

Hugo Theodor Horwitz

Das Relais-Prinzip  
Schriften zur Technikgeschichte

Herausgegeben  
von Thomas Brandstetter und Ulrich Troitzsch

Löcker



Hugo Theodor Horwitz  
(1882–1941)



Marianne Horwitz  
(1893–1941)

## Das Relais-Prinzip

[Erstabbruck in: Technik und Kultur 20 (1929), S. 125-129 und S. 141-146.]

Inhalt: Methodologische Betrachtungen – Geschichtsphilosophie und Entwicklungsgesetze – Relais- und Transformator-Schaltung – Drehbewegung – Energieformen und Energieverteilung – Technik und Rhythmus – Ursprüngliche Relaisvorrichtungen – Höhere Relaisvorrichtungen – Überwachungseinrichtungen – Zusammenfassung.

### Methodologische Betrachtungen

Die Geschichte der Technik ist eine verhältnismäßig junge Wissenschaft. Obwohl sie schon seit einer Reihe von Jahrzehnten intensiver als nur wegbereitend und volkstümlich betrieben wird, hat sie es bisher noch nicht weiter als bis zum Sammeln des ihrem Forschungsbereiche zugrunde liegenden Materials und bis zu dessen einfacher zusammenfassender Darstellung gebracht, die je nach der gefühlsmäßigen Einstellung der Vertreter dieser Disziplin, bald oberflächlicher, bald wissenschaftlich eingehender gestaltet war, ohne daß sich die Autoren über die Art der Darstellung jemals Gedanken machten.

Dies ist etwa der Zustand, in dem sich die allgemeine Geschichtswissenschaft in der Epoche befand, da man sich über ihre Methodologie noch nicht im klaren war. Jedoch auch in diesem Zeitabschnitt erfuhr die Wiedergabe der allgemeinen geschichtlichen Ereignisse schon mancherlei Wandlungen; augenfällig wurden diese Veränderungen, ihre Unterschiede und der Fortschritt, den die einzelnen Phasen bedeuteten, erst in einer späteren Epoche, nämlich in derjenigen, in der die methodologische Untersuchung eine ins einzelne gehende, analysie-

rende Erforschung der Tatsachen und Darstellungen vornahm. Der Schritt zur methodologischen Behandlung ihres wissenschaftlichen Gebietes bleibt keiner Disziplin erspart, die geschichtlich begründet ist, oder die Beziehungen zu historischem Geschehen aufweist. So hat z. B. die Ethnologie in den letzten Jahrzehnten diese Wandlungen erfahren. Das Beispiel wurde nicht willkürlich gewählt, denn die Völkerkunde war im Anfang eine rein naturwissenschaftliche Disziplin, die sich aus den Berichten der Forschungsreisenden im Zusammenhange mit der Wiedergabe ihrer Beobachtungen von Ländern, Tieren, und Menschen entwickelte.

Dem Techniker und Naturwissenschaftler wird nun die Beobachtung des allmählichen Überganges einer solchen Disziplin, die auch in der Naturwissenschaft wurzelt und nach und nach ins historische (also demgemäß auch vom naturwissenschaftlichen ins geisteswissenschaftliche Gebiet) hinüberwechselt, willkommen sein, als die Verfolgung des Werdeganges eines rein geisteswissenschaftlichen Faches, und sie wird ihn zu besonderem Nachdenken anregen. –

Die Technik hat für alle ihre auf höchster Stufe stehenden Betriebe die Forderung nach strengster Wirtschaftlichkeit aufgestellt. Auch bei der Art ihrer Unterrichtsmethoden wäre diese Forderung wünschenswert. Streng genommen wurde sie bisher noch nicht erhoben und auch keineswegs systematisch durchzuführen versucht, wenn auch manche Ansätze hierzu schon vorliegen.

Es wäre ein dankbares Gebiet für die auf ökonomische Höchstleistungen eingestellten Techniker und Ingenieure gewesen, die Geschichte ihres Faches auf ebensolcher Grundlage aufzubauen, um mit dem geringsten Aufwand von geistigen und materiellen Mitteln die höchsten Leistungen zu erzielen. Leider ist dies von Anfang an nicht erfolgt, ja, man hat vielleicht gerade den entgegengesetzten Weg hierzu eingeschlagen. Auch heute, wo die Technohistorie schon auf einige Jahrzehnte ihres Bestandes zurückblicken kann, wurde noch von nieman-

dem diese Überlegung gepflogen; sie hätte sofort eingehende methodologische Studien nach sich gezogen. Bedenkt man, daß die allgemeine Geschichtswissenschaft über vielerlei weitreichendste methodologische Untersuchungen ihrer Disziplinen verfügt, daß eine außerordentlich reiche Literatur in allen Kultursprachen hierüber vorliegt, daß außerdem die methodologischen Forschungen in den letzten Jahrzehnten manchen Fortschritt erfahren haben, und daß auf Grund dieser Untersuchungen bestimmte, allgemein anerkannte Leitsätze aufgestellt wurden, so sieht man, wie die Nichtbeachtung all dieser wissenschaftlichen Leistungen durch die Technohistoriker einen prinzipiellen Fehler bedeutet, wie die wissenschaftliche Höhe des neuen Faches dadurch künstlich herabgedrückt und wie damit auch dem als oberstes Gesetz in der Technik geltenden ökonomischen Prinzip direkt ins Gesicht geschlagen wurde.

Man wird demnach einsehen, daß eine historische Disziplin, wie es die Geschichte der Technik ist, nicht ohne schärfste methodologische Behandlung auskommen kann. Da ein Eingehen auf die damit verbundenen mannigfaltigen Fragen Umfang und Form dieses Aufsatzes sprengen würde<sup>1</sup> soll deshalb – gleichsam als Endergebnis einer längeren auf methodologische Probleme sich beziehenden Auseinandersetzung – nur gesagt sein, daß jede historische Wissenschaft bei ausreichender Vertiefung ihres Arbeitsgebietes und bei genügender Klarlegung ihrer Probleme in innige Beziehung zur Philosophie treten muß.

#### Geschichtsphilosophie und Entwicklungsgesetze

Man hat den Teil der Philosophie, der den Kontakt mit der Geschichtswissenschaft herstellt, Geschichtsphilosophie genannt, und bei jeder geschichtsphilosophischen Behandlung tritt letzten Endes auch die Frage auf, ob es Gesetze im historischen Geschehen gibt.

Auf unser eigenes Gebiet – die Geschichte der Technik – angewendet, lautet diese Frage: Gibt es Gesetze in der Geschichte der Technik, unterliegt das allmähliche Werden, die stetige Vervollkommnung der technischen Welt allgemeingültigen Grundgesetzen?

