2B 7361/1

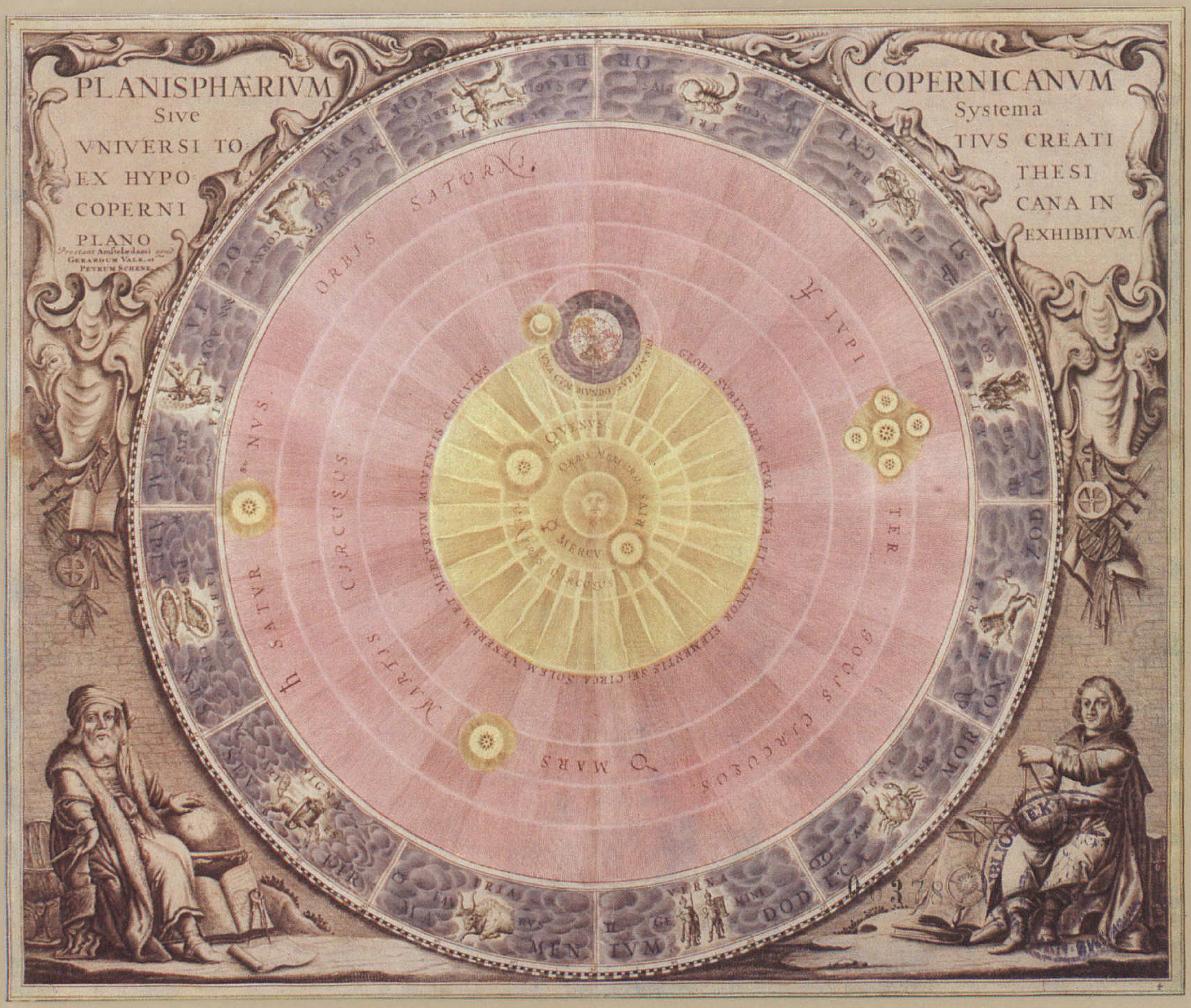
B 21567 F

Kultur & Technik

Zeitschrift des Deutschen Museums München 1/1982 DM 5.–/öS 50.– Verlag Karl Thiemig München

BIBLIOTHEK DES DEUTSCHEN MUSEUMS MÜNCHEN

**Darstellung des Weltsystems von Copernicus
im Sternatlas von Cellarius,
hergestellt in Amsterdam von Petrus Schenk & Gerardus Valk
Nach einem kolorierten Kupferstich, 1708**



Kultur & Technik

Zeitschrift des
Deutschen Museums München
6. Jahrgang, Heft 1, März 1982
Herausgeber:
Deutsches Museum München
Der Generaldirektor
Redaktion:
Dr. Ernst H. Berninger
(verantwortlich),
Zdenka Hlava, Dr. Otto Krätz,
Peter Kunze
Deutsches Museum
Museumsinsel 1
D-8000 München 22
Telefon (089) 21 79-2 13/2 14

Die mit Autorennamen gezeichneten Artikel geben nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers und der Redaktion wieder.

Kultur & Technik ist gleichzeitig Publikationsorgan für die Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik und für den Verein zur Förderung der Industrie-Archäologie e.V. Verantwortliche Redaktion für den Teil »Industrie-Archäologie«: Dr. Dietmar Köstler, Rumfordstraße 34, 8000 München 5, Telefon (089) 29 24 06

Karl Thiemig, Graph. Kunstanstalt und Buchdruckerei AG,
Abt. Verlag,
Pilgersheimer Straße 38
Postfach 90 07 40
D-8000 München 90
Telefon (089) 66 24 93
Telex 05-23 981

Vorstand:
Günter Thiemig, Vorsitzender;
Hermann Haile, Stellvertreter;
Aufsichtsrat: Emmi Thiemig
(Kaufmann, Vorsitzende),
Heinrich Mühlbauer (Bankdirektor),
Johann Bäumer (Schriftsetzer)
(alle München).
Mehrheitsaktionär: Günter Thiemig,
Buchdrucker und Verleger in München.
Verantwortlich für Anzeigen:
Peter Schlaus (s. Verlagsanschrift).

Z. Zt. ist Anzeigenpreisliste 2 gültig.

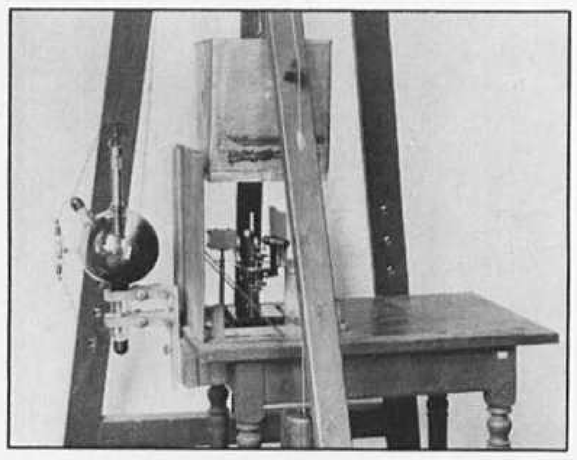
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der fotomechanischen Wiedergabe von Teilen der Zeitschrift oder im ganzen, sind dem Verlag vorbehalten.

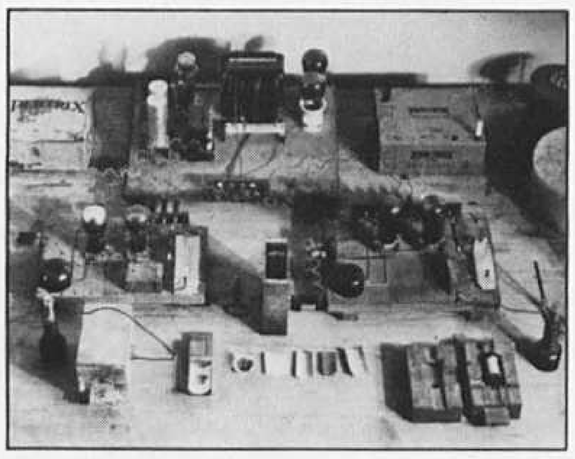
ISSN 0344-5690

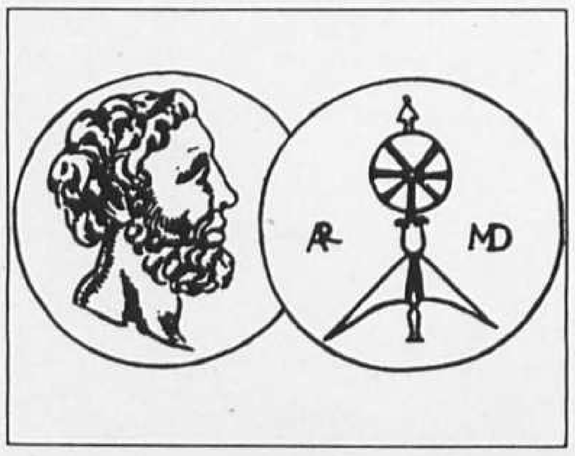
© 1982 Karl Thiemig AG Munich

Printed in Germany
Gesamtherstellung Karl Thiemig,
Graphische Kunstanstalt und Buchdruckerei AG, Pilgersheimer Str. 38,
D-8000 München 90.

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich.
Bezugspreis: jährlich DM 16,– (Einzelheft DM 5,–) im Inland; DM 20,– (Einzelheft DM 6,–) im Ausland, jeweils zuzügl. Versandkosten. Abonnementsaufträge nimmt jede Buchhandlung im In- und Ausland entgegen.
Für Mitglieder des Deutschen Museums, München, und des Vereins zur Förderung der Industrie-Archäologie e.V. ist der Bezugspreis im Mitgliedsbeitrag enthalten.


1

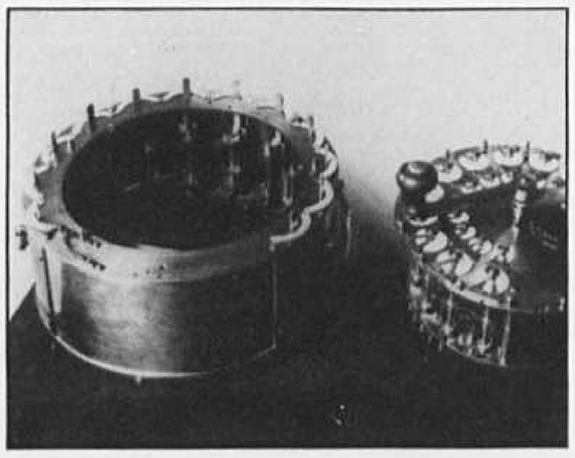

8



21

28

35


42

Seite

1 Manfred Achilles
Zur Vorgeschichte des Transistors und der Festkörperphysik

8 Fritz Dieter Erbslöh
Anmerkungen zur Geschichte des Energiebegriffs und des Energiesatzes Teil II

21 Ivo Schneider
Technik in der Sicht der exakten Naturwissenschaften am Beispiel von Archimedes, Christiaan Huygens und Carl Friedrich Gauß

42 Peter Zoller
John von Neumann, der Begründer der Software-Industrie

50 Georg-Agricola-Gesellschaft
Wissenschaft und Technik: Teil der Menschheitskultur

51 **Industrie-Archäologie**

56 **Für Sie gelesen**

62 Gisela Torkar,
Jürgen Teichmann,
Michael Eckert
Nachruf auf Prof. Heinrich Welker

Theo Stillger
Georg Kerschensteiner

Beilagenhinweis: Diese Ausgabe enthält Beilagen der Georg-Agricola-Gesellschaft, 4300 Essen, und der Verlagsgesellschaft SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT, Mönchhofstraße 15, 6900 Heidelberg.

BIBLIOTHEK·DES·DEUTSCHEN·MUSEUMS·MÜNCHEN·

Zur Vorgeschichte des Transistors und der Festkörperphysik

Manfred Achilles

In der Newtonschen Mechanik schien das Problem des festen Körpers mit der *Elastizitätslehre* gelöst. Diese ließ sich im Kern auf das Hookesche Gesetz zurückführen. Das Hookesche Gesetz gibt einen proportionalen Zusammenhang zwischen Dehnungskräften und Dehnung eines festen Körpers. Durch sinnreiche Erweiterung des Gesetzes auf alle möglichen technischen Fälle, wie die Durchbiegung eines Trägers und die Verdrillung eines Stabes, war das physikalische Fundament der Ingenieurkunst gelegt. Zwei Materialkonstanten, der Elastizitätsmodul und der Schubmodul, beschreiben das elastische Verhalten der Materie. Die Industrialisierung im letzten Jahrhundert, wie der Eisenbahnbau und der Brükken- und Turmbau in Stahl (Eiffelturm), beruht ganz wesentlich auf dem erfolgreichen Abschluß der Elastizitätslehre. Unsicherheit bereitete allerdings die Tatsache, daß das Hookesche Gesetz nur beschränkte Gültigkeit hat. Überdehnt man nämlich einen Stab, beginnt er zu »fließen«, und schließlich reißt er. Das Eintreten des Fließens ist ziemlich unberechenbar. Man muß sich mit Erfahrungswerten begnügen, die nicht genau reproduzierbar sind. Die Ingenieure halfen sich, indem sie Stahlträger stärker bauten als unbedingt notwendig; so brauchten sie die Fließgrenze nicht zu fürchten. Der unerwartete Einsturz der Kongreßhalle in Berlin erinnert daran, daß Festigkeitsprobleme auch heute keinesfalls gelöst sind.

Begründete Vorstellungen, wie es im Innern eines festen Körpers aussieht, fehlten vollständig, weil es noch keine geeigneten Meßverfahren gab. Die alten Atomvorstellungen waren für dieses Problem kein brauchbares Modell; sie konnten auch nichts nützen, da – wie wir heute wissen – ein fester Körper etwas anderes ist als eine Summe von Atomen. Der erste erfolgreiche Ansatz, in die Problematik der inneren Struktur der Materie einzudringen, kam von den Mineralogen. Dort fiel nämlich auf, daß die meisten natürlichen festen Körper, die Minerale, in *Kristallstruktur* vorkommen. Solche Kristalle sind zuweilen beachtlich groß und lassen sich deshalb gut beobachten und beschreiben. Es gibt Tausende von verschiedenen Mineralien, aber eines haben alle gemeinsam: Sie haben eine stets wiederkehrende Form. Der Formenreichtum ist recht beschränkt, man unterscheidet nur 32 Kristallklassen. Die kubische Gruppe ist am bekanntesten, in ihr kristallisiert das Kochsalz. Die Beschreibung der makroskopischen Formen der Kristalle war längst abgeschlossen, als W. Voigt – theoretischer Physiker in Göttingen – 1910 sein heute noch benutztes Buch über die Kristallphysik herausbrachte. Voigt begnügte sich nicht nur mit der Beschreibung der Strukturen, sondern versuchte die Symmetrie durch Anwendung der Tensorrechnung zu begründen. Ein Einblick in die mikroskopische Welt der Kristalle war aber auch ihm verwehrt.

Den endgültigen experimentellen Beweis, daß das Innere eines Kristalles ebenso regelmäßig aufgebaut ist wie die äußere Form vermuten läßt, lieferten 1912 auf Anregung M. v. Laues die jungen Physiker W. Friedrich und P. Knipping durch Anwendung der *Röntgenstrahlen* (Abb. 3). Diese haben nämlich so kurze Wellenlängen, daß sie in die Größenordnung der vermuteten Atomabstände geraten. Wenn es stimmt, daß Kristalle regelmäßig aufgebaut sind, dann sind sie räumliche Gitter, die – ähnlich wie Strichgitter in der Lichtoptik – Beugung und Interferenz zeigen müßten. Obwohl W. C. Röntgen selbst die Versuche für aussichtslos hielt, gelangen sie. Das sog. Laue-Diagramm (Abb. 4) bewies nicht nur die Welleneigenschaft der Röntgenstrahlen, sondern auch den regelmäßigen Aufbau der Kristalle. Das Verfahren wurde von W. H. und W. L. Bragg 1913 und von P. Debye und P. Scherrer 1916 variiert und damit äußerst wichtig zur Bestimmung der Struktur fester Körper. Der experimentelle Erfolg machte dem Theoretiker M. Born Mut, die Konsequenzen aus dem regelmäßigen Aufbau der Kristalle zu ziehen; es entstand sein erstes Buch über die Dynamik der Kristallgitter. Auch ihn inspirierte die geistige Atmosphäre Göttingens.

1919 trat der 34jährige R. Pohl[1)] (Abb. 7) in Göttingen die Nach-

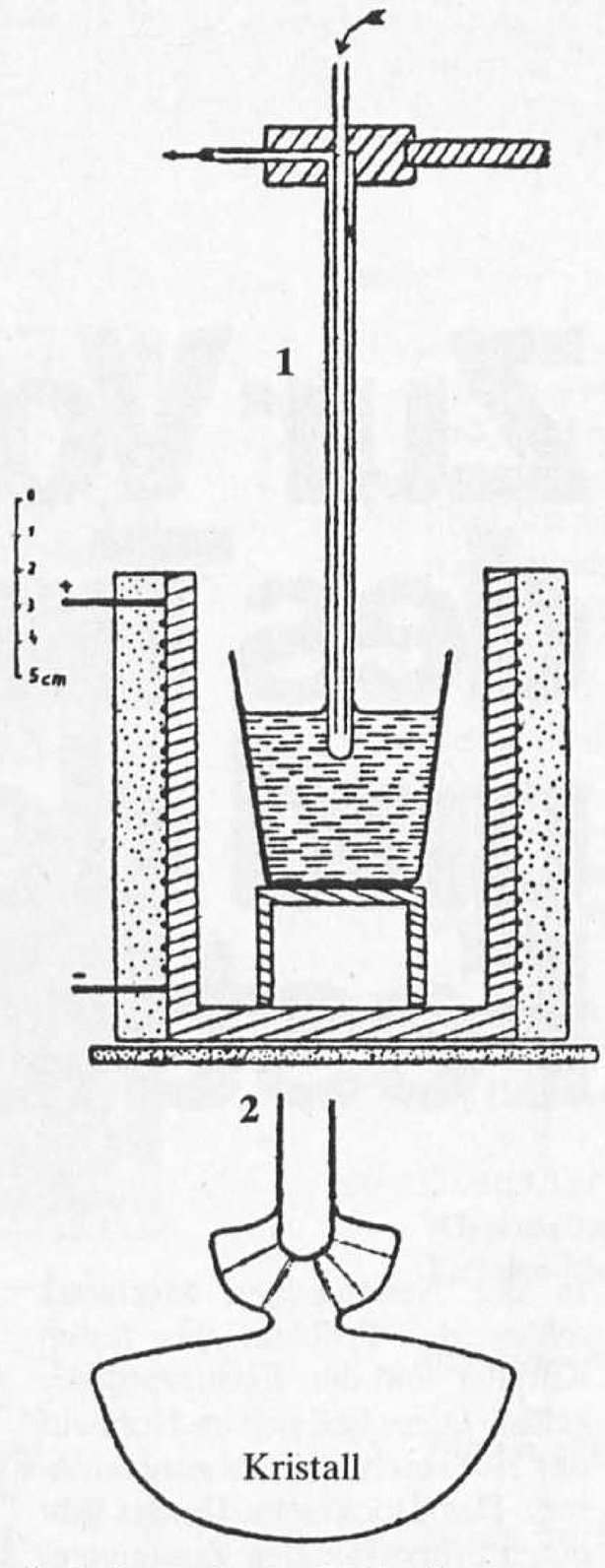
folge von E. Riecke an. In seiner Berliner Assistentenzeit bei H. Rubens hatte er sich mit den Röntgenstrahlen, nach seiner Habilitation 1912 mit dem (äußeren) Photoeffekt beschäftigt. Mit P. Pringsheim veröffentlichte er 1914 ein vielbeachtetes Buch mit dem Titel »Die lichtelektrischen Erscheinungen«. In diesem Buch sammelt er nicht nur alle bekannten Tatsachen seit der Entdeckung des Effektes durch Hallwachs, der Verfeinerung der Beobachtung durch Ph. Lenard, sondern liefert auch Ergebnisse eigener Forschungen. Er erwähnt auch den Deutungsversuch von A. Einstein, der sich als der richtige erwies. Das Buch wird 1928 von B. Gudden neu geschrieben.

Wie oft in der physikalischen Forschung, spielten Zufälle mit. Als der neue Lehrstuhlinhaber Pohl seine Untersuchungen fortsetzen wollte, fand er in Göttingen keine benötigte Hochvakuumanlage vor. Es fehlte auch das Geld, sich eine solche zu kaufen. Dazu war sein erster Doktorand der genannte B. Gudden, der seine Arbeit über »Pleochroitische Höfe in Mineralien« bei Prof. Mügge bereits angefangen hatte und diese bei Pohl gern beenden wollte. Diese Zufälle und einige ältere, fast vergessene Beobachtungen, daß Licht die elektrischen Eigenschaften von Kristallen verändert, also etwas Ähnliches stattfindet wie ein Photoeffekt (innerer Photoeffekt genannt), veranlaßten Pohl, unbeeindruckt, daß in der aktuellen physikalischen Forschung das Atommodel (N. Bohr, A. Sommerfeld u. a.) im Vordergrund stand, ein Leben lang optische und elektrische Verfahren zu ersinnen, um den Eigenschaften dieser Kristalle auf die Spur zu kommen. Er war ein Außenseiter. So war es nicht verwunderlich, daß er bis in die dreißiger Jahre mit seinem Forschungsgebiet in der Welt allein stand. Als W. Pauli, der als junger Theoretiker zeitweilig im Hause bei M. Born arbeitete, einmal gefragt wurde, ob er die Festkörperforschungen von Pohl nicht auch interessant finde, soll er geantwortet haben: »Das sind alles Dreckeffekte, und mit Dreck befasse ich mich nicht!«[2] Das Generalthema begann also mit Gudens Dissertation: Wie kommt es, daß natürliche Kristalle, die doch ganz regelmäßig aufgebaut sind, manchmal verfärbt sind, manchmal nicht. Die Verfärbungen sind für die einzelnen Mineralien typisch. Kochsalzkristalle sind gelb, Sylvinkristalle sind violett verfärbt. In der Nähe radioaktiver Erzlagerstätten treten Verfärbungen besonders häufig auf. W. C. Röntgen hatte festgestellt, daß man Kristalle auch mit Röntgenstrahlen verfärben kann (1922).

1926 gelang es Gyulai, einem Mitarbeiter Pohls, die an sich bekannte Tatsache, daß man Kochsalz in heißem, metallischem Natriumdampf gelb verfärben kann, zu klären. Winzige Mengen des Na – 1 millionstel Prozent – genügen, um eine kräftige Verfärbung hervorzurufen. Das Natrium stört den Kristall und bildet die sog. Farbzentren. Diese additive Verfärbung nennen wir heute *»Dotierung«*. Auch dotierte Silizium-Kristalle der Transistoren haben »Farbzentren«, nur sind sie nicht sichtbar, weil sie im Infraroten liegen. Da es recht mühsam war, sich geeignete, natürliche Kristalle zu verschaffen, entwickelte S. Kyropoulos 1926 ein Verfahren, *synthetische Kristalle* großer Reinheit herzustellen[3] (Abb. 1, 2).

Aus der Schmelze des betreffenden Materials, das sich wegen der großen chemischen Aggressivität der Alkalihalogenide in einem Platintiegel befand, zog er spindelförmige Einkristalle in wenigen Stunden, die nach dem Abkühlen in die bekannten Quader gespalten werden konnten. Die größten damals hergestellten Kristalle hatten Kindskopfgröße. Das Verfahren setzte sich durch und wurde nach einigen Verbesserungen die Grundlage zur Herstellung von Germanium- und Siliziumeinkristallen (Czochralski-Kyropoulos-Verfahren).

Wegen der billigen und schnellen Herstellungsmöglichkeit von Einkristallen konnten in Göttingen Reihenuntersuchungen größeren Stils gemacht werden. Die Verfärbungen rühren von einer selektiven Lichtabsorption her: Aus dem weißen Licht wird durch den verfärbten Kristall eine Farbe herausgefiltert, der Rest ergibt dann die Erscheinungsfarbe. Wo bleibt das



1, 2 Am unterem Ende eines Kühlers in einer heißen Salzschmelze entsteht ein Kristall in halbkugeliger Form. Zeichnung von S. Kyropoulos.

absorbierte Licht? Diese Frage wurde erst viel später beantwortet. Ein beleuchteter Kristall hat nämlich auch ein Emissionsspektrum, sendet also das verschluckte Licht wieder aus. Dieses Spektrum liegt allerdings im Infraroten und wurde erst viel später gefunden.[3a]

1932 stellte O. Stasiv[4] Verfärbungen auch auf elektrischem Wege her. Eine in den Kristall eingeschmolzene Platinspitze, an die der negative Pol einer 100-V-Spannungsquelle gelegt wird, steht einem beliebigen, mit Graphit angekitteten Pluspol gegenüber. Bei einer Temperatur von ca. 500° C fließt ein nennenswerter Ionenstrom (ca. 50 µA) durch den Kristall, der Kristall wird »elektrolysiert«. Jetzt beginnt er sich zu verfärben, wobei sich die elektrische Leitfähigkeit ganz erheblich erhöht. Die Verfärbungen sind nicht ortsfest, sondern wandern zur Anode, offenbar führen sie negative Ladungen mit (Abb. 5). Es stellt sich heraus: Farbzentren werden von relativ wenigen Elektronen (auf 1 Million Moleküle genügt 1 Elektron) verursacht, die an den leeren Stellen eines Halogenions eingefangen werden. Durch Platztausch kommt die Beweglichkeit zustande.

Reine, ungestörte Kristalle sind eigentlich physikalisch langweilig; erst definierte Störungen durch geeignete Fremdstoffe in geringsten Konzentrationen verursachen bemerkenswerte elektrische und optische Eigenschaften. Dem ursprünglich vorhandenen Ionenstrom überlagert sich ein kräftiger Elektronenstrom.

Elektronenströme freier Elektronen waren damals von den Radioröhren her gut bekannt. So wagt es Pohl, anläßlich der Feierlichkeiten zum Hundertjahrjubiläum des Gauß-Weber-Telegraphen im Jahre 1933, den Versuch von O. Stasiv öffentlich vorzuführen mit der Bemerkung: »Dieser Versuch weist auf eine technische Anwendung hin, nämlich den Ersatz der Elektronenröhren in den Rundfunkgeräten durch kleine Kristalle.«[5]

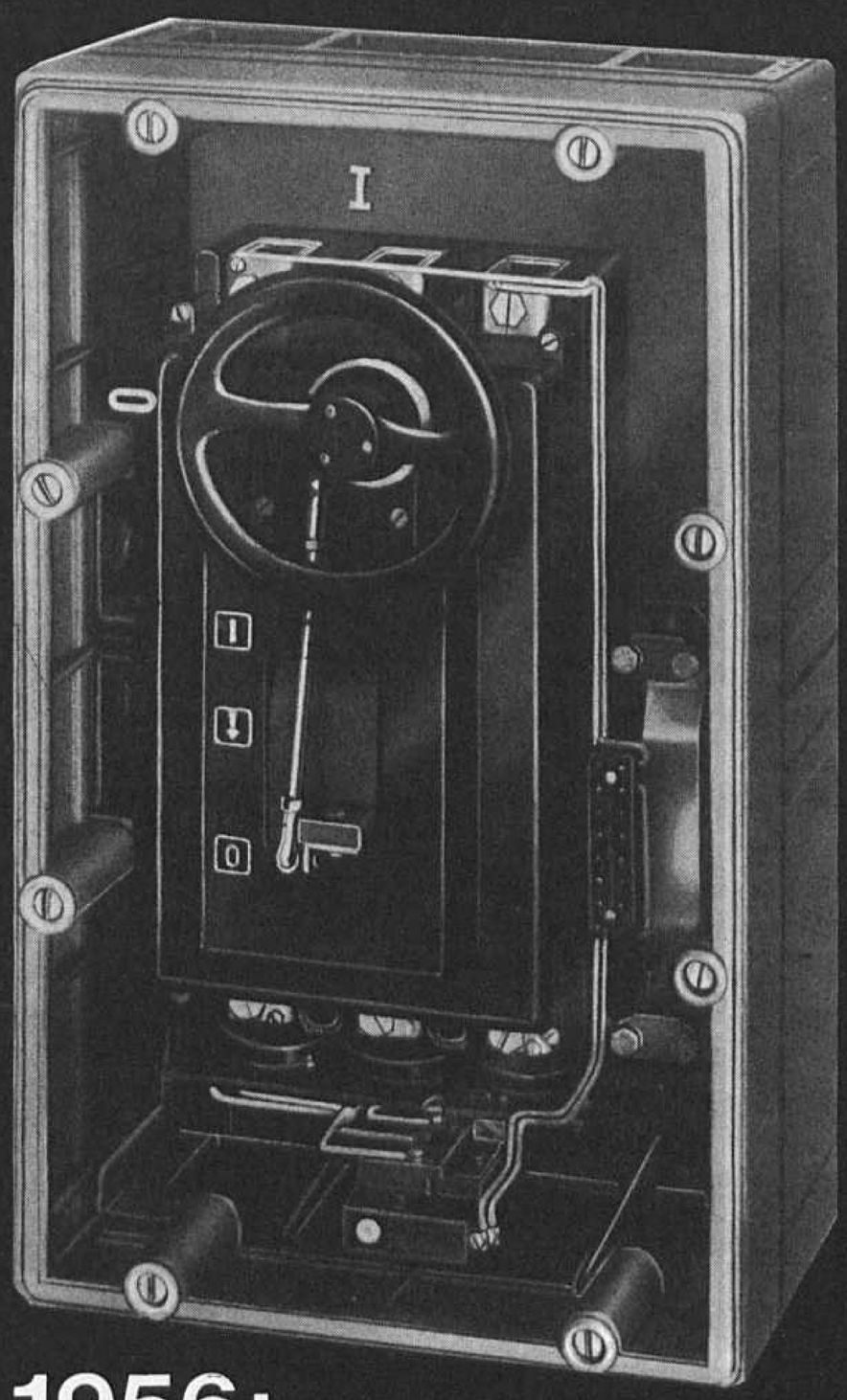
Nachdem die elektrisch negativen Farbzentren noch genügend Rätsel aufgaben, entdeckt E. Mollwo 1935, daß man in Kaliumjodid auch sichtbare *positive Zentren* (heute: V-Zentren) erzeugen kann. Auch diese erhöhen die elektrische Leitfähigkeit. Mollwo nannte das damals »Elektronenersatzleitung«, heute ist der Ausdruck »Löcherleitung« üblich.[6]

1938 gelingt es Pohl und R. Hilsch, einen Elektronenstrom in einem Kaliumbromidkristall durch eine Hilfselektrode zu steuern. Das Bild der Röhrentriode hat Pate gestanden. Sie benutzen die heute so genannte Emitterbasisschaltung und messen eine 20-fache Stromverstärkung[7] (Abb.6). Die Veröffentlichung erregt viel Aufsehen, führt aber technisch nicht weiter, weil die Einstellzeiten von 30 Sekunden für eine praktische Verwendung viel zu lang sind.

Es stellt sich – wohl endgültig – heraus: Alkalihalogenidkristalle vermögen zwar tiefe Einblicke in den festen Körper zu vermitteln, sie sind aber als technisch verwendbarer Transistor ungeeignet. Bei allen erforschten Farbzentrenerscheinungen ist stets ein Platz-

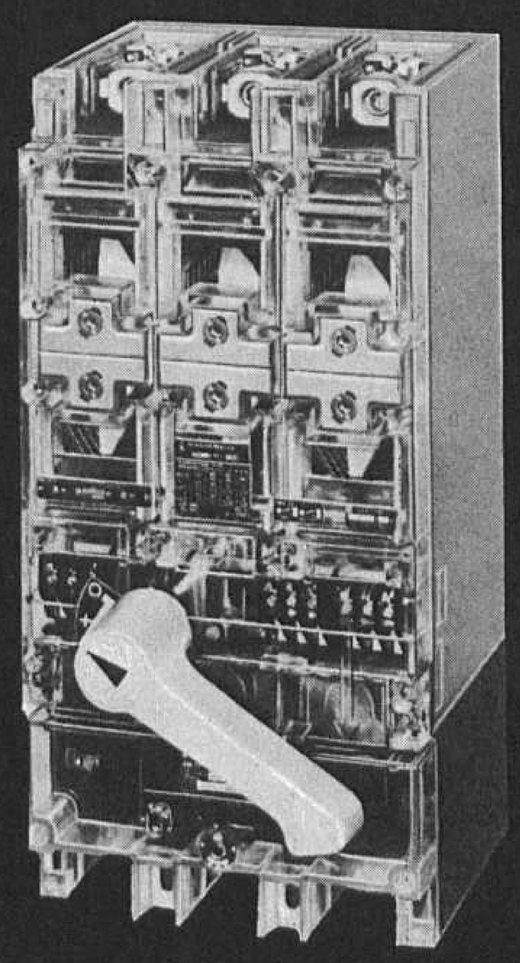
Leistungs-selbstschalter NZM

Seit 25 Jahren immer einen Schritt voraus!



1956:

400-A-Leistungsschalter NZM 10
10 kA Kurzschlußschaltvermögen



heute:

400-A-Leistungsselbstschalter NZM H11
100 kA Kurzschlußschaltvermögen

Klöckner-Moeller wurde 1899 in Köln am Rhein gegründet. Mit technisch hervorragend durchgearbeiteten Anlassern und Reglern erwarb sich das junge Unternehmen schon bald einen ausgezeichneten Ruf.

Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit gelang es Klöckner-Moeller immer wieder, wegweisende Produkte auf den Markt zu bringen.

Heute betreibt Klöckner-Moeller eines der größten Forschungs- und Entwicklungslabors für Niederspannungsschaltgeräte.

In 18 Werken werden Schaltgeräte, Schaltanlagen und elektrische und elektronische Steuerungen gefertigt.

In 80 Ländern ist Klöckner-Moeller mit über 300 Technischen Außenbüros stets in der Nähe der Kunden.

Ausführliche Informationen über den heutigen Stand der Leistungsschaltertechnik senden wir Ihnen gerne zu.
Bitte senden Sie uns den untenstehenden Abschnitt aufgeklebt auf einem Firmenbogen.
Sie erhalten dann kostenlos die angekreuzten Druckschriften.

KLÖCKNER-MOELLER

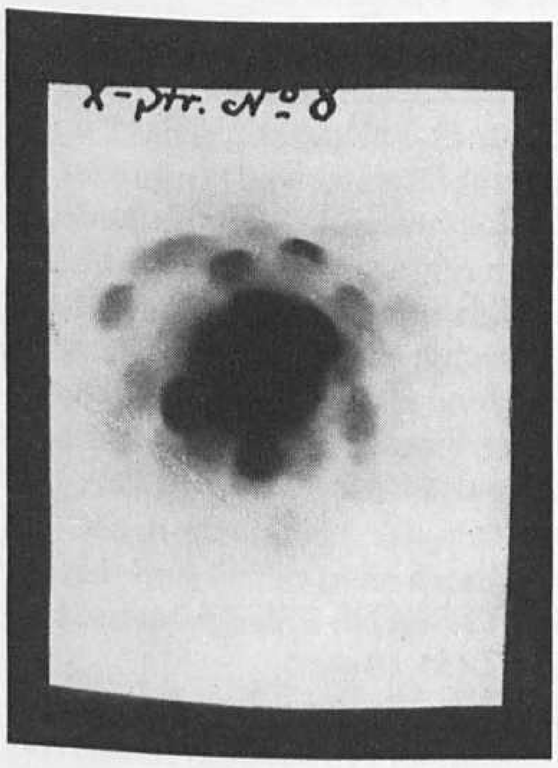
Postfach 1880 D 5300 Bonn 1

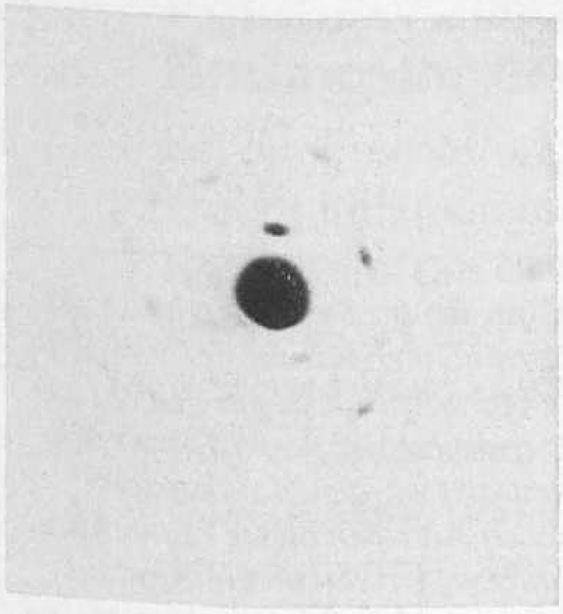
- ☐ Alles über uns (KM 0-2019)
- ☐ Leistungsschalter NZM (G 123-2007)
- ☐ Entwicklungsaufwand für Niederspannungs-Leistungsschalter (VER 09-602)
- ☐ Höhere Betriebs- und Unfallsicherheit durch Leistungsschalter (VER 397)

82/1 098

3 Versuchsanordnung, mit der Max von Laue, W. Friedrich und F. Knipping im Jahre 1912 die Interferenz der Röntgenstrahlen entdeckten. Im Deutschen Museum.

4 Laue-Diagramme, zwei der ersten Aufnahmen von Kupfervitriol. Plattenabstand oben 40 mm, unten 70 mm (1912).





4

wechsel der Ionen im Spiel, man kann sagen, es ist stets ein Materietransport im Spiel. Dieser geht aber naturgemäß sehr langsam vor sich. Bei einwertigen Ionenkristallen ist das ebenso.

Ganz am Beginn seiner Laufbahn (1921–22) untersucht Pohl mit Gudden die lichtelektrische Leitfähigkeit des Diamanten (Kristall aus vierwertigem Kohlenstoff). Im nachhinein gesehen war das bezüglich des Transistors ein aussichtsreiches Vorhaben (C, Si und Ge sind chemisch verwandt). Die Versuche wurden aber abrupt abgebrochen, weil der große und wertvolle Diamant, der von den Mineralogen nur geliehen war, von den Backen eines großen Elektromagneten, die nicht fixiert waren, zermalmt wurde. Wieder spielte der Zufall eine Rolle!

Während des Krieges läßt die Forschungstätigkeit aus vielerlei Gründen nach. Pohl selbst beschäftigt sich bevorzugt mit didaktischen Fragen. Die Aufsicht über sein Institut in Göttingen wird durchlöchert, als H. König 1942 vom Militärdienst mit dem Auftrag zu Pohl geschickt wird, die Verwendbarkeit des Siliziums für Gleichrichtungszwecke zu prüfen. Das war ein Geheimauftrag, so erfuhr Pohl von diesen Arbeiten wenig. König stellte selbständig einen Mitarbeiter ein, das war J. Stuke. Ihm gelang es 1944, die Eigenleitung des Siliziums zu messen. Als Gudden, der ähnliche Messungen schon gemacht hatte, um Rat gefragt wurde, meinte er, das sei sicher ein Schmutzeffekt. So blieb die Arbeit von Stuke unveröffentlicht. Die Eigenleitung des Siliziums wurde nach dem Krieg neu entdeckt.[8)]

Der Transistor im heutigen Sinne wurde von den Amerikanern J. Bardeen und W. H. Brattain 1948 patentiert.

Die neue »Elektronik« verselbständigte sich bald und hat in den gerade vergangenen Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht. Das Problem der Miniaturisierung ist noch nicht abgeschlossen.

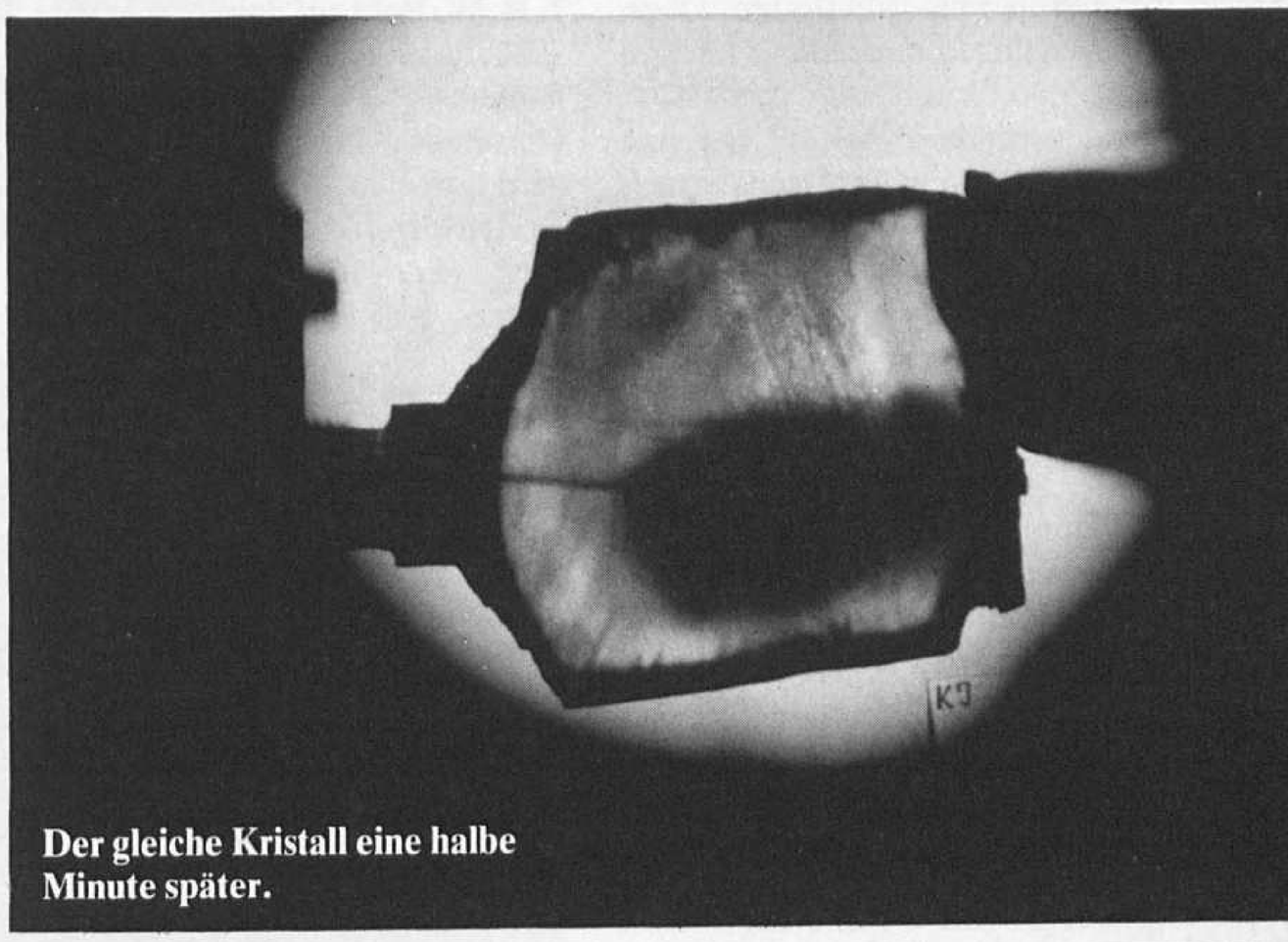
Ein weiterer Triumph der Festkörperforschung ist die Entwicklung des Masers und Lasers um 1960. Die ersten Laser waren Rubineinkristalle (Rubin ist kristallisiertes Al_2O_3, das durch Cr rot verfärbt ist). Da es so große natürliche Rubine nicht gibt, mußten sie nach dem Kyropoulos-Verfahren hergestellt werden. Zur erfolgreichen Konstruktion des Lasers sind allerdings umfangreiche theoretische Überlegungen nötig; zufällig konnte er kaum entdeckt werden.

Es bleibt zu fragen, warum in Göttingen bezüglich der Festkörperphysik der ganz große Erfolg ausblieb. Einmal lag es wohl daran, daß das Pohlsche Institut völlig allein auf diesem Gebiet arbeitete. Es stellen sich leicht Momente der Betriebsblindheit ein.

Der wichtigere Grund ist aber, daß Pohl alle theoretischen Überlegungen verabscheute. Die neue Quantenmechanik wurde bereits

5 Eigenversuche des Verfassers.

Beginn einer elektrischen Verfärbung eines Kaliumjodid-Einkristalles.



Der gleiche Kristall eine halbe Minute später.

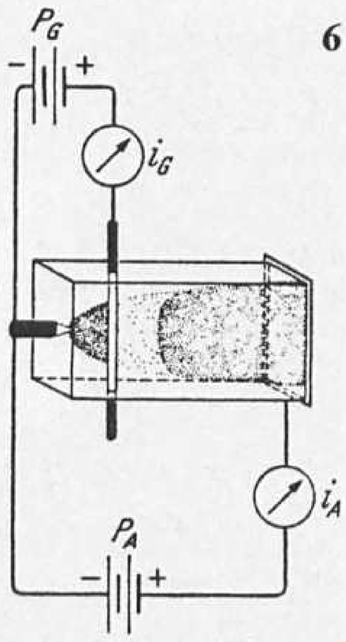
Der gleiche Kristall eine Minute später. Die Verfärbung des Kaliumjodids ist nur bei 500° C grün. Bei Zimmertemperatur schlägt die Farbe in Preußischblau um.

1928 in ihren Prinzipien abgeschlossen, zudem geschah das noch im gleichen Hause in Göttingen (M. Born, W. Pauli, W. Heisenberg, P. Jordan u. a.). Pohl nahm davon nur oberflächlich Kenntnis. Er glaubte fest an das von ihm oft zitierte Quincke-Wort aus seinem ersten Studiensemester in Heidelberg: Theorien kommen und gehen wie die Geschlechter der Menschen, aber die Tatsachen bleiben! So hielt er wohl die Quantenmechanik für eine vergängliche Theorie, die bald überholt sein dürfte.

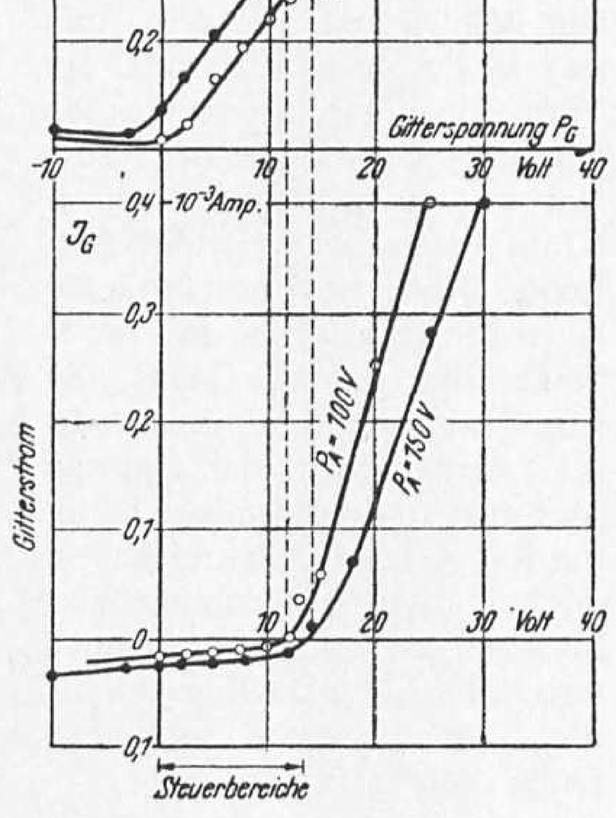
Allerdings konnte Pohl nicht verhindern, daß seine Mitarbeiter, die über gute mathematische Kenntnisse verfügten, hinter seinem Rücken durchaus theoretische Probleme diskutierten. Diese Überlegungen durften nur nicht in den Veröffentlichungen sichtbar werden, denn Pohl zensierte alle im Institut angefertigten Schriften. So nahm er wohl nicht ernsthaft zur Kenntnis, daß ab 1932 durch A. H. Wilson u. a. eine Halbleitertheorie im Entstehen war, die mit dem Bändermodell endete. Ob Pohl 1937 an der ersten Festkörpertagung in Zürich teilnahm, ist mir nicht bekannt.

Heute ist die Festkörperphysik ohne Quantenmechanik nicht mehr denkbar. Ein Farbzentrum verhält sich nämlich ähnlich wie ein Atom: Es kann sich im Grundzustand oder in einem angeregten Zustand befinden. Eine Deutung der verschiedenen möglichen Zustände gibt die Quantenmechanik, d. h. die Schrödingergleichung.

Pohl war sich wohl durchaus seiner Mängel bewußt, denn bereits 1933 schreibt er: »Experimentelle und theoretische Physik lassen sich nicht voneinander trennen und einzeln bewerten. Man kann nicht die Musik hochschätzen und die Noten, weil nicht jedermann verständlich, ablehnen. – Alle physikalische Erkenntnis . . . läßt sich nur fördern durch die Anwendung zweier Methoden: durch das Experiment und durch seine mathematische Auswertung.«



7 R. W. Pohl auf dem Maiausflug 1930, links: G. Bauer, ihm verdanken wir die Entspiegelung von Glasoberflächen; das Verfahren wird heute für Photoapparate und Brillen allgemein verwandt.



6 Versuche zu einem Kristallverstärker von Hilsch und Pohl 1938

Man erkennt ganz links das Prinzip der Dreielektrodenröhre im Kaliumbromidkristall: Kathode, Steuergitter, Anode. Gezeichnet ist die durch Farbzentren sichtbar gemachte Elektronenverteilung während einer Abnahme des Anodenstromes. Die negative Aufladung des Gitters ist vergrößert worden, der Anodenstrom hat aber noch nicht seinen stationären Wert erreicht (Kristallabmessungen 2×5×10 mm).
Die Diagramme zeigen die zwei Kennlinien des Kristallverstärkers (20fache Verstärkung).

Hinweis: *Im Deutschen Museum ist mit Unterstützung der VW-Stiftung im April 1981 ein Projekt zur Geschichte der Festkörperphysik gestartet worden, das den deutschen Anteil an dieser Entwicklung untersuchen soll und in Kontakt mit entsprechenden englischen und amerikanischen Projekten steht. Dieses Projekt bittet jeden um Hinweise auf Quellen und um sonstige Informationen.*

Anmerkungen, Quellen

1) Robert Pohl, später nannte er sich R. W. Pohl, gilt als der eigentliche Begründer der Festkörperphysik
2) Mündlich berichtet von K. v. Meyenn, Stuttgart
3) S. Kyropoulos: Ein Verfahren zur Herstellung großer Kristalle. Z. f. anorg. u. allg. Chemie, Bd. 154, Tamman-Festschr. 308, 1926
3a) R. W. Pohl-Gedächtniskolloquium am 29. 11. 1976. Göttingen 1978
4) O. Stasiv: Zur elektrischen Wanderungsgeschwindigkeit der Farbzentren in Alkalihalogenidkristallen. Gött. Nachr. II. Nr. 50, S. 387, 1933
5) R. W. Pohl: Zur Jahrhundertfeier des elektro-magnetischen Telegraphen von Gauß und Weber. Mitt. d. Univ. Bund. Gött. Jg. 15, H. 2 1934 oder: R. Courant/R. W. Pohl: Carl Friedrich Gauß, 2 Vorträge. Musterschmidt-Verl. Göttingen 1955
6) E. Mollwo: Sichtbare Elektronenersatzleitung in Alkalijodidkristallen. Gött. Nachr. Math. Phys. Kl. XI (n. F.) 1, S. 215, 1935
7) R. Hilsch u. R. W. Pohl: Steuerung von Elektronenströmen mit einem Dreielektrodenkristall und als Modell einer Sperrschicht. Zs. Phys. 111, S. 599, 1938
8) Mündlich berichtet von E. Mollwo u. a.

Wissen über Energie: Beispiel Erdgas

Erdgas-Bezugsquellen breit gestreut

83% des Erdgasbedarfs in der Bundesrepublik Deutschland werden aus westeuropäischen Quellen gedeckt: durch die inländische Förderung (30%) und durch Importe aus den Niederlanden (37%) und aus Norwegen (16%). Mit diesen Partnern und der UdSSR (17%) bestehen langfristige Bezugsverträge; mit Nigeria wurde ein vergleichbarer Abschluß getroffen.

Einkaufskonkurrenz unter erschwerten Bedingungen

Bei der Beschaffung von Erdgas trifft man auf die Konkurrenz aus aller Welt. Denn neben den westeuropäischen Verbrauchszentren sind auch Japan und die USA bemüht, den eigenen Erdgasbedarf über den internationalen Handel zu decken. Ein ausgeprägter Nachfragewettbewerb hat die Position der Lieferländer gestärkt. Sie verlangen, den Erdgaspreis in kürzeren Abständen an das allgemeine Energiepreisniveau anzugleichen und mit diesem enger zu verknüpfen.
Die wachsenden Aufwendungen für die eigenen Energieimporte stützen diese Forderung, ebenso die steigenden Investitionen für das Suchen und Erschließen neuer Lagerstätten.

Erdgas-Transport über weite Entfernungen

Erdgas wird über Kontinente hinweg durch Pipelines transportiert, unterirdisch, ohne Belastung der Umwelt oder des Landschaftsbildes. Unterwasserpipelines in der Nordsee und Flüssigerdgastanker gehören heute zum Erdgas-Alltag. Diese modernen Transporttechniken erfordern zwar Investitionen in Milliardenhöhe, erweitern jedoch das Spektrum der Lagerstätten, aus denen Erdgas für Europa bezogen werden kann.

Vielseitiges Erdgas

Erdgas ist einsetzbar, wo immer Wärme gebraucht wird – vom Heizen und Warmwasserbereiten bis zu Produktionsprozessen in der Industrie. Immer mehr Verbraucher schätzen bei Erdgas die hohe Ausnutzung der Energie, die Umweltfreundlichkeit, die Lieferung frei Haus.

Damit Erdgas noch mehr Energie spart

Der Einsatz von Erdgas stellt bereits von Natur aus eine sparsame Form der Energieverwendung dar. Denn Erdgas ist die einzige Primärenergie, die zum Verbraucher im Verbrennungszustand, nämlich gasförmig, gelangt und außerdem direkt am Gebrauchsort eingesetzt wird.
Obwohl dadurch eine optimale Erdgas-Ausnutzung selbst in konventionellen Anlagen möglich ist, werden neue energiesparende Technologien entwickelt. Dazu gehören Gaswärmepumpen mit 30 – 50% Energieeinsparung, Blockheizkraftwerke, Gaswärmezentren und Brennwertgeräte.
Von besonderer Bedeutung ist die Verbraucherinformation. Anwender in Haushalten, Gewerbe und Industrie werden gezielt beraten, wie Erdgas sinnvoll eingesetzt werden kann.

Ruhrgas ist dabei

Beschaffung, Transport und Lagerung, Verteilung, zukunftsweisende Technologie und Verbraucherinformation: Ruhrgas ist dabei, wo immer kaufmännisches und technisches Erdgas Know-how gebraucht wird.
Damit möglichst viele Verbraucher unter möglichst günstigen Bedingungen Erdgas anwenden können.

RUHRGAS

Wir sorgen für Erdgas

F. D. Erbslöh

Anmerkungen zur Geschichte des Energiebegriffs und des Energiesatzes

Teil II

1. Zusammenfassung von Teil I

Wesentliches Ergebnis der bisherigen Ausführungen zur Entwicklung des Energiebegriffs war, daß erst die neuere Geschichte einen Zugang zur Energievorstellung gefunden hat. Beginnend kaum vor GALILEI (geb. 1564, sein hierfür wichtigstes Werk »DISCORSI« erschien 1637/38), brauchte die Wissenschaft mehr als drei Jahrhunderte, um zur Einsicht in die umfassende Bedeutung des Energiebegriffs zu gelangen. Ein vorläufiger Abschluß – zumindest kann man hier aus der Rückschau so werten – war dann erreicht, als HELMHOLTZ die von MEYER und JOULE erreichten Klärungen in das Lehrgebäude der damaligen Zeit übernahm.

Daß ein so überaus langer Zeitraum nötig war, um den Energiebegriff in seiner mit ihm notwendig verbundenen Allgemeinheit herauszuarbeiten, weist darauf hin, welche ungewöhnliche Abstraktionsleistung mit seiner Schöpfung verbunden war. Es scheint wichtig, diesen Vorgang

des ständigen Ausdehnens, der ständigen Vertiefung des Begriffsinhaltes in eben diesem Licht einer schöpferischen Tat zu sehen und ihn aus diesem Verständnis als auch kulturelle Leistung ersten Ranges zu würdigen. Was für alle Begriffe der Naturwissenschaft gilt, macht gerade der Energiebegriff besonders deutlich: Der Naturwissenschaftler, vor allem der Vertreter der sogenannten »exakten Naturwissenschaften«, ist nicht nur der »Entdecker«, der seine Fakten der Natur entnimmt und sie beschreibend schildert. Er ist vielmehr vor allem bemüht, die Antworten, die die Natur auf seine Fragen gibt, in einen logischen Zusammenhang zu bringen. Dazu ist immer zweierlei zu tun: Die einfache Erfahrung ist mit anderen Erscheinungen zu vergleichen – dazu gilt es, im Speziellen das Allgemeine zu suchen, den geeigneten Begriff aus einer Vielzahl individueller Tatsachen herauszufiltern. Ein zweiter Akt ist dann die Herstellung von Bezügen zwischen dem so gewonnenen Begriffsinhalt und anderen Begriffen – dies ist in der Physik üblicherweise die Auffindung eines formelhaften mathematischen Zusammenhangs. Die Rolle der Mathematik sollte dabei nicht unnötig überschätzt werden – sie erfüllt kaum mehr als die Aufgabe, die ein Werkzeug hat: Sie macht Aussagen und Anwendungen bequemer. Die in solchen Zusammenhängen steckenden AUSSAGEN ÜBER DIE NATUR sollten allerdings nicht mit der Natur selbst verwechselt werden.

Wie schon die Begriffe selbst, so haben auch deren von der Naturwissenschaft ausgesagten Zusammenhänge einen zutiefst SYNTHETISCHEN Charakter, sind eine VOM MENSCHEN GESTALTETE, ja erst ERSCHAFFENE KÜNSTLICHE – aber auch sicher KUNSTVOLLE WELT. Die Erschaffung dieser Kunstwelt ist die eigentlich schöpferische Leistung der (Natur)Wissenschaft, und das immer erkennbare Bemühen der Naturwissenschaft um die Relationsfindung zwischen »ihrer« Welt und der Welt, die uns realiter umgibt, läßt recht deutlich werden, daß viele der unmittelbar an diesem schöpferischen Akt Beteiligten sehr wohl um die Einschränkungen wissen, die mit ihrer Art des »Erklärens« und »Verstehens« verbunden sind.

Die Herausschälung des allgemeinen Energiebegriffs und die Auffindung der Energieerhaltung als eines universell gültigen Zusammenhangs stellen für das angedeutete Erklärungsmuster ein geradezu typisches Beispiel dar, wobei der universelle Charakter dieser Aussage vor dem Hintergrund gesehen werden muß, daß bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts doch bereits ein sehr umfangreiches und differenziertes Beobachtungsmaterial aus den verschiedensten Gebieten vorlag, das sich in diese General-Aussage einfügen mußte.

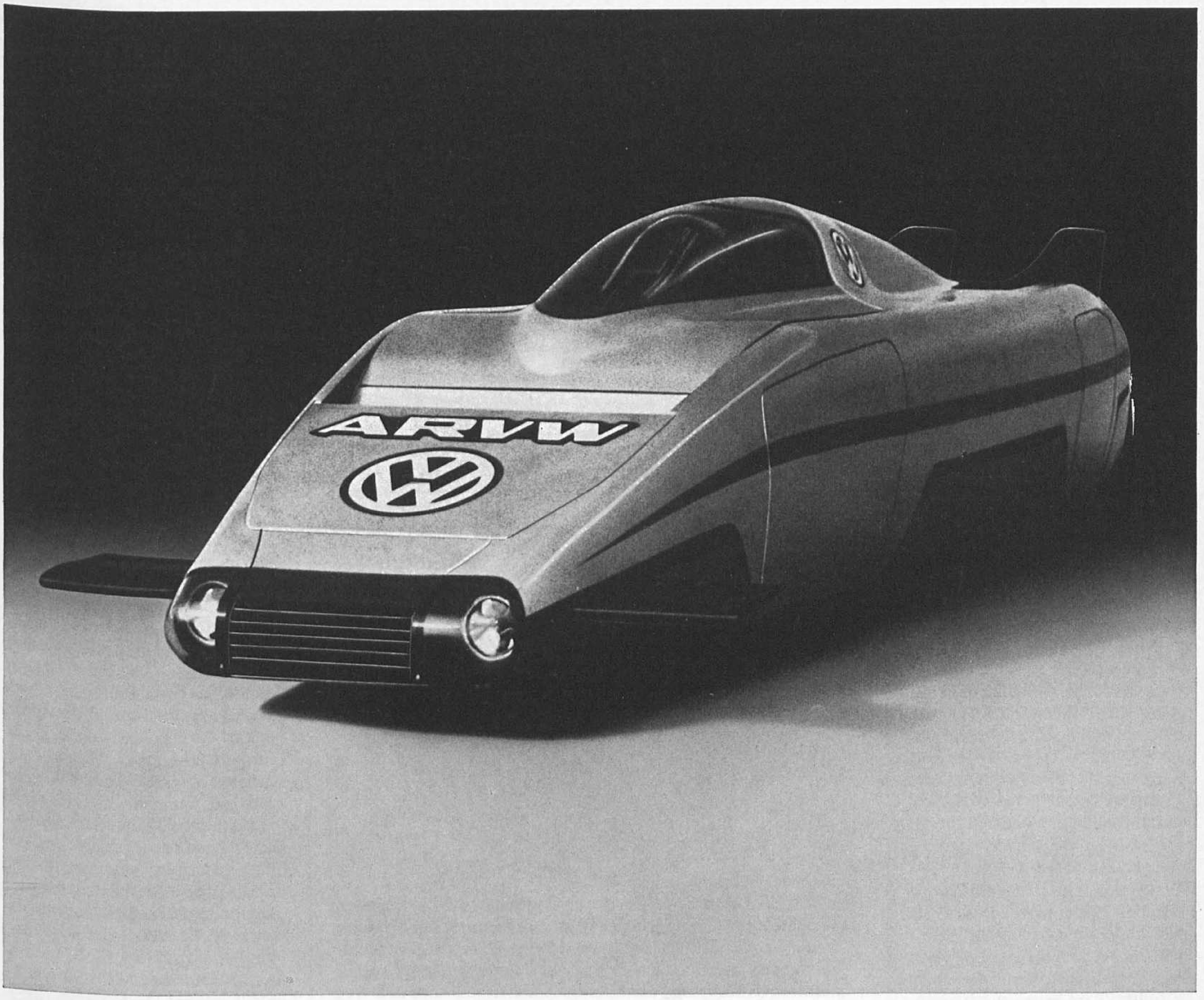
Ein anderes, diesmal historisches Phänomen bedarf allerdings genauso der Erwähnung, wenn man versucht, den langen und häufig verschlungenen Weg zum Energiebegriff und zum allgemeinen Energiesatz recht zu verstehen. Es ist dies der Umstand, daß sich der Zugang zum naturwissenschaftlichen Verständnis unserer Welt über die MECHANIK eröffnet hat. Die Mechanik, in Sonderheit ihre auch für die Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper zunächst voll ausreichende Spezialform der Punktmechanik, benötigte den Energiebegriff und auch den Energiesatz nicht zwingend. Heute sehen wir, daß NEWTONS Bewegungsgesetz $K = m \cdot b$ eine dem Energiesatz gleichwertige Beschreibung darstellt.[1)]

Dem 18. Jahrhundert, das in »Kräften« zu denken gelernt hatte, mußte dieser zweite Weg des Verstehens jedoch fremd bleiben. Erst mit der allmählichen Ausweitung der Mechanik auf die »Kontinua« – also Gase und Flüssigkeiten – und mit der bewußten Zuwendung zu nichtmechanischen Phänomenen gewann die Energievorstellung an Boden. Der eingangs benannte »lange Weg zum Energiebegriff« ist also gewiß auch als historisches Phänomen zu begreifen – wobei die Frage müßig ist, ob es sich hier nicht eigentlich um einen Umweg gehandelt habe. Geschichtliche Entwicklungen sind an die in ihrer Zeit und aus ihrer Zeit heraus handelnden Menschen gebunden. Auch hier wirken Gesetzmäßigkeiten – jedoch ist keine darunter, die historischen Abläufen ein »Prinzip der Effektivität« zuordnete. Eher schon lassen sich historische Prozesse nach dem biologischen Modell der Evolution verstehen – als Wechselspiel von Zufall und Notwendigkeit.

2. Klassische Thermodynamik und Elektrodynamik vertiefen die Energievorstellung

MEYER hatte zwar 1842 die selbständige Stellung der Wärme als

1) Für den Fall der eindeutigen und ausschließlich vom Ort abhängigen Kräfte ($K = K(r)$).



Das Rennauto, das ein Lernauto ist.

362,07 Stundenkilometer Spitze. Zwei Weltrekorde für Diesel. Weitere Rekorde purzelten. Im Durchschnitt lagen alle diese Rekorde um 10 Prozent über den bisherigen Höchstleistungen. Das ist aber nicht die Hauptsache.

Dieser Volkswagen-Diesel ist ein „Lernauto" unserer Forscher. Unsere Autos sollen in Zukunft noch weniger Kraftstoff benötigen. Der ARVW (Aerodynamik Research Volkswagen) zeigt, wie hohe Geschwindigkeiten bei niedrigem Verbrauch gefahren werden können.

Unser „Lernauto" hat beim Test nur 6 Liter Diesel bei 250 Sachen verbraucht. An seinem geringen Luftwiderstand – dem Geheimnis seiner Sparsamkeit – hat unser Forschungsteam für Aerodynamik systematisch gearbeitet. Die wertvollen Erkenntnisse, die uns dieses Fahrzeug bringt, übertragen wir auf unsere Serienautos.

Für uns liegt der Fortschritt im Detail. Wir arbeiten daran.

Mehr als Autos.

einer eigenständigen, von der Mechanik losgelösten »Energieform« erkannt – das eigentliche Wesen der Wärme war damit jedoch keineswegs voll beschrieben. Es waren vor allem CLAUSIUS und W. THOMSON, die hier Klarheit schafften. CLAUSIUS zeigte 1850, daß Wärme nur als Größe des Austauschs sauber zu fassen ist und damit mathematisch nur durch eine Differenz[2)] dargestellt werden kann, die der ÄNDERUNG EINES ZUSTANDES zugeordnet ist.
Er schrieb

$$dQ = dU + p \cdot dV$$

und stellte damit heraus, daß die Wärme(zufuhr) sich in zwei Komponenten aufspaltet – die Vermehrung des eigentlichen Energieinhaltes (»innere Energie«) einerseits und die Abführung einer (»mechanischen«) Arbeit andererseits. Oder in anderen Worten, die sich jetzt auf die Schreibweise

$$dU = dQ - p \cdot dV$$

beziehen: Die Änderung des Energieinhaltes wird sowohl durch die Zufuhr von Wärme als auch durch die Zufuhr von mechanischer Arbeit bewirkt.
Es war damit klar, daß die Wärme KEINE Zustandsgröße ist – sie hängt wie die mechanische Arbeit von der Art des Prozesses ab, den man durchführt, um aus einem Zustand einen neuen zu erzeugen. Nicht die »Endpunkte« des Vorgangs bestimmen die Wärme, sondern der »Weg«, der diese Endpunkte verbindet.
Diese Klarstellung der Natur der Wärme ist IDENTISCH mit dem Sachverhalt, der später die Bezeichnung »1. Hauptsatz der Thermodynamik« erhielt. Es ist dies eben jener schon zitierte differentielle Zusammenhang, der die Änderung der Energie mit der Zu- und Abfuhr von Wärme und mechanischer Arbeit formelhaft verbindet. Er besagt, daß statt der Wärme der Energieinhalt selbst – die Größe U also – als Zustandsgröße verstanden werden muß. Der Energieinhalt wird damit vom speziellen Weg, vom speziellen Prozeß UNABHÄNGIG; und gleichbedeutend hiermit: Es lassen sich keine geschlossenen Prozesse (Kreisprozesse) finden, die auf eine gewissermaßen selbsttätige Vermehrung der Energie hinauslaufen – es gibt kein »Perpetuum mobile«.[3)] Der »1. Hauptsatz der Thermodynamik« stellt damit das Prinzip der Energieerhaltung für alle Systeme dar, bei denen ein Wärmeaustausch eine Rolle spielt. Später – viel später sogar, nämlich 1884 durch PLANCK – erhielt er eine noch allgemeinere Fassung, die dann alle Umwandlungsarten einschloß. Erst dieser Schritt war es, der uns heute berechtigt, den 1. Hauptsatz der Thermodynamik als mit dem ALLGEMEINEN Energiesatz identisch anzusehen.
Dem gleichen CLAUSIUS gelang auch die Öffnung des Weges zum sogenannten »2. Hauptsatz der Thermodynamik«. Er korrigierte zunächst (1850) den CARNOTschen Satz, der ja noch aus der materiellen, stofflichen Vorstellung der Wärme entstanden war. Er schrieb für die im thermischen Kreisprozeß gewinnbare Arbeit nicht wie CARNOT

$$A = Q \cdot f(\vartheta o, \vartheta u),$$

sondern jetzt

$$\frac{A}{Qo} = f(\vartheta o, \vartheta u)$$

CLAUSIUS erkannte damit, daß die ZUGEFÜHRTE Wärmemenge größer sein muß als die ABGEFÜHRTE – und zwar genau um den Wert, der sich als mechanische Arbeit wiederfindet. Dieser Sachverhalt ist letztlich nichts anderes als die konsequente Anwendung des Satzes von der Erhaltung der Energie auf die Überlegungen von CARNOT – ein erster Hinweis, welche konstruktiven Auswirkungen der Energiesatz für die Naturwissenschaften haben sollte. Der weitere Weg zum »2. Hauptsatz« soll hier, wo es ja speziell um die Energievorstellung geht, nicht im einzelnen verfolgt werden. Hingewiesen sei nur auf den Beitrag, den THOMSON hier 1851 mit der Schreibweise

$$\sum \frac{Q}{T} = o$$

für die reversiblen Prozesse lieferte. Und hingewiesen sei auch nochmals auf CLAUSIUS, der 1862 auch die nicht umkehrbaren (»irreversiblen«) Prozesse einschloß, und der 1865 dann für $\int dQ/T$ die Bezeichnung »Entropie« einführte.
Seit CLAUSIUS wissen wir um die Tatsache, daß die Entropie den Ablauf von Prozessen in der Weise bestimmt, daß ihr Wert niemals abnehmen kann. Die Entropie kann jedoch sehr wohl zunehmen – sie befolgt im Gegensatz zur Energie also nur einen »halben« Erhaltungssatz. Erst wesentlich später gelang es jedoch, dem zunächst sehr abstrakten, neuen Begriff der Entropie[4)] eine Deutung zu unterschieben, die auch das Verhalten dieser Größe – ihr Anwachsen bei allen »natürlichen« Prozessen – in ein wieder anschauliches Verständnis überführte. Erst diese Deutung war es auch, die das besondere Verhältnis zwischen der Energie einerseits und der Entropie andererseits, das zunächst rätselhaft schien, abschließend definierte.
Die Energievorstellung erhellte nicht nur das »physikalische« Verhalten der festen Körper, der Flüssigkeiten und der Gase. Energie und »energieähnliche« Größen halfen jetzt auch, zahlenmäßig faßbare Darstellungen für chemische Reaktionen zu geben.
Diese Entwicklung begann mit BERTHELOT, der 1865 die bei Umsetzungen freiwerdenden Energien auf die Masseneinheit bezog und damit erstmals Zahlenwerte fixierte. LORD RAYLEIGH korrigierte dann diesen Ansatz, indem er auch die ZUGEFÜHRTEN Energien mit einbezog. Das eigentlich tiefere Verständnis gelang dann HELMHOLTZ und GIBBS um 1880

R. CLAUSIUS (1822–1888), der als Begründer des theoretischen Fundaments der Lehre von der Wärme (Thermodynamik) gelten kann. CLAUSIUS hat der Energieform »Wärme« ein tieferes Verständnis unterlegt, das Prinzip der Energieerhaltung mathematisiert (1. Hauptsatz der Thermodynamik) und auch den Weg zum sog. 2. Hauptsatz eröffnet. Er mußte hierfür den schwierigen Begriff der »Entropie« einführen, den er umgehend in seinen Vorlesungen verwandte.

durch eine Kombination von Energie- und Entropiesatz.
Mit

$$F = U - T \cdot S$$
(»freie« Energie)

und

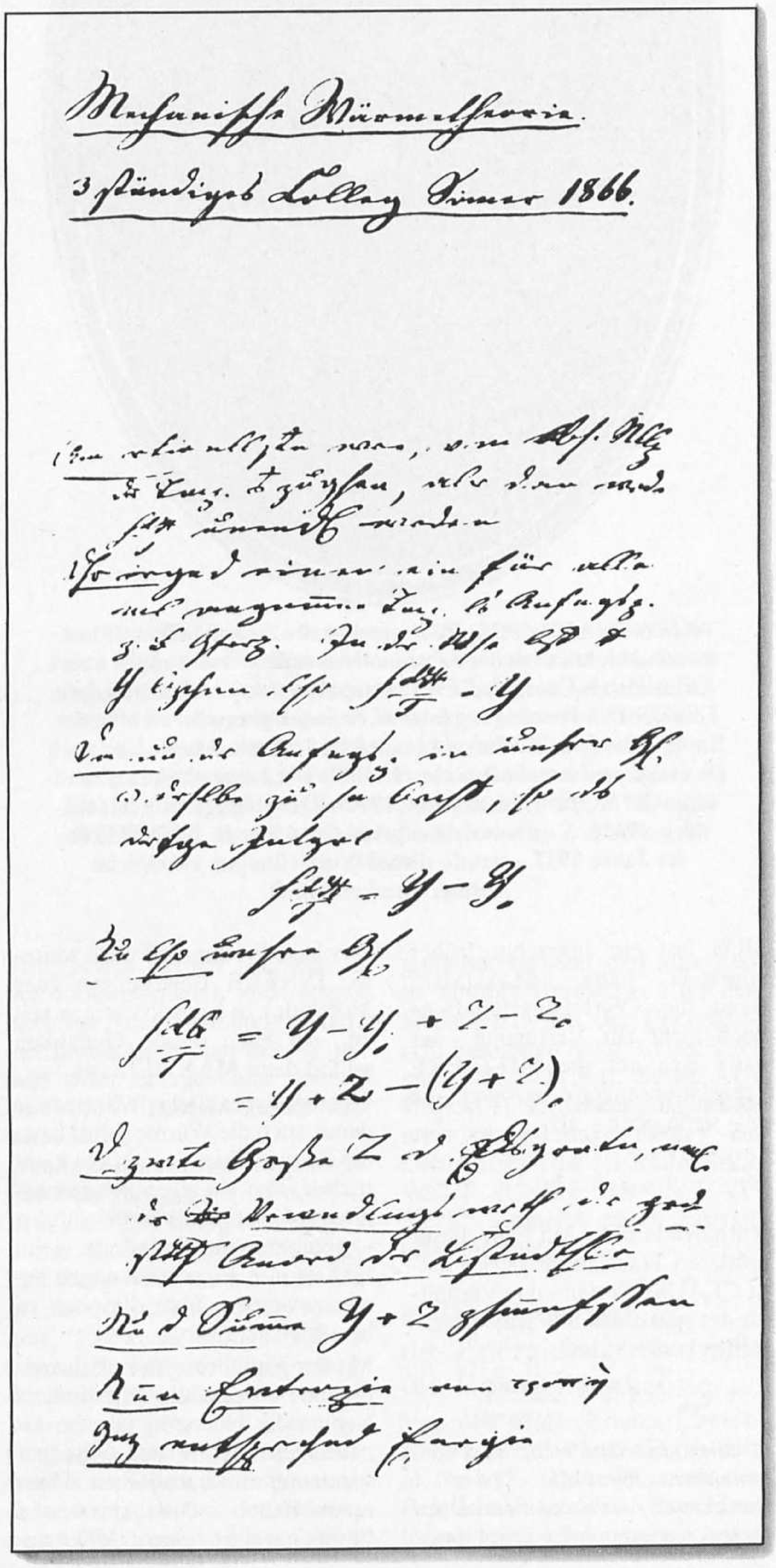
$$H = U - T \cdot S - P \cdot V$$
(»freie« Enthalpie)

führten sie zwei Größen ein, deren Minimum mit den »Gleichgewichten« der Reaktion verbunden ist.[5)]

Diese letzten Ausführungen mögen beispielhaft erläutern, wie fruchtbar das Energieprinzip – ergänzt durch den Entropiesatz – auf den Ausbau der Wissenschaft im 19. Jahrhundert einwirkte. Auch die andere große Disziplin, die sich im 19. Jahrhundert neben der Thermodynamik zu entwikkeln begann, die ELEKTRODYNAMIK, ließ sich zunehmend auf Erhaltungssätze – insbesondere die Energieerhaltung – gründen. Hier war durch MAXWELL in den Jahren bis 1864 die Zusammenführung von Elektromagnetismus und Licht gelungen – in eben den MAXWELLschen Gleichungen, die das elektrische mit dem magnetischen Feld verbinden, und aus denen man als Lösung die fortschreitende, sich im Raum oder auf Leitern ausbreitende »elektromagnetische Welle« erhält. HEAVISIDE (1850–1925) und POINTING leiteten dann aus eben diesen Gleichungen, die den Kern der Elektrodynamik ausmachen, wiederum den Energiesatz her. Umgekehrt gelang es THOMSON 1881, aus dem Ansatz der Energieerhaltung die Induktion abzuleiten – wie es auch HELMHOLTZ im gleichen Jahr auf anderem Wege (nämlich aus Annahmen über die Struktur der Kräfte) glückte, seine hier schon viel früher vorgelegte Energiebilanz der Induktion zu korrigieren. Schließlich war auch noch der Versuch erfolgreich, die Energiedichte der Strahlung aus der Temperatur darzustellen:
KIRCHHOFF und BOLTZMANN fanden 1879 bzw. 1884, indem sie die Strahlung als Gas behandelten, die bekannte Bezeichnung

$$W \sim T^4$$

die experimentell von STEFAN 1879 bestätigt wurde und die deshalb das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz heißt. Auch hier ging die Rechnung von den beiden Hauptsätzen der Thermodynamik aus – man machte also wieder im schon erwähnten konstruktiven Sinn Gebrauch vom Grundsatz der Energieerhaltung, der damit durchaus allmählich den Charakter eines apriorischen Prinzips gewann.
Auf diese Weise gelangten die Energievorstellung und ihr Grundgesetz mit dem Fortschreiten des Jahrhunderts mehr und mehr in den Mittelpunkt des physikalischen Denkens. Die entscheidenden Anstöße hierfür kamen dabei aus der Bewährung, die der Energiebegriff in der Thermodynamik gefunden hatte. Es entwickelte sich sogar eine eher philosophisch orientierte »Energetik« – eine Weltvorstellung, nach der die Energie das Eigentliche ausmache, das sich in jeweils verschiedenen Formen präsentierte. Vertreter dieser Lehre waren vor allem OSTWALD, MACH und DUHEM.



3. Kinetische Theorie und Statistik ergänzen die Kontinuumsvorstellungen

Klassische Thermodynamik und die Elektrodynamik des 19. Jahrhunderts waren ausgerichtet auf die Vorstellung des »Kontinuums« – die Energie, die Entropie wurden dem »Objekt«, dem System, als Ganzem zugeordnet; das elektrische und das magnetische Feld erfüllten stetig den ganzen Raum, und Energie und Impuls waren über ihn »zusammenhängend« verteilt. Es liegt auf der Hand, daß dieses mehr metaphysische Verständnis nicht von allen Wissenschaftlern geteilt wurde. Und es waren ja auch schon wesentlich früher Modelle – etwa in der frühen Lehre von der Wärme, aber auch in einigen Ansätzen über das Licht erkennbar – bekannt geworden, die auf die Einführung »kleinster Teilchen« hinausliefen und somit dem makroskopisch Sichtbaren einen mikroskopischen Unterbau verliehen.

Diese frühen Vorstellungen – etwa die von D. BERNOULLI, HERRMAN und EULER – wurden von der Mitte des 19. Jahrhunderts an gezielt aufgegriffen. Obwohl auch schon HEREPATH im Jahre 1816 daran erinnert hatte, ist wohl erst JOULE mit dem

---

2) Allgemeiner: durch Differentiale.

3) Es ist zu bedenken, daß $dU = dQ - p \cdot dV$ zunächst nur eine Fundamentalform von der Art ist, wie sie später GIBBS verallgemeinert hat. Der wahre Inhalt des 1. Hauptsatzes liegt in der von CLAUSIUS vollzogenen Erkenntnis, daß der Energieinhalt U eine Zustandsgröße darstellt.

4) Hierin gehören die zahlreichen Versuche, den Entropiebegriff mit mechanischen Analogien zu verstehen.

5) Für feste Temperatur und festes Volumen geht »F« gegen ein Minimum, für festen Druck ergibt sich gleiches Verhalten für »H«.

Jahre 1851 als Wiederentdecker der Beziehung zu nennen, die mit

$$p \sim n \cdot \mu \cdot v^2$$

den Gasdruck als Impulsübertragung kleiner, bewegter Teilchen auf die Wand des Gefäßes erklärte.[6)]

Damit war eine erste thermodynamische Größe auf die Teilchenvorstellung zurückgeführt. Wenig später berücksichtigte CLAUSIUS – wieder begegnen wir seinem Namen – unterschiedliche Geschwindigkeiten und Einfallswinkel; er leitete die Beziehung

$$R \cdot T = p \cdot V = \frac{1}{3} \cdot m \cdot \overline{v^2}$$

her – band also die bekannte »Zustandsgleichung der Gase« an die kinetische Grundvorstellung an, was gleichzeitig ein kinetisches Verständnis der Temperatur bedeutete.

Es ist dies eine wichtige Beziehung – sie interpretiert die Temperatur als die mittlere kinetische Energie der bewegten Teilchen eines Gases (Moleküle) und verbindet damit über den Energiebegriff die Mechanik mit der Thermodynamik.

Der kinetischen Gastheorie waren rasch weitere Erfolge beschieden. CLAUSIUS entwickelte 1857 mit der Stoßvorstellung den Begriff der »mittleren freien Weglänge«, die die Gasteilchen zwischen zwei Stößen geradlinig durchfliegen. Und MAXWELL machte sich, beginnend 1860, daran zu untersuchen, in welcher Weise die Teilchen auf die möglichen Geschwindigkeiten verteilt sind. Er fand die »Verteilung«

$$F(v^2) \sim e^{-\beta \cdot v^2}$$

mittels einer Ableitung, die auch wieder den Energiesatz benutzte. MAXWELL gelang 1866 schließlich auch eine Berechnung der spezifischen Wärme der Gase aus der kinetischen Theorie, indem er die verschiedenen »Freiheitsgrade« der Bewegung berücksichtigte und zusätzlich annahm, daß die Verteilung der Geschwindigkeiten für alle Freiheitsgrade die gleiche sei (Gleichverteilung).

MAXWELL führte damit Überlegungen weiter, die bereits CLAUSIUS fast ein Jahrzehnt früher angestellt hatte. CLAUSIUS stand die »Verteilungsfunktion« noch nicht zur Verfügung – er hatte sich auf die MITTLERE Translationsenergie bezogen, die er – siehe oben – als

$$\overline{\varepsilon}_{transl.} = \frac{3}{2} k \cdot T$$

schreiben konnte. Mit Hilfe dieser mittleren Translationsenergie hatte CLAUSIUS dann das Verhältnis der spezifischen Wärme darzustellen versucht und

$$c_{p/c_v} = 1 + \frac{2}{3} \frac{\bar{\varepsilon}\,transl.}{\bar{\varepsilon}\,gesamt}$$

erhalten. Er hatte weiter aus dem bekannten Wert für $^{c_p}/_{c_v} = 1{,}4$ geschlossen, daß das Verhältnis $\bar{\varepsilon}transl./\bar{\varepsilon}gesamt \approx 0{,}6$ sein müsse. Das hieß für ihn, daß noch weitere, INNERE Bewegungen (der Moleküle) zu berücksichtigen seien. An eben diesen Gedanken schloß dann MAXWELL an.

Über die spezifische Wärme war damit auch die Wärme selbst bzw. die »innere Energie« auf ein kinetisches, also ein eigentlich mechanisches Verständnis zurückgeführt – wenigstens im Grundsatz, denn hier müssen Einschränkungen gemacht werden, über die noch zu berichten sein wird.

Mit der Einführung der mathematischen »Verteilungsfunktionen« begann der Übergang von der kinetischen Theorie der Gase zur sogenannten »statistischen Thermodynamik«. Die statistische Physik erklärt einen Makrozustand – den uns direkt sichtbaren Zustand also – durch »Mikrozustände«, indem z. B. jedem Teilchen sein individueller Ort und sein individueller Impuls zugeordnet wird. Der makroskopisch beobachtete Zustand wird durch eine große Zahl VERSCHIEDENER Mikrozustände verwirklicht, die man »abzählen« kann. Normalerweise tritt DER Makrozustand auf, der durch das MAXIMUM der Zahl der Mikrozustände gekennzeichnet ist. Stellt man künstlich eine Abweichung von diesem »wahrscheinlichsten« Zustand her, so nimmt anschließend die Zahl der Mikrozustände wieder bis zum Maximum zu – bis zur Wiederherstellung eines »Gleichgewichts« also.

Dies umfassende statistische Verständnis wuchs allerdings langsam heran. Es wurde entwickelt am Problem der »Verteilungen«, von denen bereits im Zusammenhang mit der Geschwindigkeit bzw. kinetischen Energie die Rede war.

Es ging aber keineswegs nur um »Geschwindigkeitsverteilungen« – auch die »Energieverteilung im Volumen« und die »Verteilung über kinetischer UND potentieller Energie« gehören hierhin. Dabei kann man folgende Schritte unterscheiden:

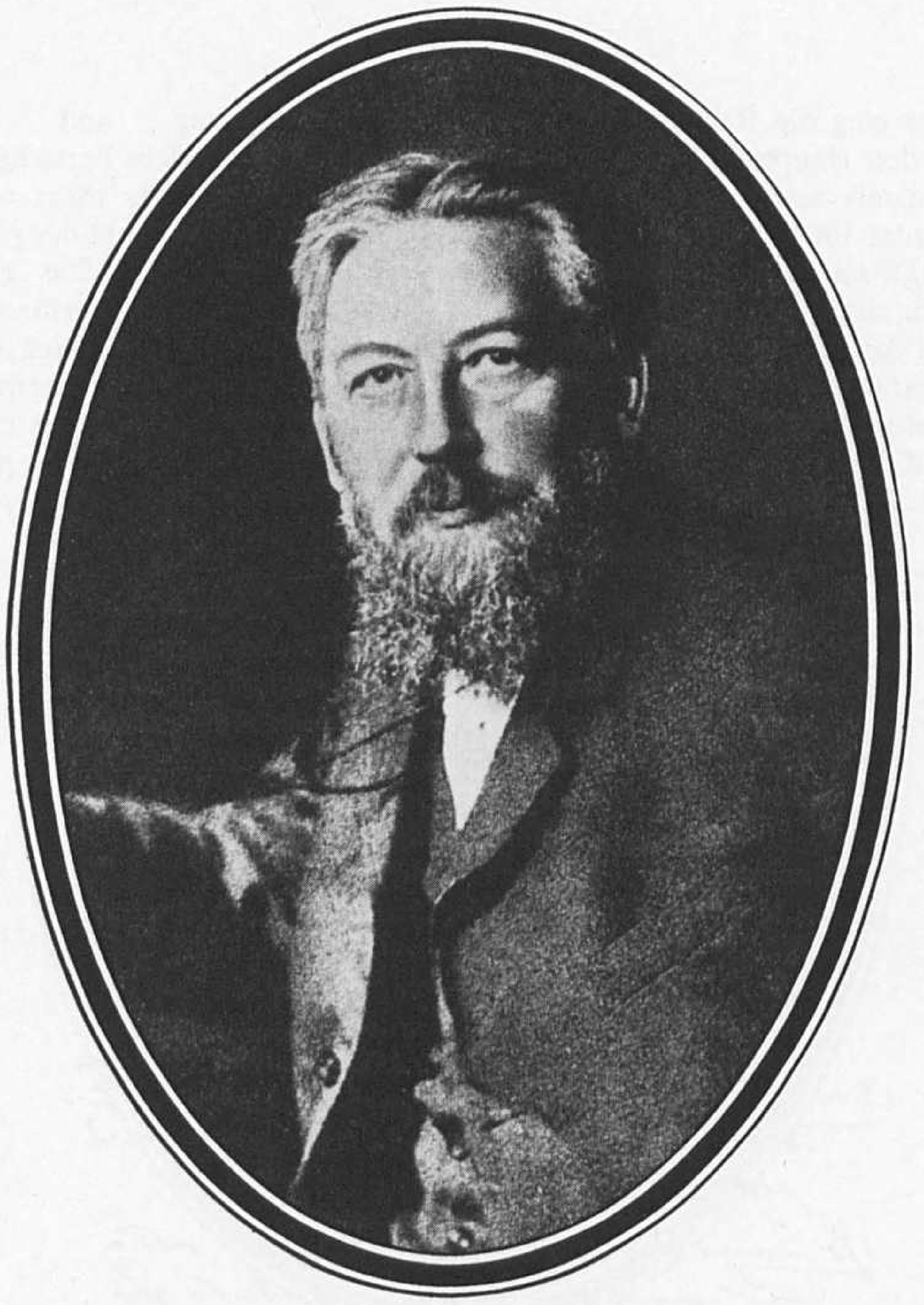
1845–1879: Gleichverteilungssätze (z. B. Teilchen in Volumen, Energie in Volumen, MITTLERE Energie auf Freiheitsgrade).

1860–1877: Kanonische Verteilung (z. B. die Geschwindigkeitsverteilung, die barometrische Höhenformel – allgemein: Die Verteilung der Energie).

Es waren vor allem MAXWELL und BOLTZMANN, die diese Grundlagen schufen. Beiden gemeinsam gelang schließlich in den Jahren 1871 bis 1879 das Verständnis der letzten, aber auch vielleicht schwierigsten Größe der klassischen Thermodynamik: Sie interpretierten die Entropie aus der Zahl der Mikrozustände durch den berühmt gewordenen Zusammenhang

$$S \sim \ln W$$

Die vom 2. Hauptsatz geforderte »halbe Erhaltung« der Entropie lief damit auf die Deutung hinaus, daß ein Zustand sich immer in



W. OSTWALD (1853–1932) entwickelte, von der Chemie her kommend, kurz vor der Jahrhundertwende Vorstellungen über Materie als Energie, die z. T. im späteren Äquivalenzprinzip EINSTEINS Bestätigung fanden. Seine »Energetik« sieht in der Energie das Eigentliche und versteht sich als ein Ansatz, der auch die Geisteswissenschaften einschließt (»Die energetischen Grundlagen der Kulturwissenschaft«, 1910; »Der energetische Imperativ«, 1912). Von seinen Zeitgenossen – hier S. GÜNTHER im Jahre 1917 – wurde diesen Vorstellungen erhebliche Aufmerksamkeit zuteil.

Richtung größerer Wahrscheinlichkeit verändert – wenn man das System sich selbst überläßt. Ein »Gleichgewichtszustand« ist damit immer ein Zustand »maximaler Unordnung«, und die Naturvorgänge laufen damit auf den »Abbau von Ordnung« und die »Erzeugung von Unordnung« hinaus. Die Statistiker konnten also erhebliche Erfolge vorweisen.

Dennoch wurde ihnen nicht uneingeschränkte Anerkennung zuteil. Immerhin fiel die Zeit ihrer Entdeckungen mitten hinein in die immer weiteren, gleichfalls erfolgreichen Anwendungen, die auf der »klassischen Thermodynamik« aufbauten. Und so ist das Bild des späten 19. Jahrhunderts gekennzeichnet durch regelrechte »Kämpfe« zwischen den Vertretern beider Schulen. CLAUSIUS, der am Anfang beider Entwicklungen stand, war es noch gelungen, in beiden Grundvorstellungen zu denken. BOLTZMANN dagegen mußte in seinen späteren Jahren (in München und Wien) seine »statistische Auffassung« zäh gegen die Vertreter der ganzheitlich orientierten Energetik verteidigen, von denen die herausragenden Namen bereits im vorigen Kapitel zitiert wurden.

Aus heutiger Sicht ist die gelegentliche Schärfe des Streites ein wenig verwunderlich – wir haben uns daran gewöhnt, daß BEIDE Anschauungen ihre Berechtigung haben. Die makroskopische Welt läßt sich in weiten Grenzen sinnvoll als Kontinuum verstehen. Damit behält diese ganzheitlich orientierte Betrachtungsweise ihre Berechtigung – wenn man sie nicht zum Prinzip erhebt, sondern als einen bewußt gewählten »Standort eines Beobachters« begreift. Die Tatsache allerdings, daß weder die »Energetiker« noch die »Statistiker« die Energieverteilung in der Strahlung richtig beschreiben konnten[7], ließ beim Eintritt in das 20. Jahrhundert vermuten, daß bisher völlig unbekannte Zusammenhänge »in der Tiefe« noch aufzuspüren waren. Im Bereich der Thermodynamik waren es weiter die spezifischen Wärmen, die mangels der Möglichkeit, die Statistik auch auf das »Innere« der Teilchen anzuwenden, nicht zahlenmäßig befriedigend belegt werden konnten. In der Elektrodynamik andererseits blieb die Äthervorstellung unklar, mit deren Hilfe man den Transport von Energie und Impuls durch den Raum zu klären versucht hatte.

Wenn allerdings ein vorläufiges Resümee gezogen werden darf, so ist es dies: Die Energievorstellung – der Energiebegriff UND der Erhaltungssatz – war nunmehr fest in der Naturwissenschaft verankert. Zeitweise zur metaphysischen Realität erhoben, dann durch das Wirken der »Statistiker« wieder näher an eine »mechanische« Interpretation gerückt, war sie zum Grundprinzip geworden, das auch bei der Bildung neuer Theorien von vornherein gestaltungsgebend und konstruktiv einfloß. Bezeichnend für den Stellenwert, den der Energiebegriff gewonnen hatte, ist der Titel einer kleinen Schrift, die wir AUERBACH verdanken. Er stellte seine Ausführungen unter die Überschrift: DIE HERRIN DER WELT UND IHR SCHATTEN.[8] Gemeint waren Energie und Entropie.

A. EINSTEIN wandte in seiner grundlegenden Arbeit aus dem Jahre 1905 seine Einsichten über die Abhängigkeit der Maßstäbe und Uhren vom Bezugssystem sogleich auf einen speziellen Fall an, die Beschleunigung eines Elektrons in einem elektrischen Feld. Dabei erhielt er für die kinetische Energie einen Ausdruck, der anzeigt, daß die Energie bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit gegen unendlich strebt. EINSTEIN gibt anschließend den Hinweis auf das gleichartige Verhalten der Masse.

4. Die Erweiterung des Energiebegriffs durch die Relativitätstheorie

Von den beiden großen Umwälzungen, die die Naturwissenschaft in unserem Jahrhundert mit der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik erfuhr, hat die erstere die ein wenig weiter zurückreichenden Wurzeln – sie entwickelte sich auch eher als die Quantenmechanik zur Geschlossenheit. Es ist darum gerechtfertigt, zunächst die Fortschritte der Relativitätstheorie hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Energiebegriff und den Energiesatz zu untersuchen.

Die Relativitätstheorie nahm ihren Anfang aus der Elektrodynamik, die während des 19. Jahrhunderts das Licht mit den elektromagnetischen Erscheinungen hatte verbinden können. Die MAXWELLsche Theorie schrieb dem »Feld« die Eigenschaft zu, Energie und Impuls aufnehmen zu können. Das bedeutete, daß man einem geladenen und damit ein Feld aufbauenden Körper eine »Zusatzmasse« zur Trägheit hinzuschreiben mußte.

J. J. THOMSON errechnete sie 1881 für einen kugelförmigen Leiter zu

$$\Delta m = \frac{4}{3} \cdot \frac{E}{c^2}$$

wobei E für die Feldenergie steht. HASENÖHRL kam 1904 auf die gleiche Beziehung, als er die Kräfte berechnete, die für die Beschleunigung eines mit Strahlung erfüllten Hohlraumes benötigt wurden. Der Feldenergie mußte also nach diesen ersten Ergebnissen eine träge Masse der Größenordnung E/c^2 zugeschrieben werden.

Endgültig und in ganzer Tiefe wurden die sich hier ergebenden Fragen durch EINSTEIN im Jahre 1905 gelöst, der insbesondere an frühere Arbeiten von LORENTZ anknüpfte.[9] Seine Betrachtung der »gleichförmig gegeneinander bewegten Bezugssysteme« ging von der Gleichberechtigung der Systeme und von der Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom

---

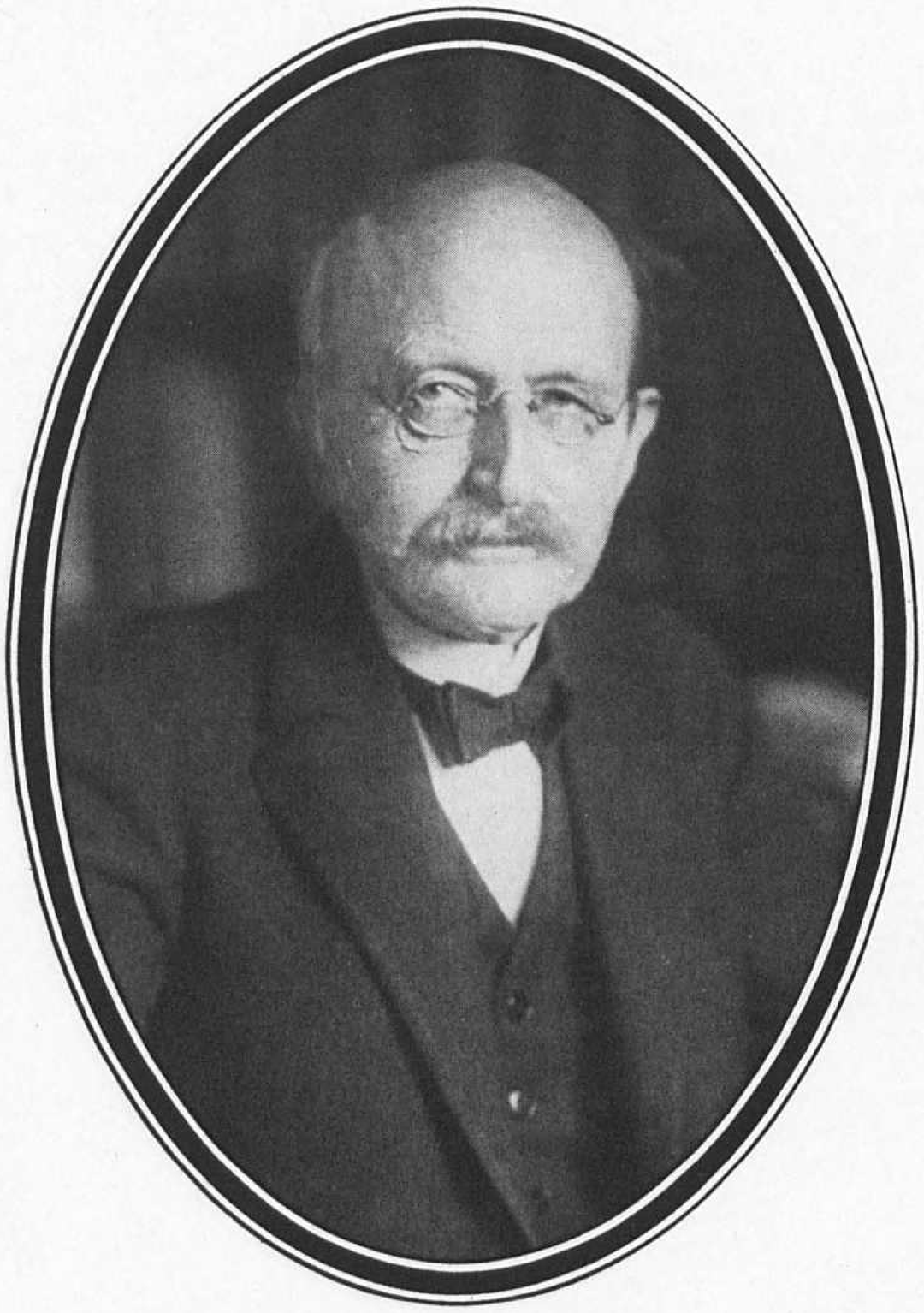
6) Die Beziehung stammt ursprünglich von D. BERNOULLI, 1758.

7) Den Ansätzen von WIEN (1893 WIENsches Verschiebungsgesetz) stehen hier die Versuche von RAYLEIGH (1900, quadratische Abhängigkeit der Energiedichte von der Frequenz) gegenüber.

8) F. AUERBACH, DIE HERRIN DER WELT UND IHR SCHATTEN, Jena 1913 Verlag von Gustav Fischer.

9) Neben EINSTEIN existieren ähnliche, aber nicht so weitreichende Veröffentlichungen von LORENTZ und POINCARÉ im gleichen Jahr.

Planck, Max Karl Ernst Ludwig,
Physiker, 1858–1947



Bewegungszustand aus – letzteres war u. a. von MICHELSON (1881) mit seinem berühmten Interferometerversuch nachgewiesen worden. EINSTEINS erste Abhandlung hatte zunächst die »Relativierung der Maßstäbe und Uhren« zum Ergebnis – Längen und Zeiten sind danach keine absoluten, sondern vom Standort des Beobachters abhängigen Größen.

Diese Aussagen haben jedoch Folgen für die Dynamik, die EINSTEIN miterkannte, und die PLANCK im Jahre danach auf die Form

$$F = \frac{d}{dt} \frac{m \cdot v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

brachte. Zusammen mit der von EINSTEIN in einer zweiten Veröffentlichung im Jahre 1905 ausgesprochenen Einsicht, daß Strahlung auch eine Übertragung von Masse ist, und zwar nach der berühmt gewordenen Beziehung

$$E = M \cdot c^2$$

heißt dies folgendes:

– Die Masse ist nicht länger eine Konstante mehr, sie ändert sich in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit nach dem gleichen Gesetz wie Maßstäbe und Uhren.

– Die GESAMTMASSE ist mit der GESAMTENERGIE über den konstanten Faktor »c^2« verbunden.

– Auch der ruhende Körper hat – da er ja Masse besitzt – eine Energie: die Ruheenergie $E_o = m \cdot c^2$.

– Die Gesamtenergie läßt sich nicht mehr als Summe einer »Ruheenergie« und einer »Bewegungsenergie« darstellen.[10)]

Das hier wesentliche Ergebnis ist, daß damit TRÄGE MASSE und GESAMTENERGIE (bis auf einen Faktor) IDENTISCH geworden sind. Das Jahr 1906 kann also festgeschrieben werden in der Geschichte der Naturwissenschaften als Zeitpunkt, zu dem die Zusammenführung zweier bisher getrennter Begriffe zur Identität gelang. Es hatte in Zukunft keinen Sinn mehr, von Energie UND Masse zu reden – beide Begriffe ersetzten sich gegenseitig.

Damit war auch klar geworden, daß die beiden Erhaltungssätze – der für die Masse und der für die Energie – in einen EINZIGEN verschmolzen waren. Ob man dies dann als eine Erweiterung des Begriffs der Masse oder als Erweiterung des Begriffs der Energie verstehen muß – das ist rational nicht mehr entscheidbar. Die naturwissenschaftliche Praxis hat sich in der Folgezeit für die Energie entschieden und verwendet »Masse« im wesentlichen nur noch für die »Ruhemasse« und die »schwere Masse« – nicht mehr üblich ist heute die Angabe von »Gesamtmassen«.

Die hier behandelte »spezielle« Relativitätstheorie hielt auch zwei weitere Einsichten parat. Zunächst stellte sie klar, daß es ein »gewisses« absolutes Maß der Energie gibt – die Energie kann nie kleiner werden als die Ruhemasse, und insbesondere kann sie nicht negativ sein. Andererseits vermittelt die Relativität auch die Einsicht, daß es ein »wahres« Maß der Energie nicht gibt – auch die Energiewerte hängen vom Standpunkt des Beobachters ab. Wechselt er ihn, so ändert sich die Energie mit – in den vorab geschilderten Grenzen. Die Frage drängt sich auf, ob damit nicht das bisher unbestrittene Prinzip der Erhaltung der Energie verletzt werde. Die Antwort ist: NEIN. Denn die Erhaltung der Energie ist mit physikalischen PROZESSEN verbunden, und der Wechsel des Beobachters ist kein Prozeß, sondern lediglich nur eine Veränderung der Schreibweise. Oder anders: Der gleiche Prozeß zeigt für verschiedene Beobachter immer das Charakteristikum der Energieerhaltung – verschieden sind nur die Zahlenwerte in den beiden Beschreibungen.

Die weitere Ausbildung der speziellen Relativitätstheorie führte durch MINKOWSKI 1908 zur Zusammenfassung der Orts- und der Zeitkoordinate in einer »Raum-Zeit-Welt« und zur Zusammenfassung von Energie und Impuls im sogenannten »Vierervektor«. Dieser Vierervektor kennzeichnet einen Bewegungszustand eindeutig, und für ihn gilt ein Erhaltungssatz. Dieser Erhaltungssatz ist, wenn man will, die Zusammenfassung der beiden Sätze von der Energieerhaltung und der Impulserhaltung. Der Impuls ist dabei dem Ort zugeordnet, die Energie der Zeit. Im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie ist dies nur ein Hilfsmittel der Formulierung – in der anschließenden allgemeinen Relativitätstheorie wurde über dieses Hilfsmittel der Beschreibung dann eine Interpretation des Sinns der Erhaltungssätze möglich.

Die ALLGEMEINE Relativitätstheorie EINSTEINS, entstanden ab 1907, widmete sich der Einbeziehung der Gravitation. Sie erklärte die Schwere als gleichbedeutend einer BESCHLEUNIGTEN Relativbewegung (Äquivalenzprinzip). Für uns ist dabei interessant, daß auch die hierhin gehörenden sogenannten Feldgleichungen EINSTEINS eine Ableitung der Energie- und Impulserhaltung zuließen (1915). Die allgemeine Relativitätstheorie führte weiter zur Identität von »träger« und »schwerer« Masse und konnte somit ganz durchgehend ihre Aussagen auf »Energiedichten« beziehen.

Das wesentliche Ergebnis der allgemeinen Relativitätstheorie war eine Änderung unserer Vorstellungen vom Raum. Das Umdenken fällt hier schwer – zu sehr sind wir an die »euklidische Geometrie« unserer Umwelt gewöhnt. Die herausragende Aussage ist, daß sich die »Metrik« der Raum-Zeit-Welt ändert, und zwar in Abhängigkeit von den Energie-Konzentrationen. Sehr stark vereinfacht könnte man versuchsweise formulieren, daß die geometrischen Eigenschaften der Raum-Zeit-Welt energiebestimmt sind – eine weitreichende Aussage, die nur die Wichtigkeit der Energievorstellung unterstreicht und ihr eine (die?) zentrale Rolle zuzuweisen scheint.

Hinsichtlich der Erhaltungssätze eröffnet die allgemeine Relativitätstheorie eine eigenartige Deutung: Sie spiegeln eine Grundeigenschaft unserer Welt wider – die der HOMOGENITÄT. Die Impulserhaltung korrespondiert dabei mit der Homogenität des Raumes, die Energieerhaltung mit der Homogenität der Zeit. Homogenität ist mit »gleichförmig« zu übersetzen und bedeutet letztlich die Vorstellung der Kontinuität.

Insofern stellt die Relativitätstheorie durchaus eine Fortentwicklung der Betrachtungsweise der »Ganzheit« dar, die die klassische Thermodynamik des 19. Jahrhunderts kennzeichnete.

Die konstruktive Rolle des Energiebegriffs in der Quantenmechanik

Während sich die Relativitätstheorie mehr mit den makroskopischen Dimensionen beschäftigte und infolgedessen ihre ersten Anwendungen im Bereich der Kosmologie fand, entstand nur wenig später und auch hinsichtlich ihres Ausbaus nur wenig zeitversetzt in der Quantenmechanik ein Theoriegebäude, das vorwiegend mikroskopisch orientiert ist. Äußeres Bindeglied zwischen den beiden in ihrem Ursprung zunächst ganz verschiedenen Theorien ist das Licht.

Am Anfang der Relativitätstheorie stand, wie wir gesehen haben, die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Am Anfang der Quantenmechanik stand die Energieverteilung in der Strahlung, die von einem erhitzten Körper ausgesandt wird. Hier lagen mit dem Ausgang des 19. Jahrhunderts experimentelle Ergebnisse vor, die sich aus dem bisherigen thermodynamischen Verständnis nicht hinreichend erklären ließen – was sowohl für die klassische Thermodynamik wie für die »Statistiker« galt. Es war PLANCK, der hier 1902 durch einen radikalen, gerade die Energie betreffenden Eingriff die Türen öffnete. PLANCK hatte sich den strahlenden Körper zu einem Modell aus »Oszillatoren« verschiedener Frequenz umgebaut. Diese Oszillatoren hätten nun »klassisch« jeden beliebigen Energieinhalt haben können – die Energie galt ja als stetig veränderbare, beliebig teilbare Größe, als ein »Kontinuum«. PLANCKS Setzung – es war tatsächlich eine ad hoc eingeführte Hypothese – war nun, daß die Energieinhalte eines Oszillators NICHT BELIEBIG sein sollten – sie sollten vielmehr aus Vielfachen eines Grundbetrages aufgebaut sein, also

$$E = n \cdot \varepsilon$$

Es gelang PLANCK dann zu zeigen, daß mit dieser Annahme »gequantelter Energiezustände« die experimentell ermittelte Verteilung der Intensität von der Frequenz auch theoretisch einwandfrei abzuleiten war (PLANCKsche Strahlungsformel), wobei sich als weiteres Ergebnis noch mit

$$\varepsilon = h \cdot r$$

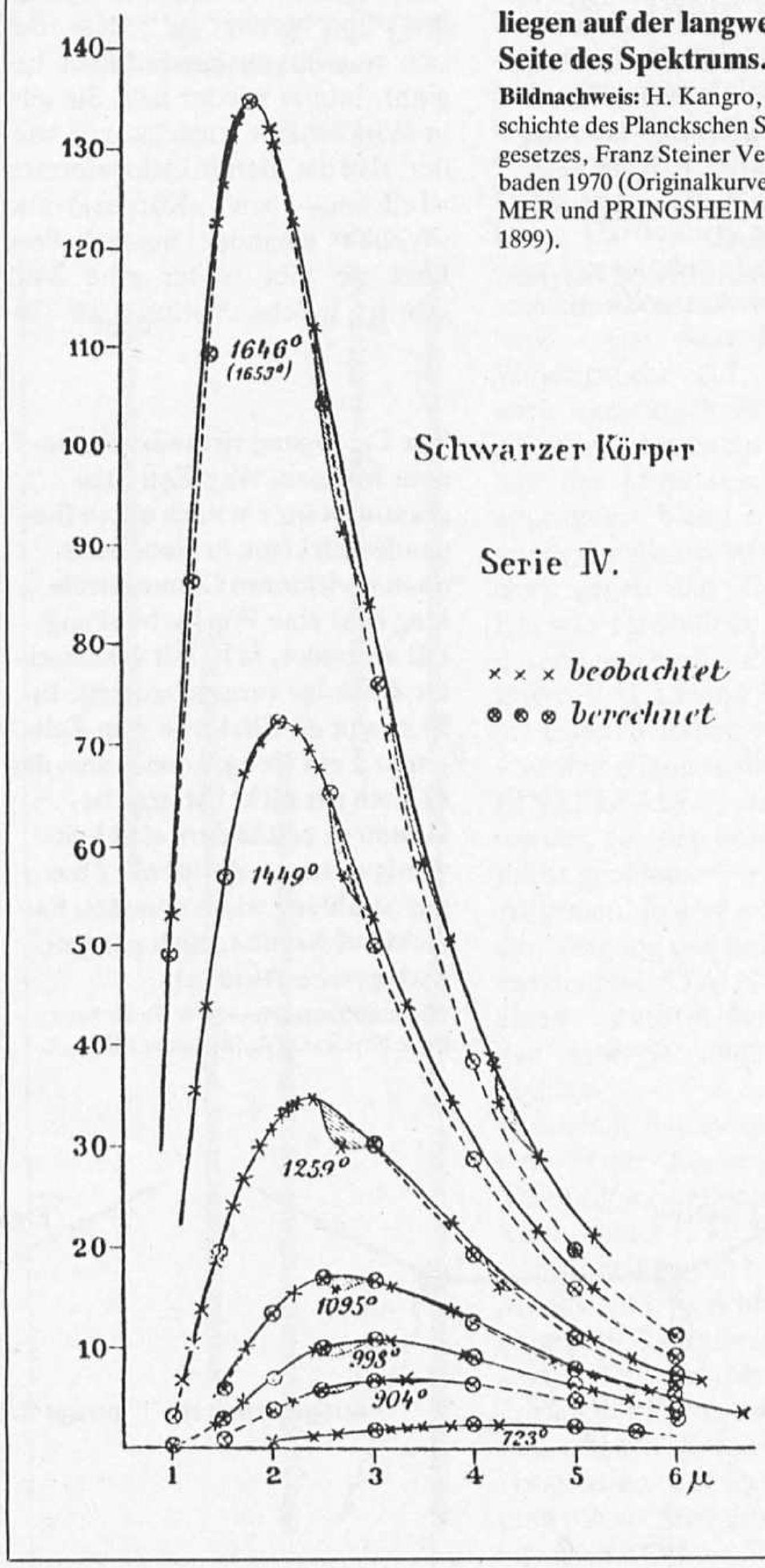
die Abhängigkeit des kleinsten Energiebetrages von der Frequenz zeigte. PLANCK hatte 1902 zunächst nur behauptet, daß der AUSTAUSCH von Energie in diesen kleinsten Beträgen oder ihren Vielfachen erfolgte. Daß auch die Strahlung selbst die Energie in »Portionen« transportierte, zeigt dann im Jahre 1905 EINSTEIN. Damit war die Energie diskret geworden, und zugleich war für das Licht wieder eine korpuskulare Vorstellung mitentstanden – man konnte es sich jetzt als aus »Photonen« zusammengesetzt vorstellen. Dabei blieb zunächst unauflöslich, daß einige Phänomene besser mit dieser (gar nicht so neuen) Teilchenvorstellung und andere besser mit der elektromagnetischen Welle erklärt werden konnten – der Keim zum Dualismus »Welle – Teilchen« war gelegt.

Die Quantelung der Energie bezog sich zunächst auf die Strahlung. BOHR wandte dann (1913) diese Grundvorstellung auf die Elektronen der Atomhülle an und erklärte auf diese Weise die Serienanordnung der Spektrallinien – jener scharf in der Frequenz markierten Strahlung also, die von einem freien Atom im »angeregten Zustand«[11] ausgesandt wird. BOHRS Ansatz war erfolgreich – aber die von ihm eingeführten Bedingungen[12] waren Postulate, ad hoc eingeführte Setzungen.

Der wirkliche Durchbruch zu einer universellen Vorstellung, die auch BOHRS Postulate verständlich machte, gelang dann 1923 DE BROGLIE. Wie PLANCK und EINSTEIN der Strahlung die Lichtteilchen, also die Photonen mit der Energie $E = h \cdot \nu$ zugeordnet hatten, so kehrte nun DE BROGLIE diesen Zusammenhang um – er folgerte aus Analogiebetrachtungen

$$\nu = \frac{E}{h} \text{ bzw. } \lambda = \frac{h}{p}$$

DE BROGLIE folgerte damit, daß GANZ ALLGEMEIN jeder Energie- und Impulstransport einer Welle mit der Frequenz ν und der Wellenlänge λ äquivalent sei. Er fand damit die sogenannten »Materiewellen«, die etwa die Bewegung eines Elektrons – also eines Körpers – genauso beschreiben wie die klassischen Bewegungsgleichungen. DE BROGLIE benutzte in seinen Überlegungen



Zur Vorgeschichte des PLANCKschen Strahlungsgesetzes. Die Abbildung zeigt den Stand der Forschung kurz vor der Jahrhundertwende. Die Abweichungen zwischen gemessenen und aus der verfügbaren Theorie berechneten Werten liegen auf der langwelligen Seite des Spektrums.

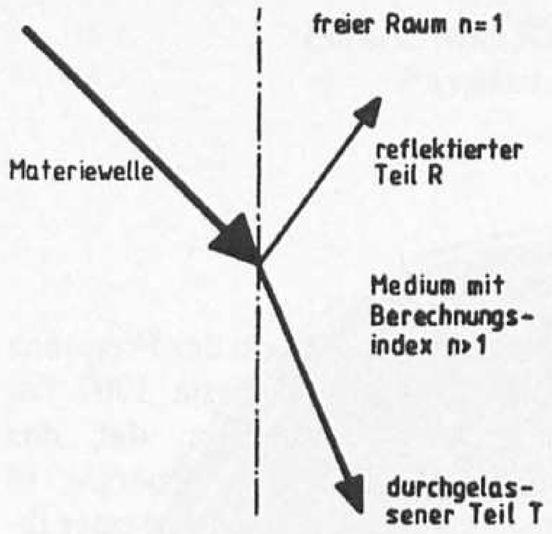
Bildnachweis: H. Kangro, Vorgeschichte des Planckschen Strahlungsgesetzes, Franz Steiner Verlag, Wiesbaden 1970 (Originalkurven LUMMER und PRINGSHEIM, Nov. 1899).

---

10) Natürlich gelingt nach wie vor die Darstellung einer »kinetischen Energie« – aber sie enthält außer ν noch E_o.

11) Wie er z. B. durch hohe Temperatur zustande kommt.

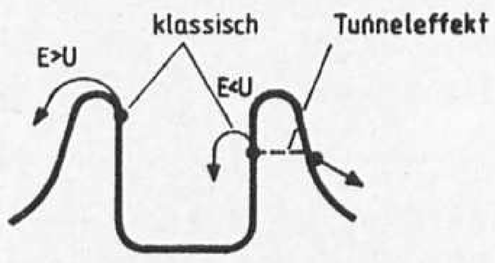
12) Die »stationären Zustände« und die »Frequenzbedingung« $h \cdot \nu = E_m - E_n$.



BEIDE neuen Energievorstellungen – die Identität mit der Masse nach $E = m \cdot c^2$ UND die »diskreten« Energiewerte nach $E = h \cdot \nu$.

Erst später wurde durch SCHRÖDINGER, HEISENBERG und BORN (1924 bis 1925) in z. T. unabhängigen Arbeiten das zunächst sehr merkwürdig anmutende Phänomen der »Materiewelle« einer Deutung zugänglich. Diese Wellen – genauer das Quadrat ihrer Amplitude – geben die »Wahrscheinlichkeit« an, an einem bestimmten Ort einen Körper aufzufinden. Sie sind REALITÄT, keine Fiktion – wie die Versuche zur Elektronenstreuung von DAVISSON und GERMER 1927 zeigten. Ein Elektronenstrahl zeigt danach Streuung und Beugung – das Teilchen hat »optische« Eigenschaften bekommen.

Der »Dualismus« Welle ÷ Teilchen war damit endgültig und unauflöslich da – vermittelt über die Beziehung $E = h \cdot \nu$, die jetzt von rechts nach links (Strahlung → Photonen) wie von links nach rechts (bewegtes Teilchen → Welle) gelesen werden kann. Und schon bei DE BROGLIE zeigte sich das hiermit verbundene Problem: Zu einer BESTIMMTEN Energie E gehört eine BESTIMMTE Frequenz ν – diese Vorstellung führt aber zu einem unendlichen Wellenzug, der keine »Ortung« des Körpers mehr erlaubt, der die Energie E »ursprünglich« trägt. Nun – man kann auch Wellenphänomene lokalisieren – indem man, wie aus der Optik bekannt, verschiedene Frequenzen überlagert. Man erhält so – das alles stammt bereits von DE BROGLIE – Interferenzerscheinungen: Der bewegte Körper wird durch ein »Wellenpaket« dargestellt und ist damit in Zeit und Raum »lokalisiert«. Allerdings auf Kosten einer eindeutigen Aussage über die Energie – die Frequenzen (und die Wellenlängen) sind ja nunmehr aufgespalten, über einen Bereich verteilt; und das heißt wieder mit $E = h \cdot \nu$ bzw. $p = h/\lambda$, daß die Energie bzw. der Impuls nicht eigentlich eindeutig sein kann. Beide Größen zeigen – für jeden KÖRPER – eine gewisse »Streuung«. Und beide Größen haben nur dann einen beliebig festen Wert, wenn man auf die Lokalisierbarkeit verzichtet – also zu einer »monochromatischen« Welle übergeht, die FESTE Frequenz und FESTE Wellenlänge hat.



Zum »Tunneleffekt«, der nur quantenmechanisch verständlich ist. Das Teilchen kann klassisch den Kern nicht verlassen, wenn seine Energie kleiner ist als die Höhe des Potentialwalls. Oben in der Abbildung die Erklärung des Phänomens über die Materiewelle. Dieser Verständnisweg scheint etwas eleganter als die im Text gegebene Erläuterung – allerdings bleibt zu beachten, daß ein Teilchen durch ein Wellenpaket gestellt werden muß.

Bildnachweis: E. Feicht/U. Graf, Das große Buch der Physik, Deutscher Bücherbund, Stuttgart 1972 (ergänzt).

Den Kern des Dualismus hat HEISENBERG 1927 offengelegt – in den »Unbestimmtheitsrelationen«

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$$

Je genauer also eine Orts- und Zeitfestlegung getroffen wird, um so ungenauer wird NOTWENDIGERWEISE eine Impuls- und eine Energieangabe.

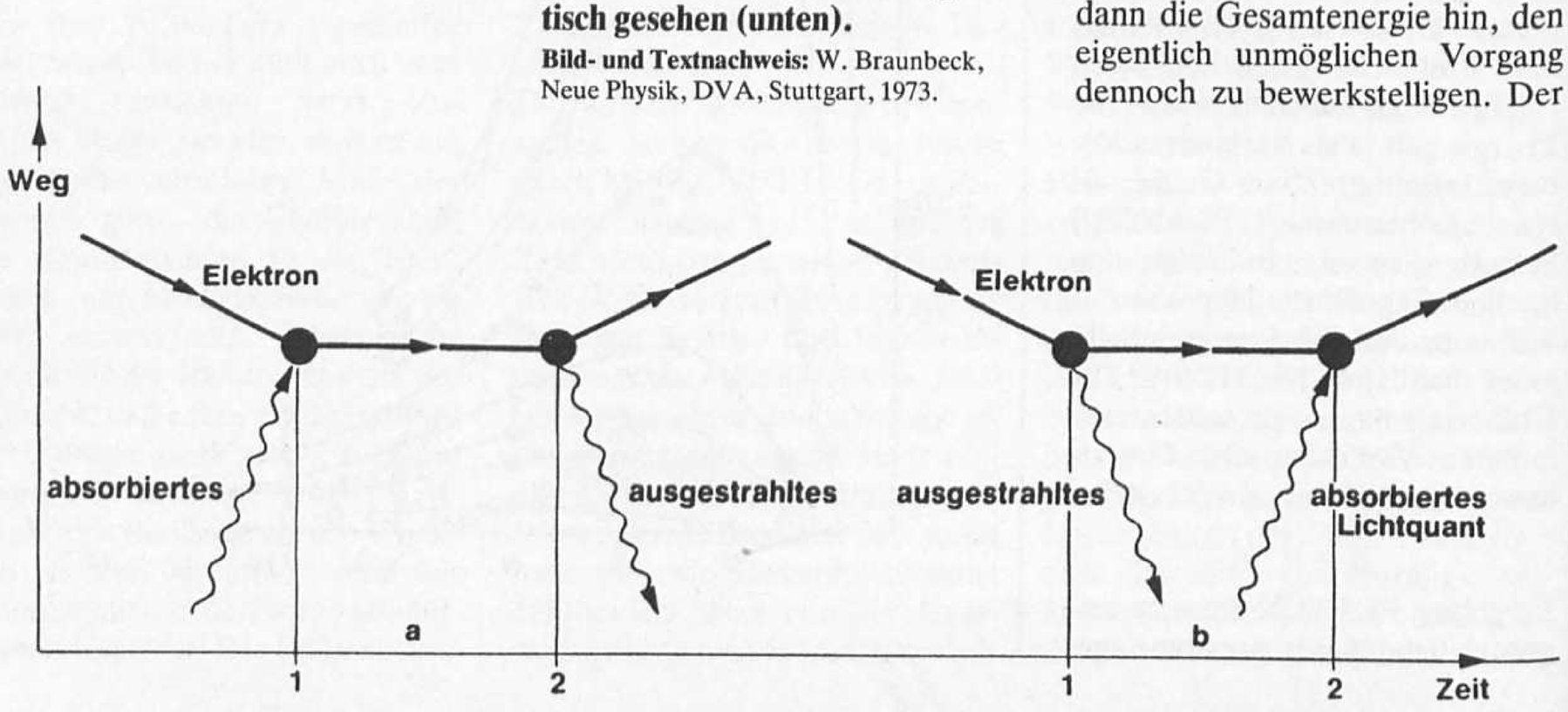
Die Interpretation der Unschärferelation hat Schwierigkeiten bereitet – und bereitet sie jedem, der sich mit ihr zu beschäftigen beginnt, immer wieder neu. Sie gibt in Wirklichkeit zunächst nur wieder, daß die Identifikationsformen »Teilchen« (bzw. »Körper«) und »Welle« einander ausschließen. Und sie gibt weiter eine Vorschrift, welche Verluste an Genauigkeit der Beschreibung man in Kauf nehmen muß, wenn man von dem einen Bild ins andere wechselt. Es hat dabei, wie VON WEIZSÄCKER dann in den 30er Jahren formulierte, den Anschein, daß die Unvereinbarkeit beider Bilder mit den uns a priori vorgegebenen Formen der Erkenntnis[13] auf grundsätzliche Weise zusammenhängt. Teilchen und Welle sind danach ERSCHEINUNGSFORMEN der Realität, nicht selbst Realität.

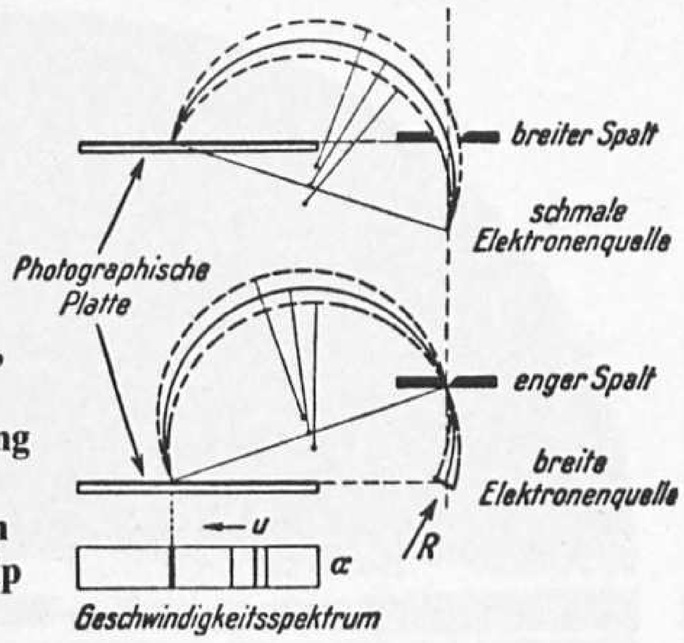
Für die Energie und den Energiesatz bleibt festzuhalten, daß sowohl der Begriff der Energie (in der relativistischen und gequantelten Form) als auch ihre Erhaltung geradezu die Basis lieferten, auf die sich die PLANCK-DE BROGLIEschen Gleichungen stützen. Der Energiesatz hat auch hier wieder in dem schon häufiger zitierten konstruktiven Sinn gewirkt.

Die Gültigkeit des Energiesatzes ist im Einzelfall durchaus schwierig einzusehen. Eine recht scharfe Lokalisation in der Zeit hat z. B. nach $\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar$ ein recht großes ΔE zur Folge – wird hier etwa Energie »aus dem Nichts produziert«? Sehr anschaulich stellt sich diese Frage beim sogenannten »Tunneleffekt«, wo es um den Durchtritt eines Teilchens durch eine Potentialschwelle geht, der »klassisch« gar nicht möglich wäre. Das Teilchen, ursprünglich mit der Energie E ausgestattet, müßte eigentlich wieder zurücklaufen, da seine Energie für die »Bergbesteigung« nicht ausreicht. Da der Vorgang des Durchquerens jedoch in sehr kurzer Zeit erfolgt, ergibt sich ein zusätzlich wirksames ΔE – und mit $E+\Delta E$ reicht dann die Gesamtenergie hin, den eigentlich unmöglichen Vorgang dennoch zu bewerkstelligen. Der

Zur Erzeugung virtueller Photonen: In einem Weg-Zeit-Diagramm ist für ein nach unten fliegendes Elektron in einer nach oben gerichteten Gammastrahlung in a) eine Wechselwirkung mit normaler, in b) mit vertauschter Zeitfolge veranschaulicht. In b) strahlt das Elektron zum Zeitpunkt 1 ein Gammaquant aus, das es noch gar nicht hat, und bekommt es erst in dem ein klein wenig späteren Zeitpunkt 2 aus der Strahlung wieder ersetzt. Es »lebt auf Kredit«, auch energetisch gesehen (unten).

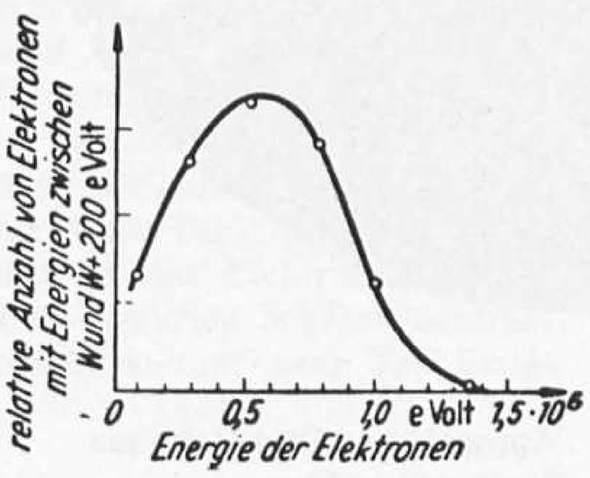
Bild- und Textnachweis: W. Braunbeck, Neue Physik, DVA, Stuttgart, 1973.





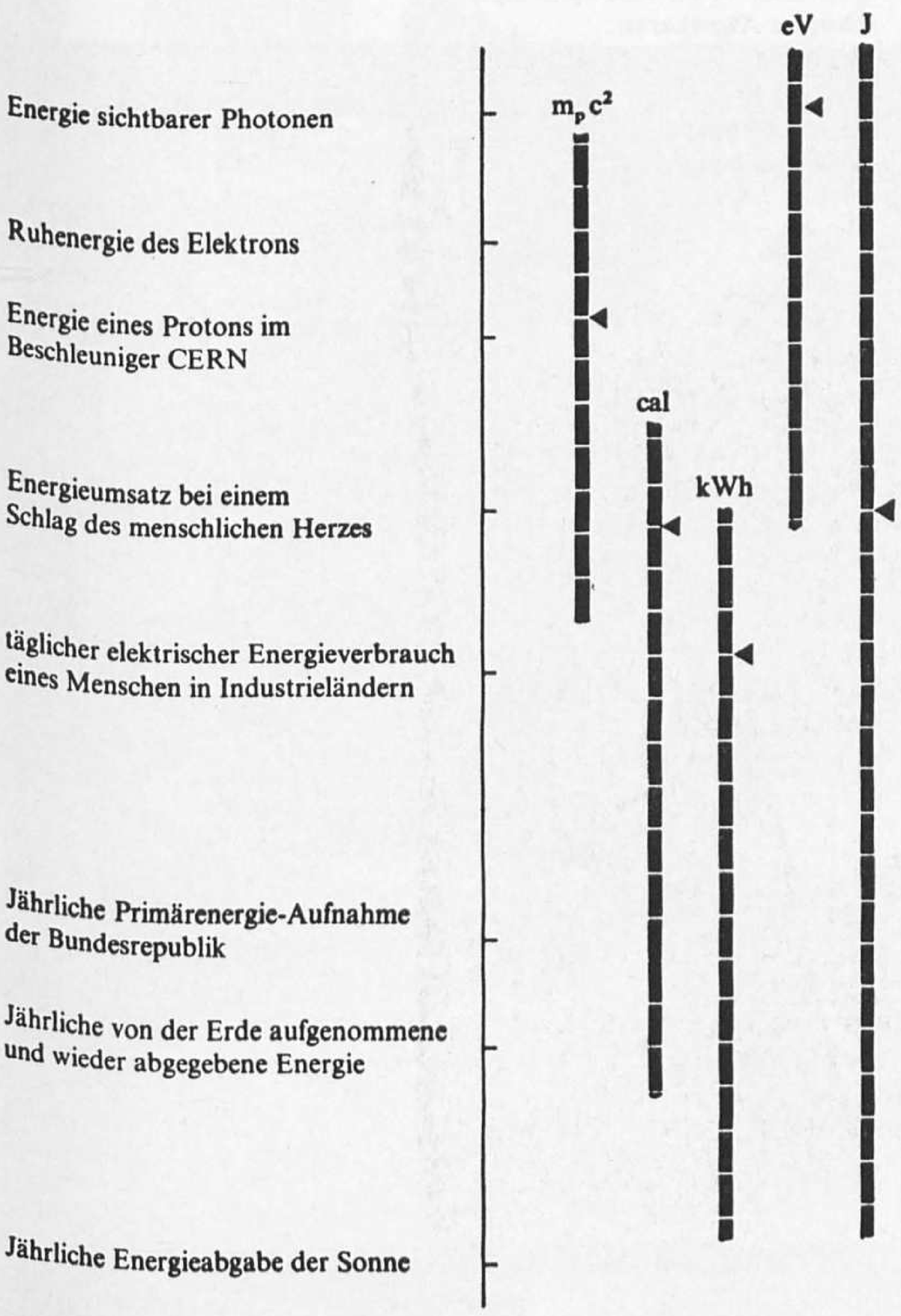
Das kontinuierliche β-Spektrum, das historisch dem Verständnis wegen der scheinbaren Verletzung des Energiesatzes erhebliche Schwierigkeiten bereitete. Unten die Meßanordnung, deren Prinzip die geschwindigkeitsabhängige Ablenkung der Elektronen im Magnetfeld ist.

Bildnachweis: K. W. Pohl, Optik und Atomphysik, Springer Verlag, 9. Aufl. 1954.



Zur Größenordnung von Energieumsetzungen. Für den Laien mag überraschend sein, wie klein die in Elementarprozessen wirksamen Energien tatsächlich sind. Das liegt natürlich daran, daß es sich hier um einzelne Elementarakte handelt, während sich in allen anderen in der Abbildung zitierten »Ereignissen« eine Vielzahl von Elementarvorgängen abspielt. Die verschiedenen Skalen, die alle in Zehnerpotenzen zählen, dienen dem Vergleich einiger in der Physik üblicher Energiemeßgrößen – ganz rechts das Joule. Die Energieeinheit ist jeweils durch Pfeil markiert: Ein Joule entspricht etwa einem Herzschlag und gewinnt damit fast menschliche Dimension (unten).

Bildnachweis: G. Falk/W. Ruppel, Energie und Entropie, Springer, 1976.



Effekt läßt sich tatsächlich beobachten – die Unschärferelation ist also unmittelbar nachprüfbar. Dennoch zeigt gerade der Tunneleffekt den wahren Charakter des Geschehens: Es sind keineswegs ALLE Teilchen, denen jetzt die Durchquerung gelingt – es sind nur EINIGE WENIGE. Wie diese wenigen MEHR Energie besitzen, so haben andere weniger – es liegt also eine statistische Streuung um einen Mittelwert vor, der selbst mit E UNGEÄNDERT bleibt.

Diese Darstellung entspricht voll dem Verständnis der Materiewellen als »Wahrscheinlichkeitswellen« – erst diese Deutung löst Widersprüche auf, insbesondere auch hinsichtlich des Energiesatzes. Einmal versteht man hieraus, daß der Mittelwert der Energie ungeändert bleibt und somit zumindest makroskopisch kein Verstoß gegen die Erhaltung der Energie feststellbar ist. Zum anderen kann man – dieses Problem lösten PAULI und WEISSKOPF im anderen Zusammenhang 1934 – weiter zeigen, woher die ΔE im EINZELFALL stammen: Sie werden aus der Potentialschwelle selbst genommen.

Allgemein folgert man daraus: Jeder Vorgang der Lokalisierung ist mit dem AUSTAUSCH, und zwar einem statistischen Austausch, von Energie und Impuls verbunden.

Historisch hat es mehrfache Ansätze in der Quantenmechanik gegeben, den Energiesatz »versuchsweise« außer Kraft zu setzen, auch BOHR selbst war 1924 mit KRAMERS und SLATER und noch einmal 1932 darunter. Gerade der letztere Fall, bei dem es um den β-Zerfall der Kerne mit seinem kontinuierlichen Spektrum ging, ist übrigens aus der Sicht der Bedeutung des Energiesatzes höchst lehrreich. Auf die Vermutung der Nichterhaltung durch BOHR folgten nämlich durch PAULI und FERMI unter Stützung auf den Energiesatz Hypothese und zunächst theoretischer Nachweis eines weiteren, an der Reaktion beteiligten Elementarteilchens – des bisher unbekannten Neutrinos. Dies Vorgehen wurde dann in der »Physik der Elementarteilchen«, die sich in den dreißiger Jahren mit der Verfügbarkeit der ersten Beschleuniger[14] zu entwickeln begann, ein durchgängiges Arbeitsprinzip: Der Energiesatz als Postulat ermöglichte die Auffindung und Identifikation neuer Teilchen.

6. Die letzten 50 Jahre: Energie als Teil des Ganzen

Im Jahre 1927 entwickelte DIRAC eine »relavistische Quantenmechanik«, indem er die SCHRÖDINGER-Gleichung (deren Lösung die Materiewelle ist) durch Hinzunahme der Theoreme der Relativitätstheorie erweiterte. DIRACS Ansatz war fruchtbar – er fand auf diese Weise theoretisch das »Antiteilchen« zum Elektron, das den Namen Positron erhielt. Allerdings gelang die Interpretation der Ergebnisse nur auf einem phantasievollen Umweg, den der Physiker unter dem Begriff der »DIRACschen Löchertheorie« kennt. Die Theorie brachte nämlich zunächst negative Werte der Energie hervor – ein Zwischenergebnis aus heutiger Sicht, das DIRAC 1930 mit der Annahme von »Löchern« als »nicht besetzten Zuständen negativer Energie« aus der Welt schaffte – eben weil die Vorstellung negativer Energie sinnlos schien.

Wenn auch hier (innerhalb der Erweiterungen, die die Relativitätstheorie und Quantenmechanik bereits gebracht hatten) die bewährte Energievorstellung wieder obsiegte – die Fortentwicklung der relativistischen Quantenmechanik zur Quantenfeldtheorie brachte Schwierigkeiten und Widersprü-

---

13) Hier läßt sich eine enge Verbindung der Quantenmechanik zur Philosophie KANTS herstellen, vgl. F. VON WEIZSÄCKER, Zum Weltbild der Physik, 1. Aufl. 1943.

14) Z. B. VAN DE GRAAF – Generator 1931.

che, die gerade die Energie betrafen. Während man die von der Quantenelektrodynamik, die ebenfalls auf DIRAC und ebenfalls auf das Jahr 1927 zurückgeht, angenommenen VIRTUELLEN Photonen des Vakuums durchaus noch mit dem Energiesatz zur Deckung bringen kann, hat die Quantenfeldtheorie weitere Arten virtueller Prozesse hinzugefügt, die aus der Sicht der Energiehaltung unverständlich sind, wenn man die gewohnte Forderung stellt, daß die Energie nicht negativ sein darf und auch nicht unendlich.

Nach den von der Quantenfeldtheorie entwickelten Vorstellungen kann ein Teilchen (z. B. ein Elektron) ein Quant (z. B. ein Photon) aussenden und anschließend wieder absorbieren. Es spielt also gewissermaßen mit sich selbst – deshalb der Ausdruck »Selbstwechselwirkung« für diesen Vorgang. Das wäre allein für sich noch mit der Vorstellung der Energieerhaltung verträglich – aber dieser Prozeß spielt sich in so kurzer Zeit ab, daß der Energiegewinn aus der Anwendung der Unschärferelation WEIT ÜBER DEM BETRAG LIEGT, DER ZUR VERFÜGUNG STEHT. Zu korrespondierend grotesken Ergebnissen kommt man, wenn man versucht, den Satz von der Erhaltung der Energie beizubehalten – dann müßte man dem Teilchen, z. B. dem Elektron, eine UNENDLICH GROSSE ENERGIE zuschreiben.

Diese Unverträglichkeiten haben vor allem die theoretischen Physiker seit den vierziger Jahren beschäftigt. Die Vermutung, daß es nicht erlaubt sei, die Relativitätstheorie auf immer kleinere Einheiten von Raum und Zeit anzuwenden, gewann an Boden. Unterhalb einer Grenze von 10^{-13} cm bzw. 10^{-24} sec hört offenbar die homogene Raum-Zeit-Welt auf zu existieren. Raum und Zeit werden damit selbst »diskret«; die Raum-Zeit-Welt ist nicht mehr beliebig teilbar und muß aus Elementarzellen, die keine weitere Innenstruktur haben, zusammengesetzt gedacht werden.

In diesen Zellen gilt dann weder Energie- noch Impulssatz – beide spiegeln ja, wie wir im Abschnitt über die Relativität sahen, die Vorstellung von der Homogenität, der Gleichförmigkeit von Raum und Zeit wider.

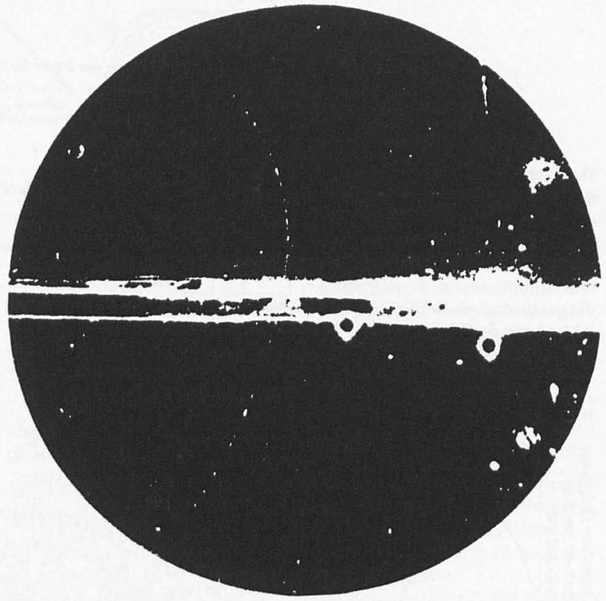
So haben Energiebegriff und Energiesatz auch in der heute betriebenen Naturwissenschaft ihre Bedeutung, wenn auch im anderen Sinne: Mit ihrer Hilfe werden die Grenzen unserer bisherigen Bilder von der Welt der Dinge sichtbar. Das wird auch an anderen Entwicklungen deutlich, diesmal denen, die von der Relativitätstheorie her vorangetrieben wurden. EDDINGTON stellte bereits 1925 heraus, daß für die Raum-Zeit-Welt nicht die Energiedichte, sondern das Produkt von Energiedichte mit dem (einschließlich der Zeit) vierdimensionalen Volumen die geeignete Grundgröße ist. Das ist das, was man WIRKUNG nennt. Sie spielt für die allgemeine Raum-Zeit-Welt die gleiche Rolle wie die Energie für den dreidimensionalen Raum. PLANCK zeigte bis 1949, daß es wohl das »Prinzip der kleinsten Wirkung« ist, das als zentrales Gesetz angesehen werden muß. Die Wirkung[15] ist anders als die Energie invariant gegenüber »LORENTZ-Transformationen«, sie ist damit unabhängig vom Standpunkt des Beobachters – deshalb die besondere Stellung der Wirkung. Projiziert man das »Prinzip der kleinsten Wirkung« wieder in die Zeit, so erhält man den Energiesatz.[16]

Auch die Unschärferelationen HEISENBERGS stellen Wirkungen dar und machen hierüber eine Aussage. $\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar$ ist gleichbedeutend mit der Definition der Grundeinheit der Wirkung, des »Wirkungsquantums«. Das Wirkungsquantum – schon zu Anfang unseres Jahrhunderts durch PLANCK eingeführt – spielt offenbar in seiner Diskretheit die Rolle einer Elementareinheit, des untersten Bausteins der Raum-Zeit-Welt. Unterhalb dieser Schwelle haben Raum und Zeit keinen Inhalt mehr – und damit korrespondierend existieren auch Aussagen über Impuls und Energie nicht mehr.

Energiebegriff und Energiesatz stellen sich danach als letztlich begrenzte Vorstellung dar – sie hören im beliebig kleinen auf zu existieren, und hinsichtlich der Universalität ergeben sie sich als ein spezieller, auf den zeitlichen Ablauf projizierter Aspekt eines noch allgemeineren Prinzips.

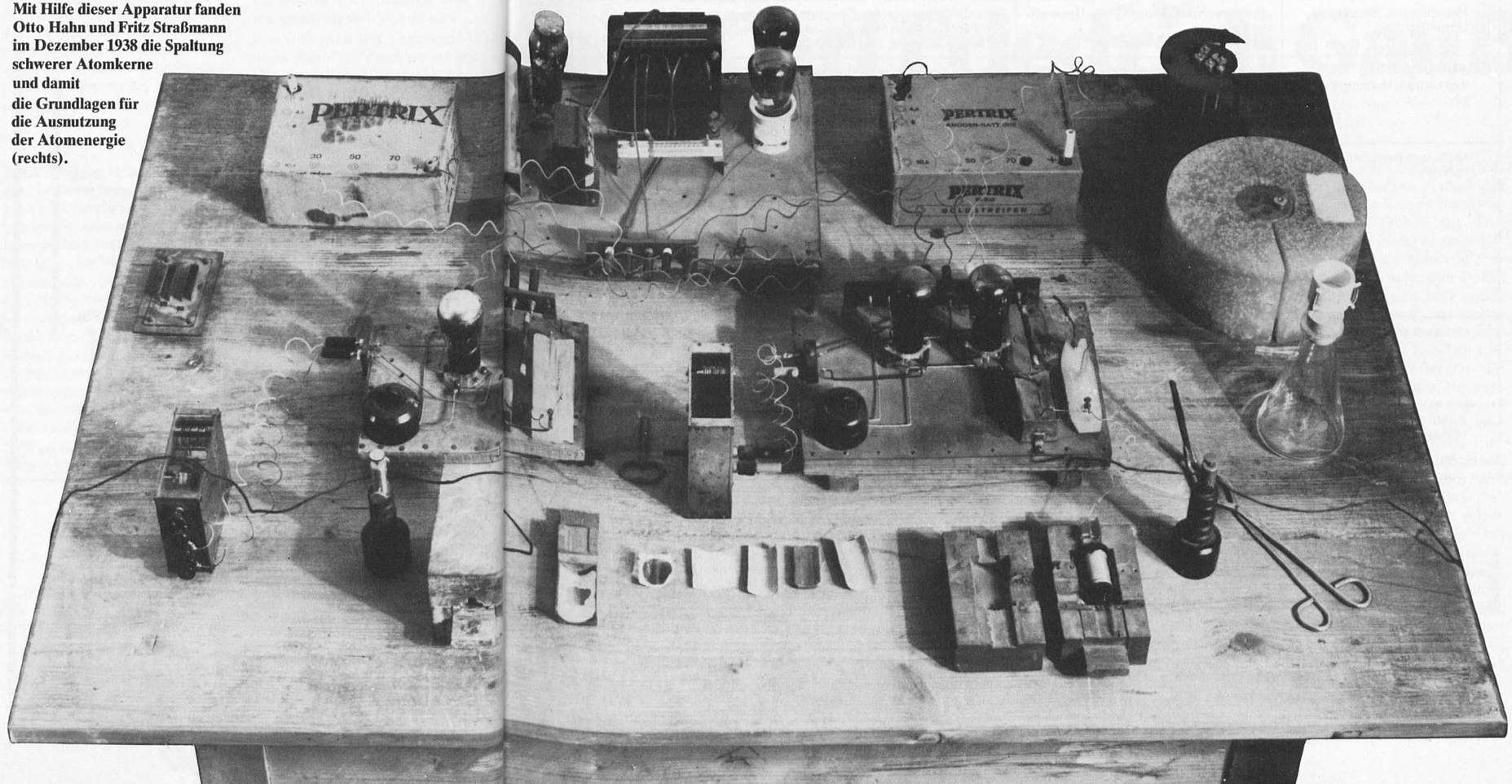
Das ändert nichts an ihrer Bedeutung – weder der faktischen noch der historischen. Es scheint darüber hinaus, daß Energie und Energiesatz – wie auch die übrigen Erhaltungssätze – sehr tief mit den Grenzen unserer Erkenntnisfähigkeit verbunden sind. Allerdings sollten gerade diese Ausführungen zur geschichtlichen Entwicklung lehren, daß man hier vorsichtig sein darf. Auch der Energiebegriff war einmal – vor MEYER – ein undenkbares Abstraktum, sehr fern einem Zugang. Heute wird es als selbstverständliches Gemeingut »gehandelt« – sogar im wahren Sinne des Wortes, denn wir bezahlen jeden Tag dafür an der Tankstelle oder monatlich an das Elektrizitätswerk.[17]

Das Erreichen höherer Abstraktionen ist zum guten Teil Erziehung und Gewöhnung – es ist die geistige Ebene, auf der sich heute die gleiche Evolution abspielt, die in der Welt unserer stammesgeschichtlichen Vorfahren die Herausbildung unserer biologisch-körperlichen Vorzüge bewirkte. Es war dies eine nach aufwärts gerichtete Entwicklung, und es besteht Grund zu der Vermutung, daß es mit unseren geistigen Fähigkeiten ähnlich bestellt ist.



Reproduktion der Nebelkammeraufnahme ANDERSONS, der 1933 das Positron nachweisen konnte. Es entsteht zugleich mit einem Elektron aus einem γ-Quant, wobei die Erhaltungssätze von Energie und Impuls voll erfüllt werden.

Bildnachweis: Gentner, Maier-Leibnitz, Bothe, An Atlas of Typical Chamber Photographs, London 1954.



Apparate von Otto Hahn zur Spaltung von Uran. Mit Hilfe dieser Apparatur fanden Otto Hahn und Fritz Straßmann im Dezember 1938 die Spaltung schwerer Atomkerne und damit die Grundlagen für die Ausnutzung der Atomenergie (rechts).

15) Wirkung nach HAMILTON: Zeitintegral über die Differenz von kinetischer und potentieller Energie.

16) Projektion in den Raum liefert den Impulssatz.

17) Leider zahlen wir immer noch »Liter Benzin« und die »Stromrechnung« – es sollte Kalorie und Joule, besser nur noch Joule heißen.

Literaturverzeichnis:

1) F. HUND, Geschichte der physikalischen Begriffe, Bibl. Institut AG, Mannheim 1968.
2) B. HELLER, Grundbegriffe der Physik im Wandel der Zeit, Vieweg, Braunschweig 1970.
3) B. G. KUSNECOV, Von Galilei bis Einstein, Akademie-Verlag, Berlin 1970.
4) G. FALK/W. RUPPEL, Mechanik, Relativität und Gravitation, Springer, Berlin – Heidelberg – New York 1975.
5) G. FALK/W. RUPPEL, Energie und Entropie, Springer, Berlin – Heidelberg – New York 1976.
6) J. VARCHMIN/J. RADKAU, Kraft, Energie und Arbeit, Deutsches Museum, München 1979.
7) C. F. VON WEIZSÄCKER, Zum Weltbild der Physik, S. Hirzel, Stuttgart 1958.
8) A. WENZL, Die philosophischen Grenzfragen der modernen Naturwissenschaft, W. Kohlhammer, Stuttgart 1954.
9) K. HÜBNER, Kritik der wissenschaftlichen Vernunft, Karl Alber, Freiburg/München 1978.

Fachgebiete und ihre Zeitschriften

Fach-/Wissensgebiet	Titel	Kurzcharakteristik
☐ Wassergewinnung, Wasserversorgung, Abwassertechnik	**„Wasser/Abwasser – gwf“** („Das Gas- und Wasserfach“)	Technisch-wissenschaftliche Zeitschrift für Wassergüte- und Wassermengenwirtschaft, hydrogeologische Grundlagen der Wasserbewirtschaftung, Erkenntnisse oder Entwicklungen bei der Wassergewinnung, -speicherung oder -verteilung sowie bei der **Abwasser**sammlung, -speicherung und -ableitung.
☐ Gas- und Erdgas (Gewinnung, Erzeugung, Transport und Anwendung)	**„Gas/Erdgas – gwf“** („Das Gas- und Wasserfach“)	Technisch-wissenschaftliche Zeitschrift für alle Fachfragen der Gewinnung, Erzeugung, Verteilung und Anwendung von Gas und Erdgas.
	„gas – für rationelle Energie-anwendung“	Als Marketingorgan der deutschen Gaswirtschaft dient „gas“ der Kommunikation zwischen Gasversorgungsunternehmen, Gasgeräteherstellern, Bauingenieuren, Architekten, Installateuren, dem Gerätehandel und den Gasverbrauchern.
☐ Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik	**„Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik – Gesundheits-Ingenieur gi“**	Zeitschrift für Hygiene, Gesundheitstechnik, Bauphysik mit den Fachgebieten Heizungs- und Klimatechnik, Haustechnik, Wasser, Abwasser, Umweltschutz.
☐ Sanitär- und Gasinstallation, Heizungsbau	**„Der Sanitärinstallateur und Heizungsbauer – sh“**	In knapp und klar verfaßten praxisorientierten Aufsätzen mit zahlreichen Abbildungen, Zeichnungen, Tabellen und Skizzen werden die Themenbereiche Wasser, Entwässerung, Gas, Heizung, Lüftungs- und Klimatechnik, Küche, Schwimmbäder und Saunen behandelt.
☐ Meß- und Regelungstechnik	**„Technisches Messen – tm“**	Die Zeitschrift ist dem Messen für technische Anwendungen gewidmet. Besonderer Wert wird bei der Auswahl von Aufsätzen darauf gelegt, ob das beschriebene Verfahren bzw. die Anwendung von praktischer Bedeutung ist.
	„Regelungstechnik – rt“ „Regelungstechnische Praxis – rtp“	Zwei Zeitschriften für Steuerung, Regelung und Prozeßautomatisierung in Theorie und Anwendung.
	„Process Automation – pa“	Fachinformationen in englischer Sprache über den Entwicklungsstand der Meß- und Regelungstechnik in der Bundesrepublik Deutschland.
☐ Datenverarbeitung	**„Elektronische Rechenanlagen mit Computer-Praxis – eR“**	Zeitschrift für Theorie, Technik und Anwendung der Computer.
	„LOG IN“ – Informatik in Schule und Ausbildung	Zeitschrift für den Informatik-Unterricht, Praxis und Didaktik, für EDV im Bildungsbereich.
☐ Elektrotechnik im Verkehrswesen	**„Elektrische Bahnen – EB“**	Herausgeber und Mitarbeiter der Redaktion sind leitende Fachleute der Bundesbahn sowie aus Wissenschaft, Industrie und Energieversorgung.

Probehefte anfordern!

bei Oldenbourg

R. Oldenbourg Verlag GmbH, Postfach 80 13 60, 8000 München 80

Ivo Schneider

Technik in der Sicht der exakten Naturwissenschaften am Beispiel von Archimedes, Christiaan Huygens und Carl Friedrich Gauß

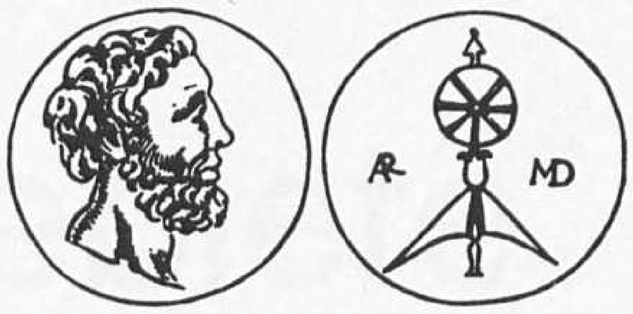
Die größten Veränderungen in der Struktur naturwissenschaftlich-mathematischer Forschung des Abendlandes erfolgten im 4. und 3. Jh. vor Chr. in der Antike sowie im 17. und im 19. Jh. An Archimedes, Christiaan Huygens und Gauß als jeweils herausragendem Vertreter dieser Epochen wird das sich wandelnde Verhältnis der Naturwissenschaften zur technischen Anwendung überprüft.

In seinem vorletzten Brief an Friedrich II. von Preußen hatte Voltaire 1778 festgestellt, daß sich im Verlauf der Geschichte nur Archimedes und Newton wahren Ruhm als Mathematiker erwerben konnten, weil sie außerordentlich schwierige, neue und nützliche Dinge gefunden hatten. Offenbar mißfiel dem preußischen König an diesem Urteil Voltaires, daß die von Newton geschaffene Infinitesimalrechnung, die ihm zeitlebens ein mit sieben Siegeln verschlossenes Buch blieb, zu irgend etwas nützlich sein sollte. Friedrich hatte deshalb zum Beweis der Nutzlosigkeit dieser von Newton geschaffenen Mathematik zwei Beispiele herangezogen:

»Die Engländer haben Schiffe mit dem nach Newtons Meinung vorteilhaftesten Querschnitt gebaut; ihre Admirale aber haben mir versichert, daß diese Schiffe längst nicht so gute Segler seien wie die nach den Regeln der Erfahrung gebauten. Ich wollte in meinem Garten einen Springbrunnen anlegen; Euler berechnete die Leistung der Räder, die das Wasser in einen Behälter heben sollten, damit es dann, durch Kanäle geleitet, in Sanssouci in Springbrunnen wieder in die Höhe steige. Mein Hebewerk ist nach mathematischen Berechnungen ausgeführt worden, und doch hat es keinen Tropfen Wasser bis auf fünfzig Schritt vom Behälter heben können. Eitelkeit der Eitelkeiten! Eitelkeit der Mathematik!«

Es steht uns nicht an, die mangelnde Fairneß und die ebenso mangelnden wissenschaftshistorischen Kenntnisse von Friedrich, dem Voltaire schon zu Lebzeiten mit dem Zusatz »der Große« geschmeichelt hatte, zu kritisieren, dies um so weniger, als ein absoluter Monarch wie er sich nicht beurteilen zu lassen pflegte, sondern selbst nach z. T. selbstgeschaffenen Maßstäben urteilte. Die Erwartung, daß die Mathematik, im 18. Jahrhundert noch in dem die exakten Naturwissenschaften mitumfassenden Sinn verstanden, ihre Daseinsberechtigung durch ihre Nützlichkeit erweisen würde, teilte Friedrich mit seiner Zeit.

Das uns hier begegnende Modell einer zweckgerichteten, am technischen Anwendungsnutzen gemessenen Naturwissenschaft stellt eine der historischen Formen des Verhältnisses zwischen Naturwissenschaft und Technik dar. Das Verhältnis der Naturwissenschaft zur Technik war, abhängig von dem jeweils herrschenden Denkklima, den sozialen und politischen Verhältnissen, mannigfachen Wandlungen unterworfen; diese sollen an drei Epochen aufgezeigt werden, für welche die Namen von Archimedes, Huygens und Gauß stehen. Die Auswahl richtete sich zunächst nach den Naturwissenschaften, deren Entwicklung während der Lebenszeit von Archimedes, Huygens und Gauß gerne als revolutionär bezeichnete Phasen größten relativen Wachstums umfaßt. Die Auswahl dieser drei Naturwissenschaftler und Mathematiker ist weiterhin durch die Tatsache eines Beitrags zur Technik ihrer Zeit sowie eine weitere Gemeinsamkeit bestimmt. Archimedes ist sowohl für Huygens als auch für Gauß ein Vorbild, das in beiden Fällen die Einstellung zu Mathematik, Naturwissenschaften und Technik geprägt hat.



Kopf des Archimedes nach einer in Sizilien gefundenen, vielleicht sogar römischen Münze. Die Rückseite zeigt eines der von Archimedes gebauten Planetarien. Münzbild aus Paruta, La Sicilia descritta con medaglie (1612).

Archimedes

Für den Versuch, Archimedes' Verhältnis zur Technik festzustellen, muß vorweg geklärt werden, welches Rollenverständnis von Technik ihm durch seine Zeit vorgegeben war. In der technikhistorischen Darstellung wird Aristoteles als weitgehend verantwortlich für dieses Rollenverständnis angesehen.

Téchne, aufgefaßt als Kunst oder Fähigkeit etwas hervorzubringen, ist wie seine lateinische Entsprechung ars, ein umfassender Begriff, der mit unserem Technikverständnis gemeinsam hat, daß sein Gegenstand erst geschaffen werden muß, während das Objekt des der téchne gegenübergestellten theoretischen Wissens, der epistéme, immer schon vorhanden ist. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß bei Aristoteles der Bereich der Naturerkenntnis, der Physik, dem theoretischen Wissen zuzuordnen ist, und daß das in unserem Verständnis handwerkliche, technische Wissen und seine Anwendung dem Bereich der téchne angehören, stellt sich die Frage, ob Aristoteles irgendwelche Brükken zwischen diesen beiden säuberlich getrennten Gebieten zuläßt. Dies scheint der Fall zu sein, wenn man, wie in der »großen Physik«, die Natur als einen Bereich auffaßt, in dem, durchaus vergleichbar mit der menschlichen Kunst, etwas hervorzubringen, ein zweckgerichtetes Handeln und Entstehen der für Aristoteles typischen Verbindung von Stoff und Gestalt in der realen Welt zu beobachten ist. In diesem Sinn schreibt Aristoteles in seiner Physik:

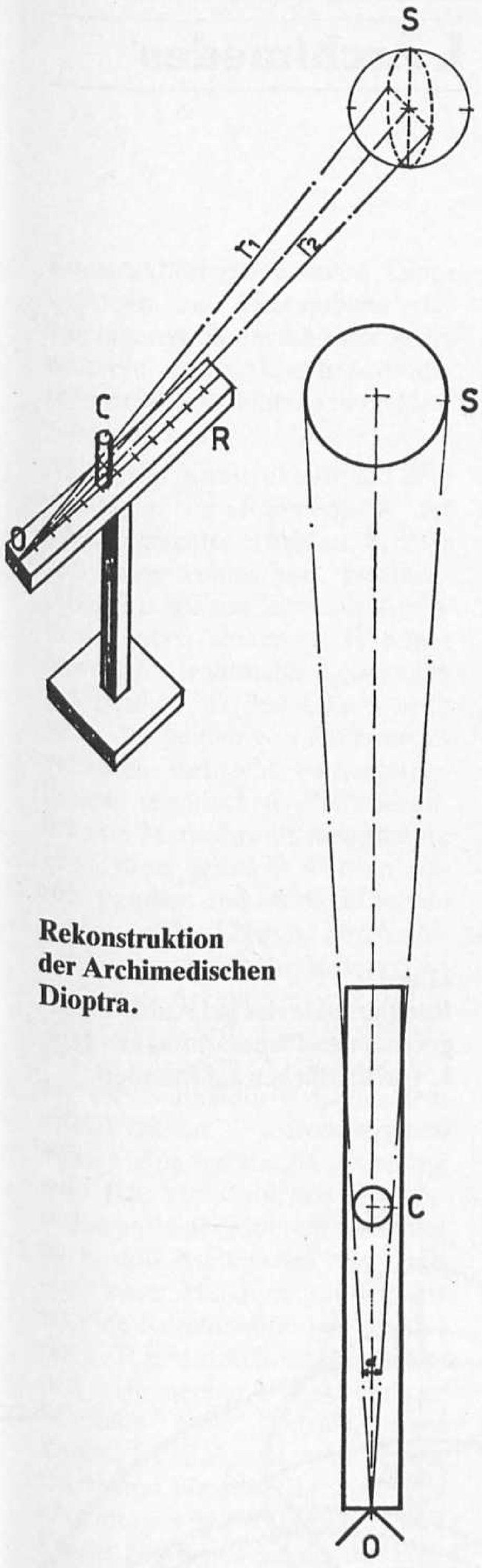
»Allgemein vollendet menschliche Kunst, was die Natur nicht zu Ende bringen kann, oder ahmt die Natur nach. Soweit menschliches Kunstschaffen zweckgerichtet ist, ist es offenbar auch das der Natur, weil sich die Aufeinanderfolge von Ereignissen bzw. Handlungen in beiden Bereichen ähnlich zueinander verhalten.«

Man könnte erwarten, daß Aristoteles dieser Auffassung entsprechend empfehlen würde, Physik zu studieren, um ihre Erkenntnisse auf die Technik etwa des handwerklichen Bereichs anzuwenden. Davon kann aber nicht die Rede sein, weil es für Aristoteles neben dem in der »Physik« erwähnten Bereich menschlichen Kunstschaffens einen anderen, offenbar bedeutenderen gibt, der seine Ziele und Zwecke nur gegen die Natur durchzusetzen vermag. Dieser Bereich wird in den mechanischen Problemen angesprochen, die teilweise als aristotelisch, teilweise als nacharistotelisch eingeschätzt werden. Für uns ist die Autorschaft von Aristoteles hier weniger wichtig als die Tatsache, daß diese Schrift lange Zeit den aristotelischen zugerechnet wurde und vor allem meinungsbildend für das Verhältnis von Naturwissenschaft und (mechanischer) Technik wirkte. Hier heißt es nun:

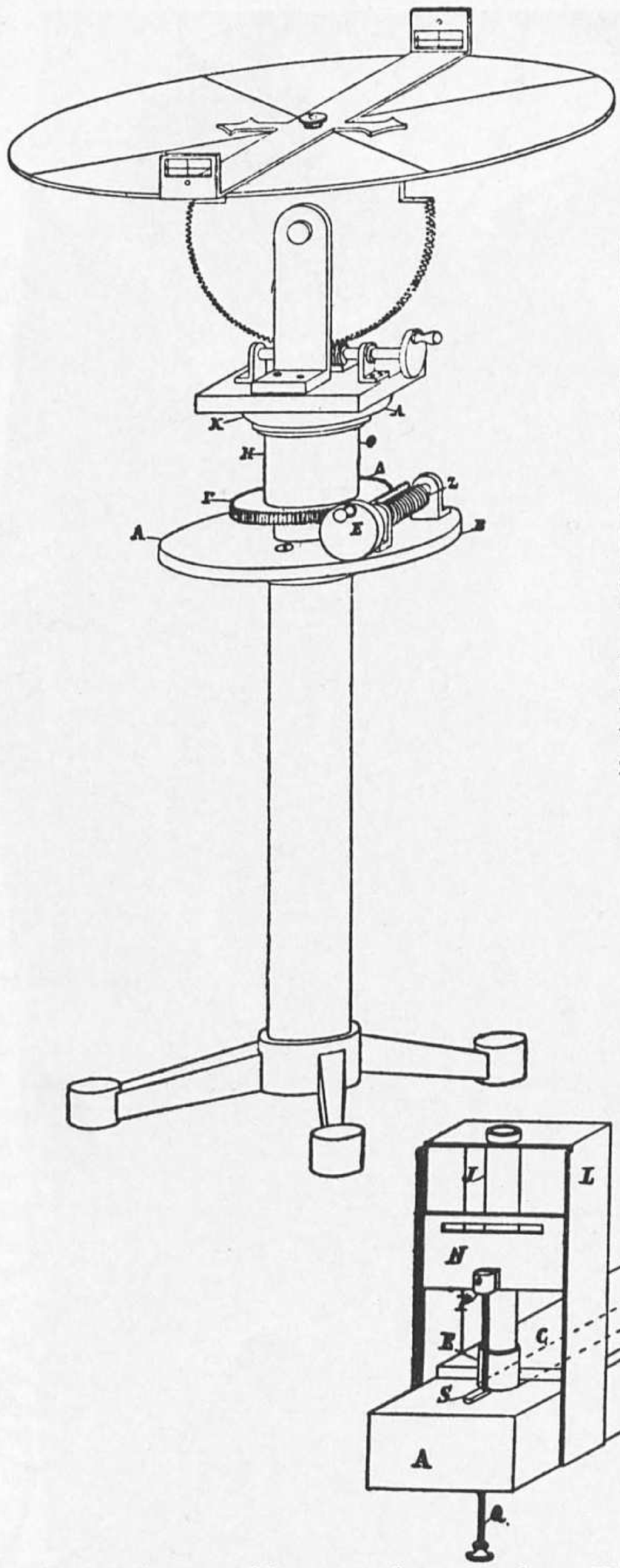
»In vielen Fällen wirkt die Natur gegen das für den Menschen Zweckmäßige... Soll daher etwas gegen die Natur durchgesetzt werden, so besteht darin ein Problem der téchne. Deswegen bezeichnen wir als mechané, Mechanik, den Teil der téchne, der bei solchen Schwierigkeiten hilft.«

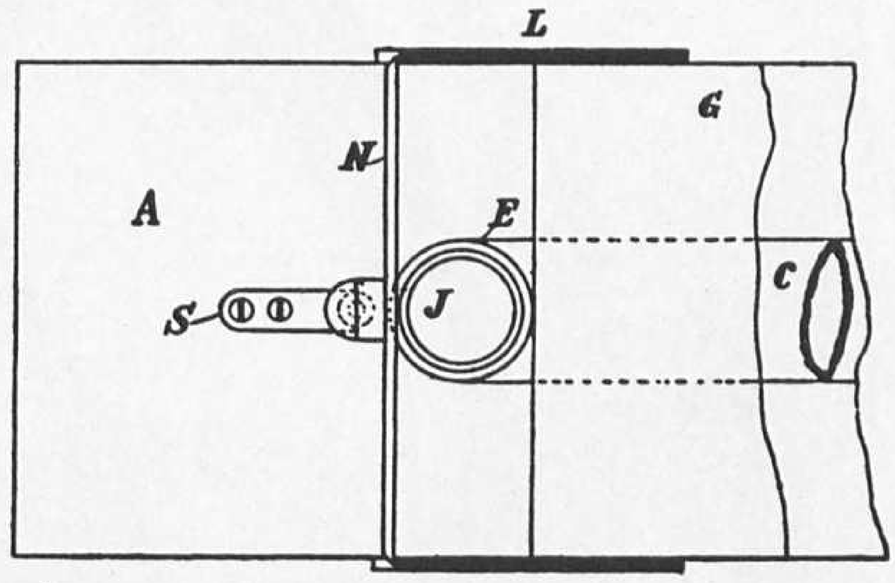
Entscheidend ist hier, daß die Mechanik da wirkt, wo es um die Durchsetzung menschlicher Bedürfnisse gegen die Natur geht. Im Gegensatz dazu ist die Physik, also die Naturwissenschaft, nach Aristoteles der Bereich, der über Beobachtungen zur Erkenntnis von Gesetzmäßigkeiten einer Natur kommt, die keinem menschlichen Eingreifen ausgesetzt sein darf, um Natur zu sein. In ähnlicher Weise ist es für Aristoteles ausgeschlossen, über die Mathematik, die ja von der Wirklichkeit abstrahiert, etwas über die Natur zu erfahren. Parallel zu dieser metaphysischen Begründung einer Trennung von Naturwissenschaften und Technik haben gesellschaftliche Bewertungen in derselben Richtung gewirkt, die auch das Bild der heutigen Darstellung antiker Technik wesentlich mitprägten. Hier ist offenbar im Rahmen der Polisbildung und der damit verstärkten Arbeitsteilung, vielleicht auch durch den Kontakt mit der persischen Kultur, ein Wandel eingetreten. In der homerischen Welt (des mutmaßlich 8. Jh.) ist handwerkliche Tätigkeit nicht einer bestimmten Bevölkerungsschicht vorbehalten. Der Held und Herrscher Odysseus verfertigte sein Bett im heimischen Ithaka mit eigener Hand. Im 4. Jh. ist dies kaum noch vorstellbar. In ihren Staatsentwürfen sind sich Platon und Aristoteles einig, daß handwerkliche, technische Tätigkeit auf einem sozial niedrigen Niveau angesiedelt sein soll, was sicherlich damit zusammenhängt, daß die Befriedigung materieller Bedürfnisse in der griechischen Polis fast ausschließlich durch Ausländer, Freigelassene und vor allem Sklaven erfolgte. Die Sklavenhaltung ist auch wiederholt für den engen Spielraum technischer Betätigung und Entwicklung in der Antike verantwortlich gemacht worden. Insbesondere wird der Mangel eines Interesses an der Nutzung von natürlichen Energie-

Germanen beim Straßenbau für Rom. Reliefdarstellung von der Trajanssäule in Rom.

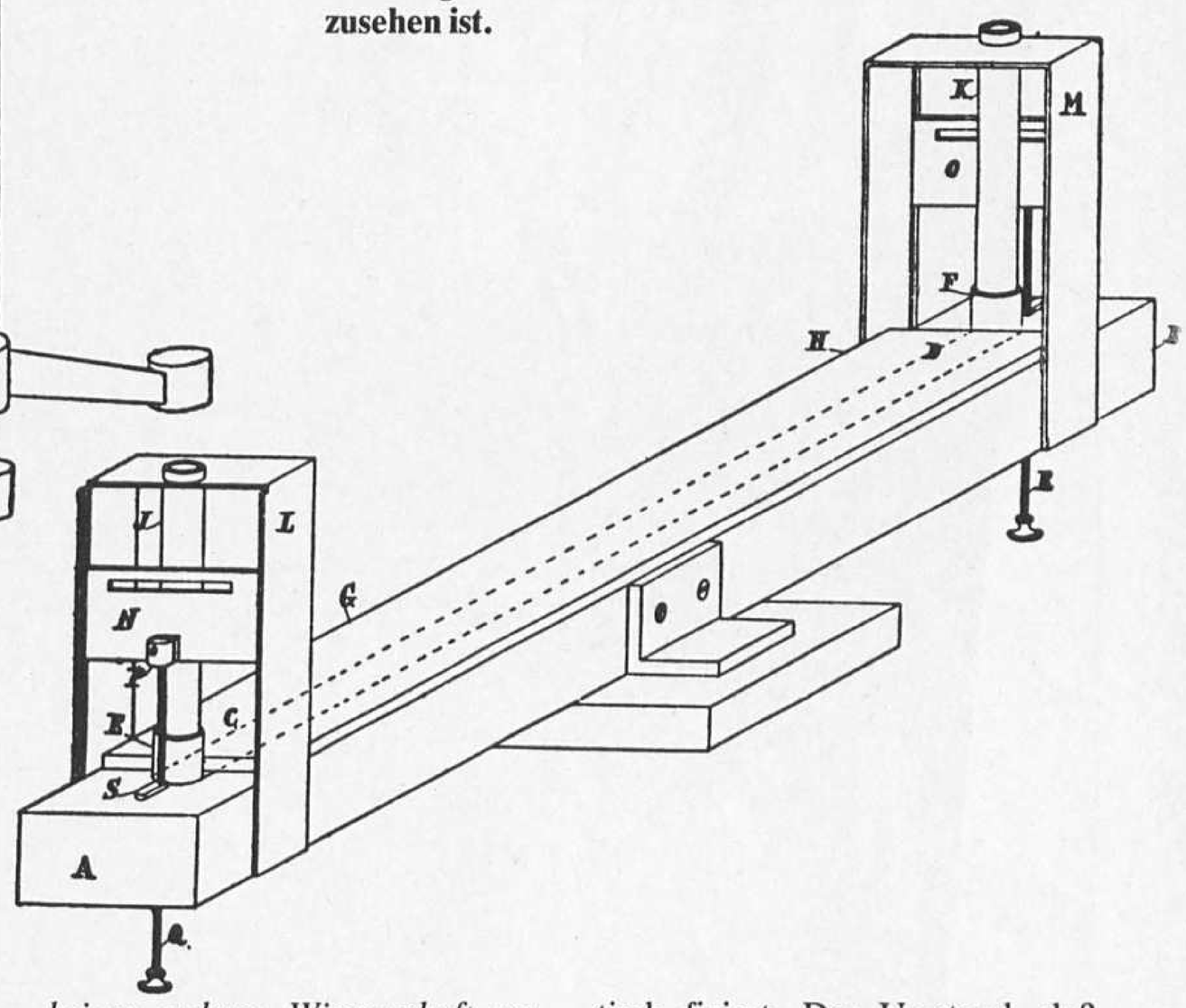


Rekonstruktion der Archimedischen Dioptra.





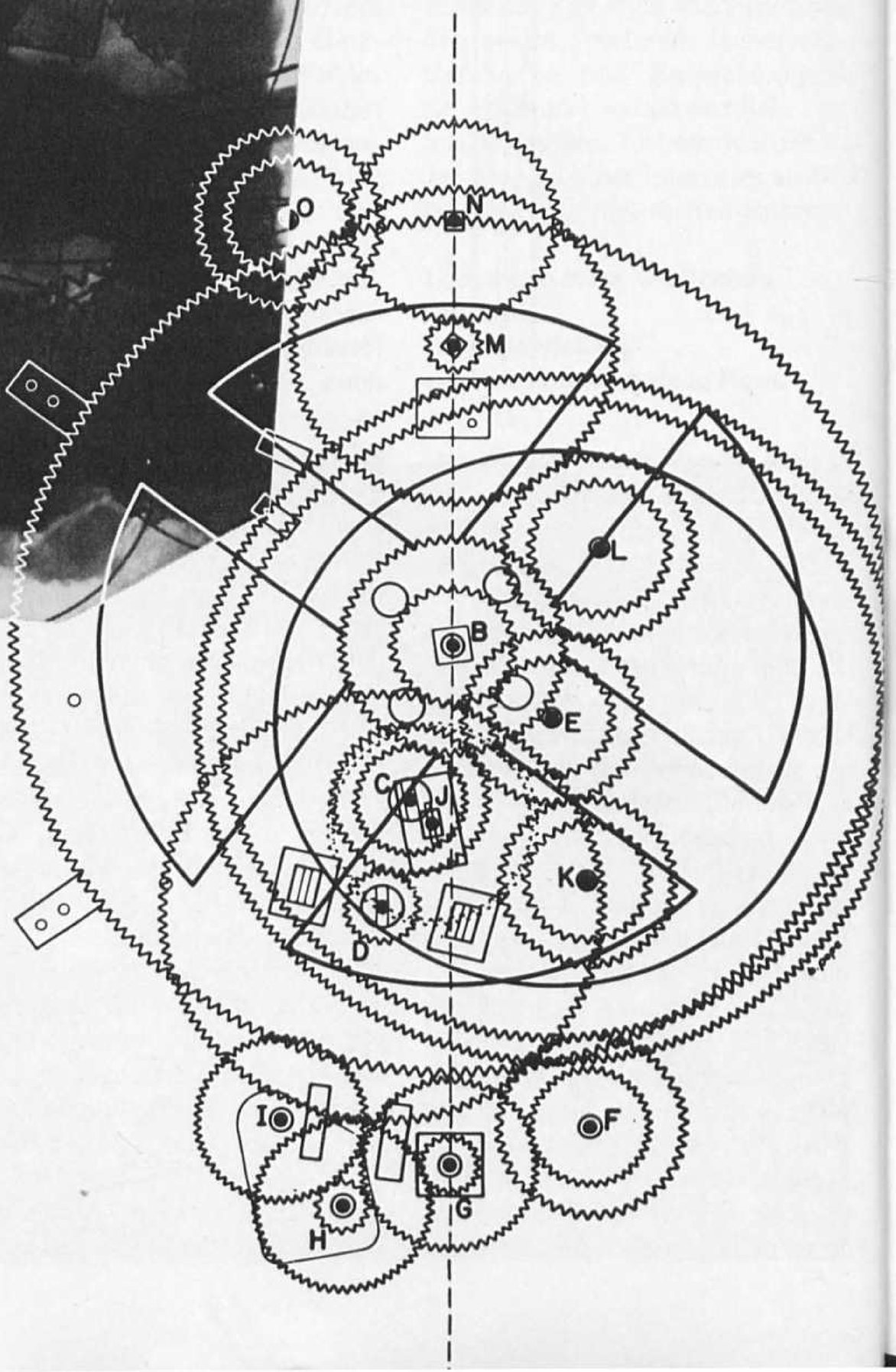
Rekonstruktion der Heronischen Dioptra, die als eine Weiterentwicklung der Archimedischen anzusehen ist.



quellen wie Wasser- und Windkraft auf die Sklavenhaltung zurückgeführt. Zieht man in Betracht, daß bei Platon die Mathematik und Physik Zugänge zu der allein wirklichen Welt der Ideen darstellen, und der technische Bereich sich mit der materiellen, sinnlich erfahrbaren Welt befaßt, die nur ein unvollkommenes Abbild der Welt der Ideen darstellt, so sieht man, wie sich bei ihm gesellschaftliche und metaphysische Ebene treffen. Dem sozial Höherstehenden obliegt es, sich mit dem höher bewerteten Bereich des Wißbaren zu beschäftigen. Die hier wiedergegebenen Einschätzungen hätten, wenn sie, was im allgemeinen angenommen wird, für die Antike durchgehend gültig gewesen wären, eine technische Betätigung für einen Mathematiker, Physiker oder Astronomen weitgehend ausgeschlossen. Es finden sich aber Gegenbeispiele wie Archytas von Tarent oder Eudoxos von Knidos. Das berühmteste bietet aber der Syrakusaner Archimedes. Ich behaupte, daß Archimedes die metaphysisch begründete und sozial vorgegebene Trennung zwischen exakten Naturwissenschaften und ihrer technischen Anwendung aufhob.
Gegen diese Behauptung kann man das Urteil von Plutarch ins Feld führen, der in der Biographie des Marcellus schreibt:
»Er ⟨Archimedes⟩ sah die praktische Mechanik und überhaupt jede Kunst, die es mit irgendeinem Anwendungsnutzen zu tun hat, als niedrig und banausisch an. Sein Ehrgeiz galt nur solchen Bereichen, denen das Schöne und Außerordentliche ohne Kontakt zu dem Notwendigen eigen ist, die mit keiner anderen Wissenschaft verglichen werden können und bei welchen der Gegenstand mit der beweisenden Darstellung wetteifert, weil er die Erhabenheit und Schönheit, sie die Strenge und Kraft im Übermaß darbietet.«
Für Plutarch allgemein spricht, daß seine Darstellung der Ereignisse um die Belagerung und Einnahme von Syrakus gut mit den älteren Berichten von Polybios und Livius übereinstimmt. Gegen diese spezielle Wertung der Einstellung des Archimedes zu technischen Anwendungen spricht, daß sie gerade bei Polybios und Livius fehlt, daß Plutarch selbst der bedeutendste Vertreter der sogenannten mittleren Akademie ist, die eine bei Platon erkennbare Trennung des Handwerklich-Technischen vom Mathematisch-Naturwissenschaftlichen dogmatisch fixiert. Der Umstand, daß die mechanischen Schriften von Archimedes, weil bereits in die neueren Arbeiten der Alexandriner wie Heron verarbeitet, nicht mehr tradiert wurden und z. T. bereits verlorengegangen waren, hat es Plutarch offenbar erleichtert, Archimedes als Paradebeispiel für das mittelplatonische Wissenschaftlerideal zu modellieren. Dieses Ideal erkaufte Plutarch zu dem Preis eines Bruches in der Persönlichkeit von Archimedes, der bei Plutarch gegen seine Neigungen die technischen Leistungen erbringen muß, die erst den übermenschlichen Ruhm des Archimedes begründen.
Ein kurzer Blick auf den erhaltenen »Sandrechner«, der Darstellung eines neuen Zahlensystems, genügt, um zu sehen, mit welcher Neigung sich z. B. Archimedes der

I. Archimedes

Links:
Radiographie des bei Antikythera gefundenen Planetariums aus dem 1. vorchristlichen Jahrhundert.



Rechts:
Schema des Zahnradgetriebes beim Antikythera-Instrument.

Konstruktion eines neuen Dioptrlineals zur Bestimmung des scheinbaren Sonnendurchmessers widmete und welche experimentelle Erfahrung hinter seiner Messung stand.

Neben der Konstruktion und dem sozusagen im Rampenlicht der Weltgeschichte erfolgten Einsatz von kriegstechnischen, mechanischen Maschinen sind für Archimedes noch weitere z. T. höher bewertete technische Leistungen gut bezeugt. So hat Cicero noch eines der beiden von Archimedes gebauten, vielleicht wassergetriebenen sphärischen Planetarien, die von Marcellus als Kriegsbeute nach Rom gebracht worden waren, gesehen und als die in seinen Augen größte Leistung des Archimedes beschrieben. Bezeugt ist auch, daß Archimedes eine heute verlorene Schrift zur Herstellung solcher Planetarien abgefaßt hatte, die mutmaßlich neben dem erforderlichen astronomischen Wissen eine technische Anleitung zum Bau eines solchen Planetariums enthielt. Plutarch berichtet auch, daß Archimedes allein mit Hilfe einer Maschine, die wir uns als eine Kombination von mehreren z. T. erst durch ihn geschaffenen Elementen wie endlose Schraube zum Antrieb eines Zahnrades, Zahnrad- oder Seilgetriebe und Flaschenzug vorstellen können, ein mit Mannschaft und Fracht beladenes Schiff, das eine Vielzahl von Männern nicht bewegen konnte, mühelos ins Wasser zog, und zwar eigenhändig, d. h. ohne sich eines Sklaven zu bedienen.

In seiner Heron folgenden Einteilung der Mechanik in eine theoretische und eine praktische schreibt Pappus, daß sich Archimedes mit den Grundlagen und der Berechnung aller zur praktischen Mechanik zählenden Gebiete beschäftigt habe, wobei aber die dazu gehörenden Schriften bereits weitgehend verschollen waren. Die noch erhaltenen Schriften lassen aber schon zweifelsfrei erkennen, daß Archimedes' Schaffen nicht von den aristotelischen Wertvorstellungen geprägt war.

Archimedes hatte einen anderen Naturbegriff als Aristoteles. Dieser Naturbegriff erlaubte es ihm, z. B. von den natürlichen Eigenschaften geometrischer Größen zu sprechen oder eine bestimmte Natur, physis, für Flüssigkeiten zu fordern. Daraus läßt sich ableiten, daß Archimedes in seinem Verständnis von Natur die Bereiche des technisch Manipulierbaren mit der Mathematik und der Physik im aristotelischen Sinn vereinigen konnte.

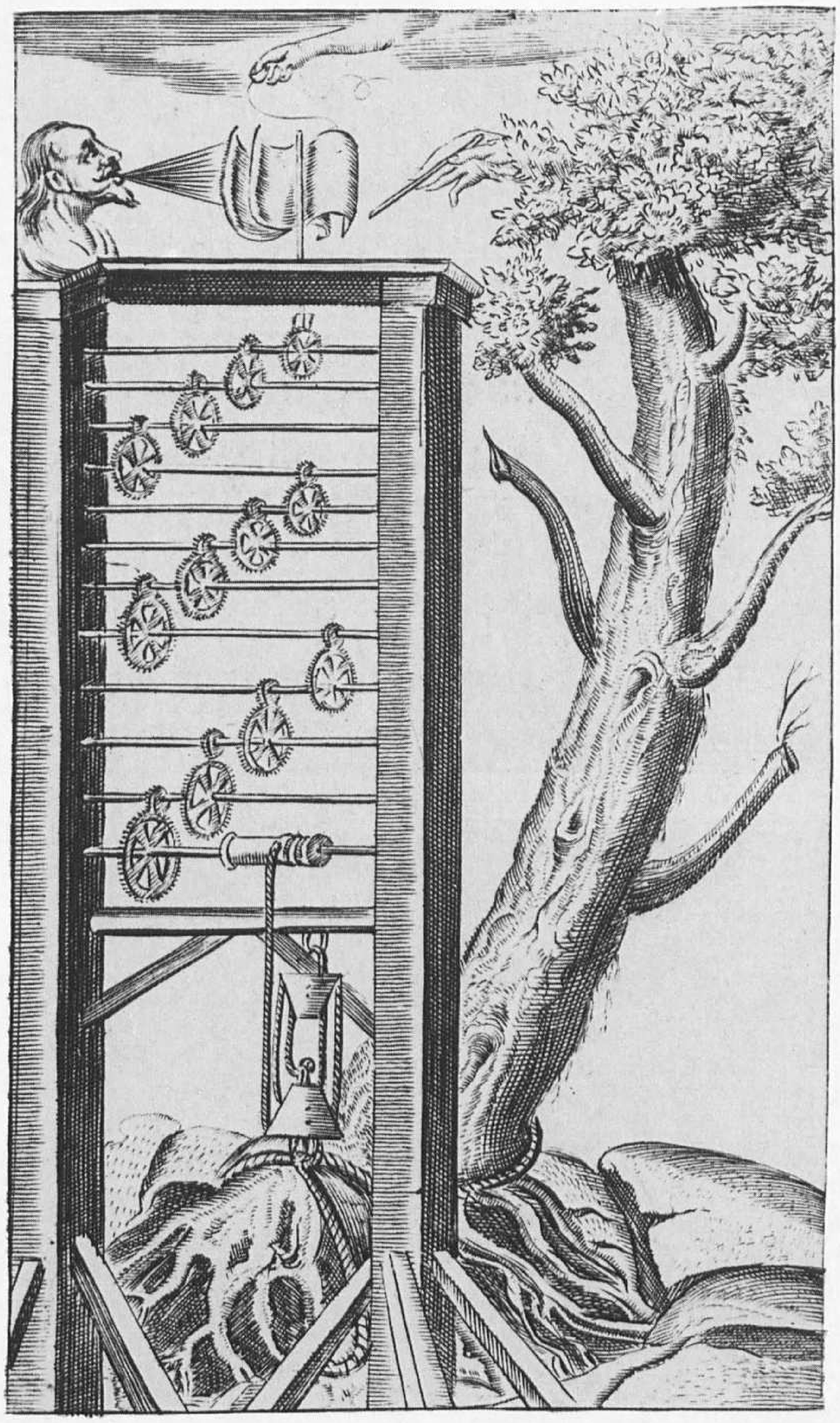
Archimedes lebte auch nicht wie Platon und Aristoteles in einer Demokratie, sondern unter einem Herrscher, nämlich König Hieron II. von Syrakus. Sein Verhältnis zu Hieron wird von Plutarch durch den Terminus syngenés kaì phílos, wörtlich Verwandter und Freund, beschrieben. Eine in der Literatur immer wieder angenommene Verwandtschaft zwischen Archimedes und dem Königshaus ist aber angesichts der späteren politischen Ereignisse in Syrakus außerordentlich unwahrscheinlich. Vielmehr ist dieser Terminus, der mutmaßlich seine Wurzel in dem von Alexander teilweise übernommenen persischen Hofzeremoniell hat, ein in den Diadochenreichen üblicher Begriff für die engsten Berater des Königs. Archimedes ist demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit einer der höchsten, dem König sehr nahestehenden Hofbeamten gewesen, dem Bereiche wie die Verteidigungsanlagen der Stadt, vielleicht auch der syrakusanische Schiffsbau und die Wasserversorgung zugewiesen waren. Gleichzeitig war Archimedes als Mathematiker eine Art von Alibi und Aushängeschild gegenüber dem Museion der Ptolemäer, mit denen Hieron enge freundschaftliche und wirtschaftliche Beziehungen pflegte. Wir sehen also die Verbindung zwischen praktisch-technischer Tätigkeit und naturwissenschaftlich-mathematischer Forschung auch durch die besondere Stellung von Archimedes am Hof von Syrakus bestätigt.

Vor dem Hintergrund dieser Vereinigung von Technisch-Praktischem und Naturwissenschaftlich-Mathematischem ist auch das von der Antike verschiedentlich überlieferte an Hieron gerichtete Wort von Archimedes zu verstehen:

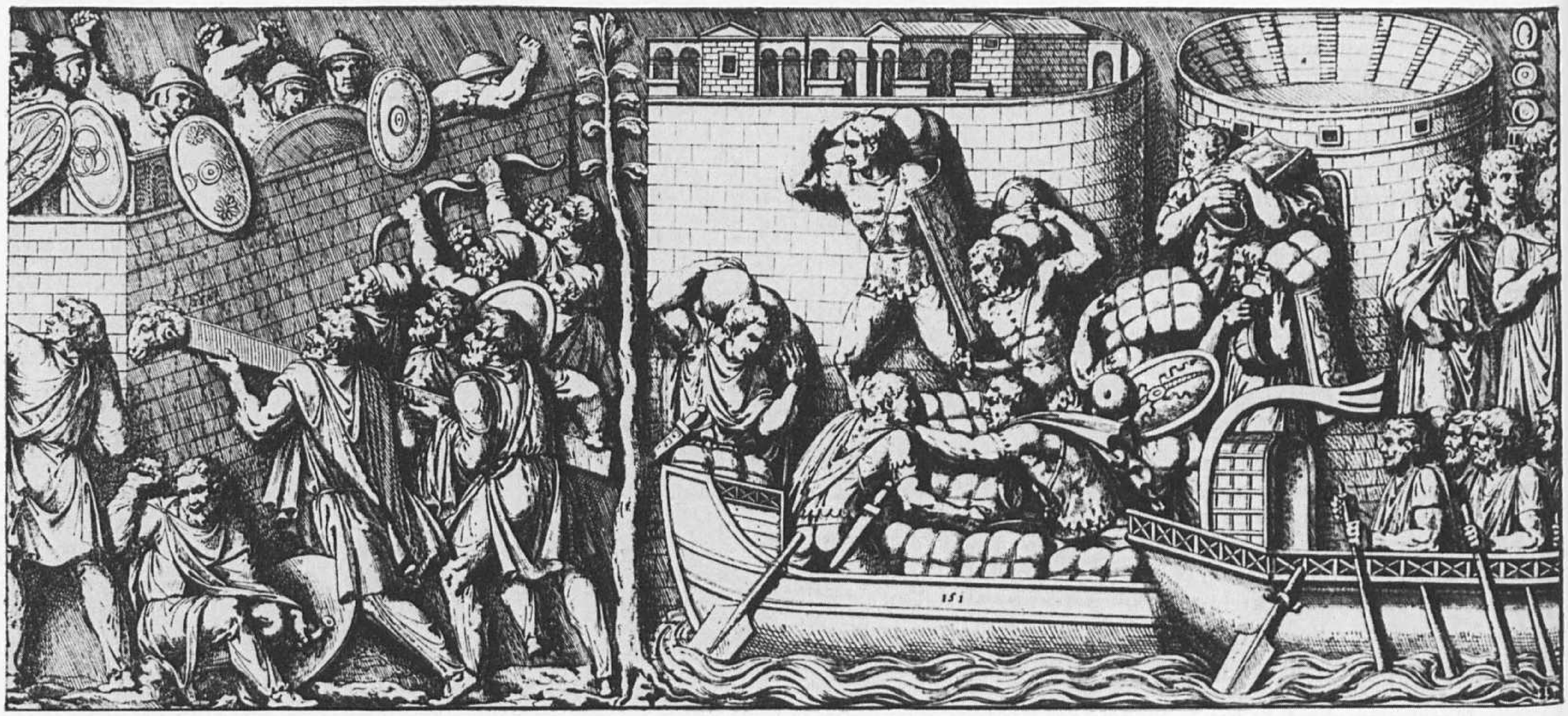
»Gib mir einen Ort, und ich werde die Erde bewegen.«

Es bieten sich drei Deutungen für diese Aussage an, deren Authentizität zuerst durch Plutarch gestützt wird. Zunächst könnte man an eine Extrapolation der Leistungsfähigkeit der von Archimedes entwickelten mechanischen Maschinen auf die Möglichkeit, Körper von der Größe und dem Gewicht der Erde zu bewegen, denken.

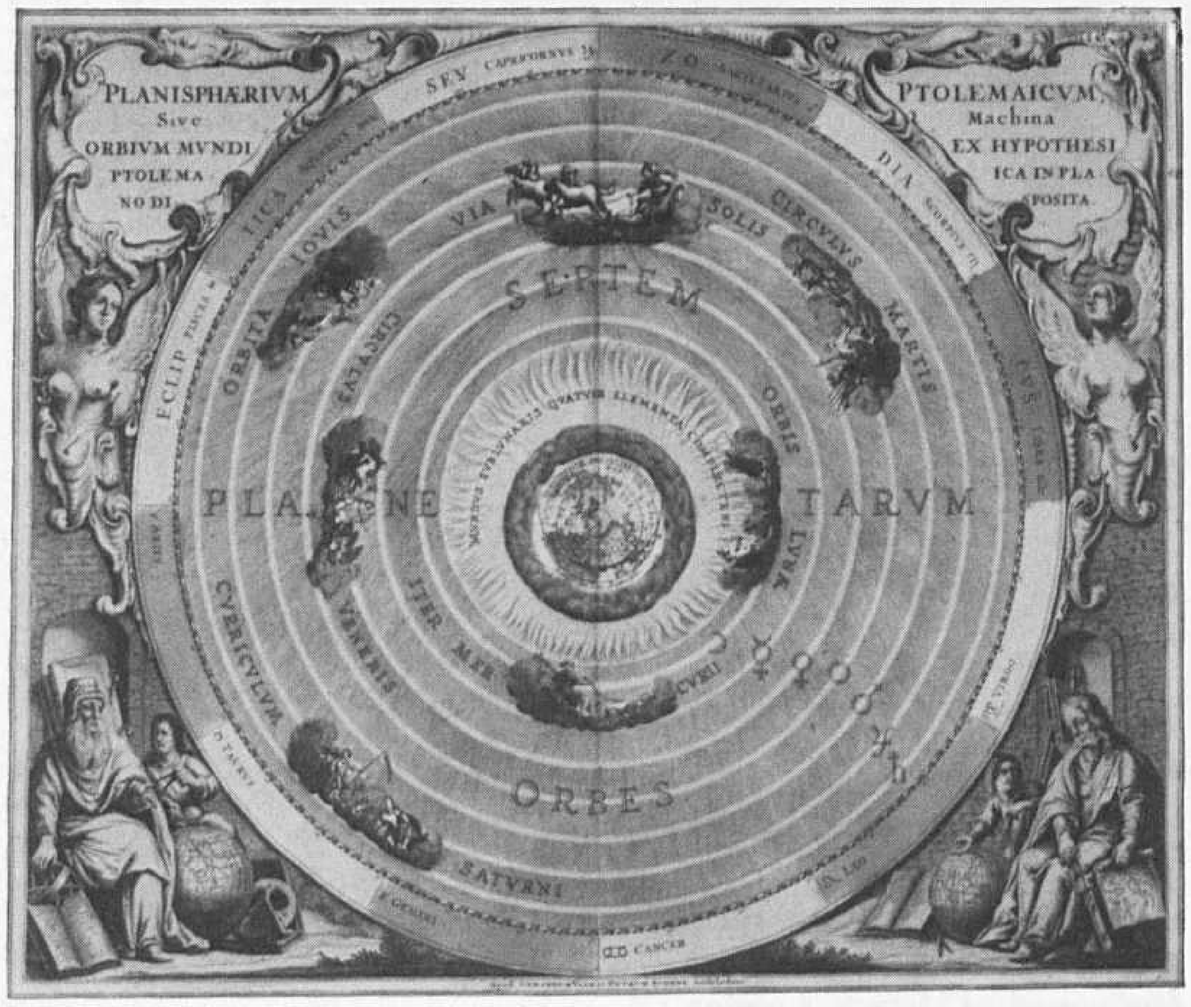
Dies ist sicherlich die wahrscheinlichste Deutung. Dem Syrakusaner wäre es aber auch zuzutrauen gewesen, nachdem er in seinen



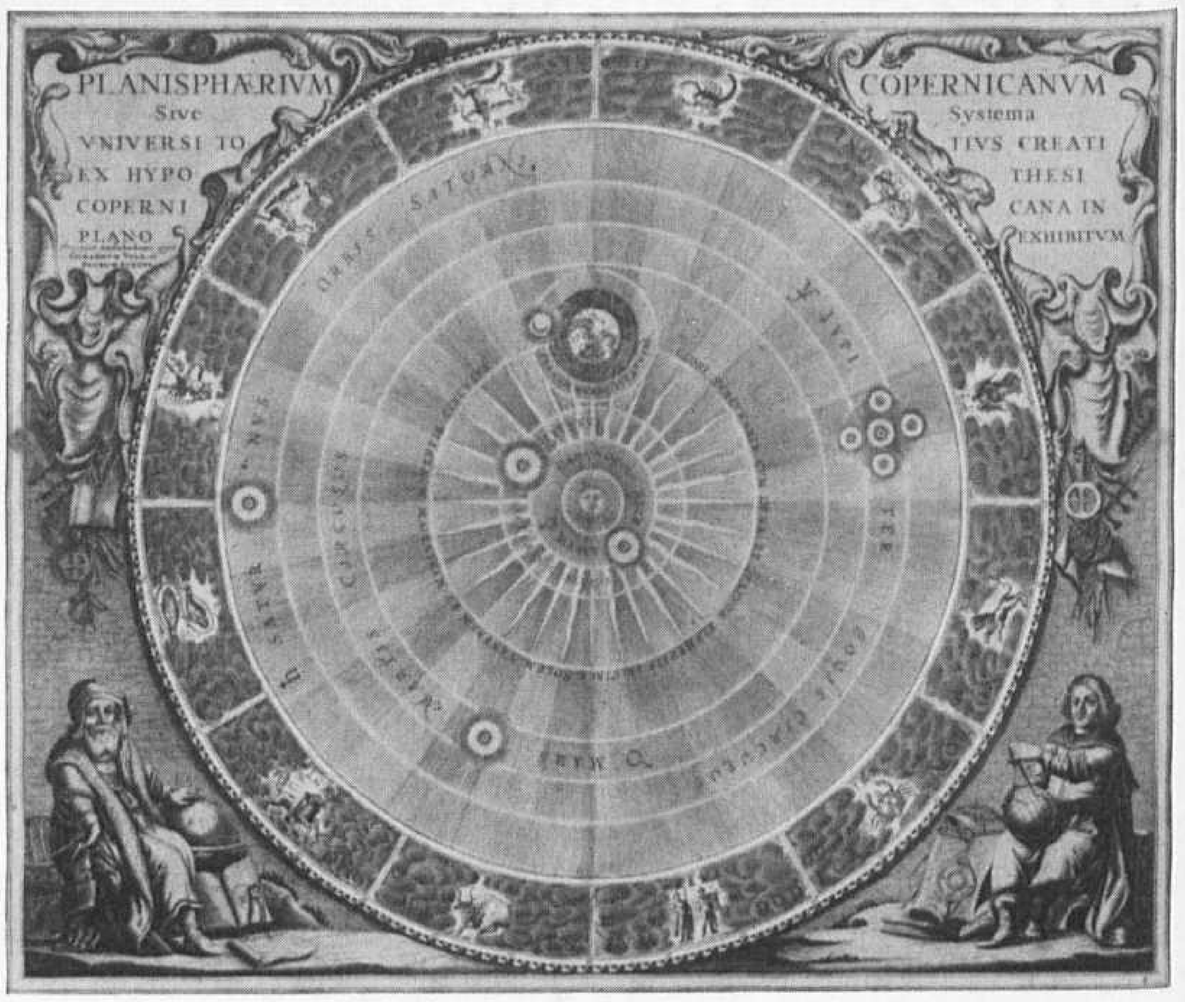
Darstellung der großen Wirkung einer kleinen Kraft aus Wilkins, Mathematical Magick, London 1648.



Eine römische Stadt wird zu Wasser und zu Lande angegriffen. Reliefdarstellung von der Trajanssäule in Rom.



Der Kosmos nach Copernicus (Aristarch) und Ptolemaios aus dem Sternatlas von Cellarius (1708).



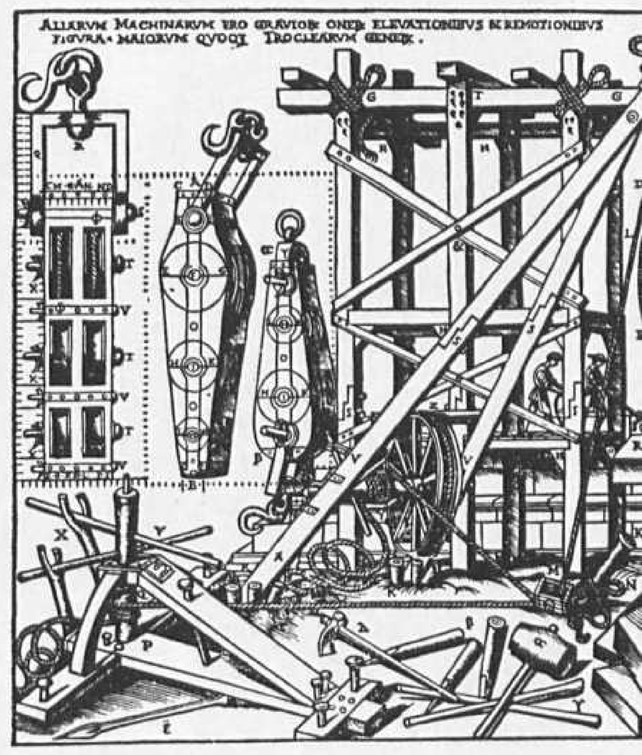
mathematischen Arbeiten über Inhaltsbestimmungen das aristotelische Dogma von der Unvergleichbarkeit von Krumm und Gerade ausgelöscht hatte, die von Aristoteles ebenso dogmatisch geforderte Trennung zwischen Irdischem und Himmlischem, zwischen sublunar und supralunar, aufzuheben und die Gültigkeit der von ihm gefundenen mechanischen Gesetze für den gesamten Kosmos zu postulieren. Eng mit dieser Deutung hängt eine dritte zusammen: Archimedes ist in seinem »Sandrechner« der älteste Zeuge für die heliozentrische geodynamische Hypothese des Aristarch von Samos. Vor diesem Hintergrund könnte sich das Bild des Erdbewegers Archimedes in das des Systemveränderers wandeln. Die im aristotelischen geozentrischen Kosmos ruhende Erde wird durch den Syrakusaner bewegt, das heißt in Bewegung gesetzt: Der Kosmos wird geodynamisch.

Ich will gerne einräumen, daß die einzige Überprüfungsinstanz für

Titelblatt »Mechanischer Kunstkammer erster Teil« des Guidobaldo del Monte, übersetzt von Daniel Mögling, Frankfurt am Main 1629, mit zeitgenössischer Darstellung des Erdbewegers Archimedes.

diese letzte Deutung, nämlich Ciceros leider nicht sehr genaue Beschreibung der archimedischen Planetarien, eher für ein geozentrisches Weltbild von Archimedes spricht. Diese beiden letzten zugegebenermaßen spekulativen Deutungen treffen mit nur geringer Wahrscheinlichkeit auf den historischen Archimedes zu. Ich bin aber nicht zuletzt aufgrund verschiedener Darstellungen des Erdbewegers Archimedes im 17. Jh. überzeugt davon, daß diese Deutungen nach der Veröffentlichung des kopernikanischen Systems und damit der Eröffnung eines neuen Denkraumes nahelagen

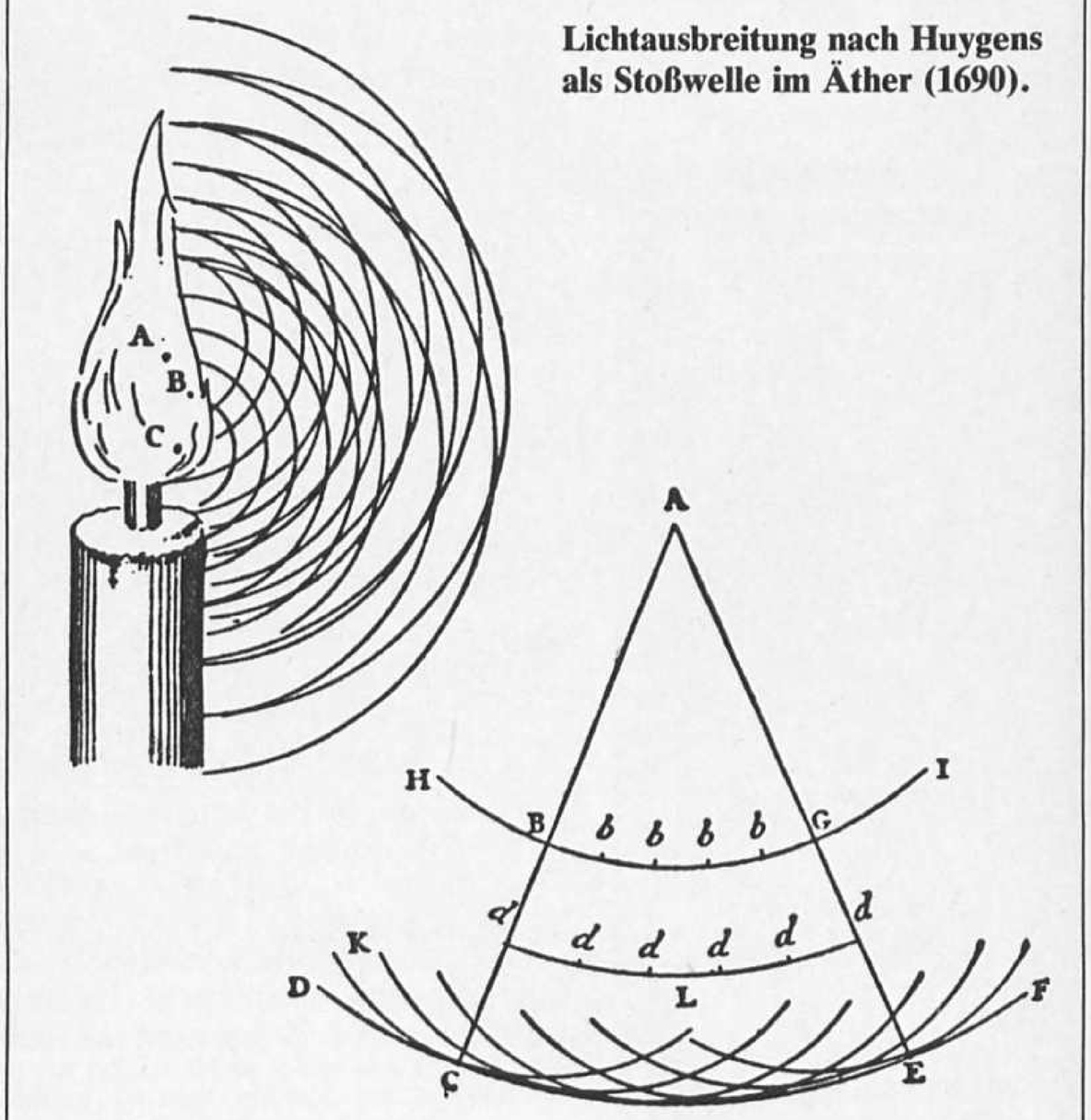
Einfache Maschinen nach Vitruv, De Architectura, illustriert von Cesare di Lorenzo Cesariano, Como 1521.



und mithalfen, die Idee einer Erde und Himmel umfassenden Physik zu schaffen, wie sie im 17. Jh. von Kepler geäußert und von Newton verwirklicht wurde. Man kann zeigen, daß Archimedes diesen Weg der Physik bzw. Astronomie des 17. Jh. direkt und indirekt beeinflußt hat. Archimedes, der mit dem Niedergang des aristotelischen Weltbildes mehr und mehr als Gegenpol zu Aristoteles empfunden wurde, stellt Beispiel und Ermutigung dar, Mathematik als einen wesentlichen Bestandteil der Physik anzusehen. Galilei hat sich in diesem Sinn auf Archimedes berufen. Den größten Einfluß aber nahm Archimedes im 17. Jh. auf Christiaan Huygens (1629 bis 1695), der von etwa 1660 bis 1680, also zwischen Fermat und Newton, als der führende Mathematiker und auch Physiker Europas anzusehen ist. Von Huygens' Beziehungen zur Technik seiner Zeit soll im folgenden die Rede sein.

Christiaan Huygens nach einem Stich von Edelinck um 1686.

Lichtausbreitung nach Huygens als Stoßwelle im Äther (1690).



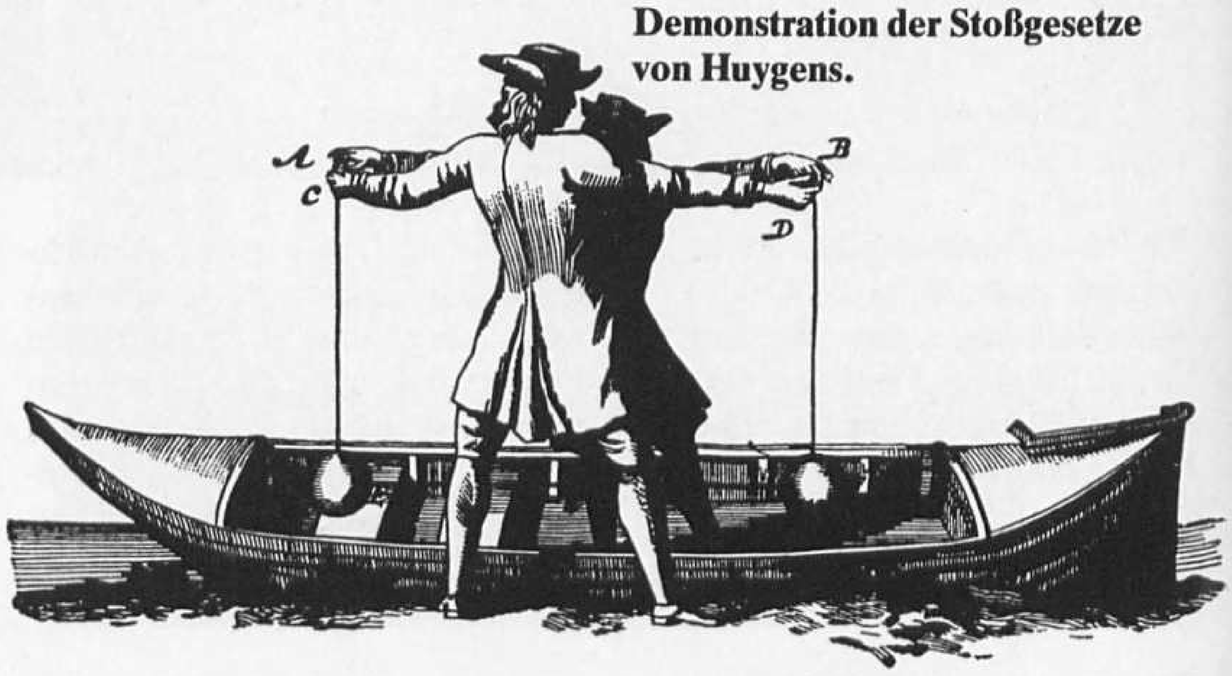
Huygens

Es ist angesichts des gewaltigen Werkes, das uns Huygens hinterlassen hat und das heute in einer 22 Bände umfassenden Edition (1888–1950) zugänglich ist, unmöglich, mehr als nur andeutungsweise auf die Leistungen des Astronomen, Physikers und Mathematikers Huygens einzugehen. Daher nur einige kurze Hinweise: Huygens' Werk gilt als Höhepunkt des Mechanisierungsprogramms der Naturwissenschaften vor Newton. Auf der Basis der von ihm modifizierten Vorstellungen von Descartes und Gassend werden nur Materie und Bewegung als Erklärungsprinzipien aller Naturphänomene zugelassen, wobei die Materie aus absolut harten kleinsten Teilchen besteht. In diesem Sinn erklärt Huygens in seinem 1678 abgefaßten und 1690 als Antwort auf Newtons Principia von 1687 veröffentlichten Traité de la lumière Licht und Gravitationskraft. Licht ist für Huygens im Gegensatz zu der materialistischen Auffassung von Newton die mit endlicher Geschwindigkeit erfolgende Ausbreitung einer Stoßwelle durch ein als Äther bezeichnetes Medium, das aus den feinsten Teilchen in dem Billardkugelkosmos von Huygens besteht. Gravitation wird als die Wirkung der zentrifugalen Tendenz feiner Materie, die gröbere Materie nach innen treibt, erklärt, wobei Huygens (wie Descartes) die Existenz von Wirbeln feiner Materie um die Erde voraussetzen muß, deren Geschwindigkeit er mit Hilfe der von ihm gefundenen Zentrifugalbeschleunigung bestimmt.

Interessanter als diese Erklärungen ist vielleicht noch, daß sich Huygens des hypothetischen Charakters jeder – natürlich auch seiner eigenen – physikalischen Theorie bewußt war. Darüber hinaus hat er als Entscheidungskriterien für die Güte einer solchen Theorie eine möglichst vollständige Übereinstimmung mit allen bekannten Phänomenen des Erklärungsbereichs sowie ihre Fähigkeit, neue Phänomene erfolgreich vorauszusagen, angegeben.

Den ihm auch von Zeitgenossen in England zugestandenen Ruf, nach Newton der größte Naturwissenschaftler der 2. Hälfte des 17. Jh. zu sein, hatte sich aber Huygens als junger Mann vornehmlich in den Jahren 1650 bis 1666 erworben, in denen er neben einer Fülle mathematischer Einzeluntersuchungen, darunter der ersten Anwendung der von Viète und Descartes geschaffenen Buchstabenalgebra auf den Bereich der Glücksspiele, die Entdeckung der Stoßgesetze beim zentralen, elastischen Stoß, die Bestimmung der Zentrifugalkraft, der Schwingungsdauer eines Pendels in Abhängigkeit von seiner Länge, den Bau der ersten funktionierenden Pendeluhr (mit Spindelhemmung), die Deutung der Henkel am Saturn als Saturnring und schließlich eine wesentliche Verbesserung der Teleskope seiner Zeit geleistet hatte. Aufgrund dieser Fülle von Ergebnissen war Christiaan Huygens 1663 Mitglied der drei Jahre alten Royal Society geworden und von Colbert, dem allmächtigen Minister Ludwig XIV., eingeladen worden, der 1666 ins Leben gerufenen Académie des sciences des Königs als primus inter pares anzugehören. In seiner Eigenschaft als Gründungsmitglied der Institution, die auf die Entwicklung der Naturwissenschaften des ausgehenden 17. und des 18. Jh. einen kaum zu überschätzenden Einfluß nahm, ist Huygens als Zeuge für den Stand und die Rolle der Technik

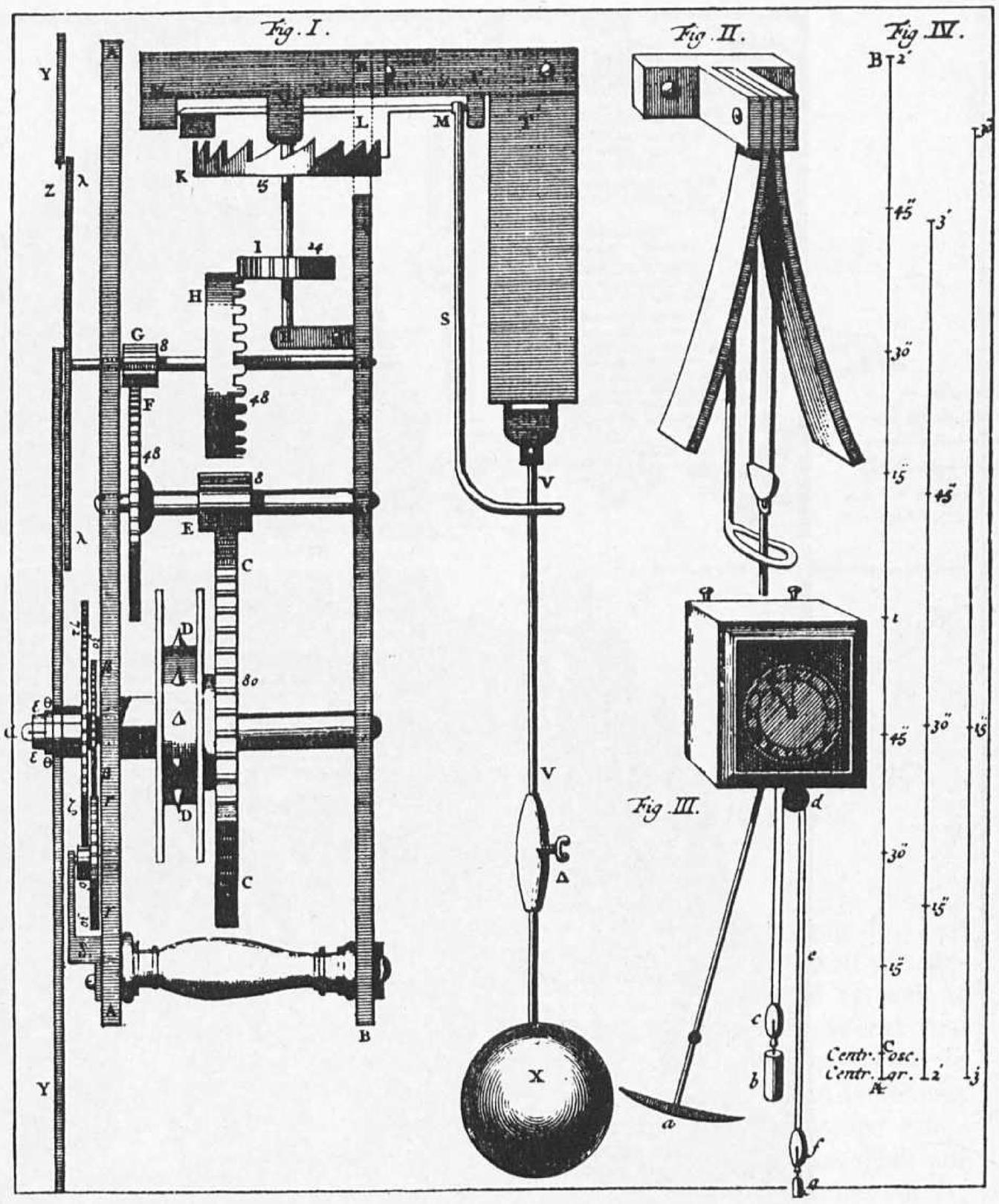
Demonstration der Stoßgesetze von Huygens.



seiner Zeit am wichtigsten; dies um so mehr, als um die Mitte des 17. Jh. die Erwartung einer fruchtbaren Verbindung von Naturwissenschaften und ihrer technischen Anwendung allgemein deutlich wird. Für dieses Erwartungsgefühl möchte ich zwei Gründe anführen:

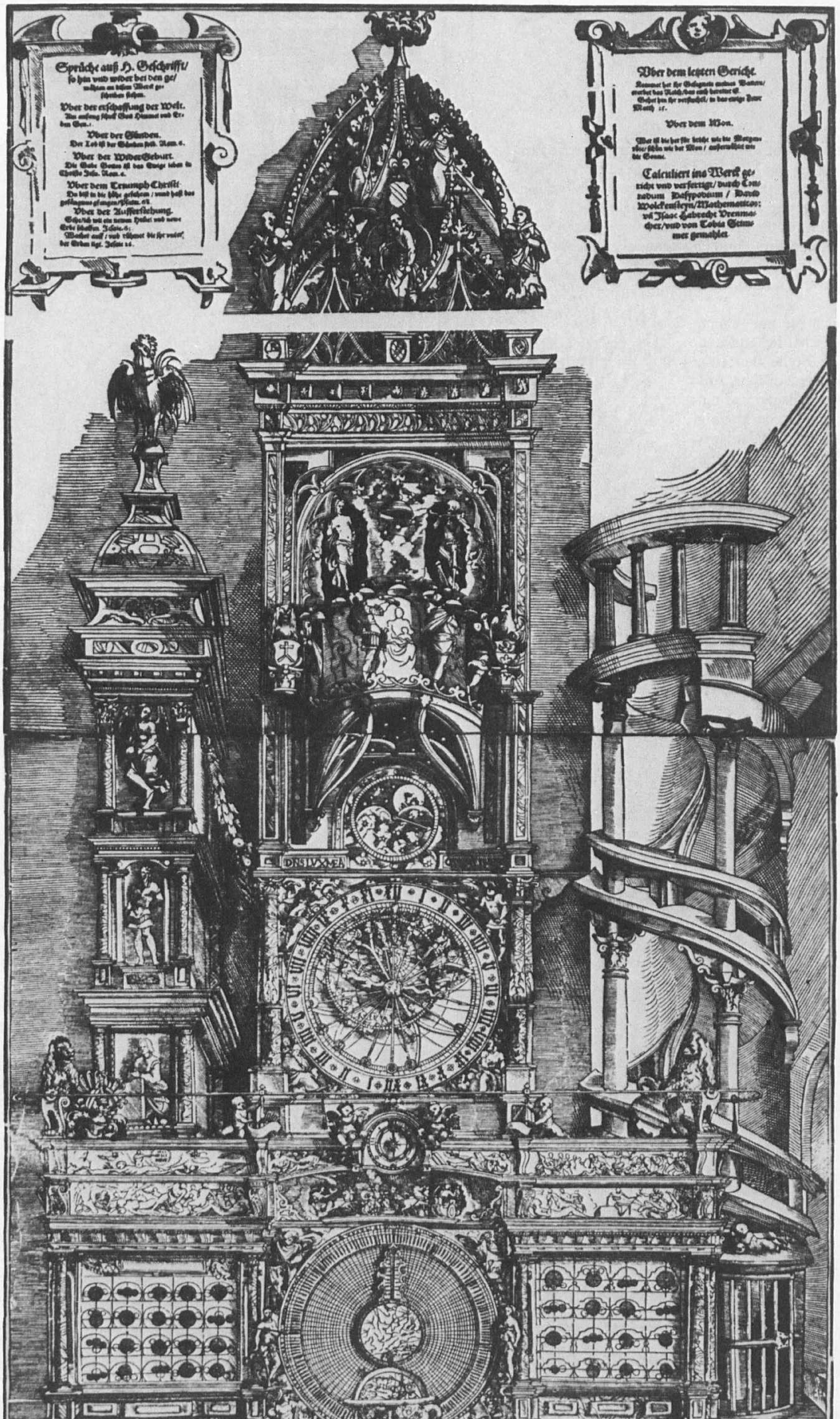
Einmal sind sich die am Anfang der naturwissenschaftlichen Revolution des 17. Jh. Stehenden, trotz z. T. sehr unterschiedlicher Auffassung über Grundlagen und methodisches Vorgehen, darin einig, daß das Ziel der neuen Naturwissenschaften der über ihre technische Anwendung vermittelte Nutzen für die Allgemeinheit ist. In diesem Punkt treffen sich die Ansichten von Francis Bacon, von Galilei und auch von Descartes.

Der andere Grund hat mit dem Uhrengleichnis zu tun, das als eine suggestive Metapher für das von Descartes bis Boyle entwickelte Programm einer mechanistischen Welterklärung benutzt wurde. Kepler, Descartes und der Herzog



Die Huygenssche Pendeluhr nach dem Horologium Oscillatorium. In der Figur II sind die zykloiden Wangen für das Pendel gut sichtbar (1673).

Colbert stellt Ludwig XIV. die Mitglieder der Académie des sciences, darunter Christiaan Huygens, vor. Nach einem Gemälde von Le Brun, 1669.


Sprüche auß H. Geschrifft/
so hin und wider bei den ge/
mählen an diesem Werck ge/
schrieben stehen.
Vber der erschaffung der Welt.
Im anfang schuff Gott Himmel und Er/
den Gen. 1.
Vber der Sünden.
Der Lohn ist der Sünden tod. Rom. 6.
Vber der WiderGeburt.
Die Gabe Gottes ist das Ewige leben in
Christo Jesu. Rom. 6.
Vber dem Triumph Christi
Du bist in die höhe gestiegen / und hast das
gefängnus gefangen/Psalm. 68.
Vber der Auffersthehung.
Sehr/ich will ein newen Himel und newe
Erde schaffen. Jesa. 65.
Wachet auff / und rühmet die ihr vnter/
der Erden ligt. Jesaie 26.
Vber dem letzten Gerichte.
Kommet her ihr Gesegneten meines Vaters/
ererbet das Reich/das euch bereitet ist.
Gehet hin ihr verfluchte/ in das ewige fewr
Matth. 25.
Vber dem Mon.
Wer ist die/ die herfür bricht wie die Morgen/
röthe/ schön wie der Mon / auserwehlet wie
die Sonne.
Calculiert ins Werck ge/
richt und verfertigt/ durch Con/
radum Dasypodium / David
Wolckenstein/Mathematicos:
vñ Isaac Habrecht Drenmat/
cher/vnd von Tobia Stim/
mer gemahlet.

Die astronomische Uhr im Münster zu Straßburg von 1574 nach einem Stich des 17. Jahrhunderts, als Beispiel für den Versuch, die Abläufe im Kosmos mechanisch zu erklären.

von Rohan sind in dieser Reihenfolge Zeugen für die Anwendung des Uhrengleichnisses auf die drei Bereiche des Kosmos als Ganzem, des lebendigen Organismus von Tier und Mensch und schließlich des Funktionierens eines absolut regierten Staates. Wenn also die Durchführung des mechanistischen Forschungsprogramms die Abläufe in der Natur erkennen läßt als die Bewegung einer komplexen Maschine, von der die Einzelteile, ihre wechselseitige Beziehung und damit der gesamte Bauplan erklärt werden können, dann liegt die Erwartung einer gegenseitigen Befruchtung von Naturwissenschaften und Technik besonders nahe. Tatsächlich scheint das Klima für ein Neben- und Miteinander von Technik und Naturwissenschaften nie günstiger gewesen zu sein.

In der Literatur spiegelt sich dieses Erwartungsgefühl und die neue, den Naturwissenschaften gleichberechtigte Rolle der Technik bei dem Huygens bekannten Charles Sorel in einer allegorischen Darstellung der Natur durch die Königin Physis, die den nicht ebenbürtigen Technes als Vertreter von Handwerk, Kunst und Technik heiratet und ihn so in den Fürstenstand erhebt. Die als sehr glücklich geschilderte Ehe weist einmal auf das erfolgreiche Zusammenwirken von Natur und Technik und darüber hinaus auf ein ebensolches von Naturwissenschaften und Technik hin.

Erstaunlicherweise ist diese Erwartungshaltung eingebettet in ein Denkklima, das einen stationären, nahezu fortschrittsfreien Zustand propagiert. Dieses Denkklima manifestiert sich am deutlichsten in der Wirtschaftstheorie. Nach dieser Theorie sind alle die Wirtschaft bestimmenden Faktoren weitgehend stabil. So ist Colbert, der Begründer des Merkantilismus, in einer Dissertation von 1669 davon überzeugt, daß das Geldvolumen, die Bevölkerungszahl und der Konsum Europas gleich bleiben.

Wörtlich schreibt er:
»Den Seehandel der ganzen Welt besorgen ungefähr zwanzigtausend Schiffe. Ihre Anzahl läßt sich nicht vergrößern. Man kann die Geldmenge in Frankreich nicht vermehren, ohne den Zuwachs den Nachbarstaaten wegzunehmen.«

Eine solche Wirtschaftstheorie rechnet auch nicht mit technischem Fortschritt, sondern schließt ihn aus.

Zuwachs an technischem Wissen erscheint nur möglich aufgrund der Analyse bereits vorhandener Verfahren und Geräte und vor allem durch Informationsaustausch mit anderen Ländern, d. h. durch die Übernahme einer andernorts bereits vorhandenen Technik.

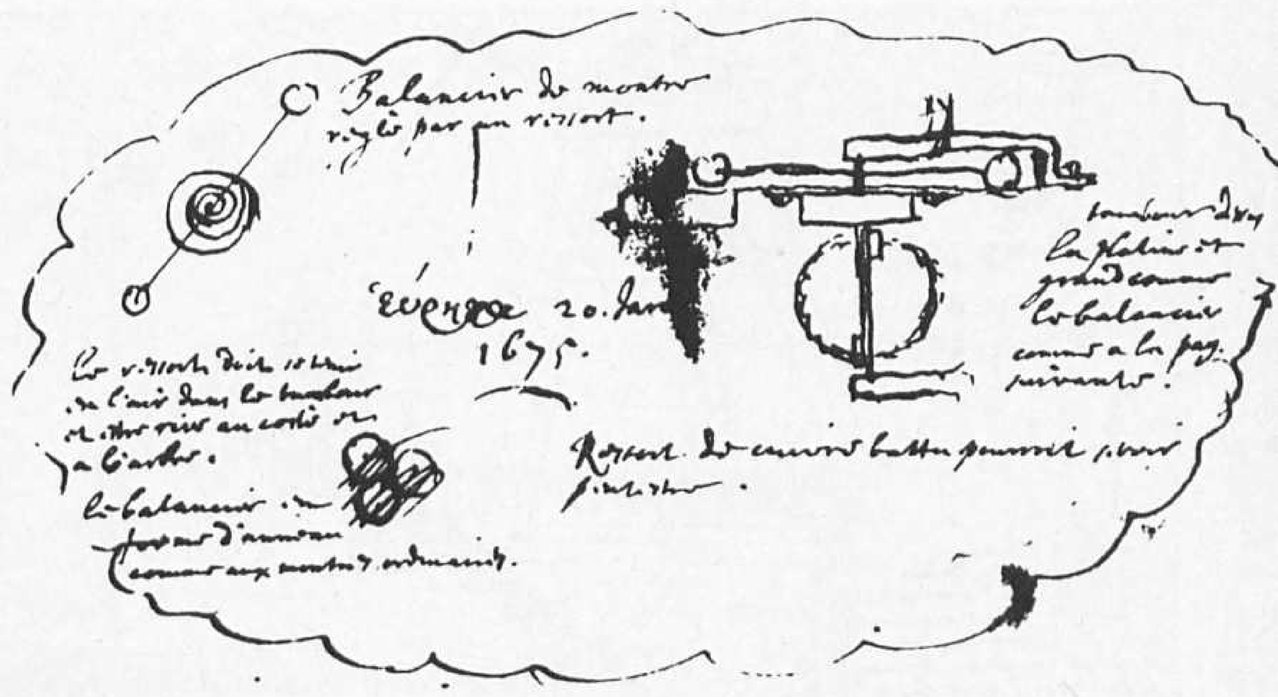
Wir finden hier den neben Kriegen und Epidemien wichtigsten Grund für eine in der Technikgeschichte festgestellte weitgehende Stagnation der Technik des 17. Jh.

Überraschender ist aber noch, daß dieses Klima auch, wie zumindest bei Huygens sichtbar, noch auf den mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich durchschlägt. Huygens' Fortschrittsverständnis in Mathematik und Naturwissenschaft ist eingeschränkt auf das »Kultivieren« und »Perfektionieren« des bereits Vorhandenen. Dieser auf den Ausbau und die Vervollkommnung bereits vorhandener Mittel beschränkte Fortschritt bestätigt sich auch bei den technischen Leistungen von Huygens. Hier sind vier Ebenen zu unterscheiden, die Huygens' Verhältnis zur Technik beleuchten:

1. Die konkreten Erfindungen von Huygens und in diesem Zusammenhang die von ihm angestrebten Privilegien bzw. Patente in Hinblick auf deren wirtschaftliche Nutzung.
2. Die Projekt- und Planungsebene, die aufgrund zahlreicher Entwürfe von Huygens' Hand für die Tätigkeit der Akademiker die darin vorgesehene Rolle der Technik erkennen läßt.
3. Die tatsächlichen Leistungen der Académie oder einzelner Mitglieder an der Durchführung technischer Vorhaben zur Zeit von Huygens' Mitgliedschaft.
4. Unausgereifte oder utopische technische Entwürfe.

Auch wenn Huygens' Name im Rahmen der technischen Erfindungen der 2. Hälfte des 17. Jh. mit an erster Stelle genannt wird, sind die ihm zugeschriebenen Leistungen des Baus der ersten funktionierenden Pendeluhr mit Spindelhemmung, der Konstruktion anderer Hemmungen und später der Federuhr mit Unruhe in der Technikgeschichte als Komposition längst vorhandener Bauelemente abgewertet worden. Man hat damit auch die vielen mit diesen Erfindungen verbundenen Streitigkeiten, denen Huygens ausgesetzt war oder sich selbst aussetzte, zu begründen versucht. Jedenfalls handelt es sich hier um handfeste technische Erfindungen, für die Huygens entweder für sich selbst oder für einen Uhrmacher seiner Wahl Privilegien zu erhalten suchte. In einem Brief macht er klar, daß es ihm ähnlich wie Thales mit den Olivenpressen um den Nachweis der Möglichkeit einer wirtschaftlichen Nutzung seiner Erfindung ging. Schon diese beiden Beispiele würden es rechtfertigen, Huygens als technischen Erfinder anzusprechen. Hat er sich aber selbst als Techniker gefühlt?

Hier ist, soweit es sich um praktische, technische Tätigkeiten handelt, mit »nein« zu antworten. Außer für das Schleifen von Linsen, in dem es Huygens zu großer Meisterschaft brachte, gibt es keinen Bereich, in dem er praktisch tätig geworden wäre. Das bedeutet, daß er auf die Zusammenarbeit mit hochqualifizierten Handwerkern, vor allem Uhrmachern, angewiesen war, die er aber nicht nur als sozial unter ihm stehend, sondern vor allem wegen ihrer Funktion als Ausführende und Reproduzierende für gar nicht zu eigenen Erfindungen fähig ansah.



Entwurf der Federunruhe von Huygens vom 20. 1. 1675.

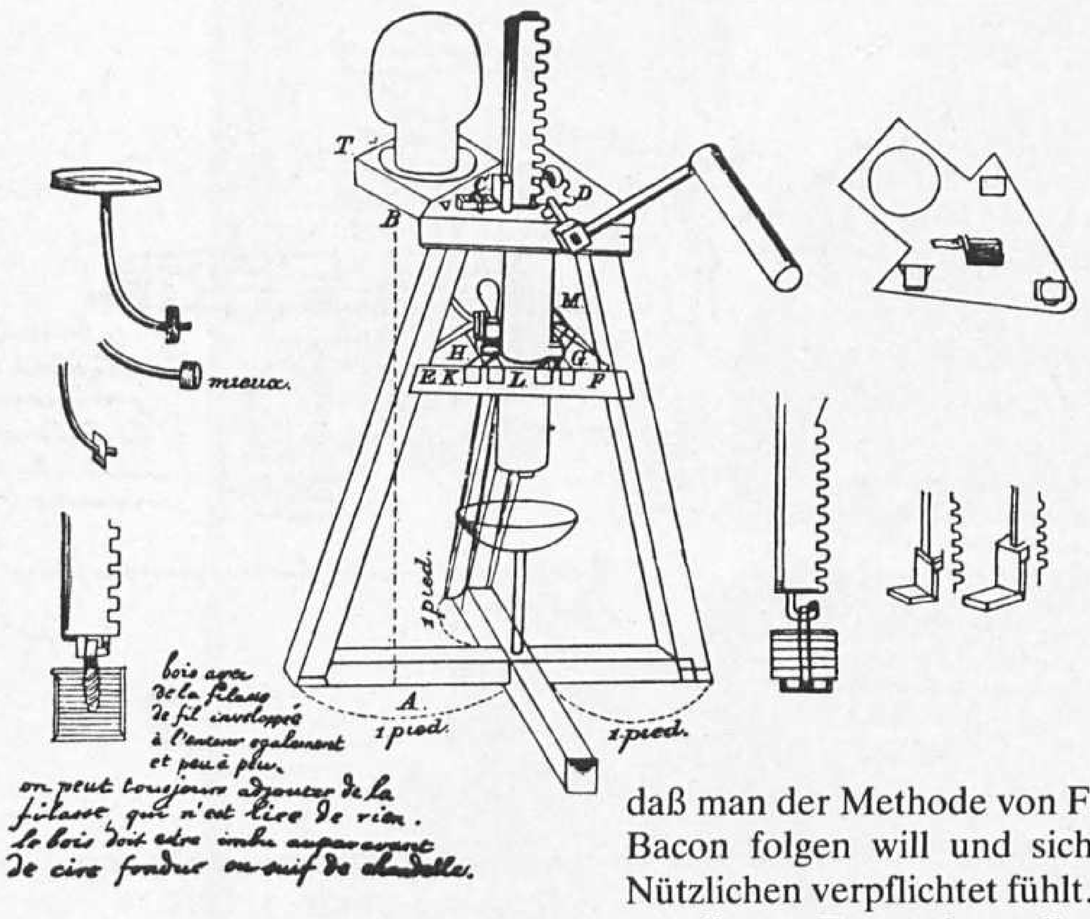
Die in der Vorstellung der Zeit gegebene Ebenbürtigkeit von Naturwissenschaften und Technik ist also bezüglich der handwerklichen Technik bei Huygens teilweise wieder aufgehoben. Andererseits zeigt Huygens' Arbeit und Interesse am Uhrenbau, das nicht nur durch ein wirtschaftliches Motiv, sondern durch das Problem der Längenbestimmung auf See mittels Uhren – bzw. Zeittransport gespeist wurde, ein sehr erfolgreiches Zusammenwirken von Mathematik und Physik einerseits und Technik andererseits.

Die Erkenntnis, daß ein Pendel, anders als noch Galilei angenommen hatte, auf seiner Kreisbahn nicht vollkommen isochron schwingt, und die weitere, daß eine Zykloidenbahn des Pendels eine vollkommene Isochronie ergeben würde, führte zunächst zur näherungsweisen Konstruktion geeigneter Wangen für ein Fadenpendel, dann zu der Frage nach der exakten Form dieser Wangen, d. h. nach der Evolute der Zykloide und schließlich zur Huygensschen Zykloidentheorie.

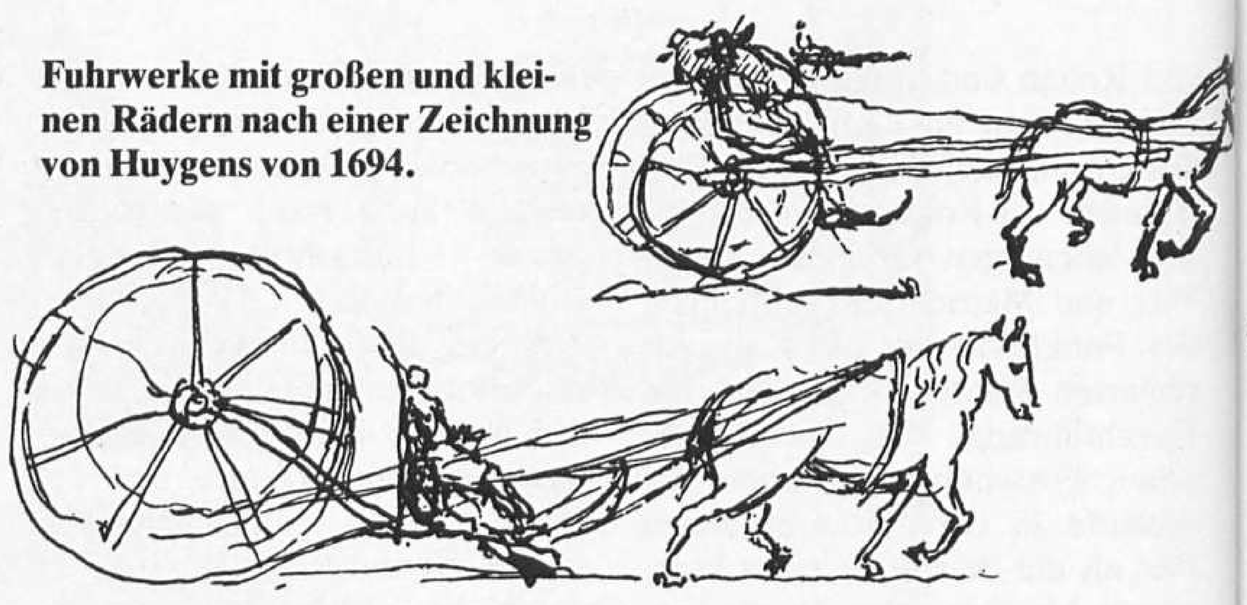
Ein ähnlicher Zusammenhang zwischen den beiden Bereichen läßt sich für die Huygenssche Theorie des physikalischen Pendels nachweisen.

Auf der zweiten Ebene der Entwürfe für die künftige Tätigkeit der Académie aus den Jahren 1663–1668 ist das gleichberechtigte Nebeneinander von Technik und Naturwissenschaften besonders gut sichtbar. In vielen Entwürfen findet sich der Hinweis,

Luftpumpe in der von Huygens benutzten Form nach einer Mitteilung an L. H. de Monmort vom Juli 1663.



Fuhrwerke mit großen und kleinen Rädern nach einer Zeichnung von Huygens von 1694.



daß man der Methode von Francis Bacon folgen will und sich dem Nützlichen verpflichtet fühlt. Einige dieser Entwürfe stellen nur Problemlisten dar. So heißt es in einem sehr lapidaren Entwurf aus dem Jahr 1666, dessen einzelne Abschnitte von Colbert jeweils mit der Bemerkung »bon« quittiert wurden, übergangslos:

»Versuche über den leeren Raum mit der Luftpumpe und Bestimmung des Luftdrucks.

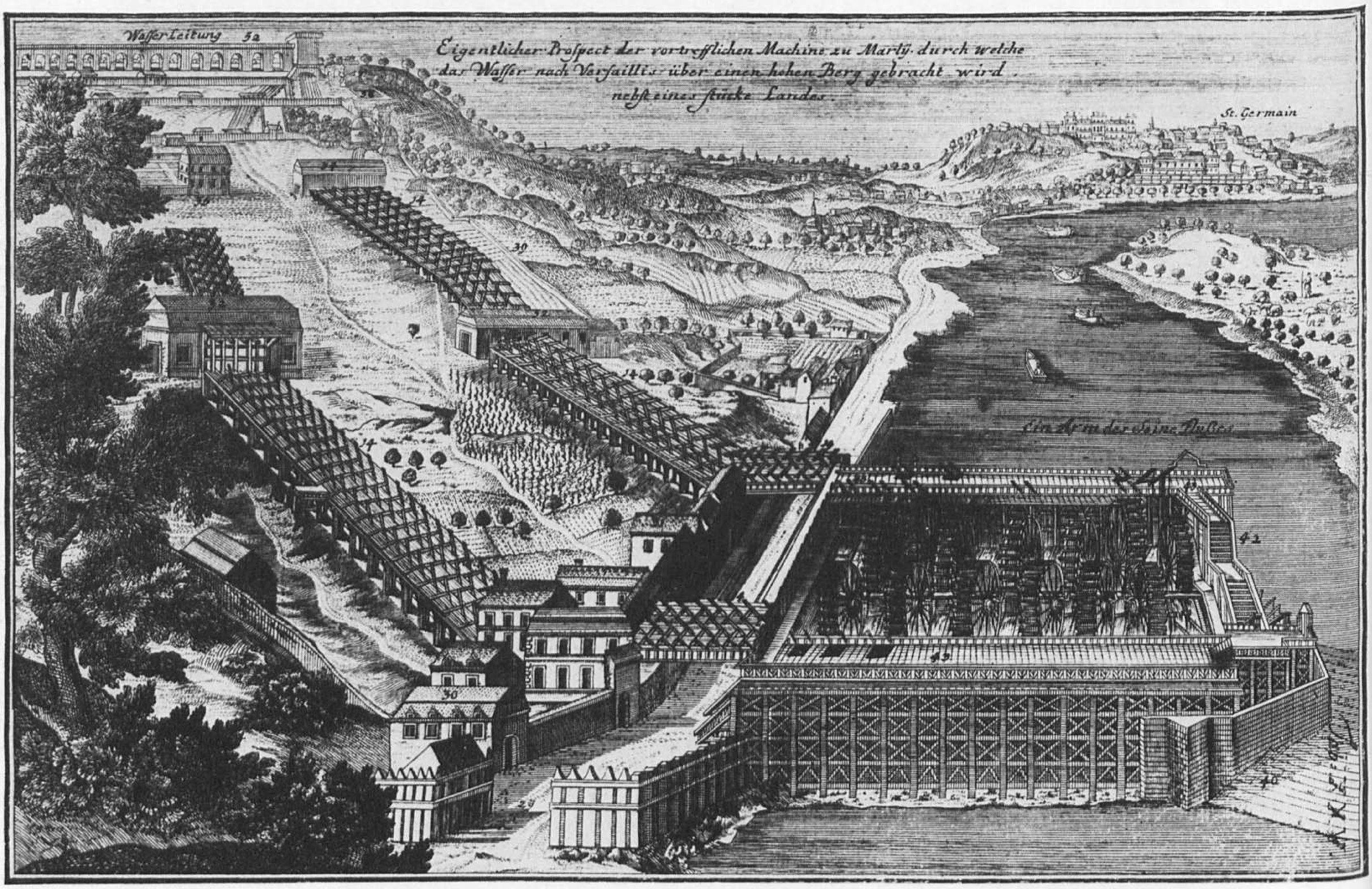
Prüfung der Kraft des Schießpulvers durch Einschluß kleiner Mengen in eine Kapsel aus Eisen oder sehr starkem Kupfer. Auf dieselbe Weise Prüfung der Kraft des Dampfes.

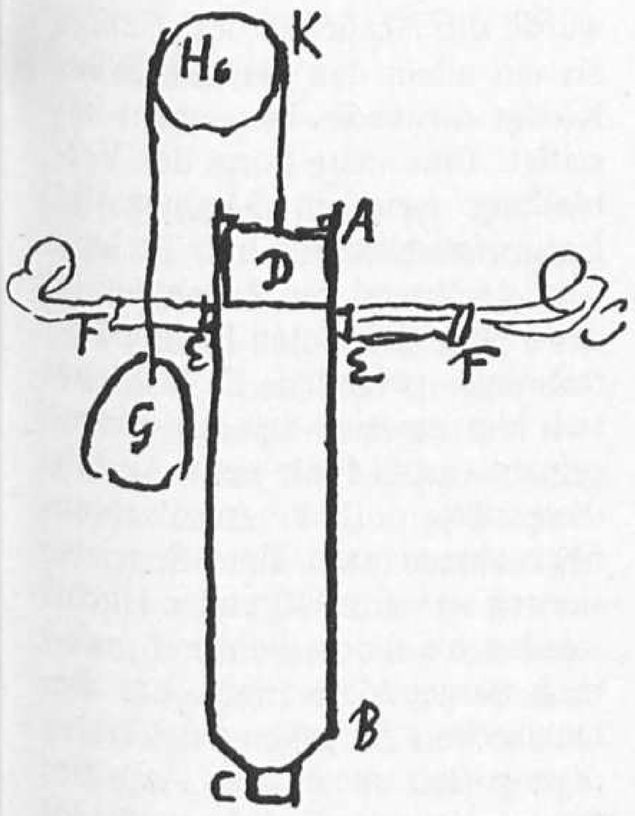
Prüfung der Kraft und Geschwindigkeit des Windes und daraus zu ziehender Nutzen für die Schiffahrt und den Maschinenbau.

Prüfung der Stoßkraft oder des Austausches von Bewegung beim Zusammentreffen von Körpern, wovon ich die ersten zuverlässigen Regeln gegeben zu haben glaube.«

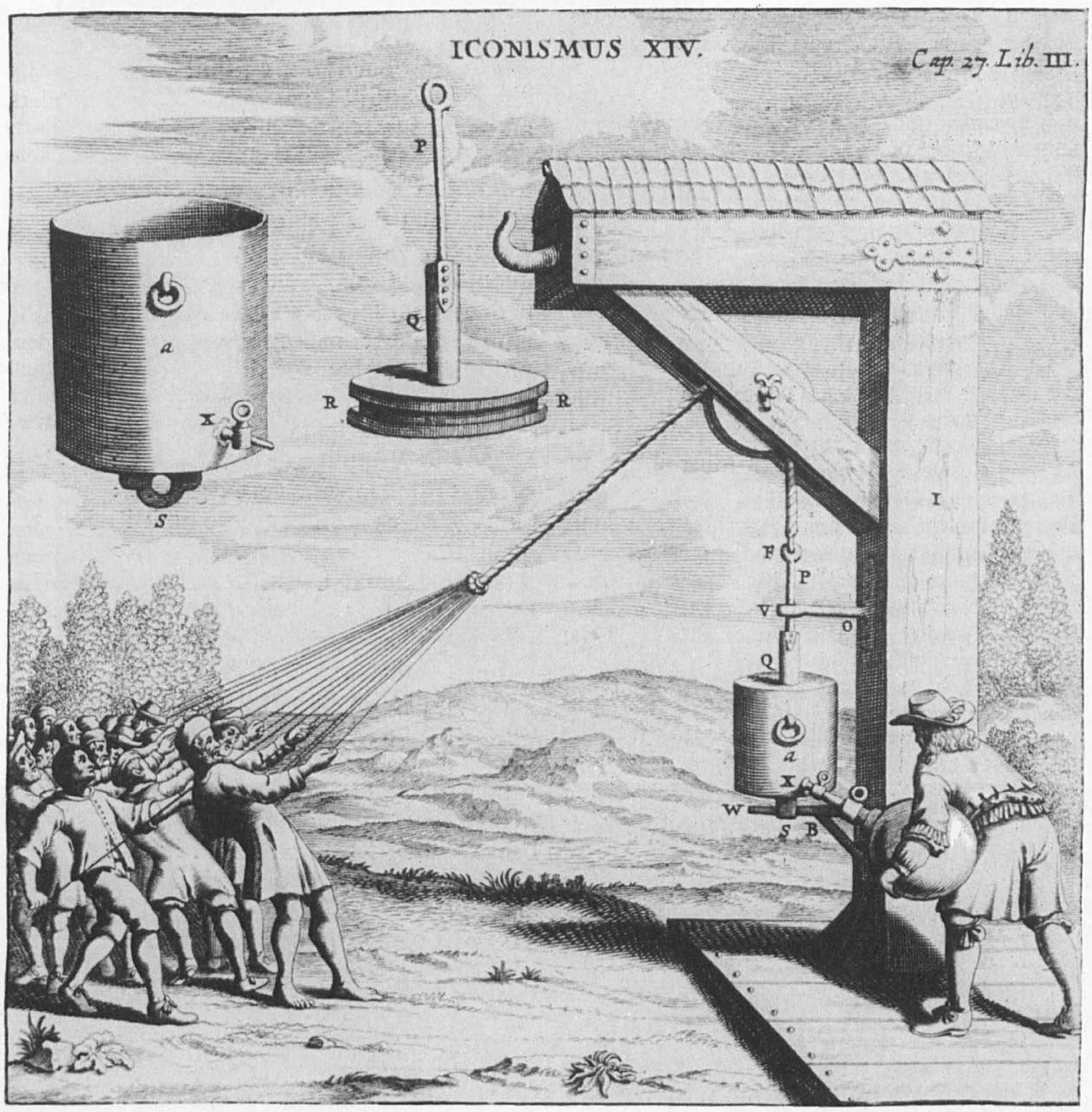
Einige dieser Entwürfe enthalten zusammenhängende Begründungen, die ausführlich auf die Notwendigkeit der Entdeckung und Überprüfung neuer Maschinen durch die Académie eingehen, wobei hier Wasserpumpen besonders häufig erwähnt werden; wiederholt wird auch die Absicht betont, die in den holz-, metall-, stein- und glasverarbeitenden Handwerksberufen eingesetzten Werkzeuge und Maschinen etwa durch Rückführung auf die fünf

Die Wasserhebemaschine bei Marly an der Seine zur Versorgung von Versailles (um 1700).





Darstellung des Huygensschen Schießpulvermotors in einem Brief an Lodewijk Huygens vom 27.9.1673.



Über eine Rolle durch den auf einen Kolben wirkenden Luftdruck vermittelte Zugarbeit. Nach Otto v. Guericke, 1672.

mechanischen Potenzen zu analysieren. Aus diesen Entwürfen, vor allem soweit sie auf die Mechanik spezialisiert sind, zeigt sich aber auch deutlich der Einfluß der zeitgenössischen Ansicht von einer stationären Wirtschaft- und damit auch Technikentwicklung. Mit wenigen Ausnahmen könnten die erwähnten Listen und Programme schon im Alexandria eines Heron oder eines Pappus formuliert worden sein.

Vergleicht man diese Programme mit der tatsächlich in der Académie geleisteten Arbeit, so fällt zweierlei auf. Einmal begannen die Académie und ihre Mitglieder schon früh mit der Begutachtung von Erfindungen, die allerdings meist abgelehnt wurden, wie Huygens berichtet. Es wurden auch bereits Modelle von gebräuchlichen oder neuen Maschinen gebaut, von denen eine erste öffentliche Ausstellung immerhin schon 1684 durchgeführt werden konnte. Andererseits haben die Akademiker schon in der Anfangszeit zu erkennen gegeben, daß sie sich nicht als Instanz zur Lösung konkreter technischer Probleme, sondern als Gutachter- und Richterstelle für von anderer Seite gemachte Vorschläge zur Lösung solcher Probleme verstanden. In diesem Sinne wies z. B. Huygens in einer kleinen Arbeit rechnerisch nach, daß man zum Transport der sehr schweren Kanonenrohre besser große als kleine Räder verwendet, weil bei großen Rädern die erforderliche Zugkraft zur Überwindung eines Hindernisses, wie eines auf der Straße liegenden Steines, kleiner ist. Aus diesem und anderen Gründen scheint auch die Académie gänzlich unbeteiligt zu sein an Planung und Bau der damals als Weltwunder bestaunten Maschine von Marly, die, in den Jahren 1681–1685 erbaut, Wasser zur Versorgung von Versailles und seiner Springbrunnen aus der Seine um über 160 m hob.

Huygens sprengt aber den Rahmen einer sich nur im Überkommenen bewegenden Technik dort, wo er sich in den allerdings zu dieser Zeit nur Zukunftsvisionen zugänglichen Bereich des Fliegens begibt. Es gibt eine Reihe von Flugmaschinen, die Huygens entworfen hat. Er meinte aber auch, daß der von ihm nur als technisches Prinzip entwickelte Schießpulvermotor, neben einer Vielzahl von damals naheliegenden Leistungen, wenn er nur einmal zur Vollendung gebracht wäre, wegen seiner Leichtigkeit auch als Antrieb zum Fliegen verwendet werden könnte.

Während die Verbindung seines Schießpulvermotors mit dem seiner Verwirklichung noch fernen Menschheitstraum des Fliegens sicherlich bei niemand falsche Hoff-

nungen zu erwecken vermochte, ist der weitere Vorschlag von Huygens, diesen Motor als Antrieb für Katapulte antiker Bauart zu verwenden und so an dem offenbar nicht in den von den Militärs gewünschten Mengen verfügbaren Schießpulver zu sparen, symptomatisch für eine erstaunliche Realitätsferne von Huygens und damit wohl auch der Académie. Diese Deutung scheint unvermeidlich, wenn man von der Möglichkeit absieht, daß Huygens mit seinem Vorschlag auf eine ebenso skurrile wie listige Weise die Schlagkraft der französischen Armeen zu schwächen versuchte, um so seinen Gewissenskonflikt als vom französischen König bezahlter Niederländer zu lösen und gleichzeitig seinen latenten Pazifismus zu befriedigen.

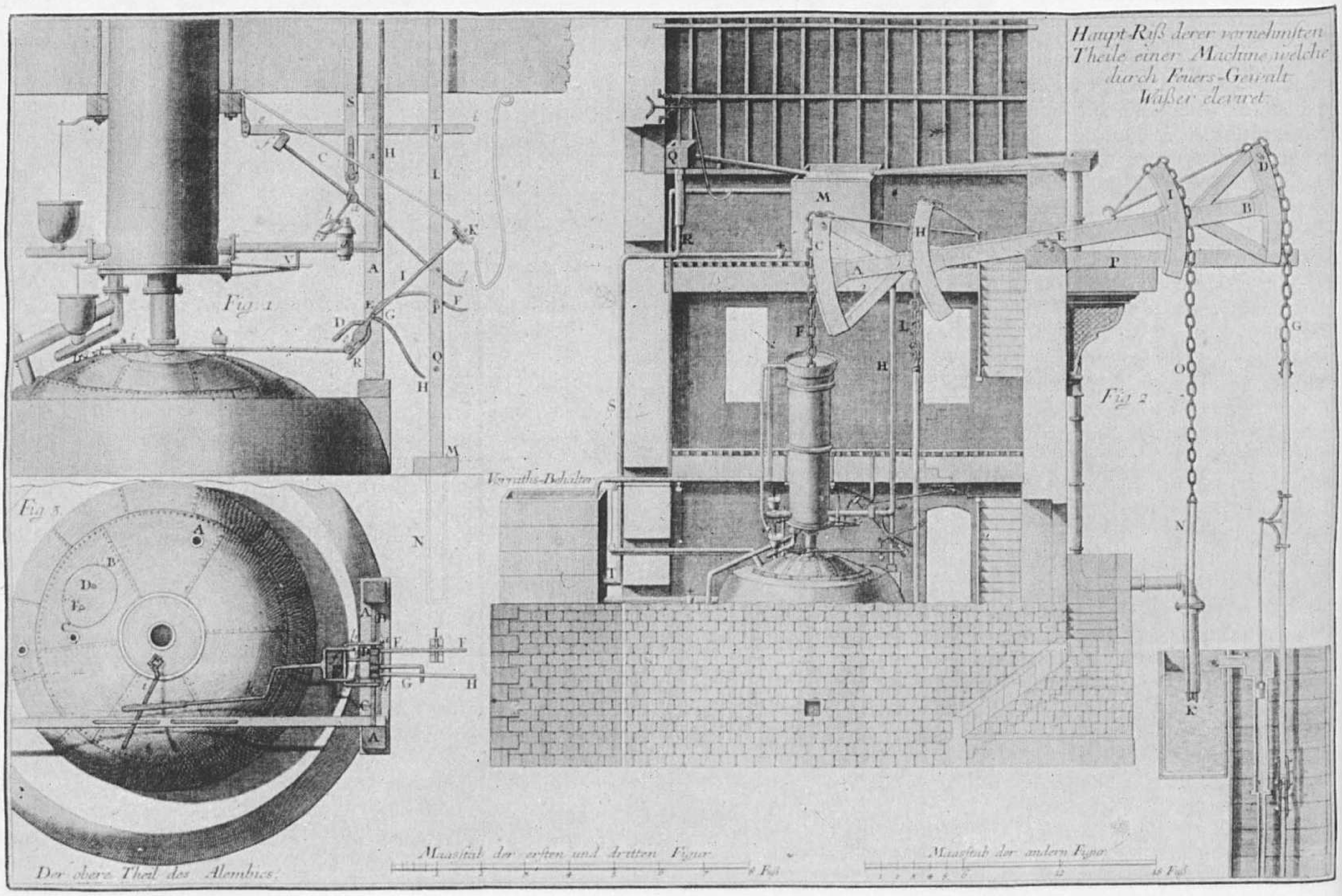
Immerhin besitzt der Huygenssche Schießpulvermotor eine durchaus eindrucksvolle Wirkungsgeschichte:

Dieser 1673 von Huygens entwikkelte Motor beruhte auf dem Prinzip, daß im unteren Ende eines Metallzylinders, dessen oberes Ende durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen ist, und der außerdem zwei Lederventile aufweist, Schießpulver zur Explosion gebracht wird, wobei das entstehende Gas durch die Ventile austritt und einen Unterdruck im Zylinder erzeugt; der überwiegende äußere Luftdruck treibt nun den Kolben nach innen. Der Kolben kann dann etwa über eine Rolle Hubarbeit leisten.

Das Vorbild für eine solche atmosphärische Maschine ist sicherlich in einem der Versuche von Otto von Guericke zu sehen, dessen Neue Magdeburgische Versuche gerade ein Jahr zuvor, 1672, erschienen waren. Guericke hatte einen Zylinder, der, wie bei Huygens oben durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen, mit Hilfe seiner Luftpumpe evakuiert und damit den Kolben ebenfalls zu einer Hubarbeit veranlaßt.

Man hat in der Technikgeschichte eine Entwicklungsreihe von Guericke über Huygens zu dessen Mitarbeiter Denis Papin konstatiert, der statt des entzündeten Pulvers Dampf verwendete, den er kondensieren ließ, um den erforderlichen Unterdruck zu erzeugen. Die weitere Entwicklung der atmosphärischen Dampfmaschine führte schließlich zu Newcomen, dessen Dampfmaschinen seit 1711/12 in Bergwerken eingesetzt wurden. Der Wirkungsgrad dieser Dampfmaschinen konnte aber erst durch die Wattsche, in der nicht mehr der äußere Luftdruck, sondern der Dampf selbst auf den Kolben wirkt, erheblich verbessert werden. Mit Watt wurde das Zeitalter der Industriellen Revolution eingeleitet. Dieser Industriellen Revolution gingen politische Umwälzungen voraus: Die Französische Revolution 1789 und die Unabhängigkeitserklärung der Vereinigten Staaten von Amerika 1787. In der Französischen Revolution wurde die Académie des sciences als ein allein den Interessen des Königs dienendes Instrument beseitigt. Eine neue Form der Verbindung zwischen Mathematik, Naturwissenschaften und Technik wurde während der Revolution in der 1795 gegründeten Ecole polytechnique gefunden. Es handelte sich hier um eine dem Leistungsprinzip verpflichtete neue Ausbildungsstätte. Ihre Absolventen übernahmen nach einer Spezialisierung an weiterführenden Hochschulen als theoretisch und praktisch ausgebildete Ingenieure die technischen Aufgaben der Verteidigung und später der Angriffe sowie die der verkehrsmäßigen und wirtschaftlichen Erschließung des republikanischen Frankreich.

Atmosphärische Dampfmaschine nach Newcomen, aus Architectura Hydraulica von Bernard Forest de Belidor.



Gauß

Carl Friedrich Gauß ist 1777 in diese Welt großer Veränderungen hineingeboren worden. Als er 1855 starb, ließ der König von Hannover eine Gedenkmünze mit der Inschrift »princeps mathematicorum«, Fürst der Mathematiker, prägen. Er tat dies, obwohl Gauß nahezu ein halbes Jahrhundert in Göttingen als Direktor der Sternwarte und Professor für Astronomie tätig gewesen war, obwohl sich Gauß in späteren Lebensjahren der Geodäsie und dann der Physik zugewendet hatte. Angesichts der Sprache, in die Gauß seine naturwissenschaftlichen Ergebnisse kleidete, und angesichts der vielen Querverbindungen zur reinen Mathematik wie etwa von den geodätischen Arbeiten zu den Grundlagen der Geometrie und zur Differentialgeometrie, erfolgte dies zu Recht. Es wäre umgekehrt sicherlich richtig, von dem Astronomen und Physiker Gauß zu sprechen. Aber Gauß, der auch im Ehrensaal des Deutschen Museums vertreten ist, war nie ein Techniker oder Ingenieur.

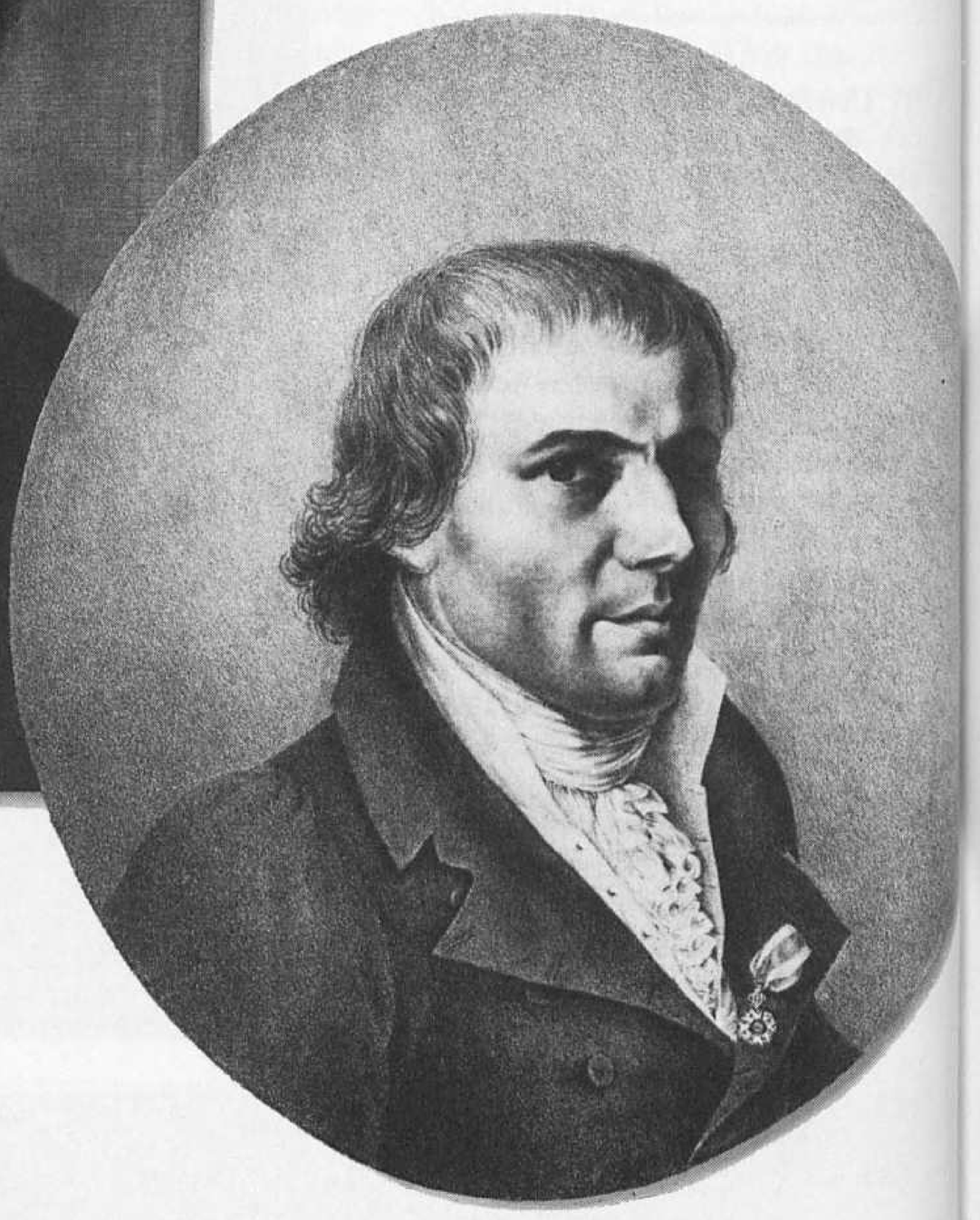
Carl Friedrich Gauß in mittleren Jahren nach einem Stich.

Gauß hat im Gegensatz zu Huygens, trotz mehrerer technisch verwertbarer Leistungen und trotz seiner Zusammenarbeit vor allem mit den Vertretern der instrumentellen Technik seiner Zeit, den Trennungsstrich zwischen dem exakten Naturwissenschaftler und dem Techniker scharf gezogen.
Dieser Trennungsstrich bedeutet einmal, daß naturwissenschaftliche Forschung nicht auf irgendeinen Anwendungsnutzen abzielt, sondern um ihrer selbst willen betrieben wird. Zum anderen suchte Gauß der in der naturwissenschaftlichen Forschung – durch den wachsenden Einsatz technisch

Gauß auf der Terrasse der Göttinger Sternwarte. Nach einer Lithographie von E. Ritmüller.

a

b



c

d

a) Johann Georg Repsold nach einer Lithographie von Gerdt Hardorf, 1828.

b) Georg Friedrich von Reichenbach nach einem Gemälde von R. Wimmer.

c) Joseph von Utzschneider nach einer Lithographie.

d) Josef von Fraunhofer nach einer Bleistiftzeichnung von Vogel.

immer aufwendigerer Geräte – gegebenen Gefahr einer stärkeren Abhängigkeit des Naturwissenschaftlers von der Technik, einerseits durch eine genaue Abgrenzung der Funktionen beider Bereiche, andererseits durch eine geeignete Kommunikation, zu begegnen.

Zum Nachweis dieser These soll zuerst der Astronom Gauß im Umgang mit Herstellern astronomischer Instrumente vorgestellt werden. Dann sei kurz auf das prominenteste Beispiel einer technisch verwertbaren Leistung bei Gauß, den zusammen mit Wilhelm Weber entwickelten Telegraphen, und die Gaußschen Spekulationen über die künftigen Möglichkeiten des Telegraphen eingegangen. Die Interpretation eines Gaußwortes zum Verhältnis von Naturwissenschaften und technischer Anwendung wird die vorangegangenen Überlegungen in einen Zusammenhang stellen.

Beginnen wir mit dem Gauß der Jahre 1810 und 1811, der zu dieser Zeit, neben seinen mannigfachen Forschungen etwa zur Funktionentheorie, mit dem Aufbau und der Ausstattung seiner Sternwarte beschäftigt war. Man kann aus dem Briefwechsel von Gauß mit seinen Schülern und Freunden den Erwerb jedes einzelnen Instrumentes seiner Sternwarte, mit allen Erwägungen des Für und Wider seiner Leistungsfähigkeit, seines Herstellers usw. verfolgen. Einer der damals namhaftesten Hersteller von Fernrohren war J. G. Repsold in Hamburg. Repsold wandte sich 1810 an den damals in Hamburg tätigen Astronomen H. C. Schumacher mit der Bitte, Gauß zur Berechnung eines zweilinsigen achromatischen Objektivs bei gegebener Brennweite und den Brechzahlen des verwendeten Kron- und Flintglases zu veranlassen. Gauß lieferte eine Berechnung, die an Repsold weitergeleitet wurde, der nach diesen Angaben ein Objektiv baute. Nach einem Zwischenbescheid von Schumacher an Gauß, in dem Schumacher sich darüber wunderte, wie gut das berechnete Objektiv in seinen Abmessungen mit den durch reines Probieren gefundenen besten englischen Objektiven übereinstimmte, erfuhr Gauß, daß er die Linsen so dünn dimensioniert hatte, daß sie sich durchbogen. Nach Angabe der Mindestdicke der Linsen berechnete Gauß erneut ein Objektiv, das von Repsold gebaut wurde und trotz der Verwendung eines nicht besonders guten Flintglases ein außerordentlich gutes Auflösungsvermögen aufwies. Schließlich sah Repsold eine Möglichkeit, hochwertiges Flintglas aus Frankreich zu erhalten, dessen abweichende Brechzahl eine neue Berechnung erforderlich machte, die Gauß auch zu liefern bereit war. Die Frage von Schumacher, ob Gauß nicht seine Formeln bekanntmachen möchte, blieb unbeantwortet bis 1817. Zu diesem Zeitpunkt entschloß sich Gauß zur Publikation der Berechnung eines achromatischen Objektivs, das aus zwei konkav-konvexen Linsen bestand. Diese Gaußschen Objektive sind später mit großem Erfolg als Mikroskopobjektive und für Präzisionsspektrometer eingesetzt worden.

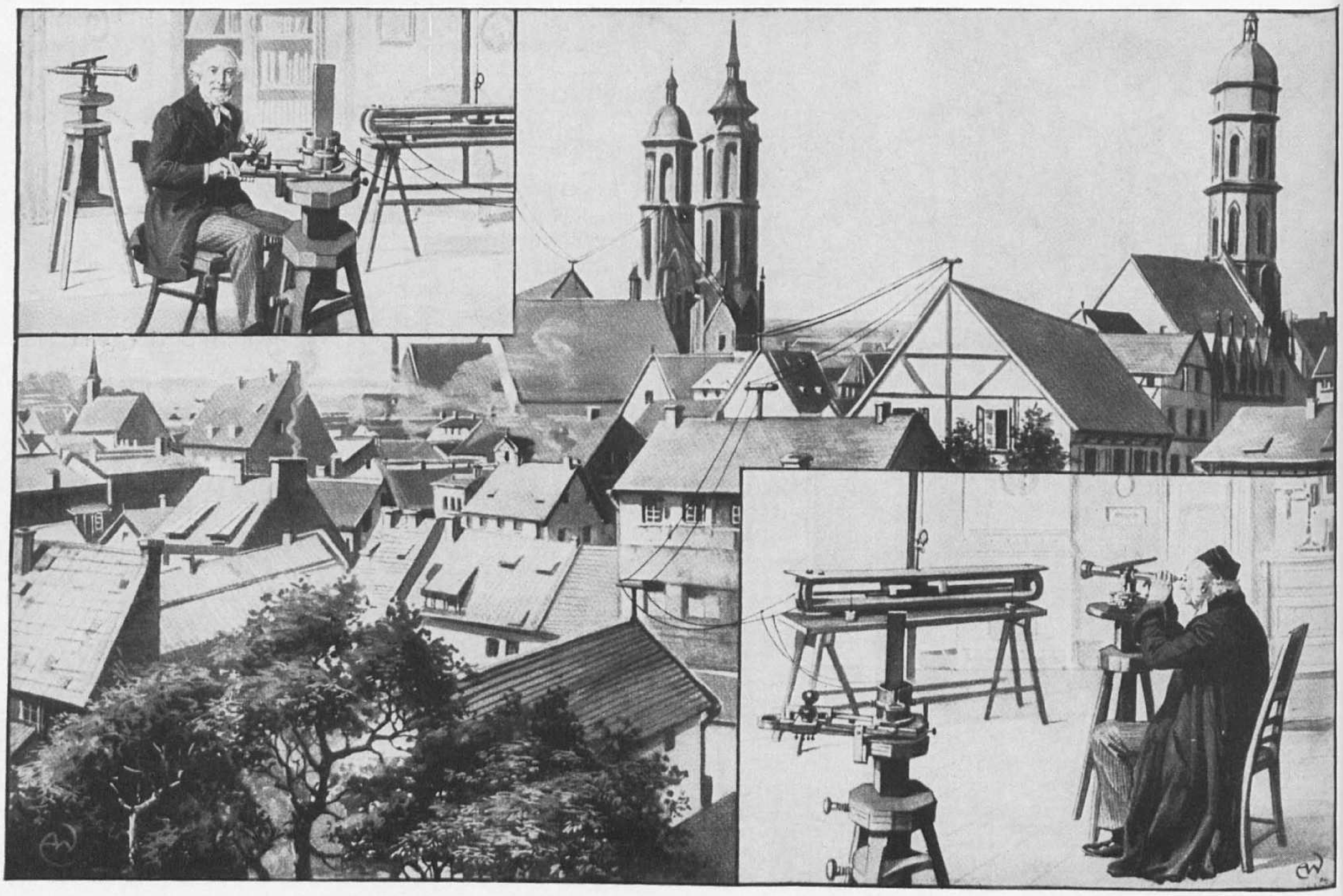
Obwohl es sich hier nicht um Instrumente für den eigenen Bedarf handelte, sondern um eine unei-

d

Stadtplan von Göttingen mit der Telegraphenleitung zwischen dem physikalischen Kabinett in der Innenstadt und der Sternwarte.

gennützige Hilfestellung des Physikers und Mathematikers für den Instrumentenhersteller, der im damals üblichen Sprachgebrauch noch als Künstler im Sinn von artisan bezeichnet wurde, kann diese Form der Arbeitsteilung zwischen dem Naturwissenschaftler und dem Techniker als typisch für Gauß gelten. Dies zeigt sich vor allem später, als Gauß seine größten Aufträge nach München vergab, wo Reichenbach, Utzschneider und Liebherr ein Institut zur Herstellung optischer und feinmechanischer Instrumente gegründet hatten, dem später auch Fraunhofer angehörte und über dessen wechselnde Geschicke und Organisationsformen Gauß zu dieser Zeit bestens unterrichtet war. Diese guten Kenntnisse verdankte Gauß einer Reise nach München, wo er die Werkstätten sehr genau besichtigte. Zur Bewilligung der Mittel für diese Reise hatte Gauß einen Antrag an das königliche Curatorium der Universität Göttingen zu stellen, in dem er das Verhältnis zwischen dem Wissenschaftler und dem Instrumentenhersteller allgemein ansprach:

»Unter diesen Umständen scheint in der That nichts wünschenswerter und nothwendiger als eine mündliche Rücksprache des Astronomen mit dem Künstler, wo beide ihre Ideen gegenseitig auszutauschen, Vortheile und Nachtheile gegeneinander abwägen, und wo die Bedürfnisse der Wissenschaft, die Bedenklichkeiten, welchen diese oder jene Einrichtungen ausgesetzt seyn mögen, die Hilfsmittel, welche das Genie des Künstlers findet, die



Wilhelm Weber (links oben) und Carl Friedrich Gauß beim Telegraphieren. Die Silhouette von Göttingen zeigt einen Teil des Leitungsverlaufs. Nachzeichnung.

Schwierigkeiten zu überwinden, gehörig erwogen und ausgeglichen werden können.«

Wir sehen also die Forderung nach einer intensiven Kommunikation zwischen Wissenschaft und der ihr dienenden Technik; diese Kommunikation wird notwendig aufgrund der Verschiedenheit der beiden Bereiche, die ihrerseits auf die unterschiedlichen in ihnen erforderlichen Qualifikationen zurückzuführen ist. Dabei ist Gauß voller Hochachtung vor den Instrumentenbauern wie Reichenbach und Fraunhofer. Diese Hochachtung steigert sich sogar noch gegenüber den eigentlichen Produkten, den Instrumenten, in einer Weise, daß sie sich nachteilig auf Gauß' Tätigkeit als beobachtender Astronom auswirkte. Es wird berichtet, daß Gauß etwa den großen Meridiankreis von Reichenbach nur selten und dann mit Handschuhen anfaßte und seinen Studenten allenfalls erlaubte, die Skalen zum Ablesen zu beleuchten.

Nun könnte man ja einwenden, daß die für die naturwissenschaftliche Forschung erforderliche apparative Technik nur einen sehr speziellen Ausschnitt des Bereichs der Technik darstellt. Tatsächlich ist bei Gauß von einem besonderen Interesse an den durch das Maschinen-Zeitalter gegebenen neuen Möglichkeiten der Massenproduktion und -kommunikation sowie des Massenverkehrs über das Allgemeine, etwa an der Entwicklung der Eisenbahn, hinaus kaum etwas zu spüren. Das hinderte Gauß allerdings nicht, über die Anwendungsmöglichkeiten von selbstentwickelten Geräten und selbstgemachten Beobachtungen zu spekulieren.

Berühmtestes Beispiel ist hierbei der zusammen mit Wilhelm Weber entwickelte elektromagnetische Telegraph. Telegraphieren, d. h. die rasche Kommunikation auf größere Entfernung, scheint für Gauß früh besonders faszinierend gewesen zu sein. Dies zeigt sich schon bei der 1820 erfolgten Erfindung einer Spiegelvorrichtung zur Umlenkung des Sonnenlichts für Zwecke der Winkelmessung in der Geodäsie, des sog. Heliotrops, den Gauß auch für optisches Telegraphieren einsetzen wollte. Hier heißt es am Ende der 1821 in den Göttingischen Gelehrten Anzeigen erfolgten Publikation:

»So wie das Bedürfnis der höhern Geodäsie dieses Instrument veranlaßt hat, so beschränken wir uns hier auf Erzählung obiger Erfahrungen, ohne die sich von selbst darbietende Aussicht zu dem künftigen vielleicht noch wichtigern Ge-

Carl August von Steinheil, nach einer Photographie.

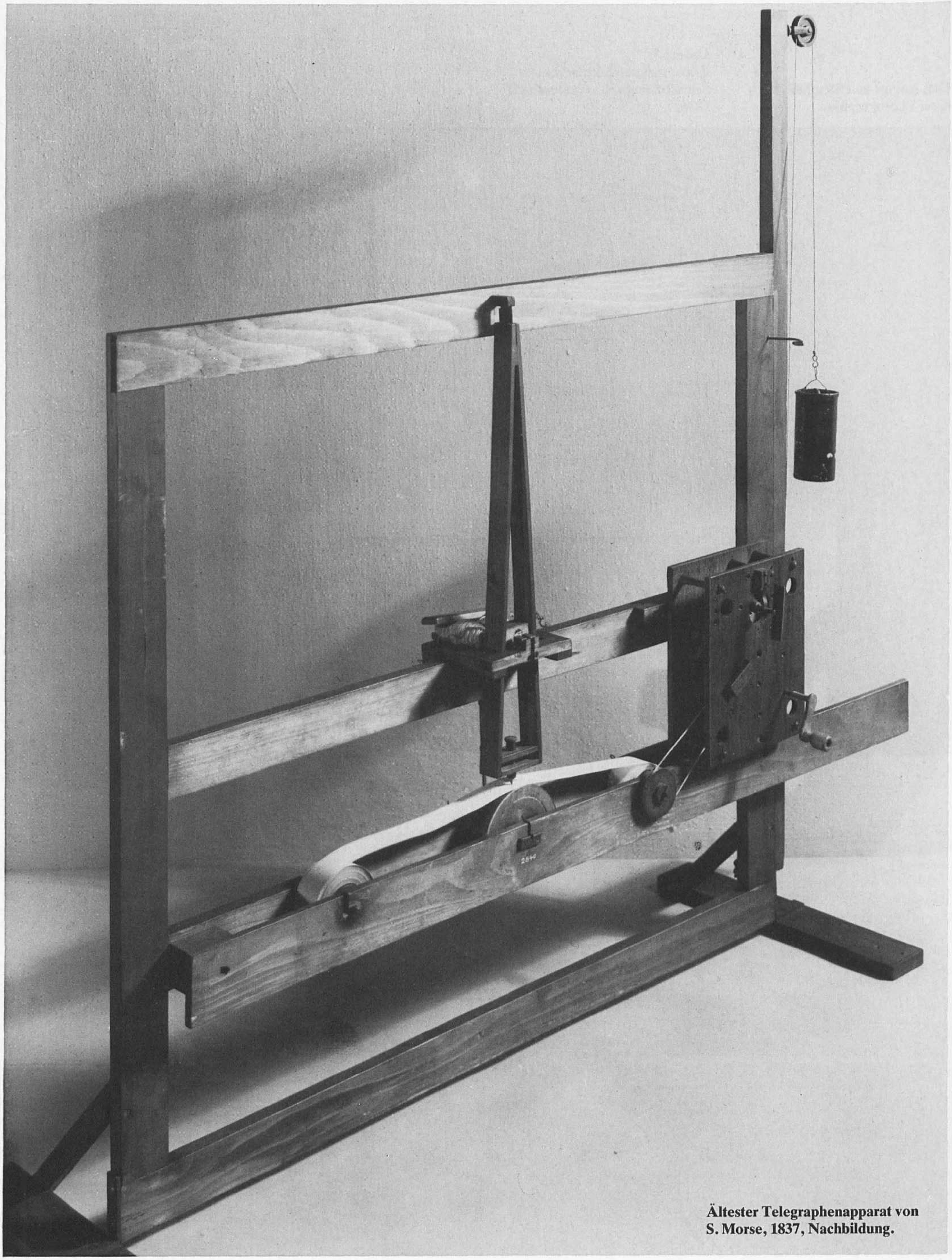
Unten:
Erster magnetelektrischer Schreibtelegraph von Steinheil, 1836.

brauch eines den Raum so kräftig durchdringenden Mittels zu telegraphischen Signalisierungen in Krieg und Frieden jetzt weiter zu verfolgen.«

Die Einzelheiten der zur Untersuchung des Ohmschen Gesetzes und einiger später nach Kirchhoff benannten Verzweigungsgesetze entwickelten Apparatur, die dann auch erfolgreich zum Telegraphieren verwendet wurde, sind in der Literatur oft und ausführlich auch in ihrem Zusammenhang mit der Entwicklung der Telegraphie vom optischen Telegraphen zum elektromagnetischen behandelt worden. Gauß hat dabei in verschiedenen Briefen zwischen 1833 und 1837 auf die Anwendungsmöglichkeiten zum Aufbau eines Netzes parallel zu dem zu errichtenden Eisenbahnnetz und mit Vorsicht auf die Verwendung der Eisenbahnschienen als Leiter hingewiesen. Diese Hinweise sind z. B. in München sehr genau durch den von Gauß 1835 mündlich instruierten Steinheil überprüft worden. Steinheils auf Gaußschen Hinweisen beruhende Untersuchungen und Erfahrungen führten nicht nur zur Konstruktion eines eigenen Telegraphen, sondern qualifizierten ihn als Organisator des Telegraphennetzes von Österreich und der Schweiz, das Steinheil Anfang der 50er Jahre, allerdings unter Verwendung des Morse-Telegraphen, aufbaute. Die Ergebnisse von Gauß und Steinheil wurden auch sofort vom preußischen Generalstab in Berlin zur Kenntnis genommen, wobei vor allem Steinheils Vorstellungen bei der Planung des preußischen Telegraphennetzes eine große Rolle spielten.

Bei all diesen Beispielen zeigt sich, daß Gauß zunächst von besonderen im Hinblick auf eine wissenschaftliche Fragestellung entwickelten Geräten ausging, deren technische Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen der damals üblichen Vorstellungen untersucht und im Fall des elektromagnetischen Telegraphen verhältnismäßig rasch verwirklicht wurden.

Daß Gauß im Fall seines Telegraphen auch an etwas ferner liegende Formen der Kommunikation dachte, mag das Schumacher 1835 mitgeteilte Beispiel zeigen: Gauß hatte damals auch die Leitfähigkeit des menschlichen Körpers hinsichtlich der Indikation von induzierten Stromstößen untersucht und bei einem Kontakt des Stromleiters mit den Lippen oder der Zunge die stärkste, sozusagen schmeckbare Wirkung festgestellt.



Ältester Telegraphenapparat von S. Morse, 1837, Nachbildung.

Er hat daraus auch eine Anwendung der Telegraphie sozusagen mit einer sozialen Komponente ersonnen, die er so beschreibt:

»Man würde selbst diese Methode zum Telegraphieren brauchen können, und die Depesche, welche S. May. aller Reussen in Petersburg abspielen lassen wollte, würde in demselben Augenblick in Odessa geschmeckt werden können. Wollte man eine mehrfache Kette ziehen, und zugleich eine correspondirende Anzahl Schmekker am anderen Ende aufstellen, wozu man auch blinde Invaliden brauchen könnte, die nur jedesmal, wo Ihnen zu schmecken gegeben wird, die Hand in die Höhe zu heben hätten, während ein Secretär die aufgehobenen Hände protocollirte, so würde selbst nach dieser Methode sehr schnell telegraphiert werden können.«

Gauß hat auch in einem einzigen, wenig bekannten Beispiel an die Anwendung einer Entdeckung im technischen Massenproduktionsprozeß gedacht. Im März 1836 schrieb er an Olbers:

»Seit Januar habe ich auch einige Versuche über den sogenannten Thermomagnetismus, richtiger Thermogalvanismus angefangen; wir haben neue Apparate angeordnet, womit man die Wirkung ganz außerordentlich verstärken kann. Vielleicht kann man davon für die Pyrometrie (Hochöfen, Porzellanöfen, Schmelzöfen etc.) sehr wichtige Anwendungen machen. Meine eigenen Versuche bleiben freilich bei den mesquinen mir zu Gebote stehenden Mitteln immer nur auf einen sehr kleinen Maßstab beschränkt.«

Auch hier überließ Gauß die weiteren an die technische Verwirklichung heranführenden Untersuchungen anderen, getreu einem von einem seiner Schüler überlieferten Wort. Dieser ehemalige Student, der Hamburger Mathematiklehrer Lübsen, schrieb im Vorwort zu einem Lehrbuch:

»Die Theorie, sagte mein allverehrter Lehrer Gauß, zieht die Praxis nach sich wie ein Magnet das Eisen.«

Dieser Satz könnte, isoliert betrachtet, Gauß als Zeugen für die Anwendungsbezogenheit naturwissenschaftlicher Forschung erscheinen lassen. Gauß hat ganz im Gegenteil unter ausdrücklicher Berufung auf das Archimedes-Bild von Plutarch immer den Standpunkt vertreten, daß naturwissenschaftliche Forschung nur um ihrer selbst willen betrieben werden soll. Es war seine Überzeugung und z. T. persönliche Erfahrung, daß die technischen Anwendungen einer so betriebenen Naturwissenschaft nicht auf sich warten lassen. Gauß hat in diesem Sinn Zeit seines wissenschaftlichen Lebens gegen den für das 18. Jh. und für das Frankreich der ersten Jahrzehnte des 19. Jh. charakteristischen Nützlichkeitsstandpunkt der Naturwissenschaften den der zweckfreien Forschung in Mathematik und Naturwissenschaft gesetzt.

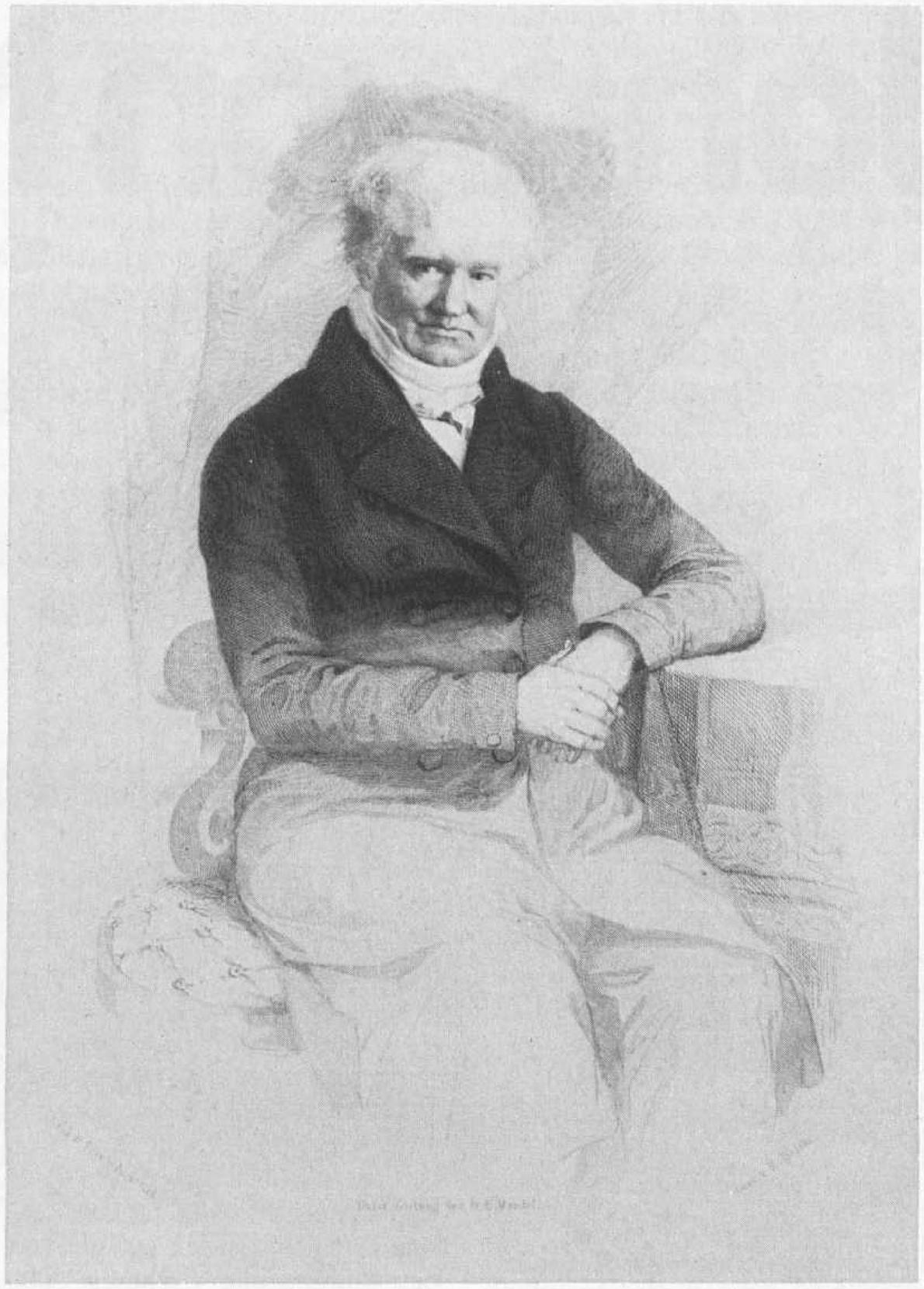
So sagt Gauß in seiner Antrittsvorlesung als Astronomieprofessor in Göttingen in Anlehnung an seinen Lieblingsdichter Jean Paul:

»Die Sonnen sind . . . zu etwas Höherem da, als bloß um zu Schrittzählern und Wegweisern für zurückkehrende Pfefferflotten zu dienen, und die Bestimmung der Musen ist eine höhere, als die, bloß Mägde unserer Bedürfnisse zu sein.«

Daß Gauß diese Ansicht sein Leben lang beibehalten hat, zeigt ein Brief aus dem Jahr 1846 an Alexander von Humboldt:

»Meine Überzeugung hier wie in anderen wissenschaftlichen Feldern ist, daß unsere Kenntnisse überall nur dann großartige Fortschritte machen, wenn man sie als Selbstzwecke, nicht bloß Mittel, ansieht, ohne nach augenblicklicher Nützlichkeit zu fragen.«

Gauß' Forderung nach einer zweckfreien Forschung in der Mathematik und den Naturwissenschaften wurde im 19. Jh. an den deutschen Universitäten weitgehend verwirklicht, vor allem weil man für zweckgebundene Forschung neue Institutionen und Organisationsformen schuf. Der Satz von Gauß, daß die Theorie die Anwendung nach sich zieht wie der Magnet das Eisen, hat sich in unserem Jahrhundert besonders erschreckend am Beispiel der Entdeckung der Uranspaltung bewahrheitet. Erst in unserer Zeit ist das unsere Existenz bedrohende Ausmaß möglicher Anwendungen naturwissenschaftlicher Erkenntnis deutlich geworden. Wir müssen uns deshalb heute erneut mit der Möglichkeit und dem Sinn einer von Gauß geforderten zweckfreien Forschung beschäftigen.



Alexander Freiherr von Humboldt. Nach einem Kupferstich von J. J. Freidhof, Berlin, 1808.

Technik in der Sicht der exakten Naturwissenschaften am Beispiel von Archimedes, Christiaan Huygens und Carl Friedrich Gauß

Peter Zoller

John von Neumann, der Begründer der Software-Industrie

Vom Abakus bis John von Neumann

Den westlichen Chinabesucher befremdet es, in den Kaufhäusern anstatt der gewohnten Abrechnungskassen sogenannte Rechenbretter, im Chinesischen suanpan oder auch chu pan genannt, vorzufinden (Abb. 1). Auch in Hongkong, dem »westlichen Tor Chinas«, sind in zahlreichen Geschäften diese Rechenbretter gebräuchlicher als die auch bei uns immer mehr in Erscheinung tretenden Computerkassen. Der seit 1100 v. Chr. in Ostasien verbreitete suanpan geht zurück auf die von den Indern und Chinesen 2000 v. Chr. entwickelte Rechentechnik. Auch in Europa ist das Rechenbrett seit ca. 400 v. Chr. bei den Griechen und 300 Jahre später auch bei den Römern unter dem Namen Abakus bekannt (Abb. 2). Noch heute wird der Abakus nicht nur in China, sondern auch in Japan (Soroban) und Rußland (Stschoty) viel verwendet.

Der Tübinger Professor Wilhelm Schickard fand um 1623 als erster das Konstruktionsprinzip Zifferrad und Zehnerübertragung. Nachdem Blaise Pascal (1645) eine Maschine für die 8stellige Addition und Subtraktion konstruierte, gelang es G. W. Freiherr v. Leibniz eine »4-Spezies-Rechenmaschine« zu entwerfen (Abb. 3). Auf Grund der ungenügenden feinmechanischen Techniken konnte sie aber nicht vollendet werden. Erst P. M. Hahn (1778) konstruierte die erste in Serien nachgebaute, funktionsfähige 4-Spezies-Rechenmaschine (Abb. 4). Gegenüber der Rechentechnik erfolgte die Entwicklung der Datenträger erst ab 1801, als Joseph-Maria Jacquard Falcons Idee übernahm, einen Webstuhl mittels eines Lochbandprogrammes zu steuern. Die im Jahre 1890 stattfindende 11. amerikanische Volkszählung wurde mittels der von Hermann Hollerith entworfenen »Zählblättchen« einheitlichen Formates durchgeführt (Abb. 5). Hollerith gilt seither als der Erfinder der Lochkarte, die insbesondere als Datenträger für statistische und kaufmännische Zwecke Verwendung fand.

Auf dem Gebiet des Rechenautomaten gilt Charles Babbage als

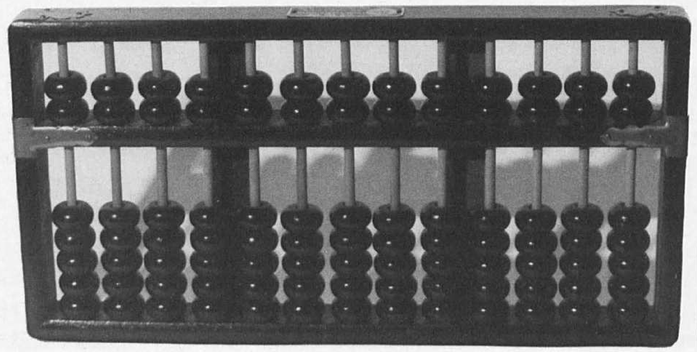


Bild 1. Chinesischer Abakus (suanpan) 1979

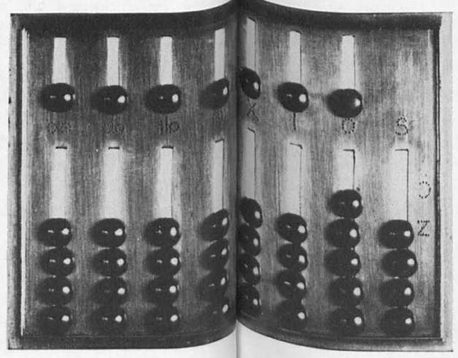


Bild 2. Römischer Abakus (Nachbildung des Originals im Museo Kircheriano in Rom)

John von Neumann (1903–1957)

»geistiger Vater aller späteren Rechengeräte«. Er baute für die Berechnung mathematischer Tabellen (z. B. Logarithmen) eine »difference engine« und entwarf 1834 die »analytical engine« (Abb. 6), die dem Aufbau heutiger Rechenanlagen entspricht. Sie bestand aus einem

Rechenwerk mit dezimalen Zählern,

Leitwerk zur Steuerung des Weiterrechnens in Abhängigkeit vom jeweiligen Rechenergebnis,

Speicher für tausend 50stellige Zahlen,

Eingabewerk und Druckwerk.

Über das Eingabewerk sollte die Maschine, ähnlich dem Jacquard-Webstuhl, mit einem Lochbandprogramm gesteuert werden. Die technische Realisierung einer derart komplizierten Maschine scheiterte an den vorhandenen technischen Geräten.

Auch das von Turing 1936 vorgeschlagene Konzept der Turingmaschine setzte sich in der Praxis nicht durch. 1941 baute Zuse die »erste programmgesteuerte Rechenanlage der Welt«, genannt Z3 (Abb. 7). Wie auch der von Ekkert und Mauchly in Röhrentechnik entworfene Großrechner ENIAC (»Electronic Numerical Integrator And Computer«, 1946, Abb. 8) sah er eine Lochbandsteuerung vor. Im Gegensatz zum ENIAC, der noch ein dezimales Rechenwerk besaß, arbeitete die von Zuse entworfene Z3 schon auf dem Dualsystem. Aber erst John von Neumann brachte mit seinem Entwurf der »Princeton-Maschine« (1945–48) den vollständigen Durchbruch zur universellen Rechenmaschine.

John von Neumann, 1903 in Budapest geboren, studierte an der E. T. H. Zürich Physik und Chemie. Nach einem Studienaufenthalt in Göttingen (Logik), habilitierte er 1928 an der Universität Berlin. Es folgten Vorlesungen an den Universitäten Berlin und Princeton (USA). Von John v. Neumann erschienen Veröffentlichungen auf fast allen Gebieten der modernen Mathematik und ihrer Anwendung.

Die zugrundeliegende Idee zur Verbesserung der ENIAC [10] (1945) war ein aus den vier Einheiten Rechenwerk, Steuerwerk, Speicher und E/A-Werk bestehender Rechner, bei dem der Speicher sowohl die Daten als auch die Programme aufnahm. »Da ein Befehl, wie oben erwähnt, gewöhnlich physikalisch dasselbe wie eine Zahl ist, wird man ihn naturgemäß während des Ablaufs der Aufgabe, an dessen Steuerung er beteiligt ist, in einer Speicherzelle abspeichern, so daß jeder Befehl im

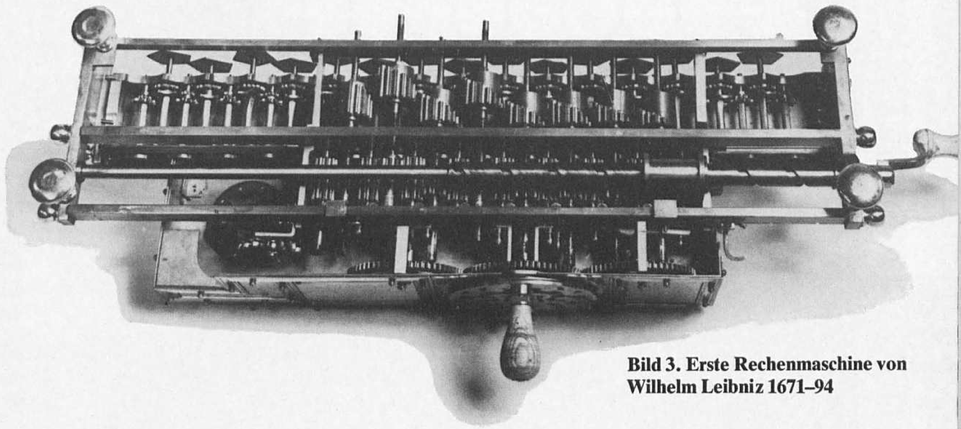


Bild 3. Erste Rechenmaschine von Wilhelm Leibniz 1671–94

Bild 4. Zwölfstellige Hahnsche Rechenmaschine 1789–92 von Schuster

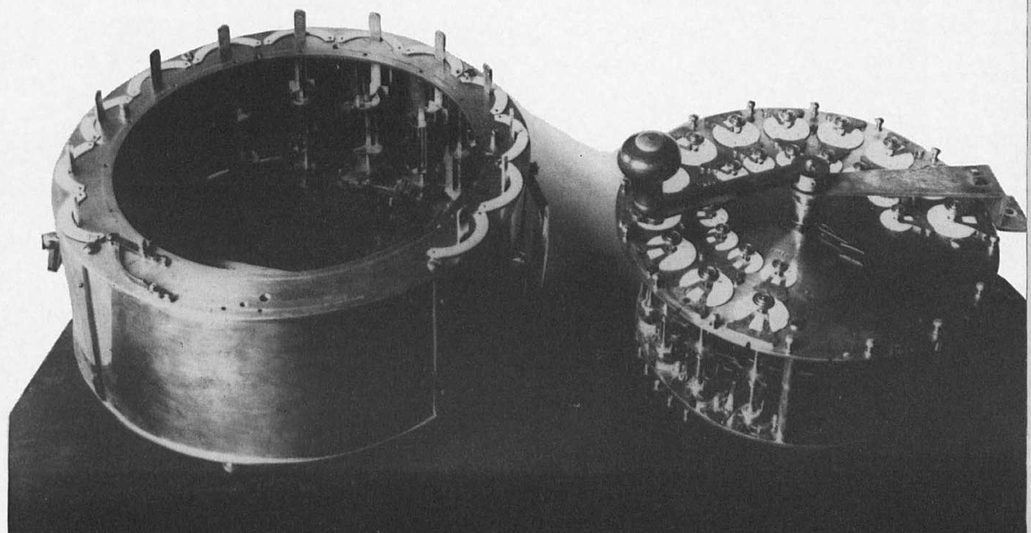
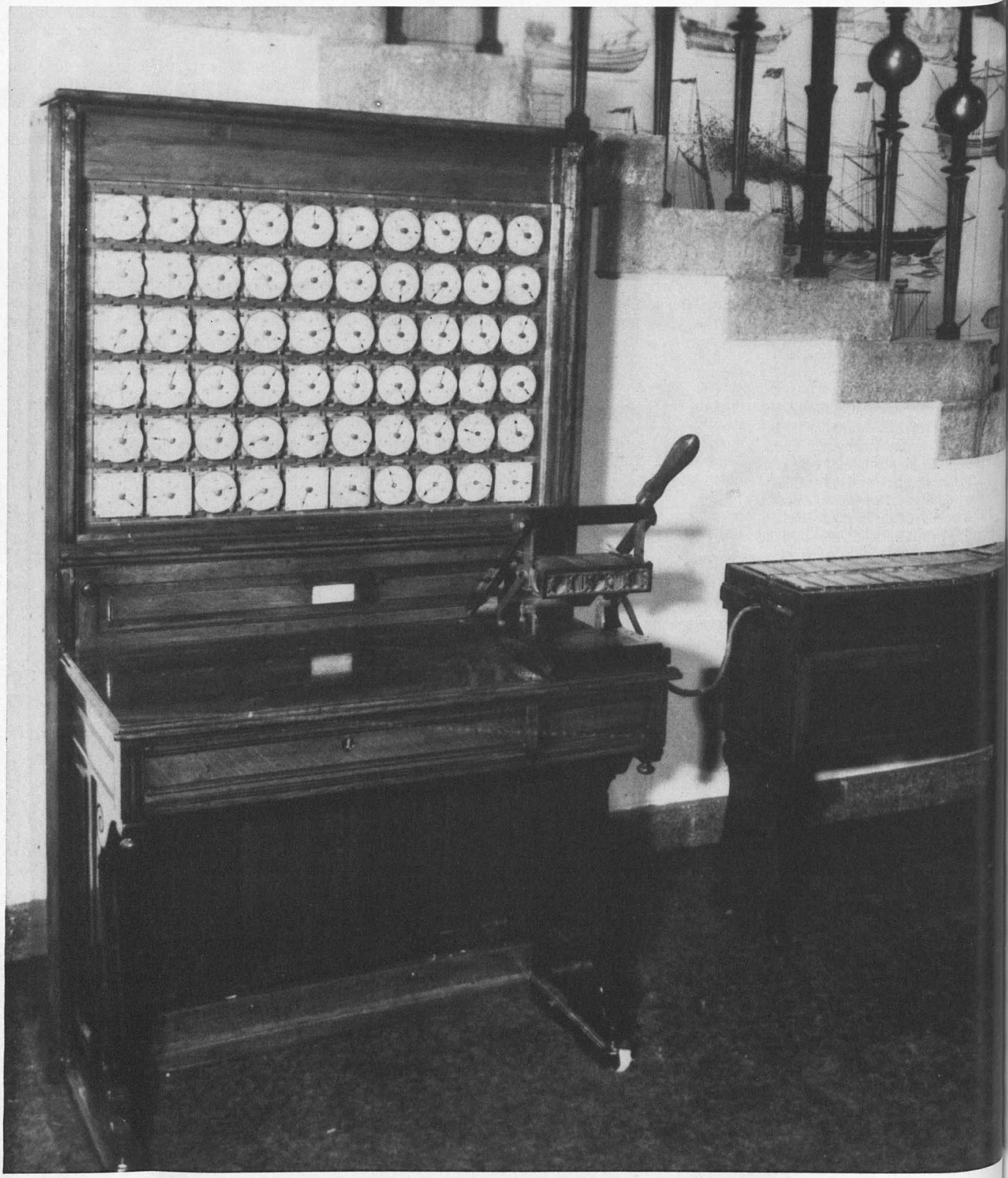


Bild 5. Hollerith-Tabelliermaschine bzw. Zählschrank um 1890



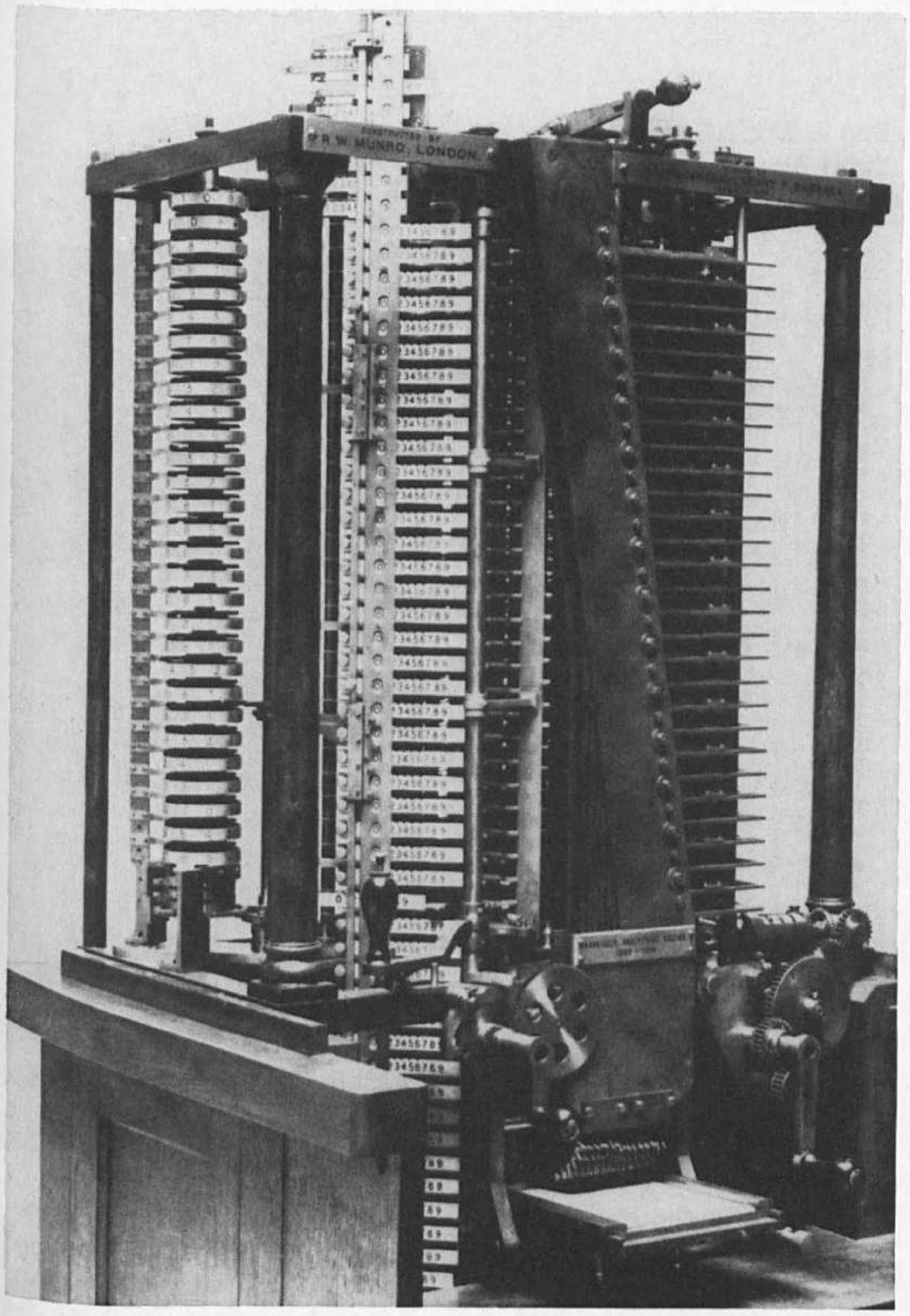


Bild 6. Ch. Babbages »analytical engine«, entworfen 1833, abgebrochen 1871, von dessen Sohn H. P. Babbage weitergebaut 1880–1910. Additions- und Druckwerk

Speicher in einer bestimmten Speicherzelle mit einer bestimmten Adresse gespeichert ist. ... Befehle sind abstrakte, im Speicher gespeicherte Größen. Daher ist der Inhalt eines bestimmten Speicherabschnittes Ausdruck des zu lösenden Problems. Aus diesem Grunde wird diese Steuerungsart gespeicherte Steuerung genannt« [12] . Universalrechner, die nach diesem Konzept aufgebaut sind, nennt man seither Von-Neumann-Rechner oder auch Princeton-Rechner.

Die von Maurice Wilkens übernommenen Gedanken von Neumann fanden ihren Niederschlag in der EDSAC (Abb. 9), die als erste Anlage solcher Art, noch vor der nach John von Neumanns Plänen entworfenen EDVAC, im Mai 1949 in Betrieb genommen wurde.

Der Vorschlag, Programme im Arbeitsspeicher abzuspeichern, machte John von Neumann zum »Begründer der Software-Industrie«. Als erster in den USA plante er auch die Verwendung des Binärcode-Systems. In Gebrauch war das Dualsystem jedoch schon früher (→ Z3); sogar dem chinesischen Kaiser Fohi (2600 v. Chr.) wird eine Dual-Notierung zugeschrieben. Auch die schon längst bekannte Unterprogrammtechnik nahm, durch die jetzt abgespeicherten Sprungbefehle mit den dazugehörigen Sprungadressen, an Bedeutung zu. Es konnten nun nicht nur diese Sprungadressen verändert werden (»Konzept der veränderlichen Variablen«), sondern die ebenfalls in Binärform vorliegenden Befehle. Es begann die Entwicklung der Übersetzer und damit der Aufbau verschiedener Sprachebenen von der Maschinensprache über den Assembler bis zur höheren Programmiersprache. Eine weitere Verfeinerung fand die Programmiertechnik durch den Aufbau von »abstrakten Maschinen« durch die von Wilkes 1951 entwikkelten Mikrobefehle. Schon Mauchly und John von Neumann schlugen ähnliche Methoden vor, technische Realisierungen softwaremäßig zu realisieren.

Bild 7. Z 3 Relaisrechner von K. Zuse 1941

Bild 8. ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 1946

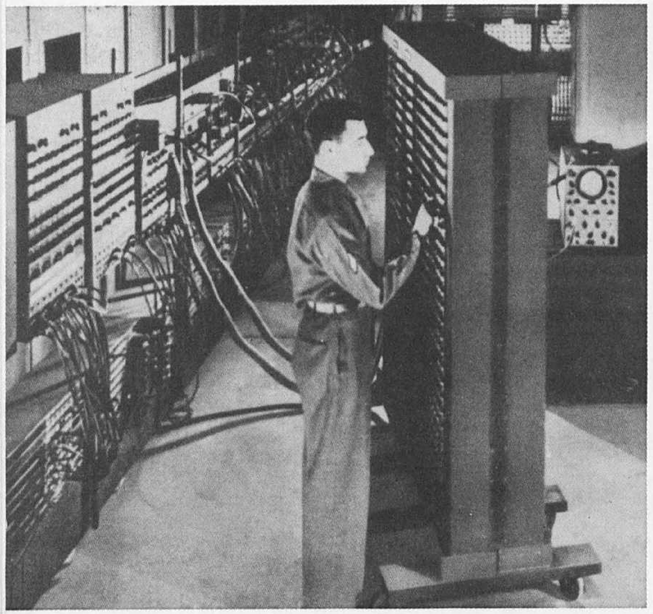
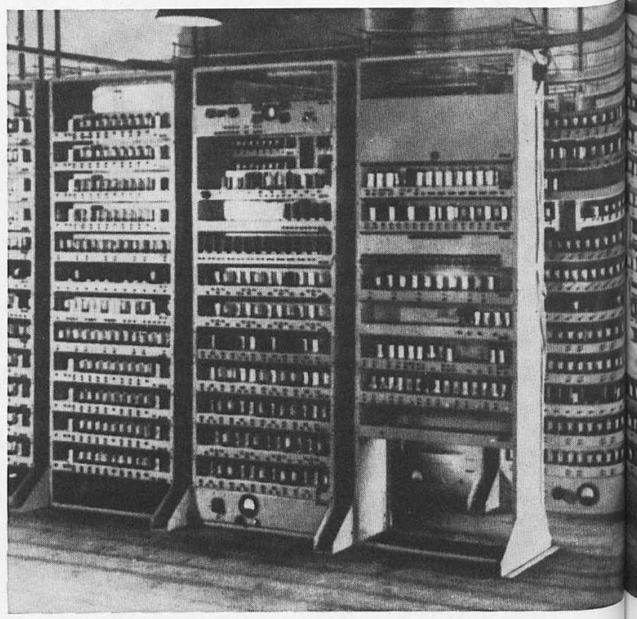


Bild 9. EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer) 1949



Eines der auch heute noch auftretenden Probleme war der große Geschwindigkeitsunterschied von CPU (central processing unit) und Speicher. John von Neumann schlug eine Speicherhierarchie vom schnellen Register über Magnetkernspeicher bis zum langsamen externen Speicher vor. Der langsame Externspeicher sollte zum Auslagern von Informationen und Programmen dienen. Durch diese Speicherhierarchie wurde die Geschwindigkeit der langsamen E/A-Geräte der schnellen CPU angepaßt. Als schnellen Arbeitsspeicher plante von Neumann beim schnellen »Whirlwind« den ersten Magnetkernspeicher.
John von Neumann zählt dank seiner Arbeiten auf dem Gebiet der Informatik zu den »Pionieren des Computerzeitalters«. Das von ihm entwickelte »Princeton-Prinzip« hat sich bis in die heutige Computertechnologie behaupten können. Während beim Bau der Maschinen der 1. Generation (ENIAC, EDSAC) nur an die Text- und numerische Datenverarbeitung gedacht wurde, gibt es in den letzten Jahren Bestrebungen, auch Bilder (Abb. 10) und Texte sprachlicher Form durch den Computer verarbeiten zu lassen. Auch auf dem Gebiet der Rechnerarchitekturen haben sich einige Änderungen ergeben. Die Von-Neumann-Maschine zählt aber auch heute noch zu den Vorbildern der modernen Rechneranlagen. Mit der Von-Neumann-Maschine beginnt das Computerzeitalter [Paul].

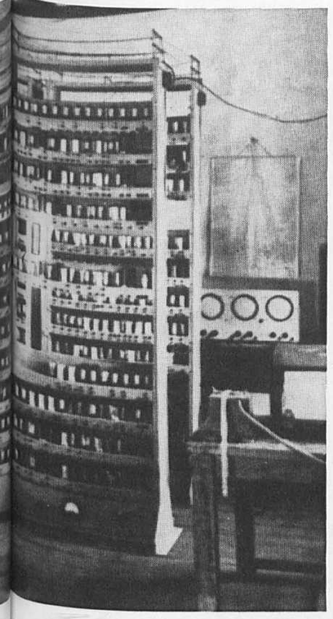
John-von-Neumann-Architektur

Die von Neumann in den vierziger Jahren vorgeschlagene Rechnerarchitektur ist, als klassischer Aufbau einer Rechenanlage, auch in den heutigen Rechnern wieder zu erkennen. Alle Von-Neumann-Rechner sind sogenannte Einprozessor-Systeme, die sich zusammensetzen aus einer zentralen Recheneinheit, genannt CPU (central processing unit), einem Arbeitsspeicher und einer Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten. Abbildung 11 zeigt auf der linken Seite die CPU, bestehend aus einem Steuerwerk und einem Rechenwerk, sowie rechts den Haupt- oder auch Arbeitsspeicher. Dazwischen liegt die, von Backus als Von-Neumannscher-Flaschenhals bezeichnete Verbindung dieser beiden Teile.

Zum Zwecke der Abspeicherung von Daten und Programmen sowie zur Kommunikation zwischen Mensch und Maschine wird zusätzlich ein Ein-/Ausgabewerk mit den entsprechenden peripheren Geräten benötigt. Spezielle, der Ein-/Ausgabe zugeordnete Prozessoren werden bei der Anzahl der zur Verfügung stehenden verarbeitenden Elemente nicht gezählt. Erst bei der Vervielfachung der CPU des zentralen Rechners findet der Übergang vom Monoprozessorsystem zu einer Mehrrechnerarchitektur statt. Dieses aus mehreren Prozessoren bestehende System, ob unter zentraler oder verteilter Kontrolle, zählt ebensowenig zu den sogenannten Von-Neumann-Rechnern wie die Pipelinerechner oder Array-Prozessoren.
Da bei einem Von-Neumann-Rechner die vier wichtigsten Komponenten
Steuerwerk
Rechenwerk
Arbeitsspeicher und
Ein-/Ausgabe
nur in einfachster Ausfertigung vorliegen, spricht Giloi auch von einer »Architektur des minimalen Hardware-Aufwandes« [6]. Im Gegensatz dazu werden bei heutigen Architekturen durch die Vervielfachung der einzelnen Komponenten fehlertolerante Systeme aufgebaut. Zwangsläufig führt dies auch zu einer Erhöhung des Durchsatzes und unter Umständen auch zu einer Verringerung der Bearbeitungszeit eines Auftrages.
Die von Neumann vorgeschlagene Architektur eines Monoprozessorsystems, bestehend aus einer CPU und dem dazugehörigen Arbeitsspeicher, zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus [18]:

a) streng sequentielle Programmbearbeitung

Wie schon erwähnt, zählen Von-Neumann-Rechner zu den klassischen Typen der Einprozessor-Systeme. Vergleichbar mit einer 1-Mann-Firma geschieht die Programmbearbeitung sequentiell.
Interessiert man sich zum Beispiel für die durch eine Differentialgleichung beschriebene Verteilung der Temperatur auf einem Stück Blech, könnte durch den Einsatz eines sogenannten Array-Prozessors die iterativ berechenbare Aufgabe um ein Vielfaches schneller gelöst werden als mit einem einzigen Rechner. Es ist klar, daß mit n Prozessoren nicht mehr Aufgaben gelöst werden



können, als mit einem einzigen [13]. Man könnte aber hoffen, gewisse Aufgaben bis zu n mal schneller zu bearbeiten, was insbesondere bei in Echtzeit auszuführenden Arbeiten wie auch bei sehr umfangreichen mathematischen Berechnungen von Bedeutung sein kann. Durch die Hintereinanderschaltung mehrerer Prozessoren (Pipelining) könnte außerdem der Durchsatz wesentlich erhöht werden.
Solche Architekturen, wie Multiprozessorsysteme (Abb. 13), Pipelinerechner oder Array-Prozessoren weichen von der ursprünglichen Definition der streng sequentiellen Programmbearbeitung einer Von-Neumann-Maschine ab.

b) nicht selbstidentifizierende Speicherzelleninhalte

Alle durch eine Rechenanlage benötigten Informationen, seien es Befehle, Daten oder auch Adressen, liegen in digitaler Form vor. Zur Verarbeitung gelangen daher nur binär codierte Nachrichten. Nach John von Neumann beinhaltet der Arbeitsspeicher nicht nur Daten sondern auch Programme. Die Speicherzelleninhalte können deshalb Befehle, Daten oder auch Adressen repräsentieren. In einer Von-Neumann-Maschine ist nur auf Grund des Zustandes und der Art des Befehls ersichtlich, welche Information sich in einer binär abgespeicherten Nachricht verbirgt. In davon abweichenden Rechnerarchitekturen können zur Identifizierung von Objekten u. U. noch weitere Informationstypen auftreten, wie z. B. tags, Deskriptoren oder Identifikatoren [6].

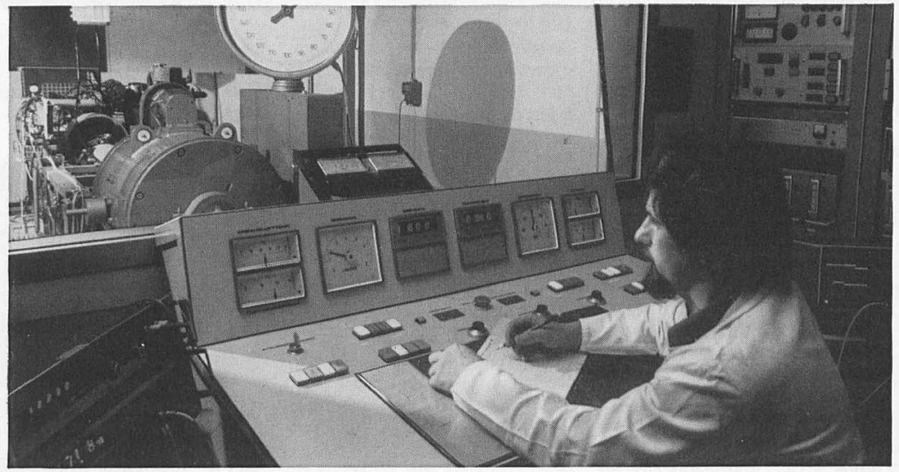
c) John-von-Neumann-Variable

Im Von-Neumann-Rechner wird eine Variable durch ein (Namen, Wert)-Paar mit Namen als Adresse und Wert als nicht selbstbeschreibenden und zustandsabhängigen Inhalt des Speicherplatzes dargestellt. Nach der ersten Zuweisung hat diese John-von-Neumann-Variable einen definierten aber auch veränderbaren Wert.
Abweichend von diesem Konzept können »eventual value«-Variable auch undefinierte Werte annehmen. Ist nach der ersten Zuordnung eines Wertes zu einem Namen keine weitere Änderung des Wertes erlaubt, wird von sogenannten »single assignment«-Variablen gesprochen. Weder die »eventual-value«- noch die »single assignment«-Variablen zählen zu den Von-Neumann-Variablen.

d) Von-Neumann-Flaschenhals

Der zwischen CPU und Hauptspeicher befindliche Kanal (Abb. 11), von Backus auch »Von-Neumann-Flaschenhals« genannt [1], zeichnet sich durch den

Unter Umständen sind Sie künftig mit Alkohol voll fahrtüchtig.



Zum Beispiel mit M15, einem Benzin-Methanol-Gemisch, das schon seit einigen Jahren als alternativer Kraftstoff erprobt wird.

Diese Versuche und Tests sind – wie wir alle wissen – notwendig, denn der Rohstoff Erdöl wird immer knapper und immer teurer. Selbstverständlich heißt das für Opel, sich an der Suche nach alternativen Kraftstoffen mit der gebotenen Intensität zu beteiligen. Das bedeutet eigene Forschung, eigene Erkenntnisse. Und bereits ab August 1981 verfügen alle neu produzierten Opel-Fahrzeuge über ein methanolbeständiges Kraftstoffsystem, da bis 1985 erste Methanol-Beimischungen in großem Umfang erwartet werden.

Wenn Sie also in der letzten Zeit mit der Idee gespielt haben, sich ein Fahrrad zu kaufen – tun Sie es, es ist eine gesunde Sache! Aber auf den Spaß am Autofahren brauchen Sie deshalb noch lange nicht zu verzichten!

Wenn Sie sich ausführlicher über das Thema „Auto und Alkohol" – sprich Methanol – informieren möchten, senden wir Ihnen gerne unsere Broschüre „Methanol – alternativer Kraftstoff für den Straßenverkehr" zu. Sie müssen nur den Coupon losschicken.

Wir geben Antwort.

ADAM OPEL
Aktiengesellschaft
Rüsselsheim

Coupon
Bitte schicken Sie mir Ihre Broschüre „Methanol".

Name

Straße

PLZ, Ort

ADAM OPEL Aktiengesellschaft
Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 1560, 6090 Rüsselsheim

ständigen Zugriff des Prozessors auf den Speicher aus, wodurch die Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht nur vom Prozessor, sondern zusätzlich auch vom Speicher bestimmt wird. Um eine Annäherung der Speicherzykluszeit an die Prozessorzykluszeit zu erreichen, werden dem Rechenwerk für die Speicherung von Zwischenergebnissen Register zur Verfügung gestellt. In neueren Architekturen überbrücken auch extrem schnelle Cachespeicher den Geschwindigkeitsunterschied von CPU und Hauptspeicher. Die Entwicklungen der Rechenanlagen zur Zeit von Neumann waren durch die hohen Kosten der Hardware geprägt. Die Rechnerarchitektur wurde deshalb unter dem Gesichstpunkt des minimalen Hardwareaufwandes entworfen. Durch den in den letzten Jahren starken Preisverfall der Hardwarebausteine und ihre immer größer werdende Integrationsdichte ist eine gegenläufige Entwicklung festzustellen. Funktionen, die bisher durch Software realisiert wurden, werden in zunehmendem Maße durch spezielle Hardwaremodule ersetzt. Es findet eine Funktionsverlagerung von der reinen Software auf die abstrakte Maschine, bestehend aus der Hardware und einer darauf aufbauenden Firmware, statt. Neben den sinkenden Kosten für die Hardwarebausteine sind die Gründe in einer Vereinfachung der Systemimplementierung, zu realisierenden Sicherungsfunktionen und patentierbarer Firmware zu suchen. Trotz der angegebenen Änderungen in der Rechnerarchitektur ist das von Neumann entworfene Konzept als Grundlage der meisten Computer erhalten geblieben.

Bild 10. Integrierte Text- und Bildverarbeitung am Beispiel eines Multimikrocomputersystems 1980 (oben)

Kritische Betrachtungen

Wachsende Datenvolumina und zunehmende Komplexität der Aufgaben führen zu Engpässen bei Kanal- und Rechnerkernbelastung. Dies, wie auch veränderte nicht nur auf arithmetisch-logischen Operationen beruhende Aufgabenstellungen führten zu neuen Architekturen. Im Gegen-

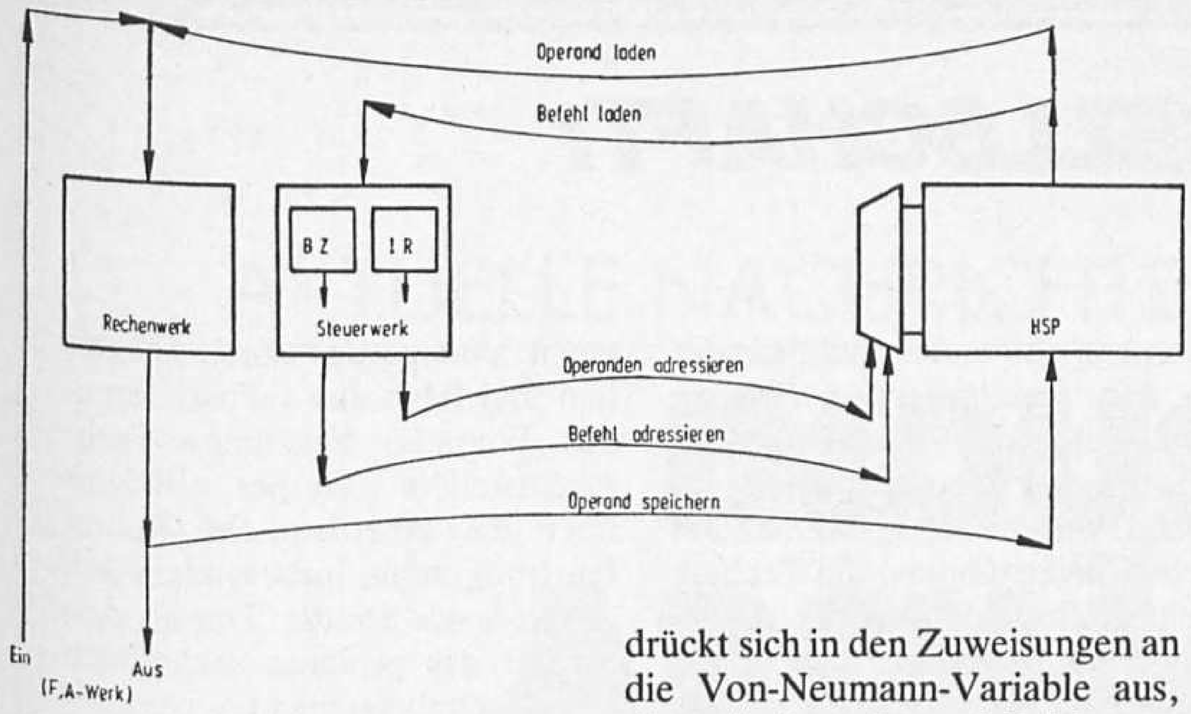


Bild 11. Von-Neumann-Architektur und Von-Neumann-Flaschenhals

satz zur EDSAC mit ca. 10000 Additionen/s und einem ca. 2000 Bytes umfassenden Speicher arbeiten heutige Rechner (z. B. 7.882, Abb. 12) mit ca. 10 Millionen Additionen/s je CPU und einem 16 MB großen Hauptspeicher. Insbesondere der durch die Zweiteilung CPU – Hauptspeicher entstehende Von-Neumann-Flaschenhals bildet einen Engpaß in heutigen Architekturen. Dieser Kanal ist gekennzeichnet durch einen ständigen Transfer von Worten (»word-at-a-time«), die benötigt werden, um Befehle und Daten sowie deren Adressen und wiederum die Adressen der Adressen... zur Verfügung zu stellen. Er begrenzt nicht nur die erreichbare Rechengeschwindigkeit, sondern hat zusätzlich noch Auswirkungen auf den gegenwärtigen Programmierstil. Dies drückt sich in den Zuweisungen an die Von-Neumann-Variable aus, die, mit Ausnahme vielleicht von APL, meist nur eine Änderung von Einzelworten nach sich ziehen. Diese wortweisen Zustandsänderungen führen zu komplexen, unübersichtlichen und schwer auf Fehlerfreiheit nachprüfbaren Programmen. »Conventional programming languages are large, complex, and inflexible. Their limited expressive power is inadequate to justify their size and cost... Conventional languages are based on the programming style of the von Neumann computer« [1]. Um dies zu vermeiden, muß die Von-Neumann-Variable abgeschafft werden; dies findet seinen Niederschlag in der von Backus vorgeschlagenen funktionalen Programmierung [1]. Um praktikable Lösungen zu entwikkeln, sind noch große Forschungsanstrengungen erforderlich [18].

Obwohl der Von-Neumann-Rechner nur Transformationen von binär gespeicherten Daten vornimmt, werden auch heute noch dem Computer menschliche Eigenschaften zugeschrieben. Ein von Weizenbaum entworfenes Sprach-Analyse-Programm (Eliza) ermöglichte es dem Rechner, die Rolle eines Psychotherapeuten zu spielen [17]. Folgender Ausschnitt zeigt die Arbeitsweise des unter dem Namen »Doctor« bekanntgewordenen Programms (die Antworten des Computers sind *groß* gedruckt):

Erzählen Sie mir mehr über Ihre Familie

Meine Mutter erledigt alles für mich.

Wer in Ihrer Familie erledigt noch alles für Sie

Mein Vater.

Ihr Vater

Sie sind ein wenig wie mein Vater.

Wie aus diesem Beispiel ersichtlich ist, stellte die Versuchsperson eine emotionale Beziehung zum Computer her. Sogar Fachleute spielten mit dem Gedanken, eine noch weiterzuentwickelnde Version des Programmes in der Psychiatrie einzusetzen. Leider gehört dieses Beispiel nicht der Vergangenheit an. Auch heute noch findet man Anzeigen für computererstellte Horoskope oder sprechender Spielcomputer, die, dank zusätzlicher Kassetten, zu den verschiedensten Themen Fragen stellen und Antworten geben können (Oktober 1980). Auch die Schachcomputer inspirieren den Benutzer, mit einem Gerät zu arbeiten, das menschliche Gedanken *verstehen* und nachvollziehen kann.

Was wir einen Computer leisten lassen können, ist im Grunde die Frage, was wir einem Computer an Wissen beibringen können [17]. Damit läßt sich zeigen, daß Computer »nicht alles können«. Um dies zu beweisen, muß eine Aufgabenstellung angegeben werden, für die sich kein »effektives Verfahren« (Algorithmus) zur Berechnung des Ergebnisses finden läßt (Satz von Turing). Als Beispiel läßt sich mit Hilfe des Diagonalverfahrens das Halteproblem für Turing-Maschinen als unlösbar zeigen. Das heißt, es ist nicht entscheidbar, ob eine universelle Maschine, angesetzt auf eine beliebige Bandinschrift, nach endlich vielen Schritten stoppt oder nicht.

»Maschinen tun nur das, wozu sie gemacht sind – und das tun sie perfekt« [17]. Dies wirft die Frage auf, ob zur Lösung *jeder* Aufgabe, zu der ein Computer beitragen könnte, dieser auch eingesetzt werden soll. Die Antwort sei dem Leser vorbehalten.

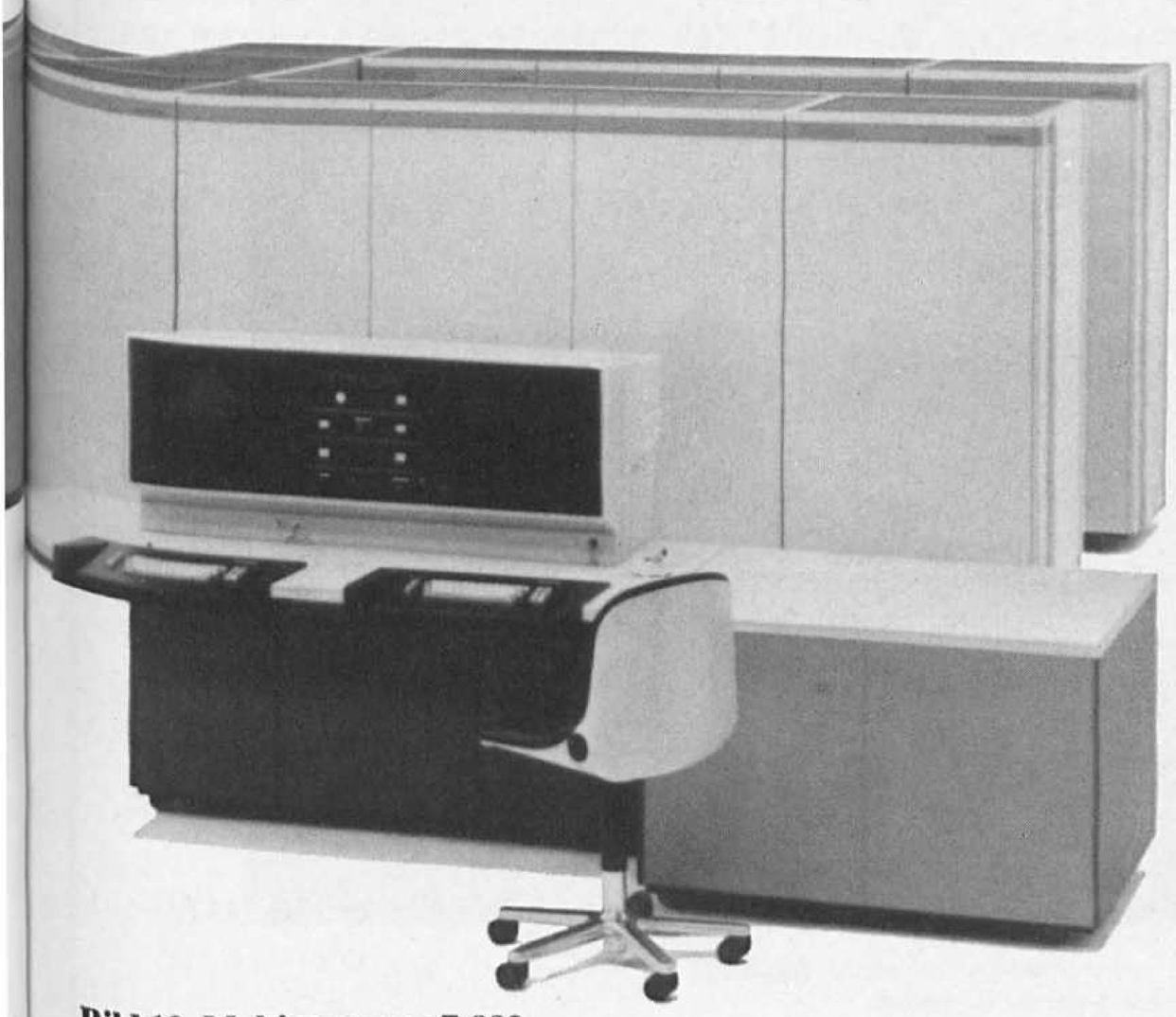


Bild 12. Multiprozessor 7.882

Literatur

[1] Backus, J.: Can Programming be Liberated from the von Neumann Style? A Functional Style and Its Algebra of Programms, CACM 21, 8, 613–641 (1978)

[2] Baur, F.: Fortschritte bei Bauelementen – Fortschritte bei Kommunikationssystemen, Siemens-Zeitschrift 54, 1, 7–11 (1980)

[3] de Beauclair, W.: Rechnen mit Maschinen, Vieweg, Braunschweig, 1968

[4] Czanderna, K. H.: Zuse – Der Weg zu seinem Computer Z3, Bericht Nr. 120, GMD Bonn, Oldenbourg Verlag, 1979

[5] Dietz, P.: CAD – Eine unternehmerische Herausforderung, CAD-Fachgespräch, GI–10. Jahrestagung, Saarbrücken, Okt. 1980, 1–10

[6] Giloi, W. K.: Rechnerarchitektur, Informatik-Spektrum 3, 1, 3–18 (1980)

[7] Haavind, R.: Data flow concepts promise new directions for computer architecture, high Technology, May 1980, 19–21

[8] Lerner, F. J.: Software: will engineering replace witchcraft? high Technology, May 1980, 68–73

[9] Mauchly, J. W.: Preparation of Problems for EDVAC-Type Machines, in: The Origins of Digital Computers, Selected Papers, von Brian Randell (ed.), Springer Verlag, Berlin, 1973, 365–369

[10] v. Neumann, J.: First Draft of a Report on the EDVAC, in: The Origins of Digital Computers, Selected Papers, von Brian Randell (ed.), Springer Verlag, Berlin 1973, 355–364

[11] v. Neumann, J.: Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument, Mitautoren: A. W. Burks, H. H. Goldstine, in: John von Neumann Collected Works, Volume V, Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis, von A. H. Taub (ed.), Pergamon Press, Oxford, 1963, 34–79

[12] v. Neumann, J.: Die Rechenmaschine und das Gehirn, Oldenbourg Verlag, München, 1970

[13] Paul, W.: Effizienz paralleler Rechner, Mitautor: Z. Galil, GI-10. Jahrestagung, Saarbrücken, Okt. 1980, 54–64

[14] Randell, B.: Stored Program Electronic Computers, in: The Origins of Digital Computers, Selected Papers, von Brian Randell (ed.), Springer Verlag, Berlin, 1973, 349–354

[15] Richter, L.: Vertikale Migration, in: Hardware für Software, Tagung III/1980 des German Chapter of the ACM, Konstanz, Okt. 1980, 9–28

[16] Schnupp, P.: Revolution in der Programmierung, Computer Magazin 8, 2, 35–37 (1979)

[17] Weizenbaum, J.: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, Suhrkamp, Frankfurt a. Main, 1978

[18] Zoller, P.: Von Neumann – Architektur.

GEORG-AGRICOLA-GESELLSCHAFT:

WISSENSCHAFT UND TECHNIK: TEIL DER MENSCHHEITSKULTUR

Jahrestagung der Georg-Agricola-Gesellschaft in Mannheim

Schon zwei Jahre zuvor hatte die Gesellschaft ihre Jahrestagung in Baden-Württemberg durchgeführt: Als Fördervereinigung für die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik knüpft die Gesellschaft die größten Hoffnungen an die Gründung des geplanten »Landesmuseums für Technik und Arbeit«. Sie hat deshalb 1979 ihre Mitglieder und Freunde nach Stuttgart zusammengerufen und jetzt nach Mannheim, nachdem feststeht, daß die Rhein-Neckar-Metropole Sitz der neuen Forschungs- und Volksbildungseinrichtung sein wird. Von der Mobilisierung der Experten, so glaubt die Gesellschaft, werden Impulse ausgehen, die sich positiv auswirken auf den vorgesehenen zügigen Aufbau. Tatsächlich hängt der Fortschritt des Projektes, diese Erfahrung kann man allenthalben in unserer demokratischen Gesellschaft machen, von der fortwährenden Unterstützung durch die Öffentlichkeit ab: In einer Zeit rigoroser Sparmaßnahmen ist noch viel Aufklärungsarbeit zu leisten, um den Menschen verständlich zu machen, warum die 100 Millionen für den Bau wirklich notwendig sind. Im Gespräch sind immerhin 120 neue Stellen, davon 20 Wissenschaftler, für den nächsten Doppelhaushalt des Landes.

Im Mannheimer Reis-Museum versicherte der Staatssekretär im Ministerium für Wissenschaft und Kunst, Norbert Schneider, daß sich das Land »auch in der Zeit der Finanzkrise als Kulturstaat« verstehe. In der Pause sah man den Staatssekretär im angeregten Gespräch mit dem Vorsitzenden der Gesellschaft, Prof. Dr. Wilhelm Dettmering, seinem tags zuvor gewählten Stellvertreter Theo Stillger, dem Generaldirektor des Deutschen Museums, und dem Vorsitzenden des Wissenschaftlichen Beirats Prof. Dr. Armin Hermann. So wurde sichtlich der in der Gesellschaft vertretene Sachverstand für das ehrgeizige Mannheimer Projekt aktiviert. Im neuen Museum soll, darüber besteht Einverständnis, die Technik nicht isoliert als Technik dargestellt werden, sondern es sollen die Auswirkungen auf die Gesellschaft, positive wie negative, einbezogen werden.

Die Jahrestagung stand unter dem Leitmotiv: »Wissenschaft und Technik – Teil der Menschheitskultur«. Es ging darum, die Fortschritte von Naturwissenschaften und Technik im Zusammenhang mit der allgemeinen kulturell-geistigen Entwicklung zu sehen. Der Physiker Prof. Dr. Wolfgang Weidlich stellte dabei eine neue Forschungsrichtung vor, die von Stuttgarter Physikern (insbesondere von Hermann Haken) begründet und entwickelt worden ist, die »Lehre vom Zusammenwirken« oder »Synergetik«. Wie Weidlich betonte, sei »die Tragweite dieser Begriffsbildung groß genug, um sogar ein neues Strukturverständnis vieler sozio-politischer Phänomene zu ermöglichen«.

Nach guter Tradition der Georg-Agricola-Gesellschaft hielt neben dem Physiker ein Geisteswissenschaftler einen Hauptvortrag. Der Historiker Prof. Dr. Hans Martin Klinkenberg (Aachen) lieferte eine Bestandsaufnahme über die Methoden, die Aufschluß geben über die technisch-wissenschaftlichen Kenntnisse des Mittelalters. Kurz nach dem Referat erlitt der hochrenommierte Gelehrte, als er – im Zustand großer Erschöpfung – an der frischen Luft Erholung suchte, einen Schwächeanfall. Nach einigen Tagen im Krankenhaus konnte er glücklicherweise wieder nach Hause entlassen werden. – Beide Vorträge werden in der »silbergrauen Reihe« der Georg-Agricola-Gesellschaft als Heft 8/1982 erscheinen; das Heft kann über die Geschäftsstelle bezogen werden. (4300 Essen, Postfach 230343, Tel. 02 01/1 05 94 69.)

Die wie üblich am Tag vor der Vortragsveranstaltung abgehaltene Mitgliederversammlung brachte neben den Vereinsregularien einen Vortrag des durch Fernsehen und Bestseller (»Faszinierendes Weltall«) bekannten Fachschriftstellers Werner Büdeler über das amerikanische Raumfahrtprogramm, insbesondere den neuen Space Shuttle. Der als Autor für das geplante »Schulbuch über Technikgeschichte« vorgesehene Privatdozent Dr. Hans-W. Niemann trug ein Kapitel vor, was ebenso zu lebhafter Diskussion Anlaß gab wie zuvor Büdelers Referat.

Der Schatzmeister Dr. Friedrich Wilhelm Lehmann berichtete über die im Vorjahr geförderten Projekte. Dazu gehört die Erschließung des Nachlasses von Prof. Dr. Hans Schimank (Hamburg), der jahrzehntelang einer der großen Schrittmacher der Wissenschafts- und Technikgeschichte gewesen war, und dazu gehört eine von Prof. Dr. Fritz Krafft (Mainz) erarbeitete Broschüre, die einen ausführlichen Überblick gibt über die Lage der Naturwissenschafts- und Technikgeschichte in der Bundesrepublik. (Die Schrift kann zu einem Preis von DM 10,– über die Geschäftsstelle bezogen werden.)

Der Vorsitzende Prof. Dettmering und der Schatzmeister Dr. Lehmann richten einen dringenden Appell an die Versammlung: Wenn die Gesellschaft weiterhin ihre satzungsmäßigen Aufgaben erfüllen will, braucht sie neue Mitglieder und weitere Spenden von Freunden.

GAG

GEORG-AGRICOLA-GESELLSCHAFT

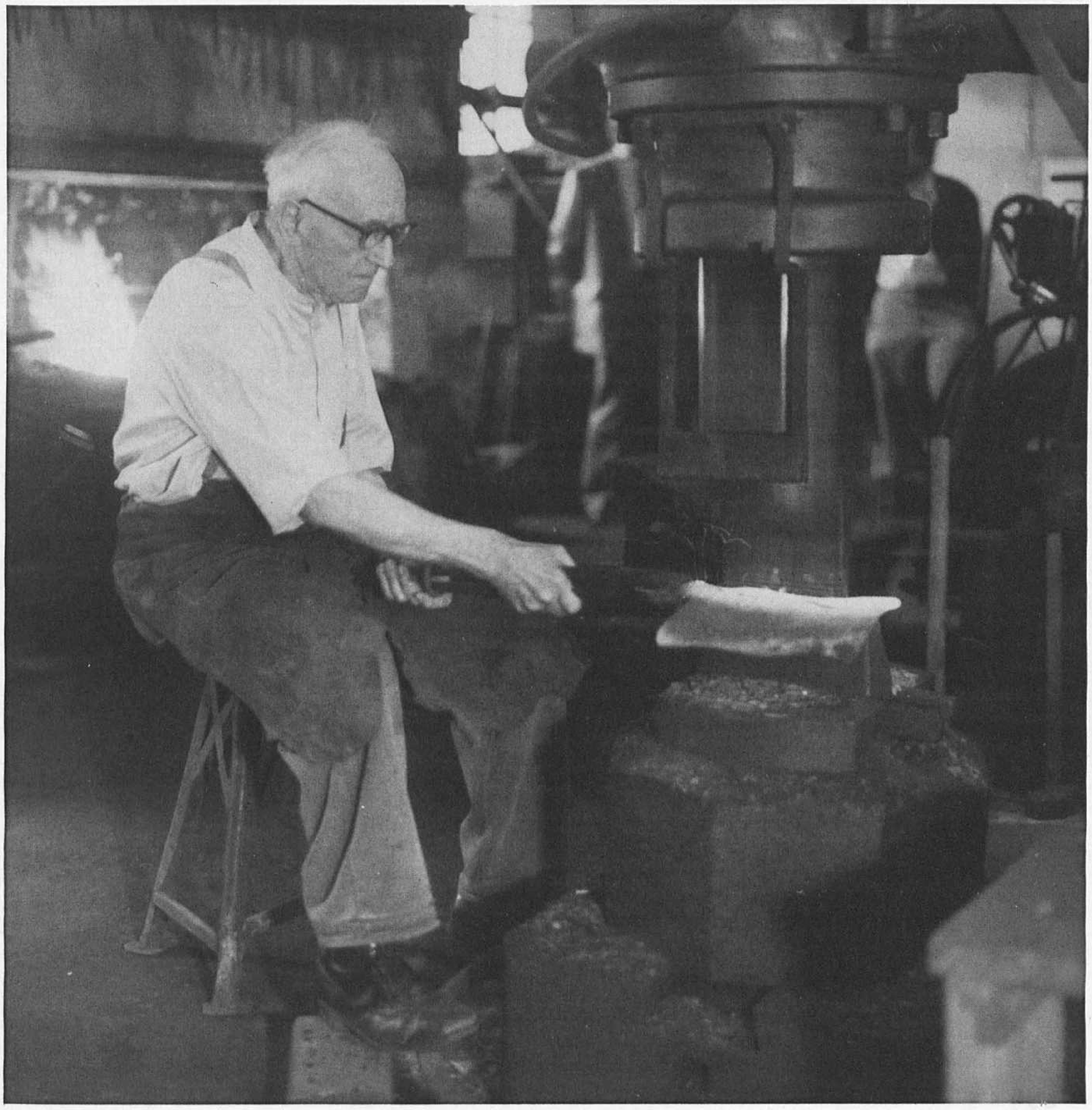
zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik.

Geschäftsstelle
Postfach 23 03 43,
4300 Essen,
Telefon (02 01) 1 05-94 69

AKTUELLE NACHRICHTEN UND BERICHTE 1/1982

INDUSTRIE-ARCHÄOLOGIE

VEREIN ZUR FÖRDERUNG DER INDUSTRIE-ARCHÄOLOGIE

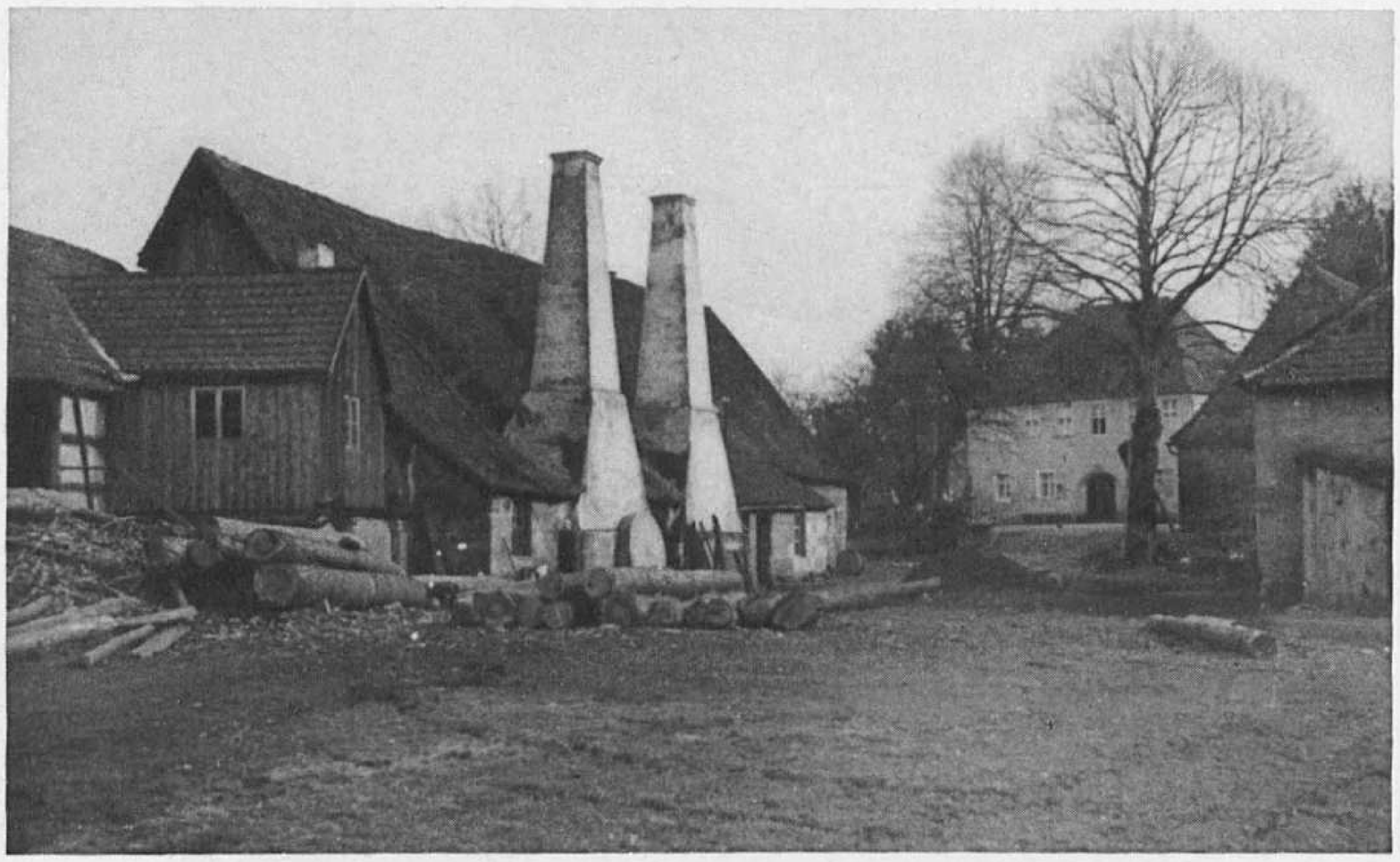


Der 82jährige Hammerschmiedemeister Fritz Schäff im Hammerwerk Eckersmühlen bei der Arbeit am Lufthammer (Foto Gerhard Weiß)

JÜRGEN FRANZKE

DER SCHÄFF-EISENHAMMER IN ECKERSMÜHLEN

In Eckersmühlen bei Roth hat sich eines der wenigen Hammerwerke erhalten. Seine besondere Bedeutung ist darin zu sehen, daß sich die Entwicklung dieses Werks seit der Gründung 1686 bis zur Stillegung 1974 lückenlos verfolgen läßt: Es ist Beispiel für Aufstieg und Niedergang eines Hammerwerks als Folge der fortschreitenden Industrialisierung.



Rückansicht des Hammerwerks Schäff in Eckersmühlen bei Roth um 1910. Die Schornsteine der beiden Essen stammen aus dem Jahr 1864. Ganz vorne links das Sägewerk, im Hintergrund das Herrenhaus (Aufnahme Archiv F. Schäff).

Etwa 30 km südlich von Nürnberg, nahe der Stadt Roth, liegt die fränkische Ortschaft Eckersmühlen. Zirka 500 m vor den ersten Häusern dieses Ortes zweigt ein schmaler Weg nach links von der Straße ab, er führt in einer Biegung hinunter zum Fluß Roth. Dort liegt, den Blicken von der Straße entzogen durch ein engstehendes Waldstück schmaler hoher Sandkiefern, das Schäffsche Hammerwerk. Es ist eine kleine Entdeckungsreise, an deren Ende sich ein industriegeschichtliches Kleinod besonderer Art findet: ein vollständig erhaltener und betriebener Eisenhammer aus einer Epoche der industriellen Entwicklung, die wir längst der Geschichte anrechnen.

Die Hammereinöde besteht aus drei großen Gebäuden. Wo sich der Weg öffnet, liegt rechts das große Hammermeister-Herrenhaus, das eigentliche Wohnhaus der Familie Schäff. Links das große L-förmige Stallgebäude, wo heute ein Reitstall untergebracht ist. Geradezu über den Hof, unten am Fluß, liegt das niedrige, langgestreckte Hammerwerksgebäude.

Besitzer und Hammerschmiedemeister ist der bald 81jährige Fritz Schäff, dessen Familie bereits in der fünften Generation hier ansässig ist. Ein großgewachsener Mann, weißes, schütteres Haar, freundliche Augen; er lächelt, wenn er die breite, dennoch leichte Hand zur Begrüßung reicht.

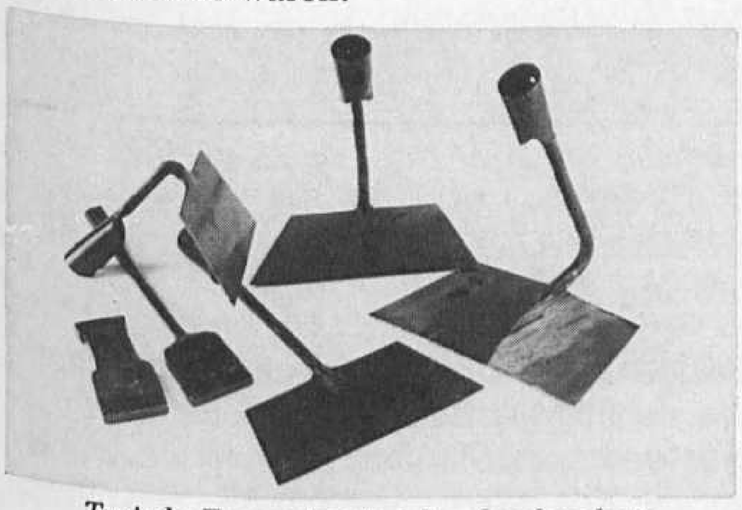
Den interessierten Besucher führt er hinunter zum Hammerwerk. Zuerst das Wehr, an dem die Regulierung des Wasserstandes erfolgt. Linksseitig liegt der Turbineneinlauf, normalerweise läuft die vordere der beiden Turbinen ständig; sie dient zur Erzeugung von Strom, der an die Elektrizitätswerke verkauft wird; sie treibt auch die Transmission im Hammerwerk, welche über ein Vorgelege die einzelnen Lufthämmer, fünf an der Zahl, antreibt. Bei höherem Kraftbedarf kann die zweite Turbine zugeschaltet werden.

Fritz Schäff führt die Kunst des Hammerschmiedens vor. Aus der Esse nimmt er ein kleines, hellrot glühendes Eisenstück von et-

DIE SCHÄFFSCHEN HAMMERWERKE – EINST ÜBER ZWANZIG IN FAMILIENBESITZ

wa 5×10 cm Größe. Man beobachtet fasziniert, wie unter den wuchtigen Schlägen des Hammers, dessen Schlagkraft mittels eines großen Eisenringes mit dem Fuß gesteuert wird, eine Schaufel entsteht. Zuerst wird der Stiel »gezogen«, dessen Ende ein wenig breiter geschlagen wird, um die Fassung für den hölzernen Schaufelstiel zu bilden. Am nahe stehenden Amboß wird hierzu die Rundung geformt. Nun muß das mittlerweile »zu kalt« gewordene Eisenstück noch mal ins Feuer, bis es wiederum rot glüht. Anschließend wieder unter den Hammer, wo nun die breite Schaufelfläche herausgetrieben wird. Dann müssen die ausgefransten Ränder unter dem Schneidemesser abgetrennt werden, schließlich noch das Abgraten der Ränder unter dem Schleifstein und eine Oberflächenpolitur.

Für die Herstellung solcher Schaufeln, Hakken, Hauen und anderer Arbeitsgeräte wird eine Arbeitstechnik angewendet, die bereits jahrhundertealt ist. Fritz Schäff hat nicht nur diese Tradition lebendig gehalten, er hat darüber hinaus in jahrelanger Quellenarbeit die Geschichte der Schäffschen Hammerwerke erforscht und niedergeschrieben. Einst waren es über 20 Hammerwerke, die im fränkischen und schwäbischen Raum in Besitz dieser Familie waren.

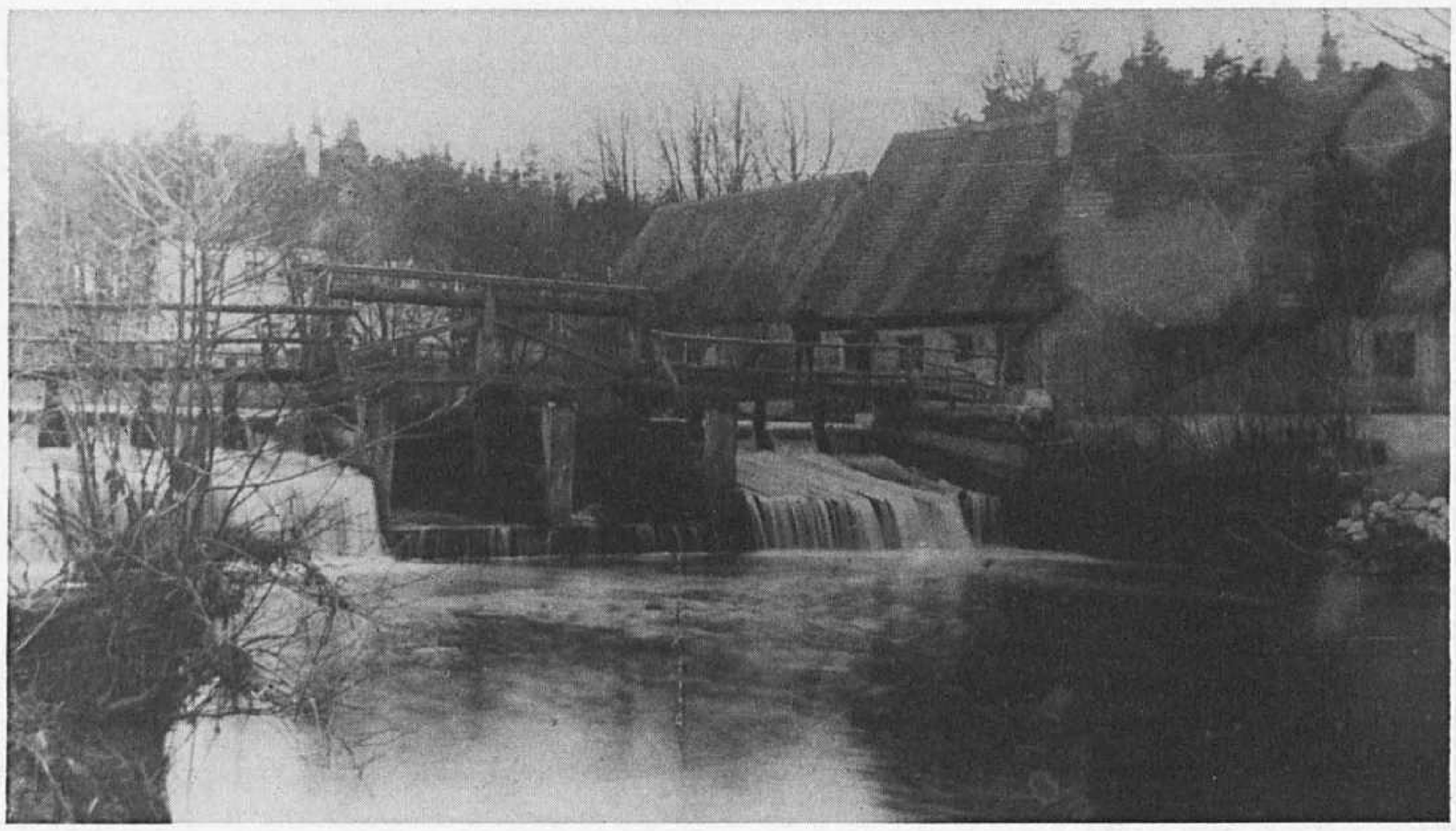


Typische Erzeugnisse sind diese handgeschmiedeten Hacken, sogenannte Fretten. Die vier unteren Werkstücke dokumentieren in der Reihenfolge von links nach rechts den Fortgang der Arbeit.

Dieses Hammerwerk in Eckersmühlen wird 1775 von Johann Michael Schäff (oder Scheef, oder Schaeff – Schreibweise der Namen variierte häufiger, es wurde nach »Gehör« geschrieben) in der ersten Generation übernommen durch Ankauf.

1464 war hier am Wasser bereits der Standort einer Ölmühle des Deutschen Ordens, 1490 lassen sich im Ort Eckersmühlen drei Hammerwerke nachweisen: ein Messinghammer im Ort, ein Eisenhammer (oberer Hammer) sowie ein Kupfer-Zinn-Hammer (unterer Hammer, der Standort des heutigen Schäff-Hammers).

1686 wird auch der untere Hammer zum Eisenhammer umgebaut. Die Betriebseinrichtung bestand, wie auf dem oberen Hammer, aus zwei durch Wasserräder getriebenen Hammerwellen, die wiederum sechs Schwanzhämmer antrieben. Hergestellt wurden landwirtschaftliche Bedarfsartikel aller Art. Am 30. Oktober 1686 wurde dieses Hammergebäude »abgehoben«, das heißt eingeweiht. Das mächtige Gebäude mit Feueressen und mächtigen Kaminen stand bis 1953, also nahezu 300 Jahre.



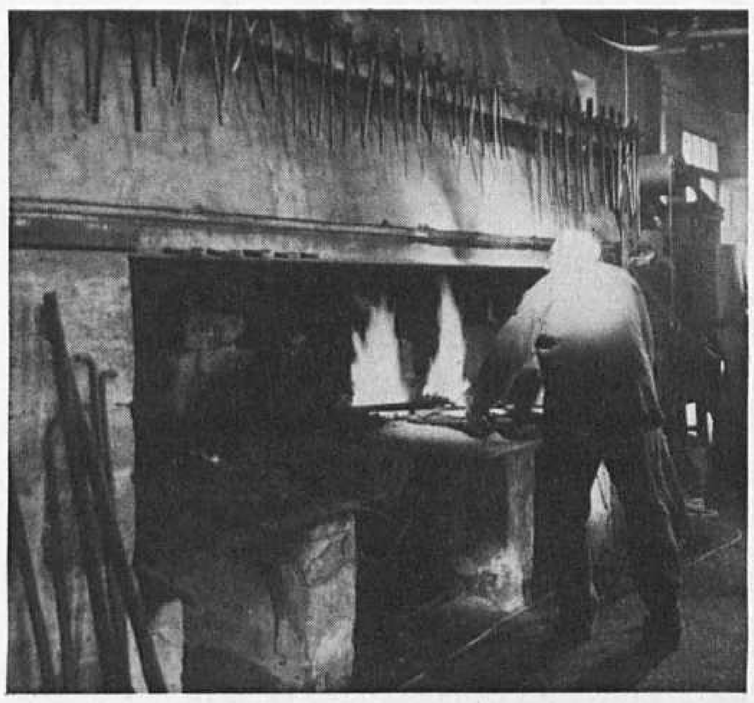
Ansicht des Hammerwerks vom Ufer der Roth um 1906. Das Wehr ist hier noch aus Holz (Aufnahme Archiv F. Schäff).

Seit der Zeit der Hammergründung und in den späteren Jahrhunderten wurde fränkisches Jura-Erz aus der Gegend von Laibstadt bei Heideck (20 km südlich von Eckersmühlen) bezogen, an Holzkohleöfen eingeschmolzen. Vor 1600 bezog man bereits Erz aus der Oberpfalz, offensichtlich weil die nahe gelegenen, kleinen Erzgruben erschöpft waren. Zusätzlich wurde immer gesammeltes, dünnes Alteisen verwendet, das heißt, vernutzte Gebrauchswerkzeuge wurden zurückgeführt und zur Neuproduktion verbraucht.

Johann Michael Schäff war der Begründer der Eckersmühlener Linie der Schäff und ihrer Abzweigungen. Unter seiner Leitung wurde der verschuldete Besitz vorangebracht, bald arbeiteten dort fünf Hammerschmiede. An den hinteren Hämmern wurden Mühlstangen, Wagenreifen, Hufstäbe und Flachmaterial für die Weiterverarbeitung am vorderen Hammer geliefert.

Am vorderen Hammer, dem sogenannten Geschirrhammer, wurden landwirtschaftliche Bedarfsartikel aller Art hergestellt: Schaufeln, Hauen, Pflugscharen, Äxte, Zimmermannsbeile, Bundäxte, Stopfmesser, Radschuhe und anderes. 1812 lieferte der Eisenhammer Schäff jährlich für 3380 Gulden neues, verarbeitetes Eisen an das Inland. Schäff hatte nach und nach Grund erworben, so daß auch Landwirtschaft betrieben werden konnte. Als Johann Michael Schäff I 1820 im Alter von 70 Jahren stirbt, führt sein Sohn, Johann Michael Schäff II den Hammer weiter.

Fritz Schäff schreibt über seinen Vorfahren: *»Bei der Übernahme des Besitzes von 45 Jahren (1775) war dieser Schäff I fast ohne Grundstücke, mit 2000 Gulden Schulden belastet. Nur war er neben einem gut gehenden*



An der Esse verbinden sich jahrhundertealte Handwerkskunst und harte Arbeit.

Eisenhammer mit Walkmühle und Säge auf einen Grundbesitz von etwa 50 Tagwerk (etwa 27 ha) gekommen mit einem Wert von 10 000 Gulden, abzüglich 4000 Gulden Zahlungsverpflichtungen.

Bei günstigen äußeren Verhältnissen beruhte sein einmaliger Erfolg ganz allein auf seinem hervorragenden Können, gepaart mit sehr harter Voranarbeit im Hammer, täglich ab 4 Uhr früh, wie nicht nur mein Vater berichtete, gemeinsam mit einer im Haus, Stall, Feld und Garten ebenso tüchtigen und sparsamen Hausfrau, bei wenig Personal und außerordentlich einfacher Lebensweise.«

In diesen Worten wird deutlich, wodurch sich die besondere Lebensform dieser Hammer-

KONKURRENZ DER INDUSTRIE: AB 1830 ABWANDERUNG VOM HAMMERWERK

meister und ihrer Familien auszeichnete: tagtägliche harte Arbeit mit sehr frühem Arbeitsbeginn, Naturgebundenheit und einfache Lebensweise, Sparsamkeit und Geschäftssinn.

Die in den 30er und 40er Jahren des 19. Jahrhunderts einsetzende Industrialisierung ließ auch die Hammerwerksbetriebe nicht unberührt. So mußte Andreas Schäff, der den Eisenhammer besaß, durch den Bau des Ludwig-Donau-Main-Kanals am Burgberg bei Erlangen den Verlust seines Hammers befürchten. Er kaufte daher vorsorglich den Eisenhammer in Keidenzell. Als aber der Erlanger Hammer an anderer Stelle wieder aufgebaut worden war, verkaufte Andreas Schäff den Keidenzeller Hammer 1843 an Johann Michael Schäff II aus Eckersmühlen für dessen von der Wanderschaft heimgekommenen Sohn Johann Daniel für den damals hohen Preis von 7250 Gulden.

Dieser Keidenzeller Hammer ist besonders erwähnenswert, denn er ist als einer der wenigen Schwanzhämmer bis heute erhalten geblieben und weiterhin im Besitz der Familie Schäff. Er steht heute unter Denkmalschutz. Keidenzell liegt nahe bei Langenzenn im Landkreis Fürth.

Auch im Eckersmühlener Hammerwerk spürte man die Konkurrenz der Industrie. 1861 findet die erste Abwanderung von Hammerschmieden zur Maschinenfabrik Klett in Nürnberg statt! Gegen diese »Konkurrenz der Stadt« mußten Handwerksbetriebe dieser Art sich nun immer stärker zur Wehr setzen, letztlich führte dieser Prozeß – wie wir heute wissen – zur Auflösung der landwirtschaftlich-feudalen Gewerbestruktur. Es sollte allerdings noch mehr als ein Jahrhundert dauern, ehe durch die Industrialisierung der Lebensnerv des Hammerwerks zerschnitten wurde.

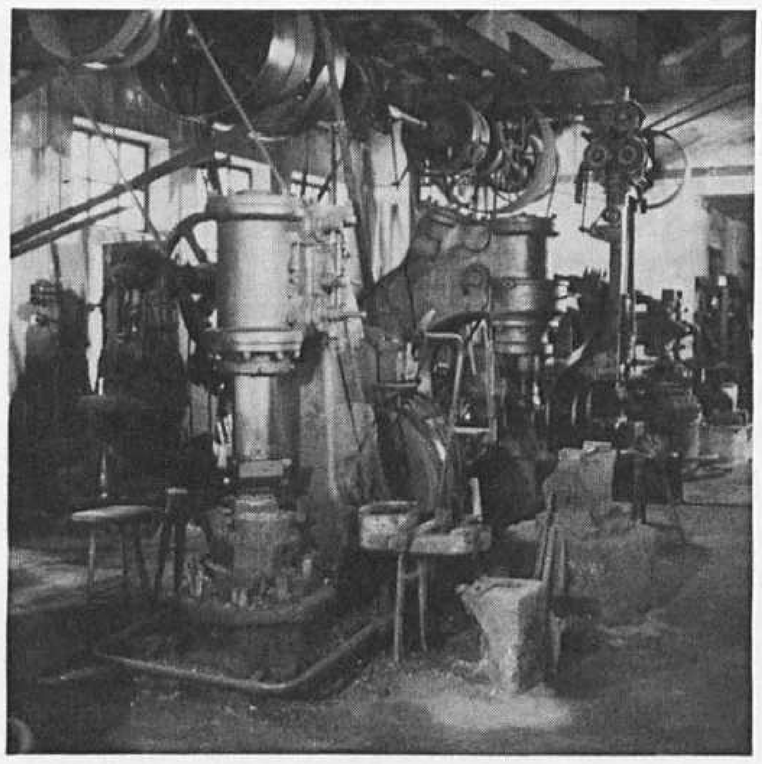
1862 übernimmt Johann Michael Schäff III den Eisenhammer. Er renoviert den Hammer und baut ihn um. Das sogenannte vordere Werk mit 3 Hämmern, an einer großen, hölzernen Welle, gestaltete er durch Einbau eines schweren Vorgeleges und eines Schwungrades um, so daß künftig ein Glatt- und ein Breithammer getrieben werden konnten. Durch ein großes Zahnrad auf der gekürzten, hölzernen Welle, welche in einer kleineren, eisernen Welle weitergeführt wurde, erreichte er erheblichen Platzgewinn im Werkstattgebäude.

Im hinteren Werk blieben die 3 Hämmer, jedoch wurden alle Anlagen mit Amboßstökken etwa einen Fuß höher gelegt, so daß nur noch größere Hochwasser in den Hammer von unten her eindringen konnten.

An Stelle von 3 kleineren Essen errichtete er 2 Essen mit hohen Schornsteinen, an deren oberem Ende die Jahreszahl 1864 stand.

Bei einem Hochwasser wurde im März 1875 das Wehr rechts halbseitig weggerissen. Es

Den gegenwärtigen Zustand zeigt diese Aufnahme von 1980. Rechts im Bild das Turbinenhaus.



Die heutige Innenansicht des Hammerwerks Schäff ermöglicht einen seltenen Einblick in frühe Produktionsmethoden. Im Vordergrund zwei Lufthämmer, deren eingebaute Druckluftpumpen über kunstvolle Transmissionen angetrieben werden. Die Steuerung der Hämmer erfolgt über den eisernen Fußbügel (im Bild vorne unten).

mußte rasch neu errichtet werden, wieder in Holzkonstruktion. Schäff III konstruierte eigens dafür ein wuchtiges Schlagwerk zum Einrammen der mächtigen Pfähle. Es war eine Doppeldrehwinde mit Zahnraduntersetzung, welche den etwa 3 Zentner schweren, eichenen Schlagbär mit Seil hochrollte, der dann, ausgelöst, aus 4 Meter Höhe auf den Pfahl schlug.

Schäff III stand der Industrialisierung nicht ablehnend gegenüber, versuchte sie vielmehr für sich zu nutzen.

1883 engagierte er sich sehr stark für den Bau einer Lokalbahn von Roth über Hilpoltstein nach Greding; damit waren der Transport der im Hammer benötigten Grundstoffe (Eisen, Kohle) sowie die Auslieferung der Fertigprodukte günstiger geworden. 1887 wurde die Bahnstrecke eröffnet.

Der Eisenhammer stand in dieser Zeit auf dem Höhepunkt seines Schaffens und Erfolges. Gleichzeitig wurden auch die Grenzen dieser Produktionsweise erkennbar. Man war gebunden an die nicht beliebig vermehrbare Wasserkraft und hatte daher sehr lange Arbeitszeiten in Kauf zu nehmen, sollten alle Aufträge fristgemäß bearbeitet werden. Die Verwendung der Dampfmaschine bei der im Aufbau befindlichen Industrie beschleunigte die Produktion, zudem waren kürzere Arbeitszeiten möglich. Im Hammer wurde noch um 1890 durchschnittlich 12–14 Stunden täglich gearbeitet! Es fielen aufgrund der hohen Belastung beständig Reparaturen an, denn die hölzernen Wasserräder und Wellen waren auf Dauer der Belastung nicht gewachsen.

Fritz Schäff schreibt:

»1887 war die hintere Hammerwelle gebrochen. Die 8 Meter lange Eiche aus dem Eysölder Wald kostete 325 Mark. Das Herausschaffen aus dem Wald und der Transport des meterdicken Stammes war eine außerordentlich schwierige Arbeit mit mindestens 6 Pferden. Damals gab es noch die letzten uralten, meterdicken Eichen!

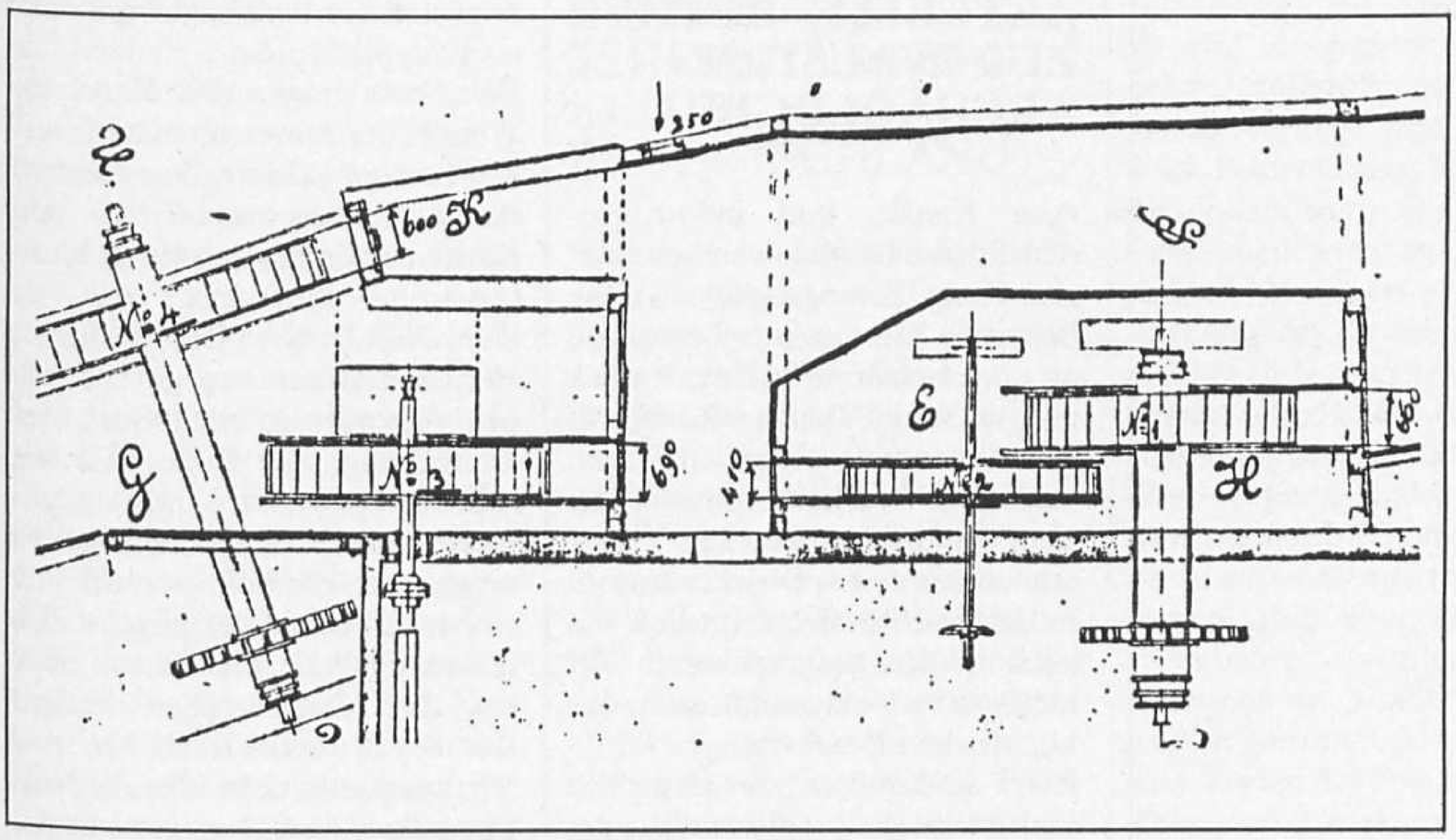
Weil auch das Wasserrad ersetzt werden mußte, bestellte Johann Michael Schäff III bei Kaspar Berg in Nürnberg ein Rad aus Gußeisen, in zwei Hälften mit Löchern für die Radschaufeln, für 600 Mark. Das hatte es noch nirgends gegeben! Der Einbau der behauenen Welle mit dem 66,40 Zentner schweren Wasserrad, einschließlich neuer Wadrinne, nahm 2 Wochen in Anspruch.«

1892, nach dem Tode des Vaters, übernimmt der zweitälteste Sohn, Hans Schäff IV, den Eisenhammer. Nun beginnt man schon stärker die Konkurrenz der Industrie zu spüren, auch wenn es zunächst nur die »rheinische Konkurrenz« war. Dort hatten sich Hammerwerke mit Spezialwerkzeugen ausgerüstet, zur Massenherstellung von Schaufeln, Spaten, Hauen und Sicheln, Beilen oder Wagenachsen. Diese konnten entsprechend günstiger produzieren, der Preis der Waren sank. Im Hammerwerk war man gezwungen, zu »modernisieren«.

1909 wurde daher zur besseren Ausnutzung der Wasserkraft ein Wasserrad durch eine Turbine ersetzt. Die von der Firma Keck in Nürnberg gelieferte Schnell-Turbine, Bauart Francis, hatte einen maximalen Wasserdurchlaß von 375 Litern je Sek. und leistete 6 PS. Damit wurden, über eine Transmission, das Gebläse der Esse, eine Drehbank, eine Bohrmaschine sowie die Futterschneidmaschine angetrieben. Über ein Vorgelege wurde zusätzlich eine Dynamomaschine zur Stromerzeugung angetrieben.

Das große Stauwehr war an verschiedenen Stellen undicht geworden, so daß Schäff IV

NACH NIEDERGANG DES BETRIEBS ALS FOLGE DES WELTKRIEGS JETZT ERHALTUNG ALS KLEINMUSEUM



Dieser historische Plan zeigt die Wasserräder des Eisenhammers in der Zeit von 1900 bis 1909. Die Wasserräder Nr. 1 und 3 dienten dem Antrieb der Eisenhämmer, das Wasserrad Nr. 2 dem Gebläseantrieb für die Esse und das Wasserrad Nr. 4 dem Antrieb von Sägegatter und Schleifstein.

den Entschluß faßte, ein gänzlich neues Wehr aus Beton zu bauen (1910).
Der erste Weltkrieg brachte einen starken Einbruch im Arbeitsgeschehen. Die Produktion ging stark zurück, obwohl Schäff IV vom Kriegsdienst zurückgestellt war. Zeitweilig wurde im Auftrag der MAN gearbeitet.
Ab 1919 erfolgte jedoch ein erneuter Aufschwung, und 1926 wurde, auf Betreiben von Fritz Schäff, der mittlerweile den Hammerwerker-Beruf erlernt hatte, der Hammer weiter modernisiert: Es wurde ein Lufthammer angeschafft, d. h. ein mit Preßluft betriebener Hammer. Die Druckluft wurde mittels einer im Hammerrahmen befindlichen Pumpe erzeugt, die über Transmission angetrieben war. Der neue Hammer wurde vorerst bei den vorderen Schwanzhämmern aufgestellt und mit der kleinen 6-PS-Turbine angetrieben.
Dies war der erste Schritt in der Umstellung von »mittelalterlichem« Schwanzhammerbetrieb auf maschinellen Hammerbetrieb mit einem Kostenaufwand von rund 12000 Mark (1926).
Im Herbst 1933 wurde dann erneut umgebaut: Die beiden vorderen Schwanzhämmer wurden herausgerissen. Das Wasserrad und die 6-PS-Turbine wurden ausgebaut, und eine größere Turbine wurde in Betonkästen eingebaut (Leistung: 17,4 PS). Neben dem kleinen Lufthammer wurde ein weiterer installiert, der größere Leistung hatte. Die Hauptarbeit lag nun immer mehr bei Fritz Schäff, während sein Vater sich stärker um die Säge und die Landwirtschaft kümmerte.
1935 wird der Besitz an den Sohn, Fritz Schäff, übergeben. Hans Schäff IV hat noch 14 Jahre als Altsitzer auf dem Eisenhammer zugebracht. Er starb 1979 mit 79 Jahren.

Fritz Schäff hat versucht, alle drei Betriebszweige, Landwirtschaft, Säge und Hammer, zu modernisieren. Nicht zuletzt aufgrund seiner Gegnerschaft zum Nationalsozialismus gestaltete sich dies einigermaßen schwierig. Schäff V wurde wiederholt zu Mobilmachungsübungen eingezogen, so daß die Arbeit im Hammer niederlag. Häufiger wurde auch der mittlerweile angeschaffte Schlepper abgezogen. Die Produktion von Kriegsmaterial (Kleinteile für Panzer und Flugabwehrkanonen) hielt die Produktion zunächst weiter aufrecht, jedoch in den letzten Kriegsjahren und besonders nach 1945 konnte kaum noch produziert werden.
Fritz Schäff schreibt:
»Damit war die Modernisierung, die in der Landwirtschaft 1939 so erfolgreich begonnen worden war, für Hammer und Säge weit hinausgeschoben und wertvolle Zeit verloren.«
Ende 1953 wurde die mittlerweile unrentabel gewordene Landwirtschaft eingestellt. Im 1956 noch einmal renovierten Hammer wurde weiterproduziert, allerdings immer stärker rückläufig. Fritz Schäff wußte bereits, daß er auf lange Sicht den industriellen Betrieben unterlegen sein mußte, an einen Neuanfang in einem anderen Gewerbe war nicht zu denken. Hammerschmiede wanderten ab, es meldeten sich kaum noch Lehrlinge für diesen Beruf. Fritz Schäff mußte von der Substanz leben, d. h. Grundstücke verkaufen. Ab 1970 war die gewerbliche Produktion praktisch zum Stillstand gekommen, 1974 wurde der Hammer schließlich stillgelegt.
Fritz Schäff hat es über die Jahre hinweg verstanden, das Hammergebäude sowie die Einrichtung in betriebsfähigem Zustand zu erhalten. Dank seiner Mühe besitzen wir damit im fränkischen Raum ein technikgeschichtliches Objekt von besonderer Bedeutung.
Das Centrum Industriekultur Nürnberg, das als wichtigen Aufgabenbereich die Erforschung und Erhaltung industriearchäologischer Objekte ansieht, versucht, im Verbund und mit Unterstützung des Landkreises und der Stadt Roth, der Bezirksverwaltung Mittelfrankens sowie dem Bayrischen Nationalmuseum, dieses Hammerwerk weiter zu erhalten und in Form eines Kleinmuseums der Öffentlichkeit zugänglich zu machen.
Verwendete Literatur:
Fritz Schäff, Über den Eisenhammer zu Eckersmühlen (Ms.). 1981.
Bildnachweis: *Alle Abbildungen, soweit nicht anders angegeben, Centrum Industriekultur Nürnberg.*

Unser Autor: *Jürgen Franzke wurde 1946 in Schwabach geboren. Nach dem Studium der Soziologie und Geschichte und der Arbeit an einem Forschungsprojekt wurde er 1979 Mitarbeiter der Projektgruppe Industriekultur Nürnberg. Er ist heute Leiter der Sammlung und stellvertretender Gesamtleiter am Centrum Industriekultur Nürnberg.*

AKTUELLE NACHRICHTEN

Vom Verein Deutscher Ingenieure erreicht uns eine Einladung zur Tagung »Das Quellenproblem in der Technikgeschichte – Informationsträger historischer Technik«. Sie umfaßt Themen zu Quellen aus allen technikgeschichtlichen Epochen, also z. B. »Die Problematik von Quellen zur griechisch-römischen Technik«, »Zur Problematik des technikgeschichtlichen Erstbelegs im Mittelalter« und »Oral History: Die Befragung zeitgeschichtlicher Wissensträger als Quelle der Technikgeschichte«. Die Tagung findet statt am 8./9. März in Düsseldorf, der Kostenbeitrag beläuft sich auf DM 60,–. Weitere Auskünfte können direkt beim VDI, Bereich Technikgeschichte, Postfach 1139, 4000 Düsseldorf 1, Tel. 0211/6214546, eingeholt werden.

Auf zwei Ausstellungen möchten wir Sie hinweisen: Noch bis Jahresende zeigt die Bayerische Rückversicherung, 8000 München, Am Sederanger 4–6, die Ausstellung »Die andere Tradition – Architektur in München von 1800 bis heute«, die sich auch mit zahlreichen industriearchäologischen Objekten befaßt. Ein Katalog dazu ist für DM 29,– erhältlich. Eine ausführliche Würdigung ist im Teil »Für Sie gelesen« abgedruckt.

Für Sie gelesen

In Düsseldorf fand bis zum 3. Januar 1982 im Stadtmuseum die Ausstellung »Aspekte Düsseldorfer Industrie 1831–1981« statt. Der dazu erschienene Katalog mit dem gleichen Titel beinhaltet eine exemplarische Zusammenstellung von Arbeiten zur Industriearchäologie in Düsseldorf. Er ist zum Preis von DM 25,– beim Stadtmuseum der Stadt Düsseldorf, 4000 Düsseldorf 1, Bäckerstraße 7–9, zu haben.

Die Pulvermühlschleuse in Augsburg bleibt erhalten (vergl. dazu den Bericht in Kultur & Technik 4/1981, S. 249–252): Die Stadt Augsburg als Eigentümer hat sich entschlossen, die Pulvermühlschleuse als industriearchäologisches Schauobjekt herzurichten. Das Schleusenrad und die alte Sprossentretrad-Ziehwinde werden restauriert. Zusätzlich wird noch ein andernorts ausgebautes kleines Schütztafel-Windwerk für Handbetrieb aufgestellt.
Zusammen mit dem 1000 m weiter südlich als hervorragendes technikgeschichtliches Denkmal dastehenden Hochablaß-Wasserwerk von 1879 ist dann ein »industriearchäologischer Spaziergang« möglich. Die Betreuung erfolgt durch Beauftrage der Stadtheimatpflege und Prof. W. Ruckdeschel, den Leiter des Instituts für Technikgeschichte an der Fachhochschule Augsburg.

Zusammenfassungen Summaries/Résumés

Der Schäff-Eisenhammer in Eckersmühlen, J. Franzke. In Eckersmühlen bei Roth hat sich eines der wenigen Hammerwerke erhalten. Seine Entwicklung läßt sich von 1686 bis zur Stillegung 1974 lückenlos verfolgen; es ist Beispiel für Aufstieg und Niedergang eines Hammerwerks als Folge der fortschreitenden Industrialisierung. Die Erhaltung als Kleinmuseum ist geplant.
The Schäff-Hammerworks at Eckersmühlen, J. Franzke. One of the few remaining hammerworks is located at Eckersmühlen, close to Roth. Its development can be followed from its foundation 1686 to its closing in 1974. It is a fine example for rise and decay of a hammerworks, both effects caused by the industrialisation. It ist planned to preserve it in the form of a museum.
Le martinet de la famille Schäff à Eckersmühlen, J. Franzke. Un des martinets rares est situé à Eckersmühlen, près de Roth. On sait bien son development depuis sa fondation en 1686 jusqu'à sa fermeture en 1974. Il est un exemple intéressant pour l'avancement et la descente d'un martinet à cause de l'industrialisation. Il est projeté de le conserver en form d'un musée.

AKTUELLE BÜCHER ZUR INDUSTRIE-ARCHÄOLOGIE

Alte Kanäle sind industriegeschichtliche Objekte von besonderem Rang. Zwangsläufig »in situ« belassen, kann man insbesondere an noch befahrbaren Kanälen fast alle mit dem Thema »Kanal« in Zusammenhang stehenden Fragen studieren: Verlauf, Baustrukturen, Benutzung etc. Die Überschaubarkeit des Objekts sowohl in der geschichtlich-zeitlichen wie auch in der geographischen Dimension verlockt geradezu zur publizistischen Bearbeitung.
Zwei Kanalbücher werden hier vorgestellt, die jeweils verschiedene Ansätze zur Bewältigung unserer frühindustriellen Vergangenheit erhalten:

DER ALTE KANAL DAMALS UND HEUTE

Herbert Liedel und Helmut Dollhopf, mit Textbeiträgen von Angela Baumann, Jürgen Franzke, Walter Gallasch, Hermann Glaser, Klaus Schamberger; Stürtz-Verlag Würzburg 1981, 128 Seiten, DM 48,–

Im Stürtz-Verlag Würzburg erschien 1981 der Bildband »Der alte Kanal damals und heute«, eine Fotodokumentation über den Ludwig-Donau-Main-Kanal. Fünf Textbeiträge befassen sich in Form sachlicher Beschreibung, poetisch-einfühlsamer Betrachtung oder freundlicher Erinnerung an die »gute, alte Schlagrahmdampferzeit« mit der Lebensgeschichte des Kanals. Historische Schwarzweißfotos aus den Archiven, u. a. der Kanalstädte Bamberg, Forchheim, Erlangen, belegen auf eindrucksvolle Weise, daß der Kanal tatsächlich einmal als Transportweg genutzt worden ist und als Industriebauwerk eine, wenn auch bescheidene, Bedeutung gehabt hat. Diese Bedeutung ging bald ganz verloren, doch behielt die alte Wasserstraße infolge ihrer Abgeschiedenheit lange einen überaus romantischen Reiz, der in den wunderschönen Farbaufnahmen der Fotografen Helmut Dollhopf und Herbert Liedel gekonnt eingefangen wurde.
Die Fotos zeigen den Kanal im Wandel der Jahreszeiten und werden in ihrer Wirkung kaum durch die übertrieben formulierten, den Kanal personifizierenden Bildunterschriften gemindert.
Der Nürnberger Kulturreferent Hermann Glaser begegnet in seinem Vorwort zu dem Buch der Versuchung, die Bilder nur als rückwärts gewandten, nostalgisch-melancholisch verklärten Blick zu verstehen: »Wir können nicht naiv so tun, als wären vergangene Zeiten rückholbar; wir können aber aus der Vergangenheit lernen. Der Kanal erteilt sinnlichen Anschauungsunterricht über die Notwendigkeit der Gleichgewichtsgesellschaft; er stellt sozusagen eine ›psychotopische Ermunterung‹ dar, die Welt romantisch und realistisch, gemüthaft und effizient zu bewältigen.«
Bei der Zusammenstellung der Bilder kam der realistische Aspekt dann doch zu kurz: Die Dokumentation hört leider da auf, wo die Gegenwart des Kanals beginnt: bei der Zerstörung der alten Anlagen durch Überbauung, Zuschüttung für Schnellstraßen, durch Einebnung für das Bett des neuen Europa-Kanals, der den Glauben an unsere Fähigkeit erschüttert, unsere Umwelt sinnvoll zu gestalten.
Lediglich das letzte Bild zeigt eine zugeschüttete Schleuse, doch vermittelt es zu wenig von dem, was an Substanz des Kanals bereits zerstört oder unmittelbar bedroht ist.
Resümee: ein schönes Buch; für jeden an tiefergehenden Fragen zur Geschichte und Gegenwart des Kanals Interessierten ein »nur« schönes Buch.

THE ARCHAEOLOGY OF CANALS

P.J.G. Ransom, World's Work Ltd., Kingswood Tadworth, Surrey 1979 (SBN 437 144003); 231 Seiten)

Das zweite Kanalbuch kommt aus England, wo der Kanalbau ungleich ausgeprägter war: auf dem Höhepunkt der Kanalbau-Ära gab es rund 4500 Kilometer befahrbarer Kanäle; daß davon heute noch

gut 2400 Kilometer existieren, ist nicht zuletzt ein Ergebnis der Ende der dreißiger Jahre einsetzenden Bemühungen, das öffentliche Interesse auf die Kanäle als Zeugen der industriegeschichtlichen Vergangenheit zu lenken und sie als solche zu erhalten.
Einen umfassenden Überblick über Vergangenheit und Gegenwart des englischen Kanalwesens gibt P. J. G. Ransom in seinem Buch »The Archaeology of Canals«. Da fehlt nichts: Vorgeschichte des Kanalbaus, Beginn des Kanalzeitalters und Ausdehnung des Kanalnetzes, die großen Ingenieure, Transport und Verkehr auf den Kanälen, der einsetzende Konkurrenzkampf mit der Eisenbahn und der Niedergang werden unter Verwendung alter Stiche und Fotos zur Illustration behandelt. Die kurzen, prägnant formulierten Texte befassen sich weiterhin mit den einzelnen Kanälen in England und Irland und enthalten neben einer Kurzbeschreibung Angaben über Besonderheiten der Streckenführung, Bauwerke oder Bauweise.
Nach diesen übergreifenden Betrachtungen wird der Kanal »an sich« zum Thema der zweiten Hälfte dieses Buches: eingehend beschreibt Ransom die vorkommenden Formen und Anlagen einer künstlichen Wasserstraße. Von der Schleuse über Kanalkreuzung, Brücken und Brückkanälen, Hebewerke und Hafenanlagen bis zum Treidelpfad – keine der technischen Einrichtungen ist ausgelassen, die Beschreibungen werden sinnvoll durch Pläne, Skizzen und Fotos ergänzt.
Die verschiedenen Typen der Kanalboote, ihre Betriebsweise und die Umstände, unter denen man auf diesen Booten oft lebte, letztlich die peripheren Kanaleinrichtungen wie Wasserversorgung, Werften, Gasthöfe und Siedlungen werden in ihrer typischen Erscheinungsform dargestellt und illustriert.
In einem letzten Kapitel geht es um besonders sehenswerte Kanalbauwerke und Museen. Abgesehen von dem Wunsch, diese Orte einmal zu besuchen, läßt das Buch keinen offen.

Hans-Christian Täubrich, Nürnberg

TECHNISCHE SEHENSWÜRDIGKEITEN IN DEUTSCHLAND

Willi Paul, erschienen in der Reihe der Reiseführer beim ADAC-Verlag München, Band I–V, hier: Band V, Berlin, 152 Seiten, 80 Abbildungen, DM 12,80

Als Abschluß der Reihe »Technische Sehenswürdigkeiten in Deutschland« erschien Ende letzten Jahres der Band V, Berlin. Ziel dieser Reihe ist die übersichtliche Darstellung von technischen Objekten nach Bundesländern geordnet in der handlichen Form eines Reiseführers. Entscheidende Kriterien für die Aufnahme waren die Zugänglichkeit und die Besonderheit der Objekte. Konsequent sind daher stets die Besichtigungsmöglichkeiten, zum Teil mit Angabe von Telefonnummer und Ansprechpartner, angegeben.
Der Führer ist nach Sachgebieten geordnet, die alle in Frage kommenden Bereiche der Technik umfassen. Den einzelnen Kapiteln ist meist eine einführende Übersicht vorangestellt. In den Kapiteln werden sowohl Einzelobjekte als auch ganze Betriebe und Firmen dargestellt. Der zeitliche Rahmen geht von den Anfängen der technischen Entwicklung, z. B. mit der Inselbrücke von 1801, bis in die neueste Zeit (Internationales Congress Centrum, 1979). Der Führer umfaßt auch alle Museen mit technischen Sammlungen sowie technische Behörden und Institute. Ein umfangreiches Ortsregister, das auch alle Querverweise enthält, und ein Sachregister ergänzen den Band.
Mit dieser Reihe wurde das bewundernswerte Ziel, einen Überblick über technische Sehenswürdigkeiten in der gesamten Bundesrepublik Deutschland zu schaffen, erfolgreich in die Tat umgesetzt. Für den Industriearchäologen sind die aufgeführten historischen technischen Objekte interessant, aber auch die modernen, die – wie wir alle wissen – nur zu rasch veralten und damit zu Objekten der Industriearchäologie werden. Diese gemeinsame Erfassung historischer und moderner Objekte wird übrigens auch am Deutschen Schiffahrtsmuseum Bremerhaven verfolgt (mdl. Mitteilung Dirk Peters an den Rezensenten).
Besonders wertvoll sind auch die zusammenfassenden Übersichtsartikel, in denen z. B. die Entwicklung des Straßenbaus, des öffentlichen Nahverkehrs, der Wasserver- und -entsorgung usw. knapp dargestellt werden.
Die vorhergehenden Bände, in denen ähnlich umfangreiches Material zusammengetragen ist – insgesamt sind über 2100 Objekte besprochen – wurden nicht nach Sachgebieten, sondern nach Ortsnamen geordnet. Das bringt wohl den Vorteil des bequemen Auffindens von Objekten vom Standpunkt des Autotouristen aus mit sich, andererseits aber auch den Nachteil der schlechteren Übersicht. Es wäre zu wünschen, wenn bei einer Neuauflage der früheren Bände vermehrt zusammenfassende Übersichtsartikel eingearbeitet werden könnten.
Die Führer lassen stets die Liebe des Verfassers zur Technik und zum Technikdetail spüren. Sie sind in höchstem Maße für alle an Technik und Technikgeschichte, Industrie und Industriegeschichte Interessierte empfehlenswert.

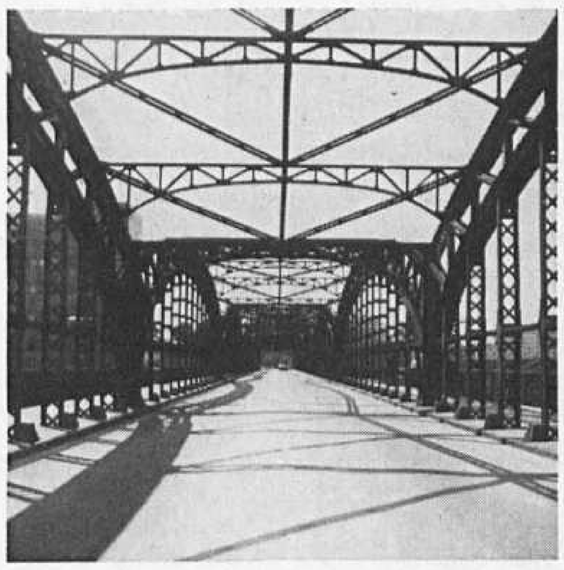
Dietmar Köstler, München

Versehentlich wurde der Name des Rezensenten der Bücher aus dem Moos-Verlag in Heft III nicht genannt: Axel Föhl, Bonn. *–dk–*

DIE ANDERE TRADITION?

Im Rahmen ihrer Reihe »Erkundungen« zeigt die Münchner Rückversicherung zur Zeit die Ausstellung »Die andere Tradition – Architektur in München von 1800 bis heute«. Mit der »anderen Tradition« ist hier die zur Architekturmoderne führende Tradition gemeint, die gegenüber der historisch bewahrenden auftritt. Die Ausstellung ist bis Ende 1982 zu den normalen Bürostunden im Untergeschoß der Münchner Rück am Sederanger 4–6 zugänglich. Ein großzügig ausgestatteter Katalog ist zum Preis von DM 29,– erhältlich.

Die Münchner Rück hat bekannte Namen für diese Ausstellung verpflichtet: Die Einführungsrede hielt Jürgen Habermas; sie ist im Katalog abgedruckt. Für Konzeption und Text ist Wend Fischer, der langjährige Direktor der Neuen Sammlung,verantwortlich. Die Gestaltung von Ausstellung und Katalog besorgte Otl Aicher unter Mitarbeit von Hans Neudecker. Die Fotos stammen von Sigrid Neubert. Die Fotografin hat ihre Aufgabe professionell gelöst, ebenso wie Otl Aicher. Präsentation sowie Gestaltung des Katalogs sind hervorragend, die Verbindung von Text und Bild vorbildlich.



Die Hackerbrücke von 1894 in München (Foto G. Weiß 1978).

Damit ist das Positive an dieser Ausstellung allerdings beinahe erschöpft, denn Jürgen Habermas wird dem hohen Anspruch, den man auf Grund seiner sonstigen Texte an ihn zu stellen gewohnt ist, in seiner Rede zur Ausstellungseröffnung nicht ganz gerecht, und zur Konzeption Wend Fischers wird im folgenden noch kritisches zu sagen sein.
Die Gewächshäuser Sckells in Nymphenburg und im Botanischen Garten als Prototyp jener Ingenieursbauten von denen A. v. Voits Glaspalast das bedeutendste Beispiel ist, bilden den Auftakt der Ausstellung. Bürkleins Zentralbahnhof, die Schrannenhalle Muffats, Großhesseloher Brücke, die Hackerbrücke mit ihren unverhüllt gezeigten Fachwerkbogenträgern und elastischen Zugbändern, das zurückhaltend gestaltete Tivolikraftwerk, das seinen Zweckcharakter nicht verdekken will, und die Großmarkthalle Schachners machen deutlich, wo

Für Sie gelesen

Fischer die eigentlich schöpferische Tradition der Moderne ansiedelt, nämlich bei funktionellen Zweckbauten, die eher »charakteristisch« sind als »schön« und jedenfalls nicht bei den der Stilkunst verpflichteten Bauwerken. Diese in München noch zu wenig bekannten Beispiele einer Baukunst abseits der repräsentativen Aufgaben einer breiteren Öffentlichkeit vorzustellen und ins verdiente Licht zu rücken, ist sicherlich wünschenswert, und hier liegt eine der Meriten der Ausstellung.

Zwar wurde »Vollständigkeit (...) weder für den historischen noch für den zeitgenössischen Teil angestrebt«, doch ist die Nichtberücksichtigung Klenzes oder Gärtners, von Neureuther, Thiersch oder das fast völlige Übergehen zur Jugendstilarchitektur – immerhin gilt München als eines seiner Zentren – programmatisch gemeint. Sie verkörpern für Fischer offenbar die »offizielle, kunsthistorisch und staatspolitisch beglaubigte Tradition«, der er seine »andere Tradition« gegenübersetzt. Überraschend positiv wird dann allerdings der Maximiliansstil eingeschätzt, beim Maximilianeum gar die »grazile Leichtigkeit der Struktur, formal betont durch die Kolonnaden des Obergeschosses, die als Silhouette durchlässig sind für Licht und Himmel«, gerühmt.

Ich glaube, die andere Tradition im Sinne Fischers ist damit hinreichend beschrieben. Die Fragestellung ist noch die der fünfziger Jahre, erinnert an S. Giedions Kampf zur Durchsetzung des Neuen Bauens. Die Architekten des neunzehnten Jahrhunderts werden säuberlich in »goodis« und »badies« eingeteilt, wobei die ersteren heroisch und oft verkannt ihren Beitrag zum Funktionalismus des zwanzigsten Jahrhunderts geleistet haben, während letztere hochgeehrt, aber steril und unschöpferisch, die eigentlichen Zeitaufgaben verkannt hatten.

Leider sind die Verhältnisse aber komplizierter. Ein paar Bemerkungen seien gestattet: A. v. Voit hat nicht nur den Glaspalast, sondern eben auch die ehem. Neue Pinakothek im Anschluß an die Planung Gärtners errichtet, und gegenüber dem Maximilianeum Bürkleins, einem wahrlich »staatspolitisch beglaubigten« Bauwerk (von den funktional durch nichts zu rechtfertigenden offenen Arkaden ganz zu schweigen), ist zweifellos die Staatsbibliothek Gärtners der auch für die Moderne bedeutendere Bau. Die Schulhausbauten Th. Fischers um 1900, obwohl der Stilkunst verpflichtet, sind für den Werkbund und das Neue Bauen ausschlaggebender als sein Ledigenheim von 1925. Beim Olympiazeltdach von 1972 dient funktionale und zweckrationale Gestaltung geradewegs zur staatspolitischen Repräsentation. Technische Kühnheit, Modernität, Flexibilität sollen für das Demokratieverständnis der BRD stehen. Wend Fischer unterschlägt solche Zusammenhänge, wie er insgesamt die Diskussion der letzten zwanzig Jahre kaum referiert. Als Beitrag zur aktuellen Architekturdiskussion, als Rückbesinnung der Architekturmoderne auf ihre eigene Tradition, ist die Ausstellung daher nur von begrenztem Wert.

Auch seinen Seitenhieb auf die Kunstgeschichte, deren »beglaubigter Tradition« er »andere Tradition« entgegenhalten will, kann Fischer nicht ernst gemeint haben: Die von ihm angeführten Bauten sind gerade in den letzten Jahren von Kunsthistorikern bearbeitet und vorgestellt worden, meist in den Ausstellungen des Stadtmuseums oder den Arbeitsheften des Landesamts für Denkmalpflege. Im zur Ausstellung erschienenen Katalog sucht man vergeblich Quellenangaben, was ihn als Arbeitsmittel fast unbrauchbar macht und nicht gerade als seriöse Praxis angesehen werden kann.

Fazit: Eine lobenswerte Aktivität der Münchner Rück, die man allerdings besser hätte nutzen können.

Dr. Karl Schawelka, München

DER BERGBAU UND SEINE KULTUR

Eine Welt zwischen Dunkel und Licht

Gerhard Heilfurth
Atlantis Verlag, Zürich 1981.
321 Seiten, 292 Abbildungen (davon 17 farbig). 28,5×22,5 cm, Ganzleinen, DM 89,–/sFr. 85,–

Der Verfasser dieses imposanten Werkes, das durch die große Zahl guter Abbildungen besticht, gilt als vorzüglicher Kenner im Gebiete der »vergleichenden und interdisziplinären Soziokulturforschung«, wie sein Arbeitsbereich auf dem Schutzumschlag umrissen wird. Er ist emeritierter Professor und Direktor des Forschungsinstituts für europäische Ethnologie an der Universität Marburg. Ein gut Teil seiner wissenschaftlichen Arbeit umfaßt die kultur- und sozialwissenschaftliche Montanforschung.

Das vorliegende Buch über die Bergbaukultur überrascht durch die Fülle des Materials, das der Verfasser, immer unter Hinweis auf die Quellen, bietet. Der Bergbau ist bisher, wie der Verfasser in der Einleitung mit Recht sagt, »kulturwissenschaftlich im engeren Sinne, was überregionale zusammenfassende Arbeiten anlangt, nur unzulänglich erforscht« (S. 9). Ich möchte hier hervorheben, daß es auch an einer über einzelne Orte und Zeiten hinausgehenden Gesamtbetrachtung der Geschichte der Bergwerks**technik** mangelt. Dem Verfasser geht es in seiner umfassenden Darstellung der Entwicklung der Bergbaukultur um »die Produktions-, Betriebs-, Arbeits-, Berufs- und Lebensgestaltung, das Bauen und Wohnen, die Kleidung, das Recht, die Ausbildung, die Sprache, die Dichtung, Literatur und Kunst, die Religiosität, die Norm- und Wertsetzung, das Lied-, Musik- und Erzählgut, die Geselligkeit in Sitte und Brauch, in Fest und Feier, die Unterhaltung und Freizeitgestaltung einschließlich all der Äußerungen der Folklore« (S. 11).

Heilfurths Werk beginnt mit zwei kurzen Abschnitten über »Die Bedeutung der Bodenschätze im Prozeß der Zivilisation« (S. 13–20) und über »Wesen und Aufgaben des Bergbaus« (S. 21–38). Bei der Zeichnung aus dem »Mittelalterlichen Hausbuch« (S. 15) könnte vielleicht die Quelle etwas genauer angegeben werden. Die Handschrift ist im Besitze der Familie *von Waldburg-Wolfegg* auf Wolfegg in Württemberg (Editionen von *A. von Essenwein*, 1887, und *H. Th. Bossert* und *W. F. Storck*, 1912). Bei dem Holzschnitt aus *Agricolas* »De re metallica« (S. 27) möchte ich bezweifeln, ob hier *Agricola* dargestellt ist. Viel eher ist er in Buch IX im Bild des Zinnschachtofens wiedergegeben.

Der größte Teil von *Heilfurths* Buch behandelt »Die bergmännische Berufs- und Lebenswelt« (S. 39–286). Am Anfang dieses Abschnitts steht ein Kapitel »Arbeit und Technik« (S. 38–50). Dem Leser sind hier, wie auch in den anderen Kapiteln, die zum Teil wenig bekannten Abbildungen besonders willkommen. Der auf S. 45 aus dem »Schwazer Bergbuch« reproduzierte Pferdegöpel wurde 1556 nicht im Schwazer Bergbau, sondern in Kuttenberg verwandt. – Es folgen Kapitel über »Sozial-, Berufs- und Betriebsgefüge« (S. 50–62), »Rechtliche Ordnungen« (S. 62–71), »Landschaft und Revier« (S. 71–82), »Siedlung, Wohnung, Familie« (S. 82–106), »Tracht und Kleidung« (S. 106–116). Von besonderem Interesse ist auf S. 67 das farbig wiedergegebene Titelblatt der Handschrift des Kuttenberger Bergrechts von 1525. Hier sollte als Quelle die Bibliothek des Nationalmuseums Prag angegeben werden. Das Bild über Frauen- und Kinderarbeit (S. 89) wäre am besten dem »Report of the Commissioners, Mines, Children's Employment Commission« 1842 (Neudruck 1968) zu entnehmen. – Die nächsten Kapitel sind der »Bildenden Kunst« (S. 116–132), der »Sprache« (S. 132–141) und der »Literatur und Dichtung« gewidmet (S. 141–157). Das zuletzt genannte Kapitel gibt einen guten Überblick der Geschichte der Bergbauliteratur, in den auch die ältesten Dichtungen zum mittelalterlichen Montanwesen einbezogen sind. Bei dem Sandsteinrelief auf S. 122 (oben) wüßte man gern den Aufbewahrungsort. Die spät-

korinthische Malerei einer Tongrube auf einem Tontäfelchen (S. 123) wird meines Wissens in der Berliner Antikensammlung, nicht im Bergbaumuseum Bochum aufbewahrt. S. 141, 146 und 317 schreibe man *Amman,* statt Amann. – Weiter kommen zur Sprache: »Ausbildung und Lehre« (S. 157–165) und »Brauch, Fest, Feier« (S. 165–178). Im zuerst genannten Kapitel wird auch über die montanistischen Lehranstalten und im zuletzt angeführten über das besonders ausgeprägte vielfältige Brauchtum gesprochen. – Die religiöse Sphäre gelangt mit den Kapiteln »Ethos und Verhalten« (S. 178–186), »Kirche und Gottesdienst (S. 186–198) und »Heiligenverehrung« (S. 199–208) ins Blickfeld. Von den Bergmannsheiligen ragen der Prophet *Daniel,* die *heilige Barbara* und die *heilige Anna* heraus. Es wird dargestellt, wie diese drei zu Schutzheiligen im Bergbau wurden. – Dann schließen sich Kapitel an über »Aberglauben« (S. 208–217) und »Sagenüberlieferung« (S. 217–226). Dem Bergbau und Bergmann in der deutschsprachigen Sagenüberlieferung hat *Heilfurth* übrigens 1967 einen eigenen Quellenband gewidmet (unter Mitarbeit von *I.-M. Greverus).* – Nun folgen Kapitel über »Liedgut« (S. 226–236) und »Musik, Tanz und Spiel« (S. 236–249). Auf das Bergmannslied hat der Verfasser schon seit 1936 sein besonderes Augenmerk gerichtet. – »Sprüche und Inschriften« (S. 249–257), »Humor« (S. 257–265), »Symbole und Wahrzeichen« (S. 265–277) und »Der Gruß Glückauf« (S. 277–286), der erst 1557 aktenkundig zu machen ist, sind die Themen der übrigen Kapitel. – In einem Schlußabschnitt seines inhaltreichen Werkes spricht der Verfasser noch über den »Bergbau in seiner Schlüsselfunktion zwischen Urproduktion und Industrie« (S. 287–300).

Ein Anhang bringt einen Bildnachweis, ein Literaturverzeichnis (323 Nrn.) und einen Index. Im ganzen gesehen: Das Buch ist eine mit bewundernswerter Quellenkenntnis geschriebene Darstellung der vielfältigen kulturellen Bedeutung des Bergbaus.

Friedrich Klemm

FASZINIERENDES WELTALL

Das moderne Weltbild der Astronomie

Werner Büdeler.
Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1981.

> *Die Philosophie steht in jenem ganz großen Buch geschrieben, das beständig offen vor unseren Augen liegt, ich meine das All, das aber nur verständlich ist, wenn man zuvor die Sprache und die Buchstaben lernt, mit denen es geschrieben ist. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und die Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne welche Mittel es unmöglich ist, auf menschliche Weise ein Wort davon zu verstehen; ohne diese ist es ein vergebliches Umhergehen in einem dunklen Labyrinth.*
> Galileo Galilei, in: Il Saggiatore. 1623.

Als Fernsehjournalist ist Werner Büdeler einem breiten Publikum bekannt. Er hat den deutschen Fernsehzuschauern als Augenzeuge von den Apollo-Mondflügen und den Skylab-Unternehmen aus Cape Kennedy und Houston/Texas berichtet.

Im Januar und Februar 1981 hat Werner Büdeler in einer siebenteiligen Fernsehreihe unter dem Titel »Faszinierendes Weltall« die moderne, das heißt die heutige Astronomie in Umrissen dargestellt. Bei der dva (Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart) hat Werner Büdeler unter dem gleichen Titel ein Begleitbuch vorgelegt. Er wendet sich mit diesem Buch an ein Laienpublikum, ebenso wie er es mit der Fernsehserie tat – sie wurde jeweils an Sonntagnachmittagen ausgestrahlt. Auch jugendliche Leser sollen durch das Buch angesprochen werden.

In diesem Buch werden vor allem die neuen astronomischen Verfahren und Möglichkeiten aufgezeigt. Der Übergang von der Astronomie in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts zur heutigen Astrophysik, die Fortschritte der Ballon- und der Satellitenforschung, die neuesten Ergebnisse der Radio-, Ultraviolett- und Infrarotastronomie werden vorgestellt.

Der ins Auge gefaßte Leserkreis und die Themen stellen jeden Autor vor eine Aufgabe, die heute nur im Kompromiß zu lösen ist. Es ist dieses die Problematik »populärwissenschaftlicher Darstellungen« in unserer Zeit: Wir sehen, daß in fast allen Wissenschaftszweigen, besonders aber in den Naturwissenschaften, eine Entwicklung zur fachlichen Spezialisierung und Reduzierung stattfindet. Parallel dazu wird in den Gymnasien die Vermittlung von traditionellem Bildungsgut – auch des naturwissenschaftlichen – Zug um Zug zu Gunsten »modischen« Spezialwissens bzw. dialektischer Methodik abgebaut. In dieser Lage ist die Notwendigkeit unmittelbar einsichtig, daß der Kulturwert und nicht nur der Zivilisationsnutzen der Wissenschaften über den engen Kreis der Wissenschaftler hinaus bei interessierten Laien und bei der Jugend bewußt gemacht wird.

Unter diesem Anspruch ist das Buch geschrieben worden; das können wir aus der 50 Seiten umfassenden historischen Einleitung schließen. So werden hier neben anderen Themen wie
»Die Stellung des Menschen im Universum«,
»Astronomisches Erwachen«,
»Die vier Phasen der Entwicklung (in der Astronomie)« behandelt.

Mit der Absicht, eine populäre Darstellung zu schreiben, hat Werner Büdeler dieses Sachbuch über Astronomie »ohne Mathematik« geschrieben. Das muß aber bereits als fragwürdig angesehen werden, wenn doch andererseits feststeht, daß die Astronomie der Anlaß war, mathematische Probleme erstmals zu formulieren und Methoden zur Lösung zu entwickeln.

Auch muß man sich fragen, ob das Weglassen der mathematischen Grundlagen und Darstellungsweisen nicht sogar dem vorgestellten Ziel entgegenwirkt. Könnte nicht vielmehr die Ablehnung des ungeliebten Schulfaches Mathematik abgebaut werden, wenn man in einem solchen Buch erfahren würde, daß sich die interessanten Erkenntnisse der Kosmologie und der Astronomie durch Mathematik viel besser und schöner darstellen lassen? Ist dieser Schritt gelungen, so wird auch der nächste zu erreichen sein, nämlich die Erkenntnis, welche Rolle die Mathematik als Methode in der Astronomie und auch in den Naturwissenschaften überhaupt spielt.

Der Vergleich dieses Buches mit zwei älteren Werken sei empfohlen: die »Populäre Astronomie« von Newcomb-Engelmann, die 1948 in der 8. Auflage erschienen ist, oder die »Populäre Himmelskunde und mathematische Geographie« von Disterweg, die 1941 sogar die 26. Auflage erlebte. Der grundlegende Wandel bei der Behandlung eines solchen Themas wird sofort auffallen, aber auch die inzwischen eingeführten Kompromisse in der geschilderten Art. In jedem Fall ist es bedauerlich, daß das notwendige und weiterführende Literatur- und Quellenverzeichnis wohl der Rechnung des Verlagskaufmanns zum Opfer gefallen ist. *Ernst H. Berninger*

DIE NÜTZLICHEN KÜNSTE

Gestaltende Technik und bildende Kunst seit der Industriellen Revolution

Herausgegeben von Tilmann Buddensieg und Henning Rogge.
VDI-Verlag und Quadriga-Verlag, Berlin 1981.
Reich illustr., 391 S.,
24,2 × 21,0 cm, Preis DM 30,–.
ISBN 3886790010.

Aus Anlaß des 125jährigen Gründungsjubiläums des Vereins Deutscher Ingenieure, das in Berlin festlich begangen wurde, fand im Frühjahr 1981 in den Ausstellungshallen am Funkturm eine bemerkenswerte technik- und kulturgeschichtliche Ausstellung statt, bei der nicht ein sonst üblicher Katalog zur Schau gestellter Objekte, sondern eine recht umfangreiche, gut illustrierte Edition des Studienmaterials vorgelegt wurde. Nach einleitenden Betrachtungen von T. Buddensieg und H. Rogge sowie der Aufzeichnung eines Rundganges durch die Ausstellung folgen 46 Fachbeiträge namhafter Autoren, welche die breite Palette des Ausstellungsthemas

Für Sie gelesen

weitgehend abdecken und den Blick öffnen für das Wesentliche was diese Ausstellung vermitteln wollte, die Überwindung der vermeintlichen Kontroverse Kunst und Technik zur Synthese Technik und Kunst, ob man sie nun als künstlerische Formgebung technisch-industrieller Objekte oder als technische Leitlinien in der darstellenden Kunst sehen mag, wobei es auch noch mannigfache andere Variationen im Zwischenfeld von Kunst und Technik gibt.
Um dem Interessenten am Thema eine Vorstellung zu geben, was er in diesem Band finden kann, sei hier zunächst einer Auflistung der Themenkomplexe der Vorzug gegeben, um abschließend noch einige grundsätzliche Bemerkungen folgen zu lassen:
Mythologie, Philosophie und Industriewelt – Der Tod der Götter (W. Hoffmann); Höfische Kultur Alteuropas, ihr Erbe an die Industriewirtschaft (M. Stürmer); Fortschrittsproblematik im 19. Jahrhundert. – Das Alte bewahren, das Neue verwirklichen (T. Buddensieg); Bauwerke als Sinnbilder des Epochengegensatzes in der Literatur bei W. Raabe, M. Kretzer und St. George (K. L. Schneider); Technik in den Märchen: Zauber, List und Rebellion (C. Schittek); Geschichte der Dampfmaschine (K. Mauel); Technische Entwicklung, wirtschaftliche und gesellschaftliche Ursachen, und Auswirkungen der Dampfmaschine (H. J. Braun); Das Fest der 1000. Borsig-Lokomotive, 1858 (D. Vorsteher); Künstlerische Glasfenster der Nürnberger Gasanstalt um 1864 (R. Kahsnitz); Straßenlaternen und Polizei (W. Schiwelbusch); Soziale Konsequenzen der Industrialisierung (W. Weber); Zur deutschen Ingenieurausbildung und ihren Reformen nach 1899 (K. Düwell); Technik und Arbeitsplatz im 19. Jahrhundert (J. Kocka); A. Menzels »Eisenwalzwerk«-Gemälde von 1875 – Kunst im Konflikt zwischen Tradition und sozialer Wirklichkeit (F. Forster-Hahn); Der Motor Mensch – Ermüdung, Energie u. Technologie des menschlichen Körpers im ausgehenden 19. Jahrhundert (A. Rabinbach); Arbeitsplatz und Unfallverhütung in der Industrie (E. Kroker); Schinkel und seine technologische Englandreise 1816 (J. Posener); Pflanzenhäuser aus Glas und Eisen – technisches, architektonisches und gesellschaftliches Phänomen des 19. Jahrhunderts (R. M. Ullrich); Glaspaläste der künstlichen Nützlichkeit – Ausstellungsarchitektur des 19. Jahrhunderts (B. Bergius); Fabrik-Architektur (R. Günter); Aktuelle Aspekte früher Eisenkonstruktionen (G. Hartung); Industriegeschichte im Abriß und das Deutsche Arbeitsschutz-Museum in Berlin (F. Neumeyer); Zum Verhältnis von »Technik« und »Kunst« am Industrie- und Maschinenbau (R. Slotta); Architektonische Gestaltung der Berliner Hoch- und Untergrundbahn (S. Bohle-Heintzenberg); Schwebebahn in Wuppertal – einmaliges Verkehrsmittel und technisches Denkmal (H. F. Schierk); Technik und Phantastik in Kinderbüchern des 19. Jahrhunderts (U. Moritz); Industrie und Technik in der deutschen Literatur (V. Neuhaus); Technische Fortbewegungsmittel in der Karikatur (R. Sartori); Zur Gründung des ersten deutschen Kunstgewerbemuseums in Berlin (M. Franke); Eisenguß am Beispiel einer norddeutschen Hütte (W. Arenhövel); Preßglas als Massenware – Technik, Typenbildung und Variation (M. Franke); Handwerkskunst im Maschinenzeitalter (K. Schneider); Nützliche und freie Kunst (K. Wilhelm); Das Denkmal für den Otto'schen Verbrennungsmotor in Köln-Deutz – Gedanken über Technische Kulturdenkmale (E. Trier); Im Laboratorium mechanischer Fiktionen: Zur unterschiedlichen Bewertung von Mensch und Maschine um 1920 (H. Bergius); Fernrohrblick – Illusionen und Betrachtungen über Technik und Mensch in der Literatur (G. Zohlen); Standard und Elite – Le Corbusier, die Industrie und der »Esprit Nouveau« (St. v. Moos); 1930 – das Jahr der Symbiose von Kunst und Technik (K. J. Sembach); Die neue Reichskanzlei – Architektur, Technik und die Medien im Nationalsozialismus (A. Schönberger); Das Auto in Kunst und Kunstgeschichte (E. Mai); Der Mensch an der Maschine (E. Trier); Technik und Design (G. Selle); Mies van der Rohes Seagram-Building in New York (K. W. Forster); Technik – Utopie – Science fiction (K. Swan-Liat); Maschinen-Erotik bei van de Velde, Scholz und Klapheck (E. Pflugradt); Maschinen und Automaten-Travestie in der modernen Kunst – Aspekte eines Technik-Mythos (E. Mai).
Aus den Problemkreisen die eine oder andere Fragestellung herauszulösen und isoliert als pars pro toto zu würdigen, dürfte der Form der Sammlung wie sie vom VDI dargeboten wird und in der Grundkonzeption von Kurt Mauel, dem technisch-historischen Sachverständigen und Mitgestalter der Ausstellung, beabsichtigt war, nicht gerecht werden. Wir möchten aber meinen, daß aus vielen der Einzelbeiträge die Sorge spricht, daß die Traditionswerte unserer technischen Kultur, wie sie seit gut 200 Jahren – also seit dem Beginn der Industriellen Revolution – erwuchsen, nicht im gebührenden Umfange gewürdigt und konservatorisch gepflegt werden. Das gilt ebenso für die materielle Erhaltung der nur noch gering vorhandenen Bausubstanz aus industrieller Frühzeit als auch für die archivalische und museale Erfassung, Dokumentation und pädagogische Nutzung von Schriften, Zeichnungen, Bildwerken und Modellen. Diese müßten weit stärker als bisher in die Ausbildung künftiger Ingenieure sinnvoll eingebunden werden. Nur sehr zögernd setzt sich die zwingende Erkenntnis durch, daß ohne das Wissen um die Historie der Technik, ihrer naturwissenschaftlichen Voraussetzung als auch ihrer gesellschaftspolitischen Auswirkungen eine neue Generation von Ingenieuren schwerlich vorstellbar ist. Wir brauchen Gestalter, Fortentwickler unserer technisierten Welt, in deren künftigen Arbeiten das Wissen um die Kulturgeschichte mitschwingt. Diese neue Generation muß auch erkannt haben und entsprechend berücksichtigen, wo Gefahren zu inhumanem Gebrauch der Technik drohen und wo Fehler der Vorfahren – hier besonders im Blick auf Schutz der Umwelt – überwunden werden müssen.
In diesem Sinne bietet diese Aufsatzsammlung einen bleibenden, informatorischen Wert, nicht nur für Studenten der Technik, sondern weit darüber hinaus für alle, die sich privat oder beruflich für Technik und ihre Problemwelt interessieren und die ihr Wissen um Weg und Wirken der Technik erweitern wollen. *Sigfrid v. Weiher*

LE GRAPHISME TECHNIQUE –

son histoire et son enseignement

(Die technische Graphik – wie sie sich entwickelt hat und wie sie gelehrt wird), von Yves DEFORGE. Vorwort von Abraham MOLES Editions Champ-Vallon, SEYSSEL, Frankreich, 1981.

Weder in seiner Grundausbildung noch in der Ausübung seines Berufs findet der Techniker Hinweise auf das Vergangene. Er wird im Gegenteil oft dazu verleitet, das Gewesene als überkommen, überholt und veraltet abzutun, und ohne Gewissensbisse werden im Namen des Fortschritts ehrwürdige Maschinen zum alten Eisen geworfen, verfallene Gebäude niedergerissen und Archive vernichtet, weil sie »Platz rauben«. Nichts regt ihn zum Nachdenken über Technik an, es sei denn der Gedanke an den Nutzeffekt.
Es ist also wenig überraschend, daß die Suche nach den Ursprüngen der Technik, nach der Geschichte der Arbeit(sprozesse) bzw. nach einer Archäologie der Industrie eher dem Historiker, Soziologen oder Ethnologen vorbehalten ist als dem Techniker. Der Verfasser dieser Studie bildet die Ausnahme: ohne die Herkunft des Technikers zu verleugnen (er war in der Industrie tätig, hat technische Graphik unterrichtet und mehrere praktische Werke über Technologie und technisches Zeichnen veröffentlicht), hat er gleichzeitig Technologieforschung betrieben und technische Graphik untersucht.
Der Originaltitel »LE GRAPHISME TECHNIQUE« mag esoterisch anmuten. Der Autor erklärt dies, indem er technische Graphik definiert als »Gesamtheit der Medien, die der Übermittlung von

technischen Hinweisen an die verschiedenen Beteiligten am Arbeitsprozeß dienen«, beginnend bei der Aufgabenstellung bis zu deren effektiver Lösung und darüber hinaus, da ja auch zum Beispiel Montage- und Wartungsanleitungen in diesen Definitionsbereich fallen.

Werke, die sich mit graphischer Kommunikation befassen, gibt es reichlich, solche mit Bezug auf technische Graphik jedoch lassen sich an einer Hand aufzählen. Der Grund liegt, wie DEFORGE meint, darin, daß es sich hierbei um eine Art Klan-bezogene Kommunikation handelt, die lange als Teil des Produktionsgeheimnisses betrachtet wurde, und daß entsprechende Unterlagen schwer zugänglich sind, weil sie immer gehütet und versteckt wurden, wenn sie nicht überhaupt mit den Jahren als nutzloses Altpapier der Vernichtung anheimgegeben wurden.

Im englischen Sprachbereich wäre die Studie von P. J. BOOKER[1] zu erwähnen, die eine Geschichte der Darstellungssysteme zeichnet, während an deutschsprachigen Untersuchungen die Kulturgeschichte des Technischen Zeichnens von A. NEDOLUHA[2] und die historisch-kritische Studie von A. LIPSMEIER[3] zum technischen Zeichnen im Berufsschulunterricht vorliegen. Obwohl auch DEFORGE einen historischen und einen unterrichtsbezogenen Teil herausstellt, weicht er in der Behandlung des Themas von diesen Autoren deutlich ab. Seine These besagt, daß die technische Graphik ein Indikator für die Aufgabenteilung zwischen den verschiedenen Beteiligten am Produktionsprozeß ist, und er zeichnet eher eine Geschichte der Produktionssysteme als der eigentlichen technischen Darstellung.

So demonstriert er, vielleicht ein wenig hastig, daß im handwerklichen und korporativen Produktionssystem der Handwerker weitgehende Freiheit in der Wahl seiner Mittel besaß (Werkzeug und Verfahren), um das gesteckte Ziel zu erreichen; die beim Bau von Schlössern, Kathedralen und Prototypen verwendeten Zeichnungen waren keinesfalls als Anweisungen, sondern eher als Anregungen zu verstehen. Aber durch die konstante Hinbewegung zur »Zweiteilung des Herstellungsprozesses« fand auf der einen Seite eine Wissens- und Machtkonzentration beim Erfinder und Initiator statt, während sich auf der anderen Seite die Initiative immer mehr auf die Ausführung der eigentlichen Arbeit beschränkte. Die Dialektik von Entwurf und Ausführung wird eindeutig bestimmt von der Darstellung, mit den gezeichneten Entwürfen einerseits und den Unterlagen für die Ausführung andererseits. Was die letzteren betrifft, so handelt es sich um Instruktionen, die dem Ausführenden jeden Spielraum für einen eigenen Beitrag untersagten. Der Weg von diesem Stadium bis zur Übernahme der »automatischen« Arbeit durch die Maschine war also nicht mehr weit.

DEFORGE zeigt aber darüber hinaus, daß der Erfinder und Initiator ebenfalls schrittweise in ein Netz von Zwängen geriet, mit der Tendenz, seine Handlungsfreiheit auf die bloße Anwendung von Modellen zu reduzieren. Dieser Teil der geschichtlichen Entwicklung befaßt sich mit der Entstehung von Modellen, Mustern und Normen. Durch viele Beispiele untermauert, ist er vielleicht der interessanteste und überzeugendste im ersten Teil des Werkes. Dieser Gedanke mag nicht ganz neu sein, aber DEFORGE hellt ihn in origineller Weise auf, indem er die Entwicklung der technischen Graphik in verschiedenen Produktionssystemen wie der Erstellung von Gebäuden, dem Bau von Mühlen, dem Schiffsbau und dem Maschinenbau untersucht.

Ein Abschnitt am Ende des Kapitels, das u. a. dem Schiffsbau gewidmet ist, faßt zusammen, was DEFORGE unter dem Verhältnis von Produktionsstruktur und technischer Graphik versteht: »Wir erkennen hier eine wissenschaftsbezogene Konstante, die wir anhand der mechanischen Konstruktionen erläutern können. Die ersten funktionstüchtigen Schiffe werden in ihrer Rolle als Modell zunächst kopiert; dann werden in allmählicher Schlußfolgerung »Maßregeln« (Proportionen) bzw. technologische Regeln (Materialauswahl, Anordnung der Masten und des Segelzeugs) abgeleitet. Sobald diese Modelle graphisch kodifiziert werden können, tritt anstelle der direkten dreidimensionalen Darstellung teilweise die zeichnerische. Dieser Vorgang wiederholt sich mehrmals und ergibt »Grundmodelle« bzw. »Grundregeln«, von denen die ersten gegen 1690 in Erscheinung treten. In den nachfolgenden Jahrhunderten vermehren sich diese Studien, die zu einer solchen Perfektion in der Modellgestaltung geführt werden, daß heute gewisse Schiffsformen mit dem Computer errechnet und entworfen werden.

Diese Unterscheidung zwischen »Ausführungsmodell« und »Grundmodell« ist der Ausgangspunkt für den zweiten Teil des Werks. Die Zweiteilung der Produktionssysteme zeigt sich für DEFORGE in der Zweiteilung des Systems des technischen Unterrichts in Frankreich, die sich mit dem Voranschreiten der Automatisierung noch deutlicher abhebt; in neun Ingenieurschulen setzt man sich mit »Grundmodellen« auseinander, während die technisch orientierten Berufsschulen sich mit der Vermittlung des Grundwissens für die Durchführung befassen, sei es unter Bezug auf das zeichnerische Modell, die angewandte Technologie oder die Verhaltensweise im Arbeitsprozeß. DEFORGE bedient sich hier verschiedener Lehrbücher und Unterrichtsprogramme für technisches Zeichnen, um seine Aussagen zu bekräftigen. Als zentrales Beispiel dient das Werk von Gaspard Monge (1746–1818), dem Begründer der beschreibenden Geometrie, dem er fast dreißig Seiten widmet (S. 189–217).

Im Sinne von Monge, der ein echter Revolutionär war, sollte die beschreibende Geometrie für das arbeitende Volk ein Instrument der Emanzipation sein; er machte daraus sogar eine Grundlage für eine Veränderung der Produktionsstrukturen. DEFORGE zeigt jedoch auf, daß das »Grundmodell« sehr schnell von den Ingenieurschulen einverleibt wurde, während man in den Berufsschulen sich damit begnügte, geometrische Grundstrukturen und berufliche Verfahrensweisen zu lehren, die aus der Sicht des Herstellers als völlig ausreichend erschienen.

Vielleicht hätte DEFORGE deutlicher den spezifisch französischen Ansatz seiner Analyse herausstreichen können; denn was er zu Recht für die Entwicklung in Frankreich auszusagen vermag, läßt sich nicht automatisch für alle anderen Länder folgern. Wie neuere Untersuchungen zu vergleichbaren Produktionssystemen anzudeuten scheinen, bestehen Strukturunterschiede, die auf äußere Faktoren wie die gesellschaftliche Entwicklung und die Auswirkung des Unterrichtssystems zurückzuführen sind.

In Deutschland oder in Österreich beispielsweise scheint die Kluft zwischen Konzeption und Ausführung weniger tief zu sein als in Frankreich, dank einer gewissen Tradition, die den Aufstieg innerhalb des Arbeitsprozesses fördert. Dies wäre jedoch gründlicher zu untersuchen.

Das Buch von Yves DEFORGE verdient Beachtung, weil hier ein Analytiker in einer Weise ans Werk geht, wie sie sich mit gleichem Ziel auch auf andere Länder übertragen läßt. Neben der methodisch interessanten Verfahrensweise hat das Buch noch den Vorteil, gut illustriert und leicht lesbar zu sein. Es trägt darüber hinaus zum Bewahren des industriellen Erbes in Europa nicht unwesentlich bei. *Wolfgang Rössle*

1) P. J. BOOKER, A History of Engineering Drawing, Northgate Co. London, Neuauflage 1979.

2) A. NEDOLUHA, Kulturgeschichte des Technischen Zeichnens, Springer Verlag, Wien, 1960.

3) A. LIPSMEIER, Technik und Schule, die Ausformung des Berufsschulcurriculums unter dem Einfluß der Technik als Geschichte des Unterrichts im technischen Zeichnen, Steiner, Wiesbaden, 1971.

Nachruf

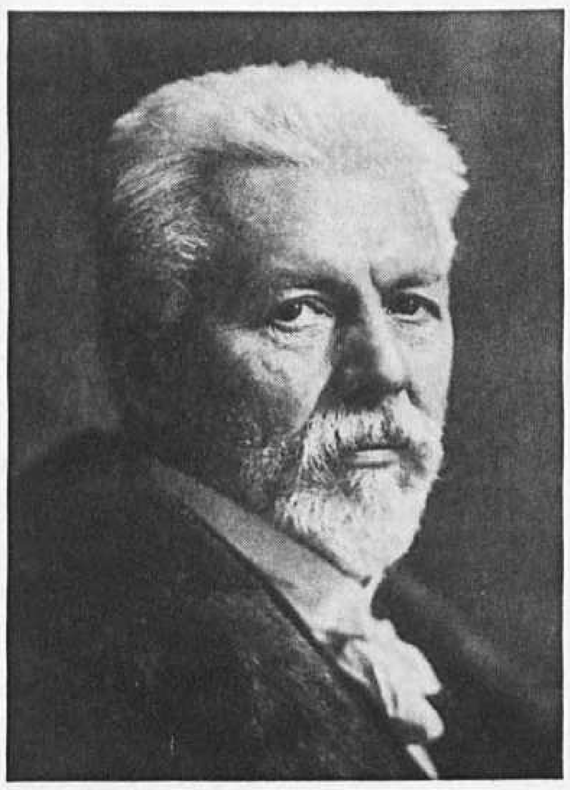
Professor Heinrich Welker, der Leiter des wissenschaftlichen Beirats des Projekts »Geschichte der Festkörperphysik« am Deutschen Museum, starb überraschend in der Nacht vom 24. zum 25. 12. 1981 im Alter von 69 Jahren.

Welker, aus einer mittelständischen Ingolstädter Beamtenfamilie stammend, studiert in München Mathematik und Physik, um Lehrer zu werden. Nach seiner Zulassungsarbeit 1934 bei dem berühmten Arnold Sommerfeld faßt er den Entschluß, weiter wissenschaftlich zu arbeiten und bleibt als Assistent bei Sommerfeld, bei dem er 1936 promoviert. Angeregt durch Sommerfelds Arbeiten zur Elektronentheorie der Metalle, beginnt er, wie viele Zeitgenossen, eine Theorie zur Supraleitung aufzustellen, die ihm Beachtung einbringt und Thema seiner Habilitationsschrift wird. Nach jahrelanger Beschäftigung mit theoretischen Modellen wächst in ihm der Wunsch, Bezüge zur Praxis herzustellen und durch eigene Experimente seine Theorien zu bestätigen. Er wird 1940 Mitarbeiter des Radarprojektes am Flugfunkforschungsinstitut in Oberpfaffenhofen und beschäftigt sich mit der Verbesserung der Detektoren für cm-Wellen. Hartnäckig verfolgt er, gegen die Übermacht der Verfechter eines Röhrenkonzepts, seine Idee des Halbleiterdetektors, beginnt am Lehrstuhl des phys. Chemikers Clusius mit eigenen Messungen und erreicht durch Wahl von neuen Materialien mit besserer Temperaturbeständigkeit und höheren Beweglichkeiten der Ladungsträger bis Kriegsende eine entscheidende Verbesserung seiner Detektoren. Versuche, Elektronen im Festkörper zu steuern, bringen ihn an das Konzept eines Feldeffekttransistors heran. Diese Tätigkeiten enden 1945; Untersuchungen mit cm-Wellen werden auf Jahre hinaus in Deutschland verboten. Dank seiner fundierten theoretischen und praktischen Kenntnisse um Halbleitermaterialien wird er 1946 Laborleiter bei Westinghouse/Paris, wo er bis 1951 bleibt. Der Gedanke an eine Erhöhung der Elektronenbeweglichkeiten in Halbleitern beschäftigt ihn weiter und gipfelt schließlich in Untersuchungen von Mischverbindungen aus den Gruppen III und V des periodischen Systems der Elemente wie Indiumantimonid und Galliumarsenid, deren halbleitenden Charakter er als erster erkennt.
Siemens-Schuckert wird auf seine Arbeiten aufmerksam und stellt ihn 1951 als Mitarbeiter ein. Durch gezielte Herstellung einer Reihe von III/V-Halbleitern gelingt es ihm, Beweglichkeiten zu erzielen, die weit über denen der Standardhalbleiter Selen, Silizium und Germanium liegen. Weitere Berechnungen und Experimente um diese neuerkannten Verbindungen führen nicht nur zu tieferen theoretischen Erkenntnissen und besseren Herstellungsverfahren, sondern auch zu einer weltweiten industriellen Ausnutzung und einer unglaublichen Flut neuer Halbleitermaterialien. Welker ist inzwischen Leiter des Forschungslabors der Siemens AG geworden und bleibt es bis zu seiner Pensionierung 1977. Er erhält für seine Arbeiten auf dem Halbleitergebiet zahlreiche Preise und Ehrungen. Seine wissenschaftliche Arbeit nach 1977 widmet er wieder seinem Jugendthema, der Supraleitung, das für ihn auch durch die Aufstellung der allgemein anerkannten und mit dem Nobelpreis gewürdigten BCS-Theorie in den 50er Jahren nichts an Aktualität verloren hatte.
Seit April 1981 hat sich Heinrich Welker auch dem Projekt Festkörperphysikgeschichte am Deutschen Museum zur Verfügung gestellt, um mit seinem Namen, seinem Wissen und seinen Verbindungen zur ersten historischen Zeichnung dieses jungen Zweiges der Physik beizutragen. Wir haben ihm u. a. eine Reihe wichtiger Briefe und Manuskripte aus seinem eigenen Nachlaß zu verdanken (in Kopien im Deutschen Museum), darunter Korrespondenz mit Sommerfeld und Heisenberg sowie die Vermittlung eines Teilnachlasses von W. Schottky als Leihgabe von Professor Beneking, Aachen. Dieser Teilnachlaß wird vom Projekt gesichtet und zusammen mit anderen Teilen von Schottkys Nachlaß (im Siemens-Museum etc.) erfaßt. Noch ein paar Wochen vor seinem Tod führten wir ein Tonbandinterview mit Heinrich Welker durch, in dem er uns sein wissenschaftliches Leben bis etwa 1941 schilderte. Dieses Interview sollte nach Weihnachten fortgesetzt werden. Statt dessen ist es nun singuläres historisches Dokument geworden. Wir alle trauern mit den vielen, die ihn vor uns kannten und schätzten, um einen großen Wissenschaftler, der die Brücken zwischen Wissenschaft und Technik ganz selbstverständlich knüpfte, aber auch um einen liebenswerten und unersetzlichen Ratgeber.

Gisela Torkar, Jürgen Teichmann, Michael Eckert

Georg Kerschensteiner

Vor 50 Jahren starb der Pädagoge Georg Kerschensteiner, einer der ganz Großen des deutschen Bildungswesens, der von 1921 bis 1932 auch im Vorstand des Deutschen Museums tätig war. Wir sollten uns in diesem Jahr besonders an ihn erinnern, denn er ist dem Deutschen Museum, auch von unserem heutigen Aufgabenverständnis her, eng verbunden.



Kerschensteiner hat seine Umgebung durch Denken und Handeln geprägt: über lange Jahre als Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik, als Bildungspolitiker in München, wo er besonders für die berufliche Bildung eintrat, als Hochschullehrer und eben auch als Vorstandsmitglied des Deutschen Museums. Denken und Handeln sind im Bildungsbereich untrennbar miteinander verknüpft. Vor dem Denken stand aber für Kerschensteiner das Werten: »Bildung liegt nicht in dem geistigen Besitz, den wir haben, sondern in der Wertgestalt, die

wir sind«. So schrieb er 1929 über »Die Bildungsaufgaben des Deutschen Museums«.
Heute scheint sich für viele Bildung in der möglichst umfassenden Ausnützung aller materiellen Möglichkeiten zu erschöpfen – vom Genuß der Medien bis zur Kulturreise nach Ceylon. Für andere ist Bildung immer noch beschränkt auf den Besitz der eng verstandenen Kulturgüter: Kunst und Philosophie aus der Sphäre der Geisteswissenschaften. Kerschensteiner hat sich als einer der wenigen bürgerlichen Bildungsdenker bis heute für die Technik als Bildungsgut, nicht nur als Ausbildungsinhalt eingesetzt. Technik sollte ferner auf keinen Fall als Belehrungswissen vermittelt werden, sondern als Erfahrungswissen. Arbeiten an der Werkbank gehörten zur Schule, ebenso wie Experimente und Beobachtungen, und zwar der Schüler, nicht Demonstrationsvorführungen der Lehrer! Das war vor dem Ersten Weltkrieg revolutionär und ist heute immer noch selten ideal verwirklicht. Als wir vor sechs Jahren ein Kolleg mit eben dieser Absicht im Deutschen Museum gründeten, nicht nur für Schüler, sondern auch für Studenten, Lehrer, Ausbilder aus Hochschule und Industrie, was lag näher, als seinen Namen dafür zu verwenden? Unser ganzes Museum lieferte die Experimentiermöglichkeiten sowie die Erfahrungen. Es war schon immer ein großes »Bildungsinstitut« gewesen, wie er es 1929 genannt hatte, und hat sich, durch ihn beeinflußt, noch stärker um diese Rolle bemüht, ohne seine wissenschaftlichen Aufgaben im Bereich der Geschichte und der Dokumentation außer acht zu lassen.
Den Erfolg, den wir mit unserem Kerschensteiner Kolleg haben – selbst jetzt in der schlimmen Rezession hat das Interesse, auch aus dem Bereich der Industrie, nicht nachgelassen –, ist wohl auch eine besondere Referenz an Georg Kerschensteiner selbst: Seine Ideen, Naturwissenschaft und Technik als Teil der Bildung anschaulich und begreifbar zu vermitteln, sind immer noch die wirksamsten.

Theo Stillger, Generaldirektor des Deutschen Museums

Geschichte der Wasserkraftnutzung

Eine Tagung über dieses Thema findet am 23. und 24. April 1982 in Koblenz statt. Sie wird veranstaltet vom Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig und vom Studienkreis für Geschichte des Wasserbaus, der Wasserwirtschaft und der Hydrologie mit Unterstützung der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Alle Interessenten sind zur Teilnahme eingeladen.
Behandelt werden soll die Entwicklung der Wasserkraftnutzung von den Anfängen in der Antike bis in unsere Zeit hinein. Bei der »klassischen« Wasserkraftanlage, der »Mühle«, soll nicht nur die Kraftmaschine, sondern es sollen auch die vielfältigen Arbeitsmaschinen dargestellt werden.
Bei der Vortragsveranstaltung am 23. April führt den Vorsitz Professor Dr.-Ing. G. Garbrecht, Braunschweig. Am Abend findet ein Empfang in den Mühlenwerken des Landesmuseums Koblenz – Staatliche Sammlung technischer Kulturdenkmäler – auf der Festung Ehrenbreitstein statt. Am 24. April soll eine Omnisbusexkursion zu technikgeschichtlich bedeutenden, teilweise noch funktionierenden Anlagen vorwiegend im Mosel- und Nahegebiet führen.
Interessenten werden gebeten, das Programm mit Anmeldekarte bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Postfach 309, 5400 Koblenz, anzufordern. Etwaige Rückfragen werden erbeten an Dr.-Ing. F. Tönsmann im Ingenieurbüro Dr.-Ing. G. Björnsen, Kurfürstenstr. 87a, 5400 Koblenz, oder an Dr.-Ing. M. Eckoldt, Unterer Lagweg 12, 5420 Lahnstein.

Ein Stipendienprogramm zur Wissenschafts- und Technikgeschichte, gefördert durch die Stiftung Volkswagenwerk

Ab Anfang April 1982 werden im Deutschen Museum Wissenschaftler arbeiten, die für zwei bis sechs Monate aus Mitteln der Stiftung Volkswagenwerk unterstützt werden können. Sie sollen zu Themen arbeiten, die Wissenschaft und Technik als wesentliche Bestandteile der kulturellen Entwicklung der Menschheit (z. B. von Wirtschaft und Geistesleben) im Erklärungszusammenhang historischer Prozesse erkennen lassen.
Bedingungen für diese Unterstützung sind, daß ein berufsqualifizierender Abschluß an einer Universität oder Hochschule vorliegt und daß sich die Stipendiaten verpflichten, Forschungen in München, insbesondere am Deutschen Museum durchzuführen. Der Stipendiat hält regelmäßig Kontakt zum Kerschensteiner Kolleg des Deutschen Museums und berichtet von Fall zu Fall in den wissenschaftlichen Kolloquien oder Symposien und Fortbildungsveranstaltungen am Deutschen Museum über den Fortgang seiner Arbeit. Am Ende des Studienaufenthaltes wird ein Schlußbericht erwartet.
Die Stipendiaten können in 1-Zimmer-Appartements innerhalb des Deutschen Museums wohnen und haben von hier direkten Zugang zum Kerschensteiner Kolleg (Hoteltrakt, Vortragsräume, Studienlabor für Rekonstruktionen, Experimente etc.), zu den Benutzungseinrichtungen der Bibliothek mit Sondersammlungen, zu den Museumsausstellungen und zu den anderen Bildungs- und Forschungseinrichtungen des Museums. Bibliothek und Ausstellungen sind auch am Wochenende geöffnet. Die Stipendiaten erhalten Zugang zu allen für sie wichtigen Quellen.
Eine Informationsbroschüre sowie Auskünfte zu diesem Programm sind zu erhalten beim

Deutschen Museum
Kerschensteiner Kolleg
Postfach 26 01 02
8000 München 26

BERICHTIGUNG zu Heft 3/81:

Auf den Seiten 151 und 153 wurden die Bilder von Sextant und Oktant vertauscht. Wir bitten um Entschuldigung.

Schrifttumshinweis:

Joachim Herrmann: Astronomie. Wissenschaft aktuell. 324 Seiten mit 230 ein- und mehrfarbigen Fotos und Zeichnungen. Ln. DM 34,–. Mosaik Verlag, München 1981.

Jörg Negendank: Geologie. Wissenschaft aktuell. 324 Seiten mit 200 ein- und mehrfarbigen Fotos und Zeichnungen. Ln. DM 34,–. Mosaik Verlag, München 1981.

Die Reihe »Wissenschaft aktuell« aus der Verlagsgruppe Bertelsmann wendet sich an den interessierten Laien. Das Thema wird – und das ist bei dem vorgegebenen Umfang nicht verwunderlich und muß kein Nachteil sein – nur unvollständig abgehandelt. Die einzelnen Kapitel sind in loser Form aneinandergefügt, durch ein Register erschlossen und durch viele Abbildungen, Zeichnungen und Tabellen ergänzt.

Unsere Autoren

Dr. rer. nat. *Fritz Dieter Erbslöh,* Hauptgeschäftsführer und wissenschaftlicher Leiter der Gesellschaft der Förderer des Deutschen Energiezentrums, Essen. Geboren 1935 in Wuppertal; Studium des Maschinenbaus und der Physik an der T. H. Hannover; Promotion 1964; Industrietätigkeit 1964 bis 1977, zunächst als Projektleiter bei Luft- und Raumfahrtunternehmen, dann als Entwicklungsleiter in einem Unternehmen der Elektroindustrie.

Prof. Dr. rer. nat. *Ivo Schneider* (siehe Kultur & Technik 2/77 und 3/79) hat sich mit dem in diesem Haft behandelten Thema insbesondere auch in den beiden Büchern: Ivo Schneider, Archimedes, Wiss. Buchgesellschaft Darmstadt 1979, und Ivo Schneider (Herausgeber), Carl Friedrich Gauß (1777–1855), Minerva München 1981, beschäftigt.

Diplom-Informatiker *Peter Zoller,* geb. 1952, studierte an der mathematischen Fakultät der TU München Informatik. Nach Abschluß des Diploms im Jahre 1978 arbeitete er im Forschungslaboratorium der Siemens AG auf dem Gebiet der Betriebssysteme und Programmiersprachen. In diesem Zusammenhang entstanden verschiedene Berichte und Veröffentlichungen über Betriebssysteme und Rechnerarchitekturen. Zur Zeit ist Peter Zoller am Institut für Betriebssysteme der Bundeswehr-Hochschule München beschäftigt.

Manfred Achilles, 1927 geb., noch Soldat gewesen, Physiklehrer-Studium in Berlin, Schuldienst bis 1962, Assistent, Akademischer Rat und später Professor an der ehem. Pädagogischen Hochschule Berlin, seit 1980 TU Berlin. Seit 8 Jahren Interesse für Geschichte der Physik, mehrere Exkursionen ins Deutsche Museum. Spezielles Interesse R. W. Pohl als Physiker und Didaktiker.

Wo fehlt eine?

Riesenauswahl

Schreibmaschinen und Elektronikrechner (auch Texas) für Büro, Universität und Schule. Stets Sonderposten. Kein Risiko, da Umtauschrecht. Barpreis = Ratenpreis.

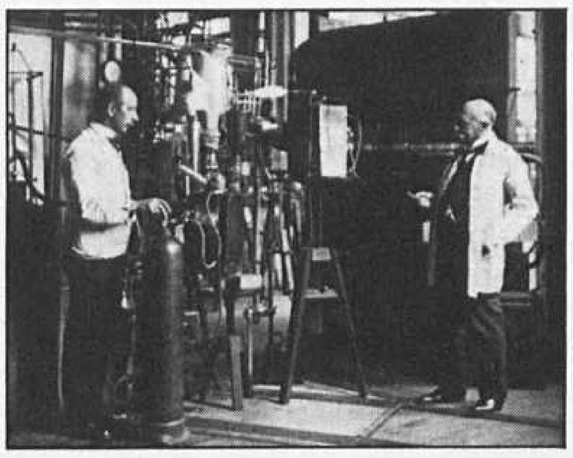
Fordern Sie Gratiskatalog 628 N

NÖTHEL Deutschlands großes Büromaschinenhaus

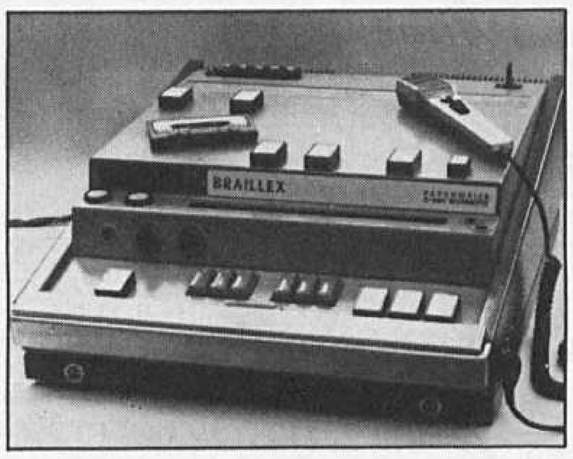
A. G. – M. Z H

34 GÖTTINGEN, Postfach 601

Vorschau

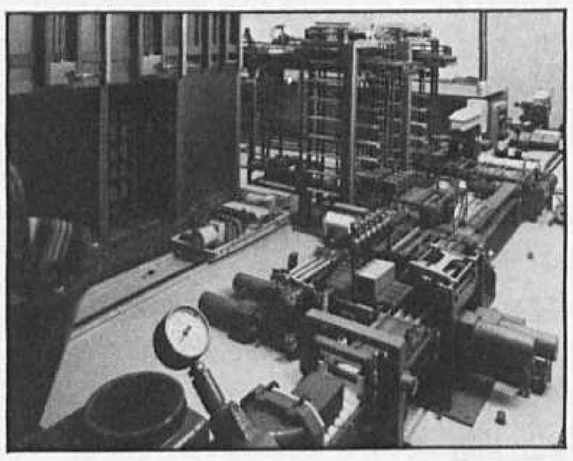


Das Deutsche Museum besitzt seit kurzem eine Heliumverflüssigungsanlage. Die Geschichte der Verflüssigung von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Helium ist gleichzeitig der Weg in Richtung auf den Absoluten Nullpunkt. *(Gerhard Hartl)*

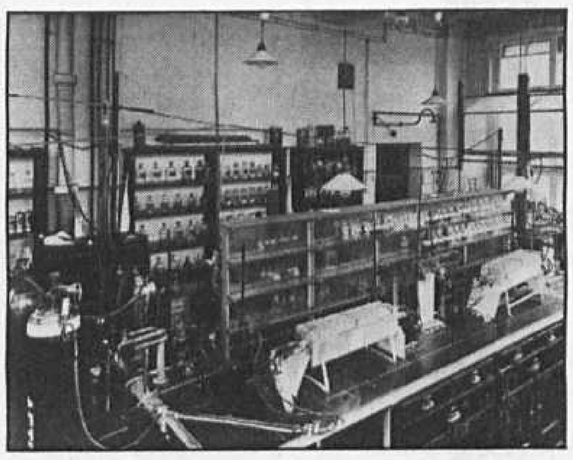


Das BRAILLEX-System ist ein vielseitiges elektronisches Blindenhilfs- und Kommunikationsmittel, auch »Privatsekretär für Blinde« genannt. Seine Geschichte spiegelt die Rasanz der ganzen technologischen Entwicklung des letzten Jahrzehnts wider.
(Prof. Dr. Werner Boldt)

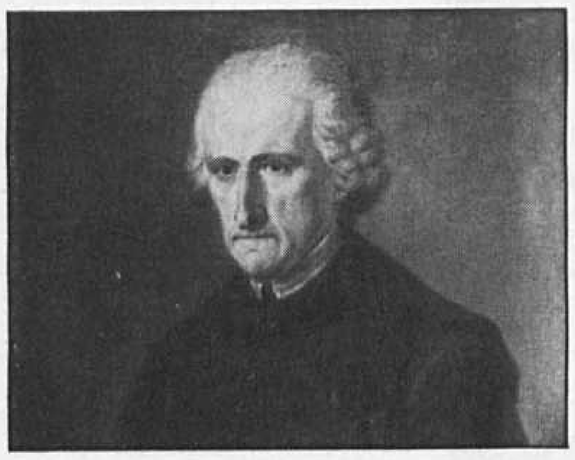
Durch viele Jahrhunderte galt Berchtoldus Niger als der Erfinder des Geschützes und des Pulvers. Doch die Forschung des 20. Jahrhunderts hat ihn als nicht-historisch bezeichnet und leugnet seine geschichtliche Existenz.
(W. Gerd Kramer)



Die industrielle Automatisierung wurde sehr früh in der Ziegelherstellung eingeführt, entwickelt durch Carl Keller. Für die neue Abteilung Keramik im Deutschen Museum wurde eine vollautomatische Modellziegelei aufgebaut.
(Prof. Dr. Peter Fischer)

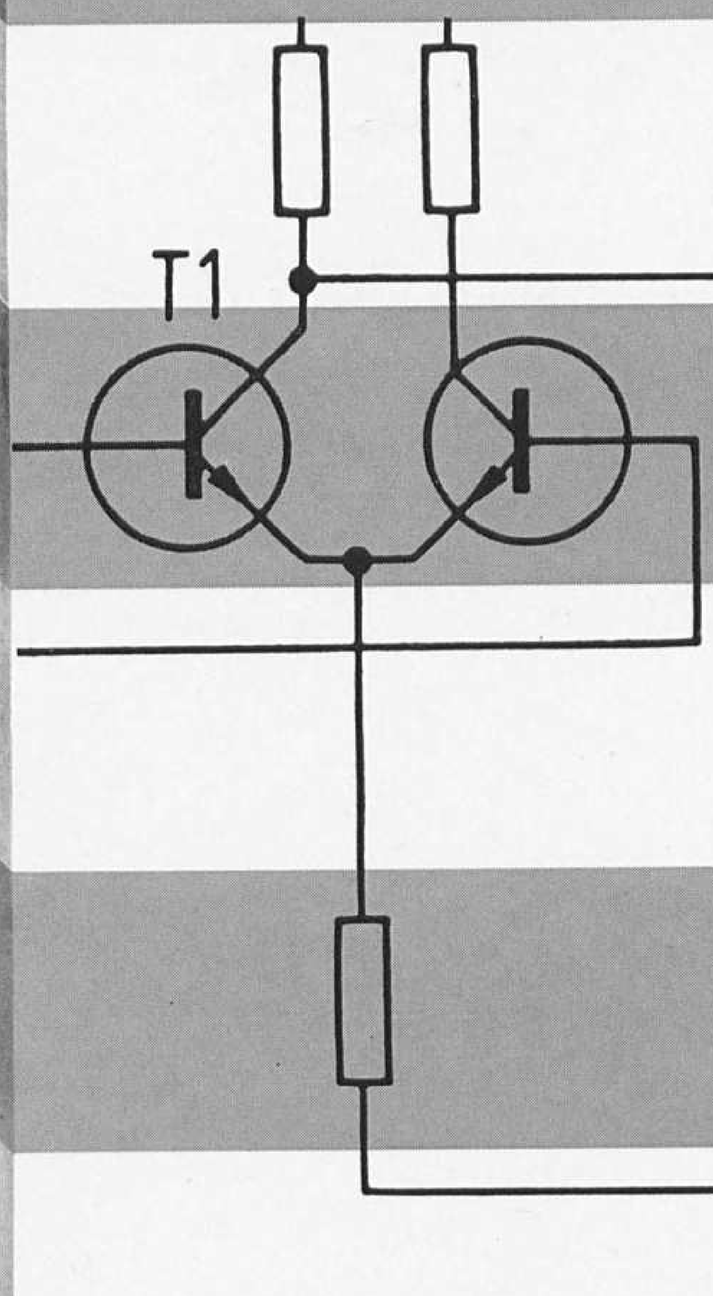


Friedrich Bergius erhielt schon 1909 die Anregung zur Beschäftigung mit Hochdruckreaktionen in der Chemie, speziell mit Hydrierung, d. h. der Anlagerung von Wasserstoff. Das wichtigste Ergebnis war die Auffindung der hydrierenden Reaktion des Wasserstoffs unter hohem Druck und Temperatur mit Kohle.



Ildephons Kennedy, Schottenmönch, an der St.-Jacobs-Abtei zu Regensburg als Professor tätig, wurde 1761 Sekretär der Kurbayerischen Akademie der Wissenschaften in München, wo er 40 Jahre arbeitete. Sein Nachlaß bildet eine wichtige Quelle für die richtige Beurteilung der Frühgeschichte der Akademie.
(Eric Gray Forbes)

THIEMIG-TASCHENBÜCHER



Aktuell zum Thema Elektronik:

E. Vogelsang
Einführung in die Elektronik
Band 26/192 S.; DM 16,80

K. Abend/E. Vogelsang
Nukleare Elektronik
Band 47/152 S.; DM 14,80

H. Vahldiek
Operationsverstärker
Band 84/116 S.; DM 19,80

G. Schnell
Magnete
Band 49/248 S.; DM 24,–

W. Hofmann
Zuverlässigkeit von Meß-, Steuer-, Regel- und Sicherheitssystemen
Band 32/236 S.; DM 16,80

H. Müller-Mohnssen
Physik der Nervenerregung
Band 87/484 S.; DM 120,–

Prospekt- und Informationsmaterial durch den Verlag.

Fach-, Lehr- und Taschenbücher über den Buchhandel erhältlich.

VERLAG KARL THIEMIG · MÜNCHEN
POSTFACH 90 07 40

J.W. von Goethe schrieb diesen Brief am 27. Juni 1817.

Fachinger. Das Lieblingswasser der Anspruchsvollen und Gesundheitsbewußten.

Wasser gibt es viele. Fachinger nur eines. Unübertroffen in Zusammensetzung, Reinheit und Wirkung. Wohltuend für Magen, Darm und Galle. Stoffwechselanregend, kohlensäurearm und belebend. Wohlschmeckend, verdauungsfördernd und bekömmlich. Ideal für die schlanke Linie, erfrischend und gesund. Zur Vorbeugung und in der Rekonvaleszenz. Denn nur Fachinger enthält 11 von 14 lebenswichtigen Spurenelementen. Fachinger. Rein natürlich. Zu Hause und in guten Restaurants.

STAATL. FACHINGEN

...denn Gesundheit ist unser höchstes Gut.

STAATL. FACHINGEN: Für Magen, Darm und Galle, gegen Mineralstoffmangel und Sodbrennen. Staatl. Mineralbrunnen, 6251 Fachingen/Lahn.