit der Bedeutung der Mineralogie für die



Georgius Agricola (1494—1555), ein humanistischer Gelehrter, der auf dem Gebiet der Mineralogie und des Bergbaus bleibende Verdienste erwarb



Schacht- und Stollenanlage eines Bergwerkes im 16. Jahrhundert

Medizin. Verfaßt in der Form eines Dialoges zwischen zwei Ärzten und dem Hüttenschreiber Bermann, niedergeschrieben in klassischem Latein, war sie ein literarisches Meisterwerk, das auch den Beifall des großen Humanisten Erasmus von Rotterdam fand. Mehr noch: Fast hundert Minerale und Gesteinsarten werden im »Bermannus« beschrieben, nach ihrer geologischen Verwandtschaft geordnet und durch eine Übersicht ihrer Lagerstätten zusammengefaßt. Im nachhinein ist dem Autor zu bestätigen, damit die Geburtsurkunde der wissenschaftlichen Mineralogie ausgefertigt zu haben.

1546 ließ Agricola, der inzwischen nach Chemnitz (heute Karl-Marx-Stadt), der aufstrebenden Metropole des sächsischen Textilgewerbes, übergesiedelt und zum Bürgermeister der Stadt berufen worden war, dem »Bermannus« die mineralogisch-geologischen Schriften folgen. Ein vierteiliges Werk, in dem er den Entstehungsursachen und dem Wesen der Stoffe nachspürte, den Mineralen, Gesteinen und Metallen, aber auch jenen »Stoffen, die aus der Erde herausfließen«, so dem unterirdischen Wasser und den Quellen, den Erscheinungen des Vulkanismus und der Erdbeben. Der vierte und letzte Teil war der »Geschichte der Bergwerke« gewidmet.

Das Hauptwerk seines Lebens, das die 1550 vollendeten zwölf Bücher »De re metallica« umfaßt, erschien erst vier Monate nach seinem Tod in der berühmten Druckerei von Froben in Basel (1556). Es war das erste umfassende Lehrbuch der bergbaulichen, der technischen Wissenschaften überhaupt, ausgestattet mit 292 nach Vorlagen von Agricola angefertigten Holzschnitten. Die übersichtliche Gliederung und verständliche Darstellung vermittelt selbst dem Nichtfachmann einen wirklichkeitsgetreuen Einblick in die Bergbau- und Hüttentechnik des 16. Jahrhunderts. Mit diesem Werk wurde Agricola zum Begründer von eigenständigen Wissenschaftsdisziplinen, die vordem nur am Rande anderer Wissenschaftszweige abgehandelt wurden, zum Wegbereiter der neuzeitlichen Mineralogie, Geologie und Lagerstättenkunde, der Bergbau- und Hüttenkunde.

Es spricht für die humanistische Haltung Agricolas, daß er das erste der zwölf Bücher (gleich Kapitel) dem schweren und gefahrvollen Beruf der Berg- und Hüttenleute widmete, der nicht nur große körperliche, sondern auch hohe geistige Anforderungen stellt. Agricola schreibt: »Viele sind der Meinung, der Bergbau sei etwas Zufälliges und eine schmutzige Tätigkeit und überhaupt ein Geschäft, das nicht sowohl Kunst und Wissenschaft als körperliche Arbeit verlangt. Allein mir scheint, wenn ich seine einzelnen Teile im Geiste durchlaufe, so verhält sich die Sache ganz anders!«

Nicht weniger bemerkenswert sind Agricolas Ansichten über das »Gute« und das »Böse« in der Technik, die er so formuliert: »Allein der Mensch vermag ohne die Metalle nicht die Dinge zu beschaffen, die zur Lebensführung und zur Kleidung dienen. Denn in der Landwirtschaft, die unserem Leibe den größten Teil des Lebensunterhaltes gewährt, wird keine Arbeit geleistet und vollbracht ohne Werkzeug ...« Überzeugend widerlegt er die Vorwürfe, die besonders von kirchlicher Seite gegen die Erzeugnisse des Bergbaues, wie Gold und Silber, Eisen, Kupfer, Blei, erhoben wurden, weil sie das Verderben der Menschen nach sich zögen. »Hier erhebt sich die Frage, ob wir das, was man aus der Erde gräbt, zu den guten oder schlechten Dingen rechnen sollen ... Treffliche Männer nämlich brauchen sie gut, und ihnen sind sie nützlich, schlechte aber schlecht und ihnen sind sie unnütz ... Wenn einer aber sie schlecht anwendet, so werden sie darum noch nicht mit Recht Übel genannt werden. Denn welche guten Dinge können wir nicht gleichermaßen in übler wie in guter Weise gebrauchen?«

Im zweiten und dritten Buch, die geologisch-lagerstättenkundlichen Inhalt haben, beschreibt Agricola die Lagerstättensuche

und den Verlauf der Erzgänge, formuliert er Regeln zum Aufsuchen und Ausrichten der Erzvorkommen. Die Wünschelrute, die dem »ehrbaren Bergmann nichts nutzen kann«, lehnt er entschieden ab.

Die Markscheidekunst, d. h. die mit dem Grubenbetrieb zusammenhängenden Vermessungsarbeiten, die sich von allen bergmännischen Verrichtungen zuerst auf wissenschaftlich-mathematischer Grundlage aufbauten, stehen auch im Mittelpunkt des vierten und fünften Buches.

Eines der umfangreichsten und für die Technikgeschichte interessantesten Bücher der Sammlung ist das sechste Buch. In ihm beschreibt Agricola Beschaffenheit und Funktionsweise der im Bergbau verwendeten Produktionsinstrumente vom einfachen Gezähe, von Haspel und Göpel bis zu den ersten großen, vorwiegend aus Holz gefertigten Maschinen, Wunderwerke der damaligen Technik, von Bergherren und Bergknappen mit Hochachtung »Künste« genannt.

Am eindrucksvollsten sind die Darstellungen der »Wasserkünste«, die Agricola zu den Fördermaschinen zählte. Neben der von Wasserkraft angetriebenen »Stangenkunst«, einer Kombination von Saugpumpen, beschreibt Agricola sechs Arten von



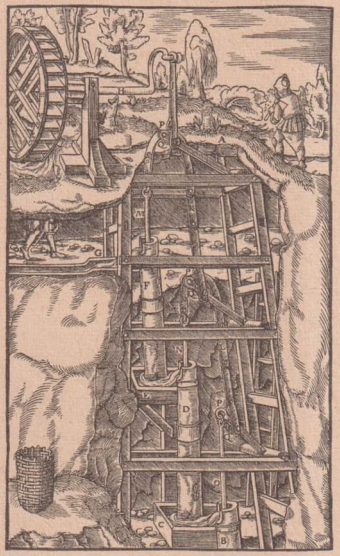
Markscheider bei der Vermessung eines Schachtgebäudes. Durch einfache Verhältnisrechnung bestimmt er, wie tief der Schacht bis zur Stollensohle abgeteuft bzw. wie weit der Stollen bis zum Schacht vorgetrieben werden muß (aus G. Agricola »De re metallica«, Basel 1556).



Der Pferdegöpel, von den Bergleuten auch »Roßkunst« genannt, der den Haspelknechten die schwere Arbeit erleichterte und die Fördertiefe verdoppelte oder verdreifachte (aus »De re metallica«)

»Heintzenkünsten«, bei denen eine endlose Kette mit daran befestigten Lederbällen durch hölzerne Röhren lief, die bis unter den Grundwasserspiegel reichten. Beim Hochziehen hoben die Bälle die darüberstehende Wassersäule bis zum Austrag aus. Die größten und leistungsfähigsten Fördermaschinen stellten die »Bulgenkünste« dar, die zum Wasserschöpfen lederne Eimer – sogenannte Bulgen – verwendeten.

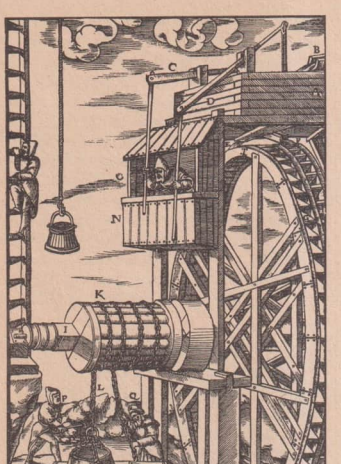
Bedenkt man, daß allein das Gewicht der schweren Förderketten (Drahtseile waren noch unbekannt) bei zunehmender Teufe bis 10 t betrug, wird verständlich, daß die Bulgenkünste mit Kehrradantrieb bei Schachttiefen von 100 bis 150 m ihre Grenze fanden. Die Kunstmeister, die Ingenieure jener Zeit, wußten um Möglichkeiten, die Fördertiefe zu verdoppeln. Allerdings waren damit ein enormer Arbeitsaufwand und eine erhebliche finanzielle »Zubuße« verbunden. Von einer nahe gelegenen Talsohle aus wurde ein Wasserlösestollen bis in den Grubenbau vorgetrieben, um die zufließenden Wasser abzuleiten. Diese 10 bis 15 km langen Stollen stellen bergmännische Meisterleistungen dar. Aber oft genügten sie schon, um die Grube ohne Einsatz von Fördermaschinen auf lange Zeit vom Wasser frei zu halten. Um den Abbau unterhalb des



Stangenkunst (aus »De re metallica«)



Heintzenkunst (aus »De re metallica«)



Die große Bulgenkunst mit Kehrradantrieb, eine mit Wasserkraft betriebene Anlage zur Hebung der Grubenwässer. Das abgebildete Wasserrad hatte einen Durchmesser von fast 11 m und wies gegenläufig angebrachte Schaufelkränze auf, daher auch die Bezeichnung »Kehrradantrieb« (aus »De re metallica«).

Niveaus der Wasserlösestollen weiterführen zu können, wurde der Kehrradantrieb mancherorts unter Tage aufgestellt. Eine derartige Anordnung ermöglichte Teufen von 300 m und mehr.

Mit der gleichen Detailtreue wie die Fördermaschinen beschreibt Agricola die für den Bergmann lebensnotwendige Wetterführung vom einfachen Windfang über dem Wetterschacht und den verschiedenen Arten von Muskel- oder Wasserkraft angetriebenen Blasebälgen bis zur »Wettertrommel«, einem Vorläufer des Schleuderradventilators.

Das siebente bis elfte Buch sind hüttenkundlichen Inhalts. Sie beschäftigen sich mit der von den Alchemisten hochentwikkelten »Probierkunst«, dem Versuchsschmelzen der Erze, der Erzaufbereitung in den Hüttenwerken und dem Trennen der Metalle – vor allem des Silbers vom Blei – in den Treib- und Saigerhütten. Im zwölften und letzten Buch beschreibt Agricola Gewinnung und Aufbereitung jener Bodenschätze, die in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit dem Erzbergbau stehen, wie Salz, Soda, Salpeter, Alaun, Vitriol, Schwefel und Bitumen, sowie die Glasherstellung.

Die vor allem im sechsten Buch abgebildeten »Künste« zeigen, daß ihre Anschaffung, ihr Betrieb und ihre Instandhaltung ebenso wie die Anlage kilometerlanger Gräben zur Heranführung des Aufschlagwassers für die Wasserräder oder der Vortrieb von Wasserlösestollen die finanziellen Möglichkeiten der Eigenlöhner und genossenschaftlichen Kleingewerke weit überstiegen. Viele von ihnen verkauften ihre Kuxe, ihre Anteilscheine am Besitz der Grube, wenn sie die erforderliche »Zubuße« nicht mehr aufbringen konnten, an auswärtige Geldgeber, denen sie sich als Lohnarbeiter verdingten. Damit begünstigten sie das Eindringen des Handelskapitals in den Bergbau und die Monopolisierung des Metallhandels. Doch auch die neuen Kuxherren mußten bald erkennen, daß die aus Holz gefertigten Großmaschinen nicht weiter entwicklungsfähig waren, daß nur durch einen qualitativen Sprung zu einem völlig neuen System der Antriebs- und Fördertechnik der Niedergang des Bergbaues aufgehalten werden konnte.

Die Fugger, Welser und Füner, die neuen Inhaber der Bergwerksanteile und Hüttenkonzessionen, die Hauptgeldgeber der Landesfürsten, Könige und deutschen Kaiser, verloren über den ständig steigenden Gewinnungskosten für einheimische Bergbauprodukte, dem Rückgang der Ausbeute und der Profite nicht den Kopf. Sie wußten

längst, daß man die begehrten Edelmetalle von anderswo in größeren Mengen und billiger beziehen konnte, von dorther nämlich, wo es keine streitbar für ihre Rechte eintretenden Bergknappen wie die von Thomas Müntzer geführten Mansfelder gab, wo der Bergbau keine kostspieligen Investitionen erforderte, wo an dunkelhäutigen Arbeitssklaven kein Mangel bestand – aus den neuentdeckten überseeischen Gebieten. Erschlossen hatte den Weg dorthin als erster Christoph Kolumbus, den Kurs gewiesen aber hatten ihm jene Männer der Wissenschaft, die von der Kugelgestalt der Erde überzeugt waren.



Stahlhütte. Im Hintergrund Schachtofen mit Blasebalg, im Vordergrund Schwanzhammer mit Nockenwelle (aus »De re metallica«)

Blick in die Unendlichkeit und in das Unsichtbare

Mikolaj Kopernik (1473–1543), der sich latinisiert Nikolaus Kopernikus nannte, gelang es allein mit Hilfe der schon in der Antike bekannten astronomischen Instrumente, die Astronomie aus den Fesseln der Theologie zu befreien, indem er die Sonne in den Mittelpunkt »der sie umkreisenden Familie der Gestirne« rückte. Der gelehrte Domherr in Frombork kannte das Fernrohr noch nicht. Die astronomischen Entdeckungen Galileis und Keplers, die das heliozentrische Weltbild bestätigten und ergänzten, wären ohne Fernrohr undenkbar gewesen.

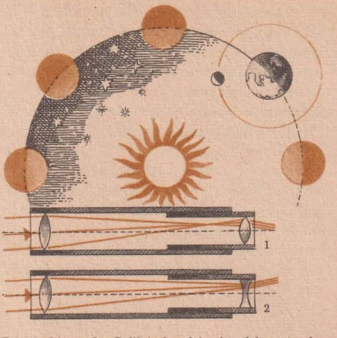
Paracelsus (1493–1541), der Reformator der Medizin, der die Stoffwechselvorgänge im menschlichen Körper als chemische Prozesse erkannte, und William Harvey (1578–1657), der im Tierexperiment den Blutkreislauf entdeckte, gelangten zu diesen großartigen Feststellungen, ohne daß ihnen ein Mikroskop zur Verfügung stand. Erst vier Jahre nach Harveys Tod sah Marcello Malpighi (1628–1694) unter dem Mikroskop mit eigenen Augen die Lungenkapillaren und konnte so Harveys Theorie bestätigen, entdeckte er die roten Blutkörperchen und wurde zum Begründer der mikroskopischen Anatomie.

Fernrohr und Mikroskop – zwei Erfindungen von unvergleichlicher Tragweite. Die Kombination gewölbter Gläser, geschliffener Linsen, ermöglichte den Menschen den Blick in den Makrokosmos und in den Mikrokosmos, in die Unendlichkeit des Alls und in die Welt des Unsichtbaren. Die Legende weist das Fernrohr den Zufallsentdeckungen zu. Beim Spiel mit geschliffenen Gläsern sollen die Kinder des

holländischen Brillenmachers Johannes Lippershey (1572–1640) zwei der Linsen in eine Pappröhre gesteckt und damit Rundschau gehalten haben. Nie vorher hatten sie den weit entfernten goldenen Wetterhahn auf der Kirchturmspitze so nahe und so deutlich gesehen wie durch die Pappröhre mit den Linsen. Grund genug für den Vater, dem die Kinder freudig erregt ihr neues Spielzeug zeigten, aus jeweils einem Linsenpaar die ersten Fernrohre zusammenzusetzen. Der Überlieferung zufolge sollen auf der Frankfurter Michaelismesse anno 1608 die holländischen Fernrohre erstmalig zum Kauf angeboten worden sein.

Immerhin geht aus dem Histörchen hervor, daß es um die Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert gewerbsmäßige Brillenmacher, Meister der angewandten Optik, gab. Den eben damals wieder zugänglich gewordenen Schriften des Plinius zufolge könnte der kurzsichtige Kaiser Nero einer der ersten Brillenträger gewesen sein. Von ihm wird berichtet, daß er einen geschliffenen Smaragd, ein Einglas also, benutzt haben soll, um damit den Verlauf der Gladiatorenkämpfe zu verfolgen. Hinweise auf die vergrößernde Wirkung gewölbter Gläser finden sich ebenfalls bei Seneca und Ptolemäus. Die erste wissenschaftliche Abhandlung über die Optik – den Durchgang des Lichtes durch einen transparenten Körper – verfaßte der arabische Arzt Ibn al Haitam (um 1038). In Verbindung mit seinen Experimenten zur Optik beschrieb um 1250 Roger Bacon »Lesesteine« aus geschliffenem Beryll, wohl eine Art Lupen (Okulare), die man als Lesehilfen einfach auf das Schriftstück legte oder, mit einem Stiel versehen, vor die Augen hielt. Zwei solcher Eingläser, mit verkürzten Stielenden miteinander verbunden, ergaben die Urform der »Beryllе«, eben der Brille, von Roger Bacon 1267 in einer Denkschrift an den Papst für sehschwache Geistliche empfohlen. Der Lesestein und die daraus hergestellten Eingläser vergrößerten zwar die Buchstaben, aber dem Auge waren sie in keiner Weise angepaßt.

Über Jahrhunderte hinweg verlief die



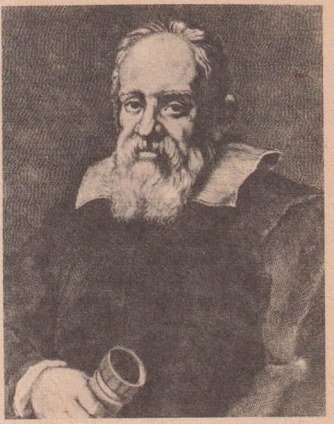
Prinzipskizzen des Galileischen (oben) und darunter des Keplerschen Fernrohrs (1 Objektiv, 2 Okular)



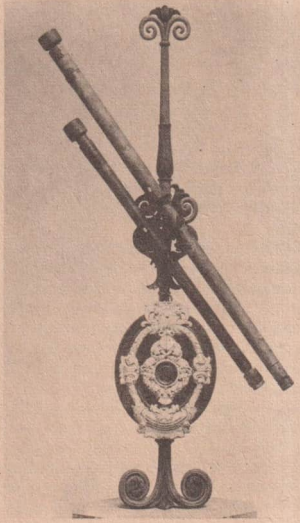
Mikolaj Kopernik (1473–1543), der sich latinisiert Nikolaus Kopernikus nannte (Kupferstich von Jacob von Meurs, 1654)

Entwicklung von Lupe, Linse und Brille parallel. Der Bedarf an speziellen »Vergrößerungsgläsern« förderte sowohl die Technologie der Glaserzeugung als auch die Glasschleiferei, die Herstellung konkaver und konvexer Linsen.

Es zählt zu den mancherlei Rätseln der Technikgeschichte, daß in den drei Jahrhunderten vor Lippershey keiner der Linsenschleifer oder Brillenmacher auf den Gedanken gekommen sein soll, ein »Sehrohr« zusammenzubauen. Möglich erscheint, daß frühere Erfindungen – sollte es sie gegeben haben – geheimgehalten wurden, weil man die Bedeutung des Fernrohres in erster Linie auf militärischem Gebiet



Galileo Galilei (1564–1642), Physiker, Mathematiker und Astronom (Stich von F. Allegrini nach einer Zeichnung von G. Zocchi)



Die Fernrohre des Galilei. Unter den Fernrohren befindet sich in einer Schmuckfassung aus Elfenbein die Objektivlinse, mit der Galilei zum erstenmal die Jupitermonde sah.

sah. So soll auch Prinz Moritz von Oranien, Graf von Nassau, als Statthalter der Niederlande die Weiterverbreitung des holländischen Fernrohres hintertrieben haben.

Als Galilei 1609 Kunde von der neuen Erfindung erhielt, baute er nach der mündlichen Beschreibung – gleichsam über Nacht – in seiner Werkstatt selbst ein solches Instrument, entschlossen, es zur Beobachtung des Himmels einzusetzen. Im Institut und Museum für Geschichte der Wissenschaft zu Florenz werden die von Galilei gebauten und benutzten Fernrohre, die er »Nuntius de sideribus«, »Boten der Gestirne«, nannte und die als »Galileische Fernrohre« in die Geschichte der Astronomie eingegangen sind, als besondere Kostbarkeiten gezeigt. An einem nachträglich gefertigten Ständer sind übereinander, parallel zum Himmel gerichtet, zwei Fernrohre von unterschiedlicher Länge befestigt, beide aus Holz gefertigt, mit Papier oder Leder verkleidet. Das obere Fernrohr (1,36 m lang) ist mit einem



Johannes Kepler (1571–1630), Entdecker der Planetenbewegungen (Stich von Jacob van der Heyden)

bikonvexen Objektiv und leicht konkavem Okular ausgestattet. Es ermöglichte eine 14fache Vergrößerung. Das untere, nur 0,92 m lange Fernrohr – ebenfalls mit bikonvexem Objektiv und bikonkavem Okular – ermöglichte eine 20fache Vergrößerung.

Mit Hilfe dieser Fernrohre entdeckte Galilei die Monderhebungen und die Sonnenflecke, den Phasenwechsel von Venus und Mars, die ersten vier Jupitermonde, erkannte er die Milchstraße als Ansammlung unzähliger Himmelskörper, Beobachtungen, die das heliozentrische Weltbild des Kopernikus überzeugend bestätigten, präzisierten und zu einer sprunghaften Erweiterung der astronomischen Kenntnisse führten. Als Galilei den Professoren der Universität Florenz die Jupitermonde durch das Fernglas zeigen wollte, wichen sie entsetzt zurück und beschuldigten ihn der Gotteslästerung. Einer aber folgte Galileis Beispiel ohne jeden Vorbehalt, konstruierte ein verbessertes astronomisches Fernrohr und beobachtete damit den gestirnten Himmel – Johannes Kepler (1571–1630), der Entdecker der Planetenbahnen.

1616 verbot das Inquisitionsgericht Galilei die Weiterverbreitung seiner Lehren, und als er sich nicht daran hielt, zwang die Inquisition 1633 den fast Siebzigjährigen unter Androhung der Folter und des Feuertodes, dem heliozentrischen Weltsystem, der kopernikanischen Lehre, abzuschwören. Es ist überliefert, daß er beim Verlassen des Gerichtssaales zu seinen Begleitern gesagt haben soll: »Und sie bewegt sich doch!« Auch Kepler wurde als Ketzer verleumdet, seine Mutter als Hexe angeklagt. Aufhalten ließ sich die Wahrheit nicht und die Erfindung des Fernrohres nicht rückgängig machen. Handfernrohre aus Pappe, Holz oder Metall, ein- oder mehrzügig, kamen nicht nur beim Militär in Gebrauch, sie wurden auch zum nautischen Hilfsmittel, zum unentbehrlichen Begleiter der Segelschiffkapitäne auf großer Fahrt. Auf der Grundlage der astronomischen Fernrohre von Galilei und Kepler verlief die Entwicklung zu Instrumenten mit immer größeren Brennweiten bis zur Konstruktion des ersten Spiegelteleskops (1668) durch Isaac Newton.

Inzwischen aber hatte der Mensch seinen forschenden Blick auch in die Welt des Unsichtbaren getan. Um 1590 soll es den Middelburger Brillenschleifern Johann und Zacharias Janszen, die sich zugleich auf den Bau von Fernrohren verstanden, gelungen sein, ein einfaches Mikroskop zu konstruieren. Wesentlichen Anteil an seiner Einführung in die Medizintechnik nahm der ihnen befreundete Arzt und Experimentator Cornelis van Drebbel (1572–1634). Es kann nicht verwundern, daß sich Galilei ebenfalls ein Mikroskop baute und bei 30facher Vergrößerung entdeckte, daß der Floh Krallen hat.

Noch aber mußte fast ein dreiviertel Jahrhundert vergehen, bis das Mikroskop so weit vervollkommnet war und Vergröße-

Skizzenblatt Leonardo da Vincis mit Entwurf und Beschreibung eines Fernrohres

rungen ermöglichte, die wie der Blick in den Kosmos zu phänomenalen Baobachtungen führten. Der universell begabte englische Naturforscher Robert Hooke (1635–1703) entdeckte die Pflanzenzellen, dem Holländer Antony van Leeuwenhoek (1632–1723), der die Linsen für seine Mikroskope selber schliff, gelang es erstmalig, Bakterien, Protozoen und Spermatozoen sichtbar zu machen. Das waren mikroskopische Befunde, aussagekräftig genug, um die biblische Legende vom göttlichen Schöpfungsakt des Menschen zu widerlegen.

Kommen wir noch einmal auf die Frage zurück, ob es tatsächlich vor Lippershey keine einfallsreichen Experimentatoren gab, die geschliffene Linsen zu »Vergrößerungsinstrumenten« kombinierten. In den nachgelassenen Manuskripten Leonardo da Vincis mangelt es nicht an interessanten Aufzeichnungen und Überlegungen zu Fragen der Optik und der Astronomie. Obwohl Leonardo am geozentrischen Weltsystem festhielt, war er aufgrund eigener Beobachtungen überzeugt davon, daß die Erde ein Stern unter Sternen ist, der sich um sich selbst bewegt. Mit seinen optischen Studien über die Wellentheorie des Lichtes und die Strahlenbrechung, die ihn schließlich zur Erfindung der mit einer Sammellinse ausgestatteten Camera obscura, einem Vorläufer der modernen Fotografie, führten, war er einmal mehr weit seinem Jahrhundert voraus. 1938 entdeckte schließlich ein Leonardoforscher in einem der Taschenbücher des Meisters ein Blatt, das die historische Entwicklung der optischen Instrumente in einem neuen Licht erscheinen läßt: Das Blatt zeigt die Skizze eines Fernrohres mit Fußgestell. Auf demselben Blatt eine zweite Zeichnung, die Skizze einer Bleikalotte zur Bearbeitung von Konkavlinsen, wie sie später für das Okular verwendet wurden. Die Beschriftung lautet »Sehglas aus Kristall«. Die Erläuterungen dazu waren so exakt, daß sie eine Rekonstruktion des Fernrohres ermöglichten. Es bestand aus einer einseitig konvexen Objektivlinse und einer bikonkaven Okularlinse mit Durchmessern von etwa 48 mm bei einer Brennweite von 0,72 m. Die damit erzielte Vergrößerung betrug etwa das Anderthalbfache. Das Tagebuch stammt aus dem Jahre 1508, als Leonardo da Vinci in Mailand an der Heiligen Anna Selbdritt und der Leda malte. Würde die Bildinterpretation zutreffen, hätte Leonardo das Fernrohr genau ein Jahrhundert vor Lippershey und Galilei erfunden. Grund genug, unter diesem Aspekt Leonardos Studienblätter zu astronomischen und optischen Problemen einer neuen Durchsicht zu unterziehen. Der Erfolg blieb nicht aus, ließ andere Aufzeichnungen verständlicher werden. So ein Blatt aus dem Jahre 1492 (!), auf dem ein Fernrohr ohne Okular beschrieben wird, oder jenes Blatt, das neben der Zeichnung eines Konkavspiegels mit der Anmerkung versehen ist: »Mache Augengläser, um den Mond groß zu sehen!« Die Leonardoforscher schließen daraus, daß sich schon das Universalgenie der Renaissance mit dem Gedanken trug, die Konvexlinse eines Fernrohres durch einen Konkavspiegel zu ersetzen, ein Spiegelteleskop zu konstruieren.

Neben Fernrohr und Mikroskop wurden in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts zahlreiche weitere Geräte und Instrumente erfunden oder entwickelt, die es ermöglichten, Naturerscheinungen messend und wägend zu erfassen, ihre chemischen oder physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. So erfanden Galilei und Drebbel das Thermometer, Torricelli und Hooke das Barometer, Guericke das Manometer und die Kolbenluftpumpe. Guericke, der zu den ersten großen Experimentalphysikern zählt, war es auch, der in einer spektakulären Schaustellung die Überwindung des »Horror vacui«, des Abscheus vor der Leere, demonstrierte und damit einen entscheidenden Beitrag zur wissenschaftlichen Naturerkenntnis leistete.

Überwindung des »Horror vacui«

Die Freie Reichsstadt Regensburg glich in den Tagen des von Kaiser Ferdinand III. auf das Jahr 1654 einberufenen Reichstages einem lärmenden Rummelplatz. Nach dreißig Jahren Krieg und Verwüstung war endlich Friede eingekehrt ins Land. Auf den Schlössern und in den Klöstern der Umgebung, in den Festsälen der Stadt und in den Prachtzelten vor ihren Toren versammelten sich der Hofstaat, die Reichsfürsten, die Vertreter der Reichsstädte und die hohe Geistlichkeit zu üppigen Gelagen und rauschenden Festen. Auf der Festwiese am Donauufer vergnügte sich das Volk an den Schaustellungen fahrender Künstler und Gaukler.

Unter den von weither angereisten Besuchern befand sich auch Otto Guericke (1602–1686), Bürgermeister von Magdeburg, obwohl er im Reichstag weder Sitz noch Stimme hatte. Durch eine Vorführung besonderer Art hoffte er, die hohen Herren für den Wiederaufbau seiner Heimatstadt, die 1631 bei der Erstürmung durch kaiserliche Truppen völlig zerstört und niedergebrannt worden war, günstig zu stimmen. Hinter den zu beiden Seiten des Kaiserzeltes errichteten Barrieren drängten sich Stadtleute und Landvolk, herrschaftliche Lakaien, Kriegsknechte und fahrende Scholaren in Erwartung der kommenden Dinge.

Guerickes Gehilfen luden aus einem Planwagen zwei große kupferne Halbkugeln, andere schirrten die Pferde an. Als die Vorbereitungen abgeschlossen waren, verbeugte sich Guericke vor der Hofloge und erklärte mit fester Stimme: »Es ist mir eine hohe Ehre, Eurer Kaiserlichen Majestät und den erlauchten Vertretern des Reichstages ein physikalisches Experiment vorführen zu dürfen, das uns das Wesen der Luft enthüllt. Mein Experiment beweist überzeugend, daß die uns umgebende Luft ein materielles, ein körperliches Etwas ist, das sich in der Wärme ausdehnt und durch Kälte verdichtet. Wie alles Materielle besitzt die Luft Gewicht, mit der sie Druck auf Erde und Wasser, auf Pflanze, Stein und alles Kreatürliche ausübt, auch auf den Menschen!«

Schon bei diesen Worten begannen die Vertreter der hohen Geistlichkeit unruhig zu werden. Die Damen der Hofgesellschaft und ihre Kavaliere langweilten sich. Stimmen aus dem Publikum riefen: »Der Magde-



Otto von Guericke (1602–1686), Physiker, Naturforscher und Bürgermeister von Magdeburg

burger ist ein Scharlatan! Er will uns die Luft zeigen, die man nicht sehen kann!« Pfiffe wurden laut. Mit einer lässigen Handbewegung forderte der Kaiser den Bürgermeister zum Weitersprechen auf.

»Obwohl die Luft allgegenwärtig ist, werde ich einen luftleeren Raum herstellen, ein Vakuum also, das den stärksten Kräften trotzt. Ich behaupte nichts, was ich nicht vor aller Welt mit meinem Experiment beweisen kann . . .« Mit einem Blick auf die Vorbereitungen seiner Gehilfen fuhr Guericke fort: »Zwei gleich große Halbkugeln aneinandergelegt ergeben eine Kugel ohne jeden Zusammenhalt. Indem ich die Luft aus den aneinanderliegenden Kugelschalen vertreibe, schaffe ich ein Vakuum, drückt sie der äußere Luftdruck so fest zusammen, daß keine kreatürliche Kraft imstande ist, sie zu trennen!«

»Das ist Gotteslästerung!« rief der Bischof von Regensburg, der zur Linken des Kaisers saß. »Die Leere ist das gottlose Nichts!« Unbeirrt durch die Zwischenrufe fügte Guericke die beiden Kugelhälften aneinander und legte einen ölgetränkten ledernen Dichtungsring dazwischen. An dem oben angebrachten Ventil schloß er die von ihm konstruierte Luftpumpe an und saugte die Luft aus dem Kugelinneren. Zuerst ließ er an jeder Seite der beiden Kugelhälften zwei, dann vier Pferde einspannen. Die Pferdeknechte schwangen ihre Peitschen. Die Kugel hob sich aus dem Gras, schwebte wie ein Phantom in der Luft, aber sie hielt zusammen, als wäre sie aus einem Guß ge-

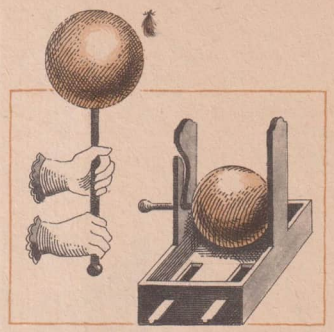


Der aufsehenerregende Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln über die Stärke des Luftdruckes auf dem Reichstag zu Regensburg (Stich aus Ottonis des Guericke »Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio«, Amsterdam 1672)

fertigt. Selbst sechs, dann acht Pferde auf jeder Seite mit schäumenden Lefzen und zitternden Flanken, das Geschirr zum Zerreißen gespannt, vermochten die beiden Kugelhälften nicht zu trennen. Auf Weisung des Bischofs hasteten einige Kuttenträger über die Wiese, befingerten die mysteriöse Kugel nach versteckten Schrauben oder Klammern, um Guericke des Betruges zu überführen. Sie fanden nur das Ventil, das der Magdeburger lächelnd öffnete. Mit Zischen und Brausen strömte die Außenluft ein und ließ die beiden Kugelschalen auseinanderfallen. Die Wiederholung zeitigte dasselbe Ergebnis. Mit lauter Stimme erklärte Guericke: »Das ist die Kraft aus dem Nichts, die eines Tages triumphieren und den Menschen helfen wird, die Welt zu verändern!«

Beifall und Jubel von dorther, wo sich das Volk drängte. Der Kaiser rümpfte verlegen die Nase. Der Bischof aber bemühte sich, das kirchliche Dogma und sein eigenes Ansehen zu retten. »Was ist schon Besonderes an den läppischen Spielereien des Scharlatans?« flüsterte er dem Kaiser zu. »Wenn es Gott gefällt, gibt es auch eine Leere!« Ohne Dank, ohne Gruß an die Bürger von Magdeburg und ohne die erhoffte Unterstützung wurde Otto Guericke entlassen.

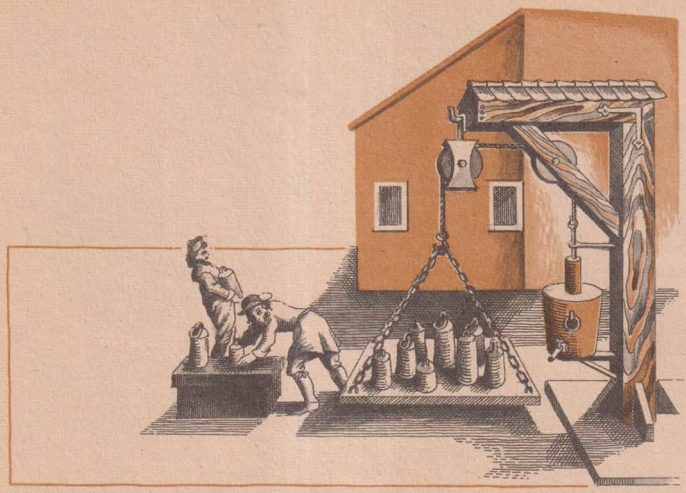
Auf der beschwerlichen Rückreise fand Guericke Zeit genug, über Enttäuschungen und Erfolge in seinem bisherigen Leben nachzudenken. Als Student in Leipzig und Helmstedt, Jena und Leiden hatte er mit kritischem Interesse die Schriften der Alten, mit Begeisterung die Werke von Kopernikus und Galilei studiert, war er zum Anhänger ihrer Lehren geworden. Damals schon faszinierte ihn der Gedanke, den Nachweis dafür zu erbringen, daß sich die Planeten im luftleeren Raum um die Sonne bewegen. Wenn es in der Natur keinen luftleeren Raum gab und nach Ansicht der Kirche nicht geben durfte, wollte er ihn künstlich schaffen. Mit einem wassergefüllten Weinfaß, das er leerzupumpen versuchte, hatte er seine physikalischen Experimente



Mit der von ihm gebauten Elektrisiermaschine beteiligte sich Guericke an der Erforschung elektrischer Erscheinungen und entdeckte 1650 das elektrostatische Prinzip. Die Abbildung zeigt Guericke, wie er mit der elektrisch aufgeladenen Schwefelkugel eine Flaumfeder, die abwechselnd angezogen und abgestoßen wird, durch das Zimmer treibt.

begonnen. Aber das Faß vermochte dem Druck der Außenluft nicht standzuhalten und wurde zerdrückt. Und so begannen mit den Versuchen die Enttäuschungen, die noch keinem Naturforscher und Erfinder erspart geblieben sind. Und da waren die Amtsgeschäfte als Ratsherr und Ratsbaumeister von Magdeburg in kriegerischer Zeit.

Als er in Gefangenschaft der Kaiserlichen geraten war, hatten die Schweden Guericke freigekauft und den Dreißigjährigen in Erfurt als Ingenieur und Festungsbaumeister in ihre Dienste genommen. Endlich, kurz vor Kriegsende, nach Magdeburg zurückgekehrt, wurde er von seinen Mitbürgern zu einem der vier Bürgermeister der Stadt gewählt, mit deren Wiederaufbau beauftragt und 1648 zu den Friedensverhandlungen nach Münster entsandt. Auf keiner Station dieses Weges ließ Guericke davon ab, sich Gedanken über das Wesen der Luft zu machen, Berechnungen anzustellen, Versuchsanordnungen zu er-



Guericke untersucht das Arbeitsvermögen des Luftdruckes zum Heben von Lasten.

sinnen. Etwa um 1650 begann er mit den von Galilei und Torricelli entwickelten und von ihm verbesserten Instrumenten, die Luftdruckmessungen systematisch weiterzuführen. Er konstruierte die Kolbenluftpumpe und setzte die Evakuationsversuche mit Metallhalbkugeln fort. Als es ihm tatsächlich gelungen war, ein Vakuum zu erzeugen, entschloß er sich zu der Reise nach Regensburg.

Vergeblich also. Und kaum, daß der Reichstag auseinandergegangen war und sich die Kunde von Guerickes »Pferdenummer« in alle Lande verbreitet hatte, entbrannte zwischen Anhängern und Gegnern des »Horror vacui« der Meinungsstreit heftiger als jemals zuvor. Enttäuscht, aber nicht entmutigt, nahm Guericke, der sich bescheiden »Ingenieur von Magdeburg« nannte, seine Experimente wieder auf. Er war es auch, der im Wortsinne »angezogen« von der geheimnisvollen »vis electrica«, der elektrischen Kraft, 1660 eine der ersten Elektrisiermaschinen baute. Auf einem hölzernen Gestell lagerte er eine drehbare Schwefelkugel, die durch Reibung elektrische Ladungen von bemerkenswerter Stärke erzeugte. Hauptsächlich aber hielt er an den Untersuchungen zur Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit des Luftdruckes fest und führte über alle Beobachtungen und neugewonnenen Erkenntnisse gewissenhaft Buch. So entstand in jahrelanger Nachtarbeit ein umfangreiches Manuskript, dessen Titel lautete: »Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio« (Neue Magdeburger Experimente mit dem Vakuum). Ein Drucker dafür fand sich in keinem der damals zahlreichen deutschen Länder. Sie beharrten selbst dann noch auf ihrer Ablehnung, als der Nachfolger Kaiser Ferdinands III. geruhte, den berühmten

Magdeburger Bürgermeister und erfindungsreichen Techniker in den Adelsstand zu erheben.

Erst im Jahre 1672 erklärte sich ein Amsterdamer Buchhändler bereit, das Buch in Druck zu geben, ohne jedoch dem Verfasser ein Honorar in Aussicht zu stellen. »Es wird schwer genug werden, das Buch zu verkaufen und die Druckkosten hereinzubringen!« rechtfertigte der Buchhändler sein Verhalten. Er konnte nicht ahnen, welche Bedeutung den »Neuen Experimenten« zukam. Nach den Experimenten mit der Elektrisiermaschine hatte Otto von Guericke, wie er sich fortan nennen durfte, 1661 mittels eines evakuierten Metallzylinders mit eingepaßten Kolben das Arbeitsvermögen des Luftdruckes erstmals zum Lastenheben genutzt.

Mit seinen erfolgreichen Experimenten schuf Guericke die physikalisch-technischen Grundlagen zur Entwicklung einer neuen Kraftmaschine, die mit Kolben und Zylinder arbeitete und den Luftdruck nutzte, die als atmosphärische Dampfmaschine zum »Universalmotor« und zum Symbol der Industriellen Revolution werden sollte.

Ausklang und Ausblick

Hinter dem Leser liegt ein Streifzug im Zeitraffertempo durch 500000 Jahre Menschheitsgeschichte, von denen 100000 Jahre im Zeichen des Faustkeiles und des Höhlenfeuers standen, den Geburtshelfern aller Technik. Erst vor fünftausend Jahren löste in Mitteleuropa die Bronzezeit die Steinzeit ab. Zweitausend Jahre jünger noch ist der Gebrauch von Eisen und Stahl, deren Erzeugung bis in unsere Gegenwart einer der Maßstäbe für die ökonomische Leistungsfähigkeit moderner Industriegesellschaften geblieben ist.

Für uns unvorstellbare Zeiträume liegen zwischen den Höhlenzeichnungen jener Steinzeitmenschen, die als Jäger und Sammler mit der Schwerkraftfalle die Urform des Automaten schufen, und dem Bildnis der »Mona Lisa« von Leonardo da Vinci, dem Renaissancegenie, der als Ingenieur die ersten automatisierten Werkzeug- und Arbeitsmaschinen konstruierte, der in kühnem Gedankenflug selbstfahrende Wagen, Flugapparate und Tauchboote erdachte. Geradezu gering erscheinen im Vergleich dazu die fünftausend Jahre, die die Erfindung und den Gebrauch des Rades von den imposanten hölzernen Radsätzen, von Agricola als »Fördermaschinen« beschrieben, und dem winzigen Räderwerk der ersten tragbaren Taschenuhren trennen. Beide Zeitenvergleiche zeigen, daß sich die Entwicklung der technischen Mittel, die der Mensch erfand und einsetzte, um in der Auseinandersetzung mit der Natur seine Existenzbedingungen bewußt selbst zu gestalten, außerordentlich langsam und ungleichmäßig vollzog.

Die Begegnungen mit den Sachzeugen der Vergangenheit ließen uns nacherleben, wie der Mensch im Prozeß der Arbeit zur Produktivkraft wurde, wie sich im Schoße der Urgemeinschaft mit Ackerbau und Viehzucht und der Spezialisierung des Handwerkes die erste gesellschaftliche Arbeitsteilung und die Herausbildung der antagonistischen Klassengesellschaft vollzogen. Wir bewunderten die Staudämme, Kanäle und Schöpfwerke der Bewässerungsfeldbauer, verweilten in den Häfen der phönikischen Seefahrer und am Schmiedefeuer des Hephaistos, spürten den »Sieben Weltwundern« und dem einstigen Glanz der im Wüstensand versunkenen oder von Feindeshand zerstörten Metropolen der alten Sklavenhalterdynastien nach. Wir besuchten Herons Automatentheater, blickten in mittelalterliche Alchemistenküchen und hörten das Klappern und Knarren von Wind- und Wasserrädern, übertönt vom Stöhnen der Rudersklaven und der Menschen in den Tretmühlen.

In schon kürzeren Abständen folgten einander in der ersten Hälfte des zweiten, unseres, Jahrtausends jene epochalen Erfindungen wie Schießpulver und Kompaß, Räderuhren und Buchdruck, Fernrohr und Mikroskop. Erfindungen, die den Untergang der Feudalordnung beschleunigten, das überlieferte Erdbild und Weltsystem gleichermaßen umkrempelten, die das Produktionsfeld des Menschen beträchtlich erweiterten und damit neue, höhere Anforderungen an seine Fähigkeit zur theoretischen und praktischen Aneignung der Wirklichkeit stellten.

Menschlicher Geist und menschliche Tatkraft waren in der Zeit der Renaissance, die Riesen forderte und zeugte, so produktiv wie nie zuvor. Die Begegnungen mit Leonardo da Vinci, mit Kopernikus und Galilei, mit Agricola und Guericke machten deutlich, wie der Erkenntniszuwachs in der Naturwissenschaft die Technikentwicklung beschleunigte, wie der technische Fortschritt seinerseits die Herausbildung neuer Wissenschaftszweige begünstigte. Die Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Wissenschaft gewannen gegenüber früheren Epochen an Deutlichkeit. Im Edelmetallbergbau und im Hüttenwesen entwickelten sich, vom Handelskapital gefördert, frühkapitalistische Produktionsformen, die auf das städtische Handwerk übergriffen und die einfache Kooperation der Kleinwerkstätten zu Manufakturen werden ließen. Und dennoch: Trotz aller Fortschritte in der Erkenntnis und Beherrschung der Natur, die für den Stand der Produktivkräfte in der Periode des Frühkapitalismus kennzeichnend sind, blieb der Grundcharakter der Produktion, die Produktionsweise, unverändert von der Handarbeit bestimmt. Muskel-, Wind- und Wasserkraft hatten die Grenzen ihrer effektiven Weiterentwicklung erreicht. Die Versuche mehr oder weniger ernst zu nehmender Mechaniker und betrügerischer Pfiffikusse, als neue, unerschöpfliche Antriebsquelle einen »Immerbeweger« in Gang zu setzen, waren gescheitert.

Zum erstenmal in ihrer von der Technik begleiteten Geschichte befand sich die Menschheit in einer Situation, die wir heute nicht unzutreffend als »Energiekrise« bezeichnen würden. Wie es dem Menschen gelang, mit Hilfe von Wissenschaft und Technik, gestützt auf die Ideen eines Heron von Alexandria, auf die Experimente Leonardo da Vincis und Otto von Guerickes, die Fesseln der überalterten Produktionsweise zu sprengen und Maschinen zu schaffen, die die Handarbeit verdrängten, erzählt der nachfolgende Band. Sein Anliegen wird es sein, dem Leser Streiflichter zur Industriellen Revolution zu vermitteln.

Anhang

Historischer Überblick

2600000 v. u. Z. Der »Pithecanthropus« (Affenmensch) benutzt in der Natur vorgefundene Geröllgeräte (Pebble tools)

600000 v. u. Z. Für den »Homo erectus« (Urmensch) beginnt die Arbeitstätigkeit mit dem Besitz des Faustkeils, der Keule und des »wilden Feuers« zur Lebensgrundlage zu werden

350000 Der Urmensch von Bilzingsleben lebt in Jäger- und Sammlerhorden. Differenzierte Werkzeugherstellung aus Stein, Holz, Knochen und Geweih nachweisbar

300000/50000 Der »Homo sapiens neanderthalensis« (Altmensch) lebt in Jäger- und Sammlersippen. Beherrschung der Feuererzeugung (Feuerquirl, Feuerbohrer)

40000 »Homo sapiens diluvialis«. Spezialisierung der Jagdmethoden (Treibjagd, Fallgruben). Floß, Einbaum und Harpune

35000 Schnüre, Seile, Riemen, Knüpf- und Flechtarbeiten, Netz, Reuse, Angelhaken

30000 Erste Fernwaffen und zusammengesetzte Werkzeuge (Speer, Pfeil und Bogen, gestieltes Beil). Älteste Zeugnisse der Höhlenmalerei und Knochenschnitzerei

20000 Torsions- und Schwerkraftfallen

15000 Tierhaltung und Wildgetreideernte als Vorstufe zu Ackerbau und Viehzucht

12000 In Jütland, Belgien und Südengland Bergbau auf Feuerstein

10000 Stämme der Regenfeldbauern und Viehzüchter in Kleinasien. Erste Großsiedlungen. Beginn der ersten gesellschaftlichen Arbeitsteilung

9000 Schleife, Schlitten, Rolle

8000 Im Vorderen Orient Lehmziegel im Häuserbau

7000 Herstellung von handgeformten Tongefäßen. Erster Nachweis für die Metallverarbeitung (Kupfer, Blei) in Armenien

6000 Abwanderung der Regenfeldbauern aus Kleinasien ins Zweistromland. Beginn des Bewässerungsfeldbaues. Einführung des Spinnens und Webens sowie des Töpferofens

5000 Im Vorderen Orient Einführung der Töpferscheibe für den Handbetrieb. Entstehung des Handwerks (Töpferei, Weberei, Werkzeugherstellung). In Ägypten ist der Schaduf zum Wasserheben in Gebrauch

4500 Entwicklung spezialisierter Produktionsmittel für die Nahrungsgewinnung (Sicheln, Mörser, Reibplatten)

4000 Ägyptischer Kupferbergbau auf Sinai. Herstellung von Bronze aus Kupfer und Zinn. Erfindung des Rades und des Karrens

3500 Im Vorderen Orient entstehen aus Stadtstaaten die ersten Großreiche. Staatliche Be- und Entwässerungsbauten, Stauwerke und Kanäle zur Trinkwasserversorgung der Städte

3000 In Ägypten Einsatz von Schöpfrädern im Bewässerungsfeldbau. Älteste Abbildungen altägyptischer Segelschiffe. Aufkommen der Küstenschiffahrt und Ausweitung des Handels. Bau des Großhafens von Lothal. Seidenraupenzucht in China.
Bildung von Privateigentum an Produktionsmitteln als Wurzel der Klassengesellschaft. Einführung des Geldes

2950 Stufenpyramide von Sakkara, ältester Steinbau in der Geschichte der Architektur. Entstehung der Keilschrift. Tontafeln und Papyrus als Beschreibstoff

2900 Schaffung eines einheitlichen Bewässerungssystems in Ägypten. Ausarbeitung von Überschwemmungskalendern. Anfänge der Astronomie

2650 Bau der Cheopspyramide, ältestes der »Sieben Weltwunder«

2500 Haspel und Göpel sind zum Wasserheben und zur Förderung im Bergbau bekannt. Älteste Züge der »Bernsteinstraßen«

2200 Nutzung der Balkenwaage. Beginn der bergmännischen Salzgewinnung in Tirol. Reisanbau in China

2000 Der Blasebalg ist in Gebrauch

1800 Speichenrad und Wagen – auch als Jagd- und Kampfwagen – im Vorderen Orient. Einsatz von Zugtieren beim Pflügen. In Europa Frühbronzezeit mit bodenständiger Metallverarbeitung

1700 Entstehung des »Moskauer Papyrus« und des »Papyrus Rhind«, der ältesten bekannten mathematischen Aufgabensammlungen

1600 Anlage des Mevisstaubeckens in Ägypten. Anfänge der Eisenmetallurgie in Kleinasien

1500 Drechselbank mit Schnurzug und Fiedelbogen.
Glasmacherwerkstätten in Ägypten

1480 Bau des Terrassentempels von Deir el-Bahare. Ägyptischer Tauschhandel mit Punt

1400 Errichtung der Memnonskolosse. Herstellung eiserner Werkzeuge und Waffen

1200 Kanalbau zwischen Nil und Rotem Meer. Die Windmühle ist im Vorderen Orient bekannt

1100 Chinesische Seefahrer benutzen magnetischen Richtungsweiser (Kompaß)

1000 Pumpen – angetrieben von Zugtieren – zum Wasserheben in Gebrauch. Kupferbergbau bei Salzburg

950 Wasserleitungsbau in Jerusalem unter König Salomo

900 Mauerbrecher und Sturmböcke der Assyrer

800 Entstehung des athenischen Sklavenhalterstaates
Anlage eines 55 km langen Kanals zur Trinkwasserversorgung von Ninive

776 Beginn der Olympiadenrechnung in Griechenland

753 Sagenhafte Gründung Roms. Einführung der Metallmünzen. Homer begründet die hellenistische Literatur

700 Die Eisenverarbeitung wird nördlich der Alpen bekannt

688 Zerstörung Babylons

640 Wasseruhren bei den Assyrern in Gebrauch

600 Phöniker umschiffen vom Roten Meer aus Afrika

Wiederaufbau Babylons und Erbauung der »Hängenden Gärten« unter Nebukadnezar II. Schiffsschleifbahn über die Landenge von Korinth

550 Anfänge der griechischen Naturphilosophie (Thales von Milet, Pythagoras, Anaximenes). Bronzeguß in Griechenland

500 Hebelpresse und Wasserwaage nachweisbar. Töpferscheibe, nördlich der Alpen bekannt

480 Sieg der Griechen über die Perser in der Seeschlacht bei Salamis

450 Erscheinen der Schriften des Herodot, des ersten wissenschaftlichen Forschungsreisenden. Flaschenzug und Zahnrad sind bekannt; eiserne Werkzeuge und Waffen weit verbreitet

440 Atomlehre des Leukipp und Demokrit

432 Standbild des Zeus zu Olympia und Tempel der Diana zu Ephesos errichtet

400 Torsionsgeschütze sind bekannt

384 Aristoteles, Vollender der griechischen Naturphilosophie und Literatur, geboren

336/323 Alexander von Makedonien unterwirft Persien, zieht nach Indien und Ägypten

331 Gründung von Alexandria

325 Pytheas von Massilia stößt bis unter die Breiten der Mitternachtssonne vor

312 Baubeginn an der »Via Appia« und der »Großen Mauer«

300 Der griechische Mathematiker Euklid verfaßt Elementarlehre zur Mathematik und Geometrie. Seide kommt nach Europa. Schreibtafeln aus Wachs und Blei

280 Aufstellung des Kolosses von Rhodos

250 Bau des Leuchtturmes von Alexandria. Der alexandrinische Mechaniker Ktesibios konstruiert Wasseruhren, Wasserorgel, Druckluft-Feuerspritze und Druckluftgeschütz. Säpflug in Mesopotamien bekannt

240 Archimedes, der berühmteste Techniker der Antike, veröffentlicht seine Arbeiten über Hebel, schiefe Ebene, Rolle, Flaschenzug, Auftrieb und Archimedische Schraube

230 Der griechische Geograph Eratosthenes ermittelt durch Gradmessung den Erdumfang

220 Treträder zum Wasserheben in Gebrauch

200 Phylon von Byzanz beschreibt pneumatische Maschinen und Wurfgeschütze

180 Bau der Druckwasserleitung von Pergamon

146 Zerstörung Karthagos durch die Römer

145 Bau einer 90 km langen, z. T. über Aquädukte geführten Wasserleitung für die Versorgung Roms

74/71 Spartacusaufstand, größter Sklavenaufstand der Antike

58/50 Cäsar erobert Gallien

30 Ägypten wird römische Provinz. Der römische Architekt und Techniker Vitruvius beschreibt Wassermühlen und andere Produktionsmittel

25 Zum Lastenheben finden Ladebäume mit Rolle und Flaschenzug (Vorläufer des Kranes) Verwendung

Um 100 u. Z. Der griechische Mathematiker und Physiker Heron von Alexandria beschreibt mechanische Druckwerke und Automaten (z. T. unter Verwendung von Dampfkraft)

105 Erfindung des Papiers in China

140 Der alexandrinische Mathematiker und Geograph Ptolemäus vollendet in seinen Arbeiten zur Optik und Astronomie das geozentrische Weltbild

Um 180 Erste alchemistische Schriften im alexandrinischen Ägypten

350 Römische Steinbrücke über den Rhein bei Köln

Um 375 Mit Einfall der Hunnen in Osteuropa beginnt die Völkerwanderungszeit

395 Teilung des Römischen Reiches (West- und Ostrom)

600 Holzblockdruck in China bekannt

625 Gänsekiel wird als Schreibfeder verwendet. Erste Hinweise auf die Porzellanherstellung in China

Um 675 Byzantinischer Kriegsbaumeister (Kallinikos von Heliopolis) entwickelt das »Griechische Feuer«

Um 750 Durch chinesische Kriegsgefangene gelangt das Geheimnis der Papierherstellung ins Reich der Araber

800 Karl der Große wird zum Kaiser gekrönt. Übergang zur Dreifelderwirtschaft in West- und Mitteleuropa

820 Älteste deutsche Sonnenuhr in Fulda

950 Einführung von Hufeisen und verbessertem Geschirr für Zugtiere

968 Beginn des Silber- und Kupferbergbaues im Harz (Goslar, Rammelsberg)

998/1003 Normannen (Leif und Nachfolger) erreichen über Grönland Labrador

1041 Druck mit beweglichen Lettern in China

1096 Beginn der Kreuzzüge

1100 Gründung der Universitäten Bologna und Oxford

1147 Erste europäische Papiermühle in Spanien

1168 Beginn des sächsischen Silberbergbaues bei Freiberg

Um 1200 In Mitteleuropa werden Stück- und Wolfsöfen in Flußtälern angelegt, um die Gebläse durch Wasserkraft anzutreiben. Der Kompaß führt sich in der europäischen Seefahrt ein. In Italien erste Manufakturen für die Tuch- und Seidenweberei

1215 Die Magna Charta setzt für Britannien ein einheitliches Maß- und Gewichtssystem in Kraft

1222 Älteste deutsche (Bock-)Windmühle in Köln

1235 Erste Entwürfe zu einem Perpetuum mobile (Villard de Honnecourt)

1250 Der englische Naturforscher Roger Bacon beschreibt »Sehgläser aus Beryll«, die Vorläufer der Brillen

1260 Beginn der Chinareisen der venezianischen Familie Polo, durch die die europäischen Völker zuverlässige Kunde von den Ländern im Fernen Osten erhielten

1273 Otto von Habsburg wird zum Kaiser gewählt

1304 Älteste Gewichtsräderuhren in Erfurt, Augsburg und Mailand

1325 Angebliche Wiedererfindung des Schwarzpulvers durch Berthold Schwarz. Einführung der Feuerwaffen (Steinbüchsen) in die Militärtechnik. Erste Hochöfen (Holzkohle) in Europa

1330 Kranhaus in Lüneburg

1337/1453 Hundertjähriger Krieg zwischen England und Frankreich

1350 Gründung der Hanse. Ältester deutscher Steinkohlenbergbau in der Gegend um Zwikkau nachgewiesen. Tuchwarenmanufakturen in England

1352/53 Bau der astronomischen Uhr des Straßburger Münsters

1386 In Heidelberg Gründung der ersten deutschen Universität

1389 Papiermühle in Nürnberg

1398 Elbe-Trave-Kanal vollendet. Eisenguß in Frankreich und im westlichen Deutschland

1409 Gründung der Universität Leipzig. Drehbank mit Wippe und Handkurbel

1435 Johann Gutenberg beginnt Arbeiten zur Verbesserung des Buchdruckes mit beweglichen Lettern

1453 Die Eroberung Konstantinopels durch die Türken führt zur Sperrung der Handelswege zwischen Europa und Asien

1460 Der deutsche Astronom und Mathematiker Regiomontanus gründet in Nürnberg die erste deutsche Sternwarte

1480 Pferdegöpel werden im Bergbau eingesetzt. Das Flügelspinnrad mit Handantrieb ist bekannt

1492 Der Italiener Christoph Kolumbus entdeckt auf der Suche nach Indien und China Mittelamerika

Um 1500 Leonardo da Vinci, das Renaissancegenie, entwirft u. a. automatisierte Feilenhaumaschine, Schleifmaschine, Gewindebohrer, Textilmaschinen, selbstfahrende Wagen, Flugapparate, Tauchboote

1510 Der Nürnberger Schlosser Peter Henlein konstruiert tragbare Taschenuhren

1517 Thesenanschlag Luthers in Wittenberg. Beginn der Reformation

1519/1522 Erste Weltumseglung durch die portugiesischen Seefahrer Magalhães und Elcano beweist die Kugelgestalt der Erde

1525 Großer Deutscher Bauernkrieg

1543 In seinem Hauptwerk »Über die Umläufe der Himmelskörper« begründet der polnische Astronom Mikolaj Kopernik das nach ihm benannte heliozentrische Weltsystem. Schreibfedern aus Metall erwähnt

Um 1500 In Leipzig erscheint das »Große Rechenbuch« (Practica) des Annaberger Rechenmeisters Adam Ries.
Einführung hölzerner Schienenbahnen im Bergbau.
Holländerwindmühlen mit drehbarer Dachhaube ermöglichen bessere Nutzung der Windkraft.
Spindeldrehbank und Kardangelenk bekannt

1555 Erfindung der Stangenkünste im erzgebirgischen Bergbau

1556 Der deutsche Arzt und Mineraloge Georgius Agricola beschreibt in seinem Werk »De re metallica, libri XII« den Bergbau und das Hüttenwesen seiner Zeit

1561 Drehbank mit Support (H. Spaichel)

1564 Geburtsjahr des englischen Dichters William Shakespeare und des italienischen Naturforschers Galileo Galilei

1580 Drehbank mit Gewichtsantrieb

1586 Der italienische Architekt Domenico Fontana versetzt mit Hilfe von Flaschenzügen und Winden den Vatikanischen Obelisken

1589 Der englische Geistliche William Lee erfindet den Strumpfwirkstuhl

1590 Galilei entdeckt das Fallgesetz. Die holländischen Optiker Johann und Zacharias Janszen konstruieren ein Mikroskop

1593 Erste Thermometer von Galilei

1600 Der italienische Naturforscher Giordano Bruno wird als Ketzer verbrannt. Der engli-

sche Physiker William Gilbert begründet die Lehre von den magnetischen und elektrischen Erscheinungen. Der holländische Baumeister und Mechaniker Simon Stevins baut und erprobt Segelwagen

1608 Der holländische Brillenschleifer Johannes Lippershey erhält Patent auf binokulare Brille und erfindet (vermutlich) das Fernrohr

1609 Galilei verwendet selbstgebautes Fernrohr zur Himmelsbeobachtung und beweist das heliozentrische Weltsystem

1618/1648 Dreißigjähriger Krieg

1619 Der englische Metallurg und Hüttenfachmann Dudley verwendet Steinkohle – statt Holzkohle – zur Verhüttung von Eisen

1620 Der schottische Mathematiker Johann Napier und der deutsche Mathematiker Jost Bürgi schaffen fast gleichzeitig die Logarithmen

1621 Einführung des Bandwebstuhles. Tauchbootversuche des holländischen Physikers und Mathematikers van Drebbel

1627 Verwendung von Schwarzpulver für Sprengarbeiten im Bergbau

1628 Der englische Arzt William Harvey entdeckt den Blutkreislauf

1629 Der italienische Naturwissenschaftler und Techniker Giovanni Branca konstruiert eine Dampfturbine zum Antrieb eines Schaufelrades (»Püsterich«)

1642/60 Bürgerliche Revolution in England

1642 Der französische Mathematiker und Physiker Blaise Pascal beschäftigt sich mit der Konstruktion einer Rechenmaschine zum Addieren

1643 Der italienische Mathematiker und Physiker Evangelista Torricelli erfindet das Quecksilberbarometer und stellt die Veränderlichkeit des Luftdruckes fest

1654 Otto v. Guericke führt auf dem Reichstag zu Regensburg das berühmte Experiment mit den »Magdeburger Halbkugeln« vor

1655 Feuerspritze mit Windkessel wird eingeführt

1657 Der holländische Physiker Christian Huygens erhält eine Pendeluhr mit Spindelhemmung patentiert

1660 Der deutsche Chemiker und Arzt Rudolf Glauber unternimmt Versuche zur künstlichen Düngung

1661 Der englische Naturforscher Robert Boyle setzt an die Stelle der vier Elemente der griechischen Naturphilosophie die meisten der noch heute als Elemente anerkannten Stoffe und begründet die moderne analytische Chemie

1663 O. v. Guericke erfindet die Elektrisiermaschine. Der englische Erfinder Edward Somerset, Marquis von Worcester, erhält eine Dampfpumpe als Wasserhebemaschine patentiert. Der englische Mathematiker und Physiker Isaac Newton schlägt Dampfwagen mit Rückstoßantrieb vor

1668 Newton konstruiert für seine astronomischen Beobachtungen ein Spiegelteleskop

1673 Gottfried Wilhelm v. Leibniz, der letzte deutsche Universalgelehrte, konstruiert eine Rechenmaschine zum Multiplizieren. Der holländische Naturwissenschaftler Antony van Leeuwenhoek entdeckt die roten Blutkörperchen

1675 Newton entwickelt die Differential- und Integralrechnung, die Grundlagen der höheren Mathematik und der mathematischen Naturwissenschaften

1678 Der französische Ingenieur de Glenes erfindet den mechanischen Webstuhl mit hydraulischem Antrieb

1681/1685 Bau des Wasserhebewerkes mit Schöpfrädern und Kolbenpumpen bei Marly

1690 Der französische Physiker Denis Papin beschreibt die atmosphärische Dampfmaschine mit Kolben und Zylinder

1696 Der deutsche Naturwissenschaftler Ehrenfried Walter Graf von Tschirnhaus erfindet das europäische Hartporzellan

1698 Der englische Techniker Thomas Savery erhält Patent auf kolbenlosen Dampfheber (»The Miner's Friend«)

1700 Gründung der Akademie der Wissenschaften zu Berlin

Literaturhinweise

Agricola, G., *Zwölf Bücher vom Bergbau und vom Hüttenwesen.* Düsseldorf: VDI-Verlag 1953

Allgemeine Geschichte der Technik – Von den Anfängen bis 1870. Aus dem Russ. übersetzt. Leipzig: Fachbuchverlag 1981

Benedek, J., *Vom Faustkeil zum Röntgenstrahl.* Aus dem Ungarischen übersetzt. Berlin: Verlag Neues Leben 1982

Bernal, J. D., *Die Wissenschaft in der Geschichte.* Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 3., bearb. Aufl. 1967

Bernard, J., *Tore, Tempel und Paläste.* Ein Gang durch versunkene Städte. Leipzig: F. A. Brockhaus Verlag 1974

Brentjes, B., *Vom Stamm zum Staat.* Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1980

Brentjes, B., *Von Schanidar bis Akkad* – Sieben Jahrtausende orientalischer Weltgeschichte. Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1968

Brentjes, B., S. Richter und R. Sonnemann, *Geschichte der Technik.* Hrsg. v. R. Sonnemann. Leipzig: Edition 1978

Childe, V. G., *Der Mensch schafft sich selbst.* Dresden: Verlag der Kunst 1959

Ceram, C. W., *Götter, Gräber und Gelehrte* – Roman der Archäologie. Berlin: Verlag Volk und Welt, 2. Aufl. 1980

Coll, P., *Das gab es schon im Altertum* – Technische Meisterwerke vor Jahrtausenden. Würzburg: Arena-Verlag; Wien: Österr. Bundesverlag, 6. Aufl. 1975

Conrad, W., *Wer – Was – Wann?* – Entdeckungen und Erfindungen in Naturwissenschaft und Technik. Leipzig: Fachbuchverlag, 2., verbess. Aufl. 1980

Demmin, A., *Encyclopädie. Handbuch der bildenden und gewerblichen Künste.* Fotomech. Neudruck der Originalausgabe von 1877. Leipzig: Zentralantiquariat der DDR 1980

Eichhorn, W., A. Bauer und G. Koch, *Die Dialektik von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen.* Berlin: Dietz-Verlag 1975

Engels, F., *Der Ursprung der Familie, des Privateigentums und des Staates.* Werke. Bd. 21. Berlin: Dietz-Verlag 1962

Enzyklopädie der Technikgeschichte – Über 7000 Jahre frühe technische Kultur. Stuttgart: Deutsche Verlagsgesellschaft 1974

Feldhaus, F. M., *Kulturgeschichte der Technik.* Nachdruck der Ausgabe Berlin 1928. Hildesheim: Gerstenberg 1976

Feldhaus, F. M., *Ruhmesblätter der Technik.* Von den Urerfindern bis zur Gegenwart. Leipzig: Brandstetter 1910

Forbes, R. J., *Vom Steinbeil zum Überschall* – 5000 Jahre Technik. München: List Verlag 1954

Hendrichs, F., *Der Weg aus der Tretmühle* – Ein Abriß der Geschichte der Technik der neuen Zeit. Düsseldorf: VDI-Verlag 1955

Die Herausbildung des Menschen. Hrsg. von W. Schlette. Berlin: Akademie Verlag 1980

Herrmann, J., *Spuren des Prometheus* – Der Aufstieg der Menschheit zwischen Naturgeschichte und Weltgeschichte. Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag, 3. Aufl. 1979

Honore, P., *Es begann mit der Technik* – Das technische Können der Steinzeitmenschen und wie es die moderne Vorgeschichtsforschung enträtselt. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt 1969

Klemm, F., *Technik – Eine Geschichte ihrer Probleme.* Freiburg, München: Alber 1954

Kuczynski, J.: *Vier Revolutionen der Produktivkräfte* – Theorie und Vergleiche. Forschungen zur Wissenschaftsgeschichte, Bd. 8. Berlin: Akademie-Verlag 1975

Lilley, S., *Menschen und Maschinen* – Eine kurze Geschichte der Technik in ihrer Beziehung zur gesellschaftlichen Entwicklung. Wien: Schönbrunn-Verlag 1952

Leuschner, F., *Kostbarkeiten aus technischen Sammlungen.* Leipzig: Edition 1980

Mania, D., und A. Dietzel, *Begegnungen mit dem Urmenschen* – Die Funde von Bilzingsleben. Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1980

Neuburger, A., *Die Technik des Altertums.* Fotomech. Neudruck der Ausgabe Leipzig 1919. Leipzig: Zentralantiquariat der DDR 1977

Neukirchen, H., *Seefahrt gestern und heute.* Berlin: transpress Verlag, 5. Aufl. 1979

Patzelt, O., *Triumph des Rades* – Geschichte und Bedeutung einer Erfindung. Berlin: Verlag Technik 1979

Die Produktivkräfte in der Geschichte – Von den Anfängen in der Urgemeinschaft bis zum Beginn der industriellen Revolution. Hrsg. v. W. Jonas. Berlin: Dietz-Verlag 1969

Rezac, K., *Rund um die großen Erfindungen.* Berlin: Kinderbuchverlag, 2. Aufl. 1981

Sworykin, A. A., N. I. Osmowa, W. I. Tschernyschew und S. V. Schuchardin, *Geschichte der Technik.* Aus dem Russ. Leipzig: Fachbuchverlag, 2., verbess. Aufl. 1967

Ullrich, H., *An der Schwelle der Menschheit.* Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1974

Weltgeschichte bis zur Herausbildung des Feudalismus. Veröffentlichung des Zentralinstituts für Alte Geschichte und Archäologie der Akademie der Wissenschaften der DDR. Bd. 5. Berlin: Akademie-Verlag 1977

Weltgeschichte in Daten. Berlin: Verlag der Wissenschaften, 2. Aufl. 1973

Wille, H. H., *Stählerne Welt.* Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1971

Wille, H. H., *Vorstoß ins Innere der Erde.* Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag, 3., überarb. Aufl. 1982

PERSONEN-VERZEICHNIS

Agricola, Georgius (1494–1555) 161 ff., 178, 183
Alexander der Große (356–323 v. u. Z.) 94, 97, 181
Antonius, Marcus (um 82–30 v. u. Z.) 71
Apollonius von Perge (um 262–um 190 v. u. Z.) 101
Appius, Claudius Caesus (um 312 v. u. Z.) 70
Archimedes (etwa 285–212 v. u. Z.) 37 ff., 83, 98 ff., 105, 108, 109, 182
Aristoteles (384–322 v. u. Z.) 83, 85, 96, 100, 108, 109, 128, 181
Arkliken, Constantin s. Berthold Schwarz
Augustus (63 v. u. Z.–14 u. Z.) 79

Bacon, Roger (um 1214–1294) 109, 128, 168, 182
Bernal, John Desmond (1901 bis 1971) 137
Beßler, Johann Ernst Elias (Orffyreus) (gest. 1745) 125 ff.
Borgia, Cesare (1475–1507) 156
Boyle, Robert (1627–1691) 151, 184
Brecht, Bertolt (1898–1956) 84
Bruno, Giordano (1548–1600) 183
Bürgel, Bruno H. (1875–1948) 20

Cook, James (1728–1779) 152

Darwin, Charles (1809–1882) 10 ff.
Demokrit (um 460–360 v. u. Z.) 181
Diodorus (80–29 v. u. Z.) 46
Djoser (um 2650 v. u. Z.) 87 ff.
Drebbel, Cornelius van (1572 bis 1634) 170, 172, 184
Dubois, Eugène (1858–1940) 11
Dudley, Dud (1599–1684) 184
Dürer, Albrecht (1471–1528) 146, 150

Engels, Friedrich (1820–1895) 16, 152, 154
Erasmus von Rotterdam (1466 bis 1536) 163
Eratosthenes von Kyrene (etwa 276–194 v. u. Z.) 182
Euklid (um 300 v. u. Z.) 109, 181

Ferdinand III. (1608–1657) 173, 176
Fontana, Domenico (1543 bis 1607) 114, 183
Fust, Johann (um 1400–1465) 144

Galilei, Galileo (1564–1642) 167, 169 ff., 172, 175, 178, 183, 184
Gama, Vasco da (1469–1524) 142
Gilbert, William (1544–1603) 184
Glauber, Johann Rudolf (1604 bis 1668) 184
Goethe, Johann Wolfgang v. (1749–1832) 10, 87, 89
Guericke, Otto v. (1602–1686) 172 ff., 178, 179, 184
Gutenberg, Johannes Gensfleisch zum (1394–1468) 142 ff., 183

Hadrian (76–138) 111
Haeckel, Ernst (1824–1919) 10, 12
Hammurabi (1786–1686 v. u. Z.) 91
Harvey, William (1578–1657) 167, 184
Henlein, Peter (um 1480–1542) 150 ff., 183
Hephaistos 50, 52, 178
Herodot (um 484–425 v. u. Z.) 35, 37, 41, 65, 78, 83, 88, 91, 94, 181
Heron von Alexandria (wahrscheinlich um 100 v. u. Z.) 8, 82, 99, 103 ff., 107, 108, 122, 123, 161, 178, 179, 182
Heyerdahl, Thor (geb. 1914) 59
Homer (um 700 v. u. Z.) 56, 58, 109, 181
Honnecourt, Villard de (um 1235) 123 ff., 126, 182
Hooke, Robert (1635–1703) 172
Hutten, Ulrich von (1488–1523) 154
Huygens, Christian (1629 bis 1695) 151, 161, 184

Janszen, Johann und Zacharias 170, 183

Kallinikos von Heliopolis (um 670) 130, 182
Karl der Große (742–814) 140, 182
Kepler, Johannes (1571–1630) 167, 170
Kleopatra VII. (69–30 v. u. Z.) 71, 129
Koberger, Anton (um 1440 bis 1513) 146
Koldeway, Robert (1855–1925) 90 ff.
Kolumbus, Christoph (1451 bis 1506) 60, 63, 142, 167, 183
Kopernik, Mikolaj (lat. Kopernikus, Nikolaus) (1473–1543) 153, 167, 175, 178, 183
Ktesibios (etwa 250 v. u. Z.) 8, 99, 102, 105, 107, 108, 149, 181
Kyeser von Eichstätt, Konrad (geb. 1366) 131

Lamarck, Jean-Baptiste de (1744–1829) 10
Lee, William (um 1550–1610) 183
Leeuwenhock, Antony van (1632–1723) 172, 184
Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646–1716) 184
Leonardo da Vinci (1452–1519) 8, 110, 116, 123, 126, 135, 152, 154, 161, 172, 178, 179, 183
Leukipp (um 500–440 v. u. Z.) 181
Leupold, Jacob (1674–1726) 126

Linné, Karl von (1707–1778) 10
Lippershey, Johannes (1572 bis 1640) 168, 172, 184
Ludwig XIV. (1634–1715) 120
Luther, Martin (1483–1546) 135, 183

Mach, Ernst (1838–1916) 72
Magalhães, Fernao de (um 1480–1521) 142, 183
Magnus, Albertus (1207–1280) 161
Malpighi, Marcello (1628 bis 1694)
Mann, Thomas (1875–1955) 88
Marx, Karl (1818–1883) 8, 142, 148, 152
Mayer, Julius Robert (1814 bis 1878) 126
Michelangelo, Buonarroti (1475 bis 1564) 156
Müntzer, Thomas (1490–1525) 167

Nabupolassar (um 626 v. u. Z.) 91, 93 ff.
Napier, John Lord of Merchiston (1550–1617) 184
Napoleon I. (1769–1821) 87
Nebukadnezar II. (gest. 562 v. u. Z.) 42, 91
Nero (37–68) 168
Newton, Isaac (1643–1727) 126, 170, 184
Noah 60

Papin, Denis (1647–1712) 161, 184
Paracelsus, Theophrastus Bombastus v. Hohenheim (1493–1541) 167
Pascal, Blaise (1623–1662) 127, 184
Perikles (um 500–429 v. u. Z.) 97
Petrarca, Franzesco (1304 bis 1374) 135, 137
Philon von Byzanz (etwa 250 v. u. Z.) 99
Plato (428–348 v. u. Z.) 100
Plinius der Ältere (23–79) 161, 168
Polo, Marco (1254–1324) 182
Polykrates (535–522 v. u. Z.) 42
Prometheus 21, 26
Ptolemäus, Claudius (90–160) 109, 140, 168, 182
Puschkin, Alexander S. (1799 bis 1837) 115
Pythagoras (um 580–500 v. u. Z.) 181
Pytheas aus Massilia (um 350 v. u. Z.) 65 ff., 181

Regiomontanus (eigtl. Johannes Müller) (1436–1476) 183
Ries, Adam (um 1492–1559) 183

Sachs, Hans (1494–1576) 150
Salomo (König von Israel) (965–925 v. u. Z.) 42, 181
Savery, Thomas (1650–1715) 184
Schedel, Hermann (um 1450) 146
Schöffer, Peter (1425–1503) 144
Schwarz, Berthold (Mitte 13. Jahrh.) 128 ff., 183
Semiramis (um 800 v. u. Z.) 78, 85, 92
Seneca, Lucius Annaens der Ältere (um 54–39 v. u. Z.) 168
Sforza, Ludovico (um 1500) 156
Sixtus V. (1521–1590) 114
Somerset, Edward Marquis von Worcester (gest. 1667) 184
Spartacus (gest. 71 v. u. Z.) 80, 108, 111
Stevins, Simon (1548–1620) 118, 184
Stoß, Veit (um 1445–1533) 150
Sualem, Rennequin (1645 bis 1708) 121

Thales von Milet (625–545 v. u. Z.) 106, 181
Themistokles (um 527–459 v. u. Z.) 69
Torricelli, Evangelista (1608 bis 1647) 172, 175, 184
Trajan (um 55–117) 68
Tschirnhaus, Ehrenfried Walter Graf v. (1651–1708) 184

Valturio, Roberto (um 1450) 146
Verne, Jules (1828–1905) 7
Vischer, Peter (1460–1529) 150
Vitruvius, Pollio Marcus (geb. um 70 v. u. Z.) 82, 146

Watt, James (1736–1819) 8, 122
Wohlgemuth, Michael (1443 bis 1519) 146

Xerxes (486–465 v. u. Z.) 69, 94

Zeus 21, 52, 181

SACHWÖRTER-VERZEICHNIS

Abstammungslehre (s. a. Menschwerdung) 10 ff.
Achse 75 ff., 83
Ackerbau (s. a. Landwirtschaft) 25, 26 ff., 77, 178, 180
Aerodynamik 159
Afrika 12 ff., 17, 26, 37, 44, 65, 87, 184
Ägypten 27, 35, 37, 40, 41, 50, 53, 65, 75, 115, 180 ff.
Alaska 25, 60
Alchemie 128, 129 ff., 142, 166
Alexandria 68, 86, 98, 108, 181
Altamerika 59
Amerika 25, 183
Anatomie 156, 167
Angelgerät 22, 29, 180
Antrieb s. Kraftquellen, Kraftmaschine
Äolipile 104, 107
Apparatebau 101
Aquädukt 42, 43, 44 ff., 107, 118, 120, 182
Araber 109, 115, 140, 143
Arbeit 16 ff., 22, 101, 156, 178
Arbeitsmaschine 7, 111, 123, 152, 160, 178
Arbeitsteilung 19, 33, 73, 121, 147, 148, 178, 180
Archimedische Schraube 39, 40, 100, 124 ff., 182
Armbrust 98
Armenien 61, 180
Artillerie s. Geschütze
Assur 79, 90
Assyrer 58, 80, 90, 181
Assyrisches Reich 42, 76, 94
Astrolabium 137, 139, 140
Astronomie 67, 140, 149, 167, 180, 182, 183
Athen 68
Attika 55
Australien 25
Automaten 8, 101 ff., 122, 152, 178, 182
Axt 22, 24, 28, 29, 54, 108

Babylon 40, 42, 61, 78, 85, 86, 90, 92, 94, 97, 101, 106, 181
Bagdad 90
Barometer 172, 184
Bauernkrieg, Großer Deutscher 148, 155
Baumwolle 29, 41, 143
Becherwerk 40
Befestigungsbau 68, 97
Beil 24, 28, 29, 63, 180
Belagerungsgeräte und Waffen 97 ff., 131, 156, 181
Bergbau 38, 40, 46, 54 ff., 113, 118, 121, 161 ff., 180 ff., 183
Bernstein 65, 78, 106, 180
Bewässerungsanlagen 35 ff., 55, 82, 90, 91, 116, 180
Bewässerungsfeldbau 35 ff., 40, 41, 55, 111, 178, 180
Bibel 10, 60, 90, 109, 121, 137, 144
Bilzingsleben 10 ff., 180
Bitumen 106, 130, 166
Blasebalg 48, 49, 53, 118, 136, 166, 167, 181
Blei 45, 49, 55, 106, 129, 143, 163, 180
Blockdruck 142
Bogen (s. a. Pfeil) 22, 29, 71, 98, 180
Bohren, Bohrer 24, 25, 63, 75
Bohrmaschine 24, 159, 160
Bohrwerk 135, 136
Boote 57
Brille 155, 168, 182
Britannien (s. a. England) 65, 79, 115, 182
Bronze 47, 49, 63, 83, 88, 136, 143, 178, 180
Bronzeguß 47, 49 ff., 59, 75, 134, 136
Bronzezeit 47 ff., 181
Brücke, Brückenbau 80, 94, 182
Brunnen (s. a. Zisterne) 37 ff., 91
Buchdruck 142, 147, 155, 178, 183
Byzantinisches Feuer 130, 182
Byzanz 117
Camera obscura 172
Changjiang 37, 41
Chemische Prozesse 31, 39, 106, 128, 167
Cheopspyramide s. Pyramiden
China 29, 37, 41, 50, 75, 109, 141, 143, 180 ff.
Chinesische Mauer 85, 181

Dampfkraft 40, 98, 104, 161, 182, 184 ff.
Dampfmaschine 7, 38, 40, 115, 122, 177
Dampfturbine 104, 184
Differentialgetriebe 160
Dolch 19, 47
Draht, Drahtziehen 49, 83, 118, 119
Drahtseil 83
Drehbank 72, 155, 160, 183
Dreifelderwirtschaft 26, 109, 182
Dreiruderer s. Triere
Druck, Druckverfahren s. Buchdruck
Druckerpresse s. Spindelpresse
Druckpumpe 103, 130
Druckwerke, pneumatische 102, 105

Ebene, schiefe 40, 88, 182
Edelmetalle 167
Edelsteine 50, 130, 149, 151
Einbaum 57, 58, 180
Eisen, Eisenerzeugung 45, 51, 53, 63, 119, 121, 129, 163, 178
Eisenguß 135, 136
Eisenwerkzeug 50 ff., 63, 181
Eisenzeit 51 ff.
Elektrisiermaschine 8, 106, 175, 176, 184
Elektrizität 106, 184
Elemente, chemische 128, 129, 184
Energieerhaltungsgesetz 126
Energieumwandlung 24, 123, 126
England (s. a. Britannien) 54, 136, 151
Entdeckungen, geographische 117, 137
Enterbrücke 70, 139

Entwässerung 35, 139, 180
Erzgebirge 118, 161 ff.
Esel 32, 88
Euphrat 35, 37, 39, 41, 53, 58, 90

Fabriksystem 7
Fackel 21
Faden, Erzeugung und Verarbeitung 29
Fallen für die Jagd 8, 19, 23, 24, 180
Faustkeil 8, 16 ff., 22, 59, 178, 180
Feilenhaumaschine 159, 160, 183
Feder, Federantrieb 150, 151
Federkraft 22, 160
Fernrohr 167, 168 ff., 171, 172, 178, 184
Feudalordnung 108, 137
Feuer 19, 47, 57, 178, 180
Feuererzeugung, künstliche 21 ff., 25, 30, 128, 180
Feuerlöschgeräte 102, 103, 181
Feuersetzen 54
Feuerstein 17, 27, 47, 54, 180
Feuerwaffen 130 ff., 183
Fischfang 22, 33, 47, 57, 180
Flachs 27, 29
Flaschenzug 83, 111, 158, 181, 182
Flechten, Flechtarbeiten 29, 33, 180
Floß 56 ff., 180
Flugapparat 107, 156, 157, 178, 183
Fördereinrichtungen, Bergbau 54, 113, 164 ff., 178
–, Wasser 37 ff., 40, 100, 121, 164
Fotografie 172
Frankreich 44, 115, 151
Fräsmaschine 160
Freiberg 118, 182
Fußantrieb 160

Galeere 64, 66, 70, 111, 142
Galvanisches Element 107
Ganges 66
Gdańsk (Danzig) 111 ff.
Geleucht 54
Geologie 161, 163
Gens 25, 33
Gentilordnung 25, 32
Gerberei, Gerbmittel 129
Germanien 44
Geröllgeräte s. Pebble-tools
Gerste 27
Geschütz, Geschützbau 71, 98 ff., 130, 131 ff., 148
Gestirne 67, 101, 170
Getriebe 120, 159
Gewölbebau 91
Gibraltar 65, 131, 137
Gießen, der Metalle 49 ff., 75, 143
Giseh 85, 86
Glas 51, 129, 166, 169, 181
Glossokomon 83
Gnomon 67, 140, 149
Göpel 38, 112, 113, 155, 164, 180, 183
Gold 47 ff., 50, 99, 129, 163
Grabstock, Grabgabel 26 ff., 33
Gravitation 159
Griechen 53, 63, 67, 97
Griechenland 27, 42, 44, 55, 78, 181 ff.
Griechisches Feuer s. Byzantinisches Feuer

Hacke 27, 35, 37
Hafen 67, 69, 83, 111
Halikarnassos 85
Hammer 24
Hammerwerk 118, 136
Handarbeit 16 ff., 179
Handelskapital 139, 166, 178
Handelsstraße 77, 79, 183
Handwerk, Handwerker 30, 33, 52, 61, 63, 101, 107, 109, 118, 135, 152, 180
Hanf 29, 114
Hanse 112, 155, 183
Harpune 22, 180
Harz 130, 182
Haspel 38, 55, 113, 164, 180
Haus, Hausbau 28, 180
Haustiere 28, 32, 33
Hebel, Hebelwirkung 37 ff., 83, 88, 97, 181
Hebezeug 83, 111, 126, 136
Heerstraßen 77, 79, 108
Heronsball 104, 105
Hobel 19
Hochofen 136, 183
Holländermühlen s. Windmühlen
Holz, Werkstoff 17, 47, 98, 180
–, Brennmaterial 22, 52
–, Baumaterial 28, 57, 63, 98
–, Holzkohle 52, 128, 130, 183, 184
Homo sapiens s. Menschwerdung
Horn 17, 22, 47, 106, 180
Huanghe 37, 41
Hüttenwesen 129, 136, 163, 166, 178, 183
Hydraulik 101
Hydrologie 159

Indien 37 ff., 40, 41, 53, 66, 78, 94, 109, 139, 181
Indischer Ozean 66, 67
Indus 37, 39
Industrielle Revolution 7, 177, 179
Inkas 26, 59
Irak 95, 107
Iran (s. a. Perser) 41
Ischtartor 93 ff., 129
Islam 100, 139, 143
Italien 139, 154

Jagd, Jagdmethoden 8, 19, 22, 57, 76, 178, 180
Jagdfallen s. Fallen
Jagdwaffen 19, 38
Jakobstab 140
Japan 143
Jemen 41
Jerusalem 42, 181
Jordanien 28
Jütland 65, 180

Kairo 87
Kaliber 98
Kalk, Kalkstein 67, 87, 129
Kamel 39, 40
Kampfwagen 75 ff., 97, 131, 156, 181
Kanal, Kanalbau 36, 41 ff., 55, 67, 156, 178, 180, 181
Kanalisation, städtische 44, 45, 94
Kanone s. Geschütz
Karavelle 138 ff.
Karawanenstraßen 78
Karren 72, 75, 141, 180
Karthago 65, 67, 70, 90, 182

Katapult 98
Kehrrad 165 ff.
Keil 83
Keilhaus 55
Kelten 76
Keramik 42 ff., 180
Keule 19, 180
Klassengesellschaft 33, 178, 180
Klöster 109
Knüpfen 29, 33, 180
Kobalt 129
Kochen 31
Kohle s. Steinkohle, Holzkohle
Kolben 102, 158, 177, 184
Kolbenpumpe 102
Kolbenluftpumpe 172
Kolonisation 65, 83
Kompaß 58, 141, 146, 149, 178, 181
Konstantinopel 139, 155, 183
Kooperation 35, 178
Korinth 79, 181
Kosmetika 129
Kraft 40, 109, 160
Kraftmaschine 100, 122, 160, 177
Kraftübertragung 40
Kraftquellen (des Mittelalters)
–, Muskelkraft 8, 40, 161, 179
–, – Mensch 38, 40, 62, 73, 88, 100, 111
–, – Tier 38, 73, 76, 88, 100
–, Wasserkraft 8, 40, 108, 118 ff., 143, 156, 161, 166, 179, 182
–, Windkraft 8, 115 ff., 161, 179, 183
Kran 111, 182
Kreide 54
Kreta 52, 65
Kriegsmaschinen, Kriegstechnik s. Militärtechnik
Kreuzfahrer, Kreuzzüge 109, 115, 141, 182
Kufe 73
Kugellager 159
Kupfer 47 ff., 88, 106, 121, 129, 143, 163, 180 ff.
Kupfermetallurgie 47, 180
Kupplung 159
Kurbel 39, 98
Kursbestimmung s. Navigation
Kutubsäule 53, 54

Lafette 99, 132
Lagerstätten 50, 55, 118, 164
Landwirtschaft (s. a. Ackerbau, Viehzucht) 26 ff., 33, 41, 75, 116, 180
Lapislazuli 129
Laurion 55, 69
Lehm, Lehmziegel 28, 51, 180
Lein 27, 29
Letter, Letterngu ß (s. a. Buchdruck) 143
Leuchtfeuer, Leuchtturm 68, 85, 86
Libanon 62, 65
Linse, optische 169
Lot 67, 88
Löten 75
Luftdruck (s. a. Pneumatik, Vakuum) 174 ff.
Luftpumpe s. Kolbenluftpumpe
Lupe 169
Luppe 52
Luxor 62

Magdeburger Halbkugeln 173 ff.
Magnet, Magnetismus 109, 125, 141, 184
Magnetit 53
Mailand 87, 156, 172
Mainz 142
Manometer 172
Manufaktur 7, 115, 128, 152, 182
Marly 120, 122
Marmor 129
Maschine, Maschinerie 121, 152, 160, 182
Massenkraft 85, 114
Massenproduktion (s. a. Serienfertigung) 49, 121, 136
Maß und Gewicht 82, 105, 182
Mathematik 67, 83, 100, 181, 184
Matriarchat 33
Mechanik 83 ff., 97, 101, 121, 159
Medizin 106, 167
Mehrprodukt 28, 33
Meilenstein 78
Mekka 109
Menschwerdung 7, 10 ff., 15, 17, 21, 22, 180
Mesopotamien 49, 50, 54, 58, 73, 106, 181

Messer 17, 23
Messing 55
Metall s. jeweilige Metalle
Metallurgie 33, 47 ff., 118, 180 ff., 184
Mikroskop 167, 170, 178, 183
Militärtechnik 75, 95, 128, 183 ff.
Mineralogie 161, 182
Mittelmeer 62, 65, 67, 78
Mole 67, 94
Mond 101, 129, 170
Monumentalbauten 54, 85 ff., 89, 111
Mörtel 67, 80
Mühle s. Wasser-, Windmühle
Muskelkraft s. Kraftquellen

Nagel 49, 119
Nähnadeln 22
Nahrung, Nahrungsmittel 21, 26 ff., 29, 129, 180
Naphta s. Bitumen
Natur, Auseinandersetzung mit der 25
Naturbauweise 28
Naturgesetze 7, 21
Naturgewalten 21
Navigation 67, 139, 181 ff.
Neandertaler 11, 19
Nickel 50
Nil 35, 37, 78, 87, 181
Nilhochwasser 36 ff., 61, 87
Ninive 38, 42, 77, 90, 91, 181
Nippur 90
Nubien 27, 54
Nürnberg 150

Obeliske 62, 85, 114, 183
Obsidian 17
Ochse, Ochsengespann 39
Olympia, Olympiaden 85, 86, 181
Onager 75
Optik 168 ff., 182
Orient, Alter und Vorderer 33, 37, 42, 49, 75, 79, 90, 180
Ostia 68, 69

Padua 161
Palast, Palastbau s. Monumentalbauten
Papier 109, 142, 147, 182

Papiermühlen 143, 182
Papyrusboot 57, 59
Patent, Patentwesen 142
Paternoster-Kettenwerk 40
Patriarchat 33
Pebble-tools 13, 16 ff., 180
Pendel s. Pendeluhr
Pendelgesetz 159
Pentere 70
Pergament 143
Pergamon 44, 182
Perpetuum mobile 122 ff., 160, 179, 182
Perser 41, 69, 80, 82, 91, 94, 181
Pfeil (s. a. Bogen) 22, 29, 47, 98
Pferd 28, 75, 132, 174
Pferdegöpel s. Göpel
Pflug und Pflugschar 27, 33, 35, 54, 75, 108
Pharaonen 37, 41, 50, 59, 61, 76, 87, 115, 129
Pharmazeutika 129
Phöniker 57, 62, 65, 69, 181
Physik 83, 100, 121, 126, 173
Piräus 68
Planetenbewegung 170, 175
Pneumatik 105, 182
Porzellan 109, 182, 184
Primaten 10
Privateigentum 33, 180
Produktionsinstrumente (s. a. Werkzeug, Werkzeugmaschinen) 11, 24, 52, 108
Produktionsverhältnisse 25, 135, 180
Produktivkräfte 7, 33, 50, 55, 111, 146, 178
Prozessionsstraße 91 ff.
Pulver s. Schießpulver
Pumpe s. Druckpumpe, Saugpumpe
Pyramiden 40, 50, 61, 84 ff., 86, 115, 180 ff.

Quadrant 141
Quarz 17, 47
Quecksilber 123, 129

Rad 31, 39, 72 ff., 82, 178, 180
Räderuhr s. Uhr
Rammsporn 62, 69 ff., 139
Reformation 148, 155, 183
Regenfeldbau 35, 180
Regensburg 173, 174
Reibung 126, 159
Reittiere 28, 33
Renaissance 105, 154 ff., 178, 183 ff.
Rennverfahren 51, 52
Rhodos 68, 85, 86, 97, 181
Riemenantrieb 139
Rind 88
Rohre 45, 49
Rolle 83, 103, 111, 159, 180, 182
Rom 43, 44, 68, 79, 85, 108, 111, 181, 182
Römer 42, 76, 111
Römisches Reich 71, 79, 108, 182
Rotes Meer 62, 65, 181
Ruder, Ruderer 61
Ruderantrieb 62

Säge 17, 63
Sakkara 62, 88, 180
Salamanca 109
Salamis 69, 181
Salpeter 128, 166
Salz 166, 181
Sammler 21, 25, 27, 42, 178, 180
Samos 42, 68
Sanduhr s. Uhr
Säpflug 36, 37, 181
Sardinien 67
Sauerstoff 49
Saugheber 101
Saugpumpe 103
Säulen des Herakles (Herkules) 65, 78, 137
Schaber 19
Schablone 31
Schacht 54, 162, 165
Schacht- oder Stückofen 52, 136, 167
Schaduf 37, 88, 180
Schanzkleid 69
Schattenstab s. Gnomon
Schaufel 54
Schiene, Schienenbahn 79, 183
Schießpulver (Schwarzpulver) 126, 128 ff., 142, 146, 155, 178, 183, 184
Schiffahrt 58 ff., 62, 65 ff., 116, 180 ff.
Schiffbau 56, 60 ff., 112, 139
Schlägel (und Eisen) 54, 55
Schleife 73, 74, 180
Schleifstein 124, 125
Schleuder 22, 71, 98
Schleusen 55, 67, 156
Schlitten 88, 180
Schmelzverfahren s. Metallurgie
Schmied, Schmiede 52, 63, 119, 129, 135
Schmieden 52, 75
Schmuck 47, 154
Schneckengetriebe 83, 100
Schöpfrad 38 ff., 55, 118, 180
Schöpfwerk 91, 115, 118, 178
Schraube 40, 51
Schrift 85
Schwefel 128, 130, 166
Schweißen 52, 75
Schwerkraft 23, 104, 178
Schwungrad 159
Seefahrt s. Schiffahrt
Seekarte 58, 140
Segel 58, 61, 63, 70, 115, 117, 139
Segelschiffe 60 ff., 64, 138, 180
Segelwagen 117, 118, 184
Seide 29, 41, 109, 180
Seil 111
Seilmaschine 160
Serienfertigung (s. a. Massenproduktion) 32, 151
Sextant 140
Sibirien 25, 60
Sichel 49, 180
Sidon 65, 67
Siedlungen 28, 180
Silber 47, 50, 55, 69, 129, 163, 166
Silberbergbau s. Bergbau
Sinai 54, 180
Sizilien 67, 70
Sklave, Sklaverei 36, 46, 54, 62, 70, 78, 87, 100, 107, 111
Sklavenhaltergesellschaft 40 ff., 71, 75, 97, 100, 178, 181
Soda 166
Sonne 67, 73, 101, 129, 153, 167 ff., 175
Sonnenuhr s. Uhr
Spanien 44, 65, 139, 157, 182
Speer 21, 22, 23, 29, 47, 98, 180
Spezialisierung 121, 147, 148, 178
Spindel 29, 75
Spindelpresse 142, 144, 147, 160

Spinnen 29, 180
Spinnmaschine 160
Spinnrad 72, 155, 183
Sprengen, Sprengarbeit 54, 184
Städtebau 36, 54, 82, 90 ff., 156, 180
Stadtmauer (s. a. Befestigungsbau) 85, 91 ff., 137
Stadtstaaten 37, 90, 180
Stahl 52 ff., 178
Staudamm 40 ff., 156, 178, 180
Stein, Steinwerkzeuge 16 ff., 47, 49, 55, 57, 88
Steinkohle 155 ff., 183, 184
Steinzeit 8, 16 ff., 47, 54, 178, 180
Stollen 41, 54, 162, 165
Straße (s. a. Handels- und Heerstraße) 76, 80, 87, 93, 156, 180
Strumpfwirkstuhl 155, 183
Sumerer 37, 41, 61, 91
Susa 78
Syrakus 83, 99, 100

Tauchboot 178, 183
Tauschhandel (s. a. Warenaustausch) 33, 73, 181
Taxameter 82, 102
Technologie 7, 32, 169
Teilung der Arbeit s. Arbeitsteilung
Tempel, Tempelbau 35, 54, 62, 76, 79, 90, 105
Theben 48, 61, 76, 85, 91
Thermometer 172, 183
Tiber 44, 68
Tiergöpel s. Göpel
Tierhaltung s. Viehzucht
Tigris 35, 37, 39, 41, 53, 58, 106
Ton 29, 51, 129
Tongefäße 30, 31, 106, 180
Tontafel 90, 92, 180
Töpfer, Töpferei 30, 31, 47, 180
Töpferofen 31, 49
Töpferscheibe 31, 75
Tragtier 28, 33, 80
Transmission 73, 152, 159
Transportwesen 50, 58, 73 ff.
Tretkran s. Kran
Tretmühle 40, 111 ff., 114, 178
Tretrad 39, 40, 110 ff., 113, 115, 135, 136, 182
Triere 62, 64, 69, 111
Trinkwasserversorgung (s. a. Wasserversorgung) 40 ff., 91, 180
Troja 90, 103
Tunnel 80
Turmuhr s. Uhr
Tyros 65, 67
Türkei 28, 139

Übersetzung 83, 152
Uhr 142, 148 ff., 178
–, Gewichtsräderuhr 149, 155, 183
–, Pendeluhr 150, 151, 155, 184
–, Sanduhr 101, 148
–, Sonnenuhr 101, 148, 149, 182
–, Taschenuhr 151, 155, 178, 183
–, Wasseruhr 8, 101, 148, 181
Universität 109, 137, 143, 155, 170, 182 ff.
Ur 42, 61, 75
Urgemeinschaft 17 ff., 178
Urgesellschaft 25, 32 ff., 128

Vakuum 174 ff.
Ventil 104, 159, 174
Verhütten s. Metallurgie
Via appia 79 ff., 81, 181
Viehzucht 25, 26 ff., 77, 178, 180
Vogelflug 156
Vorratswirtschaft 28, 31, 82

Waffen 36, 47, 49, 52, 97 ff., 118, 181 ff.
Waffen- und Kriegstechnik s. a. Militärtechnik
Wagen 74 ff., 160, 178, 181
Walze 83
Walzwerk 72, 160
Ware-Geld-Beziehung 139
Warenaustausch 58, 66, 73, 109, 139
Warenproduktion 33, 49
Wasser, Wasserbau 40 ff.
Wasserdampf 160
Wasserhaltung im Bergbau s. Fördereinrichtungen
Wasserhebevorrichtungen s. Fördereinrichtungen
Wasserhebewerk 118, 184
Wasserkraft (s. a. Kraftquellen) 40, 119, 143, 156, 161, 166
Wasserorgel 101, 102
Wasserrad, Wasserradantrieb 8, 40, 111, 119 ff., 124, 136, 155, 178
Wasseruhr s. Uhr
Wasserversorgung (s. a. Trinkwasserversorgung) 40, 55, 82, 180, 181
Weben, Weberei 29, 180
Webstuhl 29 ff., 184
Weltbild, geozentrisches 167 ff., 172, 183
–, heliozentrisches 167 ff., 170, 183
Weltwunder, antike 40, 68, 85 ff., 178, 180, 181
Werkzeug s. Produktionsinstrumente
Werkzeugmaschine 7, 24, 25, 160, 178, 183 ff.
Wildbeuterwirtschaft 26, 180
Winde 83, 98, 104, 183
Windkraft (s. a. Kraftquellen) 8, 115, 183
Windmühle 115, 181 ff.
–, Bockwindmühle 116 ff., 120, 182
–, Turmwindmühle 116
Winkelmaß 88
Winkelmeßgerät s. Astrolabium
Wissenschaftl.-technische Revolution 7
Wolle 28, 29

Zahnrad 40, 82, 104, 159, 181
Zahnradgetriebe (s. a. Getriebe) 82
Zange 51
Zeder 62, 65
Zeitmessung 101
Zeitung 146
Ziegel, Ziegelbau 29, 45, 91, 180
Ziege 28
Zikkurat 90 ff., 94
Zimmermann, Zimmermannskunst 63, 75, 136
Zink 55
Zinn 47, 49, 65, 129, 143, 180
Zisterne (s. a. Brunnen) 42
Zugkraft s. Kraftquellen
Zugtier 27, 28, 33, 40, 80, 181
Zunft 109, 139
Zylinder 101 f., 159 f., 177, 184

Aus den Kindertagen der Menschheit

Bezwingung des Feuers

Wasser des Lebens – Schlüssel zur Macht

Eintritt ins Zeitalter der Metalle

Das Wasser öffnet seine Straßen

Das Rad beginnt sich zu drehen

Die Sieben Weltwunder und andere Monumentalbauten der Antike

Die findigen Mechaniker des Altertums

»Ohne sie bewegt sich nichts . . .«

Erfindungen, die von sich reden machen

Eine Zeit, die Riesen zeugte

Urania-Verlag Leipzig