Vorweggenommen sei hier gleich, daß man unter historischen Gesetzen etwas anderes versteht, als was der exakte Naturwissenschaftler sonst unter Gesetzen zu verstehen geneigt ist. Während nämlich die Gesetze der Mathematik und der exakten Naturwissenschaften unbedingte Geltung besitzen – die Redensart: keine Regel ohne Ausnahme, ist von Philologen und Historikern aufgestellt worden und erregt in ihrer häufig gedankenlosen Verwendung oft Unbehagen, Mißbilligung und Entrüstung bei Naturwissenschaftlern und Technikern – ist dies bei den Erscheinungen, die wir als historische Gesetze bezeichnen, keineswegs der Fall; sie werden in den Ablauf des Geschehens vom denkenden Menschen »hineingesehen«, sie unterliegen Schwankungen in ihrer Auffassung und ihre Aussagen sind deswegen oftmals unbestimmt und veränderlich. Dazu kommt noch, daß sich ihr Wirkungsbereich manchmal nicht auf das gesamte Gebiet der Technik erstreckt, sondern gelegentlich Ausnahmen zuläßt, und daß endlich das Gesetz auch dort, wo es am intensivsten hervortritt, keineswegs unbedingte Geltung für alle Erscheinungsformen besitzt, sondern daß es nur in der Gestalt des wahrscheinlichsten Auftretens verschiedener Möglichkeiten nach dem Gesetze der großen Zahlen angewendet werden kann.

Als Beispiel für den Versuch, Gesetze in der Entwicklungsgeschichte der Technik aufzustellen, sei hier nur das von Ernst Kapp in seinen »Grundlinien einer Philosophie der Technik« (Braunschweig 1877) verfochtene Prinzip der Organprojektion und das von E. Hartig verteidigte Gesetz vom Gebrauchswechsel<sup>2</sup> angeführt. Kapp war Anthropologe, Hartig Techniker; die Gedankengänge des ersteren, die freilich äußerst weitschweifend und philosophisch stilisiert darge-

stellt sind, haben bei Ingenieuren und Technikern überhaupt keine Beachtung gefunden, werden aber häufig von Ethnologen erwähnt. Die Hartigschen Untersuchungen fanden zwar durch einige Technologen Verteidigung und Weiterverbreitung, aber auch sie dürften den Ingenieuren im allgemeinen vollständig unbekannt geblieben sein.<sup>3</sup>

Bei diesen Versuchen, Entwicklungsgesetze in der Technik aufzustellen, von denen die oben angeführten nur zwei Beispiele bilden, kam jedoch stets das Problem des Entstehens der Maschine zu kurz. Hierbei sei unter Maschine sowohl die Vorrichtung zur Erzeugung von technisch bequem verwertbarer Energie, also die Kraftmaschine, als auch diejenige Vorrichtung verstanden, deren Zweck in einer beabsichtigten Formänderung, die durch eingeleitete Energie hervorgerufen wird, besteht. Aber gerade auf diese beiden technischen Erzeugnisse konzentriert sich unser größtes Interesse, denn sie stellen, namentlich in zwei Spezialformen, einerseits in der kalorischen Maschine mit ihrer wenn auch nur äußerlichen Ähnlichkeit mit dem Lebensprozesse organischer Gebilde, andererseits in der völlig automatisch wirkenden Arbeitsmaschine und ihrem ebenfalls an organische Einrichtungen erinnernden Schaltungs- und Überwachungsdienst, wohl die fesselndsten Schöpfungen der menschlichen Technik dar.

Die technischen Gebilde an sich zeigen ganz eigenartige Erscheinungsformen auf Erden. Um uns diese klarzumachen, müssen wir nach Möglichkeit von unserer gewohnten irdischen Betrachtungsweise absehen und uns, soweit zugänglich, auf einen extellurischen Standpunkt einstellen. Nehmen wir an, daß der Mensch von der Erde verschwunden wäre und ein nichtirdisches Wesen durch Zufall und Erschließung den größten Teil der vom Menschen benützten technischen Erzeugnisse wieder auffinden und in ihrem ursprünglichen Zustand rekonstruieren könnte, nehmen wir außerdem noch an, daß diesem Wesen trotz hoher Intelligenz eine solche technische und besonders eine solche Maschinenkultur unbekannt geblieben wäre, so würden

die vorgefundenen technischen Gebilde neben den anderen aufgedeckten, von Pflanzen und Tieren herrührenden Fossilien jedenfalls einen eigenartigen Eindruck gewähren.

Auch die technischen Erzeugnisse weisen nämlich bei ihrer chronologischen und genetischen Zusammenstellung eine ganz analoge Entwicklung wie die irdischen Lebewesen auf. Der Fortschritt vollzieht sich von einfachen zu immer höher zusammengesetzten Gebilden oder Formen und die Differenzierung der Arten wird mit steigender Entfernung von den Ausgangspunkten immer größer, so daß wir dadurch ein stammbaumähnliches, nach oben sich stets reicher verzweigendes Entwicklungssystem erhalten. Der wesentliche Unterschied liegt, abgesehen von einigen Punkten, wie die, daß die technischen Gebilde keineswegs ein organisches Leben aufweisen, daß sie kein Assimilations- und Regenerationsvermögen usw. besitzen – Dinge, die für die hier vorgenommenen Untersuchungen nicht weiter in Betracht kommen – darin, daß das organisierende Prinzip bei den Lebewesen in ihnen selbst, bei den technischen Erzeugnissen jedoch außerhalb dieser, nämlich im menschlichen Gehirn zu suchen ist.

Die technischen Gebilde und damit auch die Maschinen bestehen also gleichsam aus zwei Teilen, dem materiellen, ihnen innewohnenden und der geistigen, d. i. dem organisierenden, der am Menschen haftet.

Freilich besitzen die hochentwickelten Maschinen, besonders die Krafterzeuger, manches, das sie in ihrer Funktion, soweit das Technische in Betracht kommt, den Lebewesen ähnlich macht. Ein Explosionsmotor z. B., für dessen Brennstoffzuführung dauernd gesorgt ist, etwa durch stetige Verbindung mit einer Rohölquelle, oder eine Wasserturbine könnten, wenn auch die Schmierung unverändert erhalten bliebe, sehr lange Zeit ohne jegliche Wartung weiterlaufen.

Wer diese Erscheinung philosophisch betrachtet, wird des Gefühls nicht ledig, daß sich hier das technische Gebilde von seinem Schöpfer und gleichzeitig von seinem organisierenden

Bestandteil bereits ziemlich gelöst hat, und es will im ersten Augenblick nicht gelingen, die Abhängigkeit des toten Gebildes vom lebenden in so starkem Maße herzustellen, sie für den Denkprozeß so sinnfällig in Erscheinung treten zu lassen, wie es notwendig wäre, um nicht zwischen einfachen technischen Gebilden, wie einem von der Hand ergriffenen Stein oder einem als Keule zurechtgebrochenen Baumstamm, und diesen hochentwickelten Technismen einen wesentlichen Unterschied sehen zu müssen.

Tatsächlich widerstrebt es jedoch jeder einheitlichen und vertieften Betrachtung der technischen Entwicklung, eine solche Trennung bestehen zu lassen, und es wird gezeigt werden, daß das Relaisprinzip gestattet, diesen Unterschied auszulöschen. Nach dieser Erläuterung soll nun noch in möglichst gedrängter Form gezeigt werden, was unter einer Relaiskonstruktion in ihrer allgemein technischen Bedeutung zu verstehen ist, und worin der Unterschied zwischen ihr und verwandten Vorrichtungen besteht.

#### Relais- und Transformatorschaltung

Es kann vorausgesetzt werden, daß der Ausdruck Relais wohl jedem Leser bekannt ist. Zum ersten Male hört man das Wort in der Schule bei Erklärung des einfachen elektromagnetischen Telegraphen. Bei dessen Entwicklung bedeutete es einen großen Fortschritt, als man zwischen Aufnahmeapparat und Fernstromkreis eine Relaisvorrichtung einschaltete, die gestattete, den schwachen Fernstrom durch eine Hilfskraft zu unterstützen, ihn mit einem »Vorspann« aufzuhelfen, und dadurch erreichte, daß trotz Verwendung eines schwachen Betriebsstromes am Empfangsort eine starke Kraftäußerung am Aufnahmeapparat zur Verfügung stand. Der Strom, der diese Kraftäußerung hervorruft, ist durch eine besondere Eigenschaft gekennzeichnet: er stellt in seiner Wirksamkeit gleichsam eine

Funktion des Fernstromes dar; gleichzeitig mit ihm setzt er ein, gleichzeitig klingt er ab und schreibt so auf einen abschnurrenden Papierstreifen die aus Strichen und Punkten zusammengesetzten Zeichen, aus denen Morse ein leicht lesbares Alphabet gebildet hat.

Dieses Relais, wie es beim elektrischen Telegraphen benutzt wird, stellt aber nur eine Type, und zwar die einfachste der Vorrichtungen dar, die wir hier als Relais im allgemeinen Sinne bezeichnen wollen.

Der Energiestrom, der beim elektrischen Telegraphen durch das Relais weitergegeben werden soll, ist ein einfacher galvanischer Strom, dessen Intensität entweder Null oder einen bestimmten positiven Wert beträgt; der Wechsel dieser beiden Größen läßt sich gesetzmäßig durch eine Funktion nach der Zeit ausdrücken. Das Relais hat demgemäß auch nur diese beiden Intensitäten zu übertragen: spielt der Fernstrom, so hat es den starken Ortstrom in den Morseapparat zu entsenden, sinkt die Stärke des Fernstromes auf Null herab, so hat auch das Relais keinerlei Energie abzugeben. Eine Weiterentwicklung dieser Vorrichtung ergibt sich aus der Forderung, daß vom Relais nicht nur Stromfluß und Stromlosigkeit, sondern auch Schwankungen in der Intensität der Stromstärke überragen werden sollen, so daß alle Zwischenstufen zwischen Null und einem bestimmten Höchstwert durchlaufen und eine Zeitlang auch beibehalten werden können.

Die Relaischaltung besteht in diesem allgemeinsten Falle aus einem Akkumulator, dem Energiespeicher, der den starken jugendlichen Kraftstrom liefert, ferner aus dem oft von weither kommenden bedeutend schwächeren steuernden Primärstrom, dann aus der eigentlichen Relaisvorrichtung und dem aus dieser entlassenen Arbeitsstrom, der in einem engen Abhängigkeitsverhältnis zum Primärstrom steht. Die Schwankungen des Sekundärstromes sind hier demgemäß durch eine Funktion nach der Zeit und nach der Intensität gekennzeichnet. Ganz anders wie das Relais ist eine auf den ersten Blick viel-

leicht mit ihm zu verwechselnde Einrichtung geartet, die wir als Transformator (wieder im allgemeinsten Sinn genommen) bezeichnen. Nach einer heute nicht mehr allzu jungen Auffassung bestehen alle in der Natur auftretenden Kräfte aus Energieströmungen, die größtenteils unmittelbar ineinander umgeformt werden können. Jede Umwandlung eines Energiestromes in einen anderen, der vom ersten entweder in seiner Form oder in seiner Art unterschieden ist, wollen wir als Transformation bezeichnen und die dazu notwendige Vorrichtung Transformator nennen.

Ein Transformator kann also dazu dienen, einen Energiestrom, beispielsweise den elektrischen, seiner Form nach zu ändern, d. h. ihm eine andere Stromstärke und -spannung zu erteilen, oder auch, um eine Energieart in eine andere umzusetzen, z. B. die elektrische in magnetische oder thermische Energie zu verwandeln. Das wesentliche Kennzeichen des Transformators besteht nun darin, daß, abgesehen von unvermeidlichen Verlusten, die Energie des Primär- und des Sekundärstromes konstant bleibt; für ihr Verhältnis zueinander gilt das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Beim Relais ist dies jedoch keineswegs der Fall; eine Umsetzung der Energie findet auf dem Wege vom primären zum sekundären Strome nicht statt, sondern die Energie des Primärstromes geht im Gegenteil meistens verloren, und wir können diese Menge am besten mit Steuerungs- oder Schaltungsenergie bezeichnen. Der sekundäre Arbeitsstrom bezieht seine Energie aus einer neuen, bisher noch nicht verwendeten Quelle, dem Energiespeicher. Ließe man dessen oft bedeutende Energiemenge ungehemmt wirken, so wäre sie für den Menschen vollkommen wertlos, ja sie würde in den meisten Fällen sogar beträchtlichen Schaden anrichten. Wird der aus dem Speicher entlassene Strom jedoch einem bestimmten Gesetz unterworfen, wird er nämlich zum Primärstrom in ein Abhängigkeitsverhältnis nach Zeit und Intensität gebracht, so leistet er dem Menschen ganz außerordentliche Dienste. Man

sieht, daß trotz des unbedingten Abhängigkeitsverhältnisses von einer Beziehung des primären zum sekundären Strom nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie nicht die Rede sein kann.

Die beiden Vorrichtungen, die wir hier nun als Relais und als Transformator bezeichnet haben, können zu einer neuen vereinigt werden. Wir erhalten dadurch ein Relais, bei dem der Primärstrom von anderer Energieart als der Sekundärstrom sein kann.

Ein Beispiel mag dies erläutern: ein ganz einfaches Relais bildet der elektrische Schalter. Die von der menschlichen Hand herrührende mechanische Energie schließt einmal den elektrischen Strom und öffnet ihn das andere Mal. Die beiden Energiearten des primären und sekundären Stromes sind mechanischer und elektrischer Art. Den Energiespeicher bildet die Stromquelle der Elektrizitätszentrale, und die Stärke des Sekundärstromes beträgt entweder Null oder einen bestimmten, vom Relais nicht beeinflussbaren Wert. Bei der den Schalter betätigenden menschlichen Hand kann man freilich von einem Stromfluß im eigentlichen Sinne nicht sprechen; wir haben es bei diesem Schalter auch bereits mit einer höher entwickelten Form des Relais zu tun. Ein ständiger Energieaufwand während der Dauer des elektrischen Stromflusses ist aber beispielsweise bei dem Taster zur Betätigung einer elektrischen Klingel erforderlich, ebenso wie beim Niederdrücken des Klopfers eines Morsetelegraphen. In den letzten beiden Fällen tritt es klar zutage, wie der elektrische Strom, in seinem Abhängigkeitsverhältnis von der Arbeitsbetätigung der Hand, als Funktion nach der Zeit auftritt. Der elektrische Schalter, der einen tätigen Eingriff nur bei der Schaltung und bei der Unterbrechung des elektrischen Stromes verlangt, stellt eine höhere Form der Relaiskonstruktion dar, die eine bedeutende Ersparnis an Arbeitsaufwand gestattet und zu den später zu besprechenden Schablonen hinüberleitet.

Ein Beispiel für einen Transformator in unserem Sinne bildet ein Elektromagnet, bei dem die elektrische Energie in magneti-

sche und weiterhin in mechanische Energie umgewandelt werden kann. Die Stärke des primären elektrischen Stromes muß hierbei nicht Null oder einen bestimmten konstanten Wert betragen, sondern sie kann auch sämtliche Zwischenstufen nach einer beliebigen Zeitintensitätskurve durchlaufen. Abgesehen von verschiedenen unvermeidlichen Verlusten und etwa auftretenden kleinen zeitlichen Verschiebungen weist die Zeit-Intensitätskurve der hervorgerufenen magnetischen Energie dieselbe Gestalt wie die der eingeleiteten elektrischen Energie auf.

Ein Beispiel für ein Relais allgemeiner Art, bei dem die Energie des Primär- und Sekundärstromes alle Zwischenstufen zwischen Null und einem bestimmten Höchstwert durchlaufen kann, bildet das Mikrophon. Die primäre Energie wird hierbei von den Schwingungen der durch das menschliche Sprechorgan in Bewegung gesetzten Luft geleitet.

Ein Transformator in der hier gebrauchten allgemeinen Bedeutung ist, wie gesagt, demnach nicht nur eine Vorrichtung, die dazu dient, die elektrische Energie ihrer Form nach zu ändern, d. h. ihr eine andere Stromstärke und Spannung zu erteilen, sondern ein Mittel, um eine Energieart in eine andere zu verwandeln. In diesem Sinne wäre also auch der Dampfkessel ein Transformator, weil er die in der Kohle enthaltene Wärmeenergie in mechanische umsetzt. Aber auch die Dampfmaschine ist ein solcher, denn hier wird die mechanische Energie des gespannten Dampfes, die im Kessel in einer unhandlichen, für den menschlichen Gebrauch nicht unmittelbar benutzbaren Form enthalten ist, in mechanische Energie umgewandelt, die an rotierende Materie gebunden auftritt.

Für die Kombination der verschiedenen Elemente bei Relais und Transformator sind also drei Möglichkeiten maßgebend:

1. Primär- und Sekundärstrom sind von derselben oder von ungleicher Energieform.
2. Der Primärstrom löst durch seine eigene Kraft, d. h. durch seine Umwandlung, den Sekundärstrom aus oder beeinflusst nur

die in einem Akkumulator aufgespeicherte Energie in entsprechender Weise.

3. Die Werte des Primär- und demgemäß auch des Sekundärstromes wechseln nur zwischen der Energiemenge Null und einer bestimmten konstanten Stromstärke, oder sie durchlaufen auch alle Zwischenphasen.

Unter Zugrundelegung dieser Varianten läßt sich folgendes Schema zusammenstellen:

Energieform des Primär- u. Sekundärstromes	Akkumulator	Stromstärke	Beispiele
gleich	nicht vorhanden (Transformator)	0 oder ein konstanter Wert	
ungleich	"	"	
gleich	"	zwischen 0 und einem Höchstwert schwankend	die einfachen Maschinen, elektrischer Transformator
ungleich	"	"	Elektromagnet, Thermoelement
gleich	vorhanden (Relais)	0 oder ein konstanter Wert	Telegraphen-Relais
ungleich	"	"	Elektrischer Schalter, photographischer Momentverschluß
gleich	"	zwischen 0 und einem Höchstwert schwankend	Verstärkeröhre
ungleich	"	"	Mikrophon

### Die Drehbewegung

Für die Entwicklung der Technik hat die an rotierende Materie gebundene Energieform eine ungeheure Bedeutung erlangt, denn erst seitdem man es gelernt hat, aus Menschen-, Tier- oder Naturkräften gewonnene Energie mit Hilfe von rotierender Materie zu sammeln und weiterzuleiten, ist es gelungen, Energie in Zentralstellen in möglichst einfacher und wirtschaft-

licher Weise zu gewinnen und sodann an verschiedene Arbeitsorte zu verteilen.

Die Rotationsbewegung war zu Beginn der menschlichen Technik fast völlig unbekannt, und wir finden davon kaum irgendwelche Spuren, aus denen sich auf die Möglichkeit der Weiterentwicklung zu ihrer späteren überragenden Bedeutung schließen ließe. Die Drehbewegung im technisch-mechanischen Sinn, die durch eine festgelagerte Achse gekennzeichnet wird, tritt in der Natur niemals auf und ist erst eine Erfindung des Menschen. Bedingt durch die auf der Erde zu Gebote stehenden Baustoffe, aber wohl auch durch die Organisation des menschlichen Zentraldenkorganes, wird die Rotationsbewegung kennzeichnend für die moderne Technik, soweit sie es mit mechanischen Kräften und wägbaren Massen (ersichtlich aus den ganzzahligen Exponenten in den Dimensionsformeln) zu tun hat.

Die Bevölkerung einer Reihe von Erdteilen, nämlich Amerikas, Australiens und des von der Mittelmeerkultur nicht unmittelbar beeinflussten Teiles von Afrika, hat diese Entwicklung nicht erzielt, d. h. sie gelangte nicht dazu, die Drehbewegung zu verwenden, und dadurch war es nicht möglich, daß die mechanische Technik dort eine auch nur einigermaßen höhere Stufe erreichte<sup>4</sup>. Wie einschneidend diese Tatsache ist, erkennen wir am besten daran, daß schon eines der einfachsten sich drehenden Gebilde, nämlich das Rad, in diesen Gebieten fehlt, und daß ihnen dadurch auch der Wagen unbekannt blieb. Daß von etwas höher gestalteten sich drehenden Gebilden die Töpferscheibe, die Drehmühle und die Drehbank dort natürlich auch fremd bleiben mußten, soll hier nur angedeutet werden.

Die europäische Maschinenteknik fußt, soweit sie es mit mechanischen Kräften zu tun hat, auf der Rotationsbewegung. Der plötzliche Aufschwung des europäischen Maschinenbaues in der Renaissancezeit und sein neuerliches Ansteigen seit der Mitte des 18. Jahrhunderts führte den Menschen dazu, sich die Naturkräfte zu unterwerfen, und zwar nicht nur in der Art, daß

man gelegentlich ein Wasserrad oder eine Windmühle errichtete, sondern in weit wirksamerer Weise dergestalt, daß man mit Bestimmtheit oder wenigstens mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine stets zu Gebote stehende bedeutende Energiemenge rechnen konnte. Man gelangte dazu, diese in großen Zentralen zu erzeugen und sie dann weit fortzuleiten.

Die Verteilung dieser Energiemengen wurde allerdings mit der Ausbreitung und Vervollkommnung der Elektrotechnik besonders leicht; bis dahin versuchte man es, die Energieströme mit Hilfe von rotierender Materie zu verzweigen, wobei nur an die ausgedehnten Seiltransmissionen in Fabriken und an die amerikanischen Kabelbahnen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erinnert sei.

Bei letzteren lief ein endloses Seil in einer Aussparung unter der Straßenoberfläche ständig um und nahm den Wagen mittels eines lösbaren Greifers mit, der durch einen meist in der Mitte zwischen beiden Schienen geführten Schlitz hinabreichte. Die Energie wird in diesem Falle freilich nicht unmittelbar in Form von rotierender Bewegung abgenommen, sie kommt aber bei den sich drehenden Wagenrädern wieder in dieser Gestalt zum Vorschein. Eine allgemeine Kraftübertragung auf solche Weise von einer Zentralstelle nach den einzelnen Gebäuden einer großen Stadt wäre jedoch praktisch vollkommen undurchführbar.

#### Energieformen und Energieverteilung

Weit größere Vorzüge hinsichtlich der Verteilung bietet die elektrische Energie. Außer dieser versuchte man es auch noch, andere Energieformen in großen Netzen weiterzuleiten, zum Teil mit, zum Teil ohne praktischen Erfolg. Hier sei nur an die Gasleitungen erinnert, die als Verteilungsnetze für chemische Energie anzusehen sind, wobei letztere wieder an Materie gebunden ist, aber, ähnlich wie die elektrische Energie, wenn auch nicht ganz so bequem wie diese, in mechanische Kraft, in Wärme

und in Licht umgewandelt werden kann. Andere Netze dienen zur Weiterleitung von Preßluft, Druckwasser oder Dampf. Die Kraftübertragung durch rotierende Materie ist verhältnismäßig alt; aber erst in neuerer Zeit hat sich hier die Auffassung vom Fluß des Energiestromes den Weg gebahnt. Und so erkennen wir heute in der umlaufenden Transmissionswelle einen Energiestrom, der längs der Wellenachse, also senkrecht zur Rotationsrichtung zu den Verbrauchsstellen dahinläuft; bei der Seil- und Riemenübertragung ist die Richtung des Energieflusses derjenigen der wandernden Materie im angespannten Trum entgegengesetzt, und im Transmissionsrad läuft er in radialer Richtung längs der Radarme, also auch hier wieder senkrecht zur kreisenden Bewegung.

Merkwürdig ist es, daß die Transformation gleicher Energien von etwas verschiedener Form manchmal nur auf einem Umweg über eine andere Energie gelingen will. So ist man wenigstens bis heute nicht imstande, Gleichstrom in Wechselstrom unmittelbar umzuformen, sondern dies ist nur durch eine doppelte Transformation auf dem Wege über eine andere, und zwar entweder mechanische oder chemische Energie zu erreichen.

Der Antrieb mechanischer Arbeitsmaschinen von elektrischen Energienetzen aus geschieht stets durch Vorschaltung eines Umwandlungsapparates, des Elektromotors, der die elektrische in mechanische, an rotierende Massen gebundene Energie umsetzt. Hiervon macht man nur in seltenen Fällen, meistens dort, wo es sich ausschließlich um Anpressungskräfte handelt, wie z. B. bei elektrischen Bremsen oder Hubmagneten, eine Ausnahme. –

Was hier gegeben wurde, war ein kurzer Überblick über die von der heutigen Technik geschaffenen Energiezentralen und Energieleitungsnetze und die Anführung einer Anzahl von Beispielen für diejenigen Einrichtungen, die wir als Transformatoren in allgemeiner Bedeutung bezeichnet haben. Es wäre nun noch eine Art von Energieumwandlung zu bespre-

chen, die für den technischen Produktionsprozeß die wichtigste ist: es handelt sich um die Formänderungsarbeiten an der Materie. Diesen Prozeß können wir uns so verlaufend denken, daß der umgeformte Körper die aufgewendete Energie konsumiert, wobei es gleichgültig bleibt, ob der größere Teil der aufgewandten Energie auf das beim Herstellungsverfahren entstehende wertvolle Werkstück oder auf die sich bei diesen Arbeiten häufig ergebenden Abfallkörper kommt. Am reinsten tritt diese Erscheinung beim Schmieden und Pressen auf; abgesehen von den durch Stöße hervorgerufenen Erschütterungen der Bearbeitungsmaschinen und Fundamente und von Wärmeverlusten, die von Reibung und plötzlichen Druckerhöhungen herrühren, wird die ganze aufgewandte Energie vom Werkstück konsumiert. Hingegen müßte man beim Gießen die zum Schmelzen des Materials verwendete Energiemenge beim Erstarren wenigsten theoretisch, von Verlusten abgesehen, wieder zurückgewinnen können.

Bei Erzeugung und Weiterleitung von Energie kommt es uns allein auf deren Quantität an. Die Umwandlungsanlage, die die von der Natur stammende Energie in eine für menschliche Zwecke geeignetere Form umsetzt, wie auch das Fernleitungs- und Verteilungsnetz sollen demnach mit dem größten Wirkungsgrad arbeiten. Ist die Art der zu transformierenden Energieform und des Energieträgers (Wasserkraft, Kohle, Erdöl, Naturgas, Windkraft, Sonnenwärme usw.) sowie der Transmissionsleitung einmal festgelegt, so besteht die Aufgabe der gesamten Anlage vor allem darin, die Stetigkeit und Zuverlässigkeit der Energielieferung an den Verbrauchsstellen zu sichern und sie dort außerdem mit den kleinstmöglichen Verlusten abzugeben. Das Wesentliche der Energie liegt hier einzig und allein in ihrer Quantität. Sie wird deswegen auch nur quantitativ gewertet und nach Quantitätseinheiten gemessen und bezahlt.

Der rohe Energiestrom, der vom Menschen in großen Zentralen geschaffen und dann an die einzelnen Verbrauchsstellen weiter-

gegeben wird, gelangt dort in Arbeitsmaschinen, die ihn in bestimmte andere Energien – meistens in die der Formänderung von Materie – umwandeln. Während aber der produzierte und der in Verteilung begriffene Energiestrom qualitativ keineswegs differenziert ist und deswegen auch, wie eben auseinandergesetzt wurde, nur quantitativ gewertet und gemessen wird, erfährt die Energie in der Arbeitsmaschine auch insofern eine Umwandlung, als sie nun einer Veränderung in ihrer Qualität unterliegt. Nicht die Quantität, die Menge der Energie, ist hier wesentlich, sondern die Art ihrer mehrfachen Verteilung und Umwandlung und das Abstimmen und Inbeziehungsetzen dieser einzelnen Vorgänge zueinander. In der Arbeitsmaschine tritt die Energie keineswegs mehr als gleichmäßig dahinlaufender Stromfluß auf, sondern sie wird nun durch oft außerordentlich komplizierte Vorrichtungen in ihrer Intensität stets verändert und ist, bald an dieser, bald an jener Stelle angreifend, nach Raum und Zeit differenziert.

Wir gelangen so zu dem Begriffe der qualifizierten Energie, bei der die Quantität ohne ausschlaggebende Bedeutung bleibt. Bei einer komplizierten automatisch arbeitenden Maschine, wie beispielsweise bei einer Rotationspresse oder einem Webstuhl, ist der Energieverbrauch sicher auch nicht vollständig gleichgültig, aber ein geringes Mehr oder Weniger davon fällt lange nicht so sehr ins Gewicht als die Qualität der Energieleistung, die durch die bis ins kleinste durchdachte Konstruktion der Arbeitsvorrichtung bedingt wird.

### Technik und Rhythmus

Der Mensch der Urzeit, der am Anfang des Entwicklungsganges der Technik stand, mußte jede von ihm gewünschte Arbeit selbst verrichten. Bedingt durch den Bau und die Gliederung seines Körpers, führte er alle Tätigkeiten in hin und her gehender, intermittierender Bewegung aus. Alle Werkzeuge

und Hilfsvorrichtungen wurden dieser Art der Betätigung angepaßt oder vielleicht besser gesagt, ihre Entstehung und Ausgestaltung vollzog sich innerhalb oder in unmittelbarster Nachbarschaft eines solchen organischen Arbeitsprozesses.

Hohe Bedeutung kommt auf dieser Stufe der Technik einer merkwürdigen psycho-physischen Erscheinung, nämlich, der Beeinflussung des Menschen durch den Rhythmus zu. Jede gleichmäßig geführte intermittierende Arbeitsbewegung verursacht dem primitiven Menschen heftige Unlust und baldige Ermüdungsgefühle. Ein eigenartiges Mitschwingen der Psyche mit dem Körper, die Auslösung rhythmischen Gefühls, das nun nicht nur Behagen, sondern sogar hohe Lustempfindungen durch die stetige gleichmäßige Wiederholung ein und derselben Bewegung hervorruft, hilft dem Menschen auch auf dieser Stufe der technischen Entwicklung verhältnismäßig große Arbeitsleistungen zu vollbringen, bedingt aber durch eine Verschiebung des Zieles auch die Anfänge aller rhythmisch betonten Künste. Der Mensch hat das merkwürdige psychische Erlebnis des Taktes empfunden und Arbeit wandelt sich nun, indem die Bewegung ohne technisches Ziel bleibt und an sich zur vollkommen sich selbst genügenden Handlung wird, in Tanz und Musik, deren Zweck nicht Bewältigung physischen Widerstandes zu bearbeitender Stoffe, sondern Erhöhung des Lebensgefühles, Entspannung des Körpers und rein psychisches Lustempfinden ist. Eine Unzahl von Arbeitsgesängen, von Ruder- und Marschliedern, wie auch viele Tätigkeiten primitiver Wirtschaft, die unter Musikbegleitung ausgeübt werden, ja einzelne Verrichtungen, die, wie z. B. das mit Instrumentenspiel erfolgende, zwischen Tanz und Arbeit die Mitte haltende Austreten der Trauben, geben uns Zeugnis für diese der heutigen Menschheit völlig aus dem Gedächtnis entschwundenen Zusammenhänge.

Der nächste Abschnitt in der Entwicklung der mechanischen Technik ist durch das Vorwalten der Drehbewegung gekennzeichnet. Sie selbst ist in ihren Ursprüngen sehr alt und wurzelt

in einer Reihe von Betätigungen des primitiven Menschen, wie im Stochern mit einem Zweige oder einem Halm in einem Loche, wobei diese leicht hin und her drehend bewegt werden, ferner in der quirlenden Hin-und-Herbewegung eines Stäbchens zwischen den beiden Handflächen oder auch im Schwingen eines an einem Faden befestigten Körpers um die das andere Ende des Fadens haltende Hand usw. Den Ursprung der technischen Drehbewegung bildet jedoch die zwischen zwei festen Lagern streng fixierte Achse, von der im weiteren alle höher entwickelten Maschinen mit Drehbewegung abgeleitet werden können. Aber auch die sich drehende Achse, die ursprünglich stets vom Menschen angetrieben wird, schwingt anfangs nur intermittierend hin und her, und sie läßt ebenfalls den für alle intermittierenden Bewegungen charakteristischen Rhythmus erklingen.

In einer höheren Entwicklungsstufe rotiert die Achse kontinuierlich, doch auch hier tritt, wenn der Antrieb durch einfache Mechanismen vom Menschen aus erfolgt, noch ein leichter Rhythmus auf. Werden die Vorrichtungen entwickelter und komplizierter, werden Zwischenglieder wie Zahnräder und Seil- oder Riementransmissionen eingeschaltet oder wird gar die Drehung durch Naturkräfte hervorgerufen, so verschwindet jeglicher Rhythmus. An seine Stelle ist das Mathematisch-Technische der absolut gleichförmigen Umdrehung getreten, und wo die Maschine, durch zufällig auftretende Umstände bestimmt, zu rhythmischen Schwankungen neigen sollte, dort wird durch eigene, fein erdachte und sorgsam durchgebildete Vorrichtungen, die Regulatoren, eine mögliche Annäherung an die ideale Forderung zu erreichen gesucht. Mit der absolut gleichförmigen, arhythmischen Rotation der Maschine ist aber jeder Zusammenhang mit künstlerisch zeitbetonten Betätigungen verlorengegangen, und auch der bildende Künstler, der Arbeitsweisen mit rhythmischen Wiederholungen gern darstellt, wendet sich von der ihm kalt dünkenden Maschine, die ihm in rhythmischer Hinsicht nichts mehr zu sagen hat.

Vom rein technischen Standpunkt aus, im Sinne der Erhöhung des Wirkungsgrades, steht aber die kontinuierliche Drehbewegung weit über jeder rhythmisch ungleichförmigen oder gar intermittierend hin und her gehenden. Jede Ungleichförmigkeit einer rotierenden Welle ist mit Massenbeschleunigung oder -verzögerung verbunden, und der vom Künstler so bewunderte Rhythmus in der Bewegung beim Ausüben einer anstrengenden menschlichen Leistung, wie Hacken, Hämmern, Sägen, Mähen usw. bewirkt stets einen fünfzigprozentigen Leergang der Tätigkeit, nämlich bei Rückführung des Werkzeuges in die Anfangslage des aktiven Arbeitsganges<sup>5</sup>.

Die kontinuierliche Rotation entspricht bei der Transmissionswelle dem vollkommen gleichmäßig dahinfließenden Energiestrom, und bei den Werkzeugmaschinen hat sie es durch gleichzeitige Vermehrung der unmittelbar wirkenden Werkzeuge – in den meisten Fällen handelt es sich hierbei um Schneiden – und ihre Anordnung in einem Kreise oder an einem endlosen Bande erreicht, daß die rückläufige Leergangsbewegung fortfällt oder genauer genommen, von einer Anzahl von Schneiden dann vollzogen wird, wenn indessen andere Schneiden aktive Arbeit verrichten.

#### Ursprüngliche Relaisvorrichtungen

Ähnlich, wie die kontinuierliche Drehbewegung zu einer neuen Art der Technik hingeführt hat, die sich von den bei organischen Gebilden vorkommenden technischen Vorgängen und auch von der materiellen Kultur primitiver Völker wesentlich unterscheidet, hat auch die Einführung von Relais-Schaltungen der menschlichen Technik ein durchaus neues Gesicht verliehen. Dabei muß allerdings hervorgehoben werden, daß, abweichend von der kontinuierlichen Rotation, Relais-schaltungen auch schon bei organischen Lebewesen und auf einer ziemlich

frühen Entwicklungsstufe der menschlichen Technik auftreten. Eine der frühesten Verwendungen des Relaisprinzipes stellen die von vielen Naturvölkern und auch schon vom prähistorischen Menschen benutzten Fallen dar. Es ist heute noch nicht möglich, einwandfrei anzugeben, in welchen Kulturkreisen Fallen zum erstenmal auftreten und welchen Gebieten bestimmte Bauformen eigentümlich sind; diese Frage fällt jedoch auch aus dem Rahmen der vorliegenden Abhandlung. Der primitive Mensch ist anstrengenden körperlichen Arbeiten, wenigstens dann, wenn sie nicht zu lange Zeit währen, ziemlich gewachsen; geistige Leistungen dagegen fallen ihm weit schwerer. Die Lebensfürsorge bei einer großen Zahl primitiver Völker ist nun derartig unter beiden Geschlechtern verteilt, daß der Frau das Einsammeln der vegetabilen Nahrungsstoffe, dem Mann dagegen das Jagen des Wildes zukommt. Das Verfolgen der Beute, das lange Umherschweifen und der stetige Ortswechsel bedingen aber eine fortwährende Aufmerksamkeitsleistung hinsichtlich Veränderungen in der näheren, und weiteren Umgebung; und gerade dieses Spähen, Lauern und Suchen ist mit einer ziemlich bedeutenden geistigen Arbeitsleistung verbunden. Dazu kommt noch, daß den Menschen dann, wenn er des Wildes endlich ansichtig wird, oder wenn er sich an seine Beute herangeschlichen hat, in vielen Fällen eine oft recht große körperliche Anstrengung erwartet. Schon der Wurf oder der Pfeilschuß verlangt dies, manchmal ist aber mit dem Erlegen des Tieres noch ein Nahkampf mit einem vielleicht ebenbürtigen oder gar an Kräften überlegenen Feinde verbunden, manchmal schließt sich ein langwieriges Verfolgen auf der Fährte des angeschweißten Wildes an, und gelegentlich ist es vielleicht auch notwendig, daß der Mensch bei nur verwundeten Steppentieren in stundenlangem Dauerlauf hinter ihnen her setzt.

Daß der primitive Jäger diese gewaltigen Leistungen überhaupt zustande bringt, kommt daher, weil er zur Beschaffung seines Lebensunterhaltes häufig dazu gezwungen wird, weil manch-

mal Sein oder Nichtsein von diesem Arbeitsaufwand abhängt, und weil seine Instinkte durch eine Jahrtausende alte, sich von Generation auf Generation vererbende Überlieferung gerade auf eine solche Tätigkeit eingestellt und seine Sinne dafür besonders geschärft sind. Außerdem tritt vor allem bei der Jagd das ein, was beim primitiven Menschen für eine intensive und andauernde Arbeitsleistung anscheinend vonnöten ist: nämlich eine gehobene Stimmung, eine Art Verbissenheit, ja manchmal beinahe ein Rauschzustand. Und das, was man heute als Sportseifer bezeichnet, hat sicher in diesen ursprünglichen Affekten seinen Ausgangspunkt.

Aber nicht immer bieten Wald und Flur den Jägerstämmen reichliche Nahrung: Es kann auf einem Gebiete Übervölkerung eintreten oder das Wild kann abwandern; es kann ferner durch Raubjagd, durch plötzlich in größerer Zahl auftretende Raubtiere oder durch Krankheiten dezimiert werden. Dann heißt es für den primitiven Menschen den Bauchgurt enger schnüren, dann tritt Nahrungsmangel auf, der den Jagdeifer vorerst natürlich doppelt steigert. Aber der Jäger muß jetzt ein weit größeres Gebiet als früher durchstreifen, um auf eine genügende Anzahl von Beutetieren zu stoßen. Er muß täglich weite Strecken zurücklegen, deren Bewältigung seinem schon nicht mehr so widerstandsfähigen Körper besonders schwer fällt; und wir wissen nicht, wie viele Katastrophen die Weltgeschichte bei derartigen Gelegenheiten gesehen mag, wie viele unbekannt gebliebene Stämme durch solche Zufälle vollständig von der Erdoberfläche verschwunden sein mögen.

Einfacher als das weite Umherschweifen in einem wildarmen Gebiet ist es, dem Wildwechsel nachzuspüren oder täglich am Flusse, an der Stelle der Tränke zu lauern, bis das Wild in gewohnter Weise dort erscheint. Jetzt ist der Mensch schon der großen körperlichen Anstrengung des Wanderns enthoben, er braucht sich auch nicht mehr langsam, unter größter Vorsicht an das Wild heranzupirschen, sondern jetzt kommt die Beute zu

ihm, und es heißt nur ausharren, lange Zeit stillhalten, dauernd aufmerksam bleiben, um den gegebenen Augenblick nicht zu versäumen und zu diesem Zeitpunkt schnell und schlagfertig zu reagieren. Aber der primitive Mensch braucht Aktivität, wenn er eine Hochleistung vollbringen soll. Die gehobene Stimmung, von der früher die Rede war, tritt viel eher ein, wenn er sich körperlich betätigen kann. Hier jedoch, hinter dem Busch an der Tränke, heißt es stille halten und trotzdem, ohne eine Ermüdung aufkommen zu lassen, lange Zeit lauern, um unter Umständen nach stundenlanger Aufmerksamkeitsleistung vielleicht ohne jeglichen Erfolg abziehen zu müssen.

Da bedeutete es nun einen ungeheueren Fortschritt, als der Mensch eine automatische Vorrichtung ersann, die ihm nicht nur die physische, sondern auch die psychische Arbeitsleistung abnahm und alles das vollführte, was für ihn besonders anstrengend, unangenehm, ermüdend und langweilig war.

Schon die Fallen, bei denen der Jäger noch aufmerksam wachen muß, um im gegebenen Augenblicke die Auslösung von Hand aus, meistens durch Zug an einer Schnur vorzunehmen, entlastet ihn bei der körperlichen Handlung beträchtlich. Hierbei spielt nicht so sehr die Ersparung an Energie eine wesentliche Rolle, als die Tatsache, daß die Bewegungen der einzelnen mechanischen Fallenteile durch deren Bauart genau vorgeschrieben sind und daher innerhalb gewisser, durch die Primitivität der Konstruktion gegebener Grenzen zwangsläufig erfolgen. Es ist also vor allem die Genauigkeits- und Aufmerksamkeitsleistung, die hier dem Menschen erspart wird, eine Leistung, ebenso notwendig, wie der reine Energieaufwand, weil auch von ihr häufig der Erfolg des Fanges überhaupt abhängt.

Die vollständig automatisch arbeitende Falle aber ist ein reines Wunderwerk: richtig aufgestellt, gestattet sie dem Menschen, sich von ihr zu entfernen, und ohne jedes weitere Eingreifen seinerseits vollführt sie nun den Fang. Die die Arbeit leistende Energie gelangt durch das Tier selbst zur Auslösung, und

Richtung und Stärke ist so genau bemessen, daß die Wirkung in den meisten Fällen zu fast unbedingtem Erfolg führt.

Dadurch aber, daß der Mensch beim Beutemachen nicht mehr selber anwesend zu sein braucht, tritt nun vielleicht zum erstenmal in der Entwicklung der Technik das auf, was für die moderne Industrie besonders kennzeichnend ist, nämlich die Vervielfachung der Leistungen eines einzelnen Menschen, weit hinaus über jedes Maß, das er allein ohne technische Hilfsmittel zu vollbringen imstande wäre. Denn auch dem primitiven Menschen wird es nun möglich, eine größere Anzahl von Fallen gleichzeitig in Tätigkeit zu halten, und ihre Zahl wird hier nur dadurch eingeschränkt, daß er bei seinem täglichen Rundgang jede von ihnen besuchen muß, wenn er von ihr tägliche Fangbereitschaft erwartet<sup>6</sup>.

Die Arbeitsleistung des Menschen an der Falle besteht darin, daß er eine »Ladung des Energiespeichers« vornimmt, indem er bei einer Schwerkraftfalle Klotz oder Fallspeer auf entsprechende Höhe hebt oder bei einer elastischen Falle die Gerte, den Baumast oder den Bogen spannt, und daß er die Auslösung derart einstellt, daß das Tier im gegebenen Augenblick durch ganz leise Berührung die im Akkumulator gespeicherte Energie zur Entladung bringt, die aber dann nicht in wilder unregelter Weise, sondern in genau nach der ihr vom Menschen vorgeschriebenen Bahn wirkt.

#### Höhere Relaisvorrichtungen

Die Falle kommt schon in der Phase der technischen Entwicklung vor, die in der Ethnologie als die der höheren Jäger bezeichnet wird. Merkwürdigerweise bleibt die Anwendung von Relais-Konstruktionen, die sich in diesem Falle für den Menschen bereits außerordentlich vorteilhaft erwies, in der Folgezeit recht selten.

Nur bei denjenigen Fernwaffen, die eine Weiterentwicklung des

Bogens darstellen, wird dieses Prinzip gern angewandt. Beim Spannen des Bogens muß nämlich der Schütze im Augenblick des Abschießens die größte körperliche Anstrengung (die hierzu nötige Kraft steigt mit der Größe des Aufzuges) aufwenden und zugleich die größte Aufmerksamkeitsleistung beim ruhigen Zielen vollbringen. Die Armbrustkonstruktion bot hier große Vorteile, denn nun brauchte im Augenblick des Losschießens nicht mehr der Arm den Bogen gespannt zu erhalten, sondern die körperliche Energie war zu einem früheren Zeitpunkt im Bogen akkumuliert worden und mit Hilfe eines Gesperres konnte durch eine verhältnismäßig sehr geringe Anstrengung diese gespeicherte Energie freigegeben werden. Immerhin mag die Armbrust nicht aus solchen Überlegungen entstanden sein, sondern es ist viel wahrscheinlicher, daß sie, wie der Verfasser an anderer Stelle gezeigt hat<sup>7</sup>, aus der Bogenschießfalle entstanden ist.

Das Altertum kannte die großen Armbrustgeschütze als die vornehmste Anwendung des Relaisprinzips in der damaligen Technik, und auch dem Mittelalter waren sie zum mindesten in der Spätzeit bekannt. Sonst benützte das Mittelalter große Schwerkrafthebelgeschütze, im Prinzip ebenfalls vollkommene Beispiele für die Anwendung von Relaiskonstruktionen. Gelegentlich wäre noch die eine oder die andere Ausführung solcher Art zu erwähnen; beispielsweise die Nachuhr des Plato, ein hydraulisches Relais mit Hochreservoir und Heberauslösung, ohne daß diese Vorrichtungen irgendwelche Bedeutung für die damalige Technik erlangten, geschweige denn in ihrer Auswirkung an die der Geschützkonstruktionen heranreichen konnten. Auch die Araber wendeten manchmal solche hydraulische Relais, deren Kenntnis sie wohl der Antike verdankten, bei mechanischen Spielereien an.

In der Renaissancezeit treffen wir gelegentlich, vor allem bei Entwürfen Leonardo da Vincis, auf Relaiskonstruktionen. Eine Uhr mit Weckereinrichtung weist z. B. auch ein hydraulisches Relais auf, und andere Arten sind bei manchen

Arbeitsmaschinen zu finden, hier sogar hin und wieder in einer Form, die einigermaßen an die Konstruktionen moderner automatischer Werkzeugmaschinen erinnert. Aber Leonardo da Vincis Entwürfe blieben bis zur Eroberung Mailands durch die Franzosen im Jahre 1796 unbekannt, und sie blieben deswegen auch ohne Einfluß auf die technische Entwicklung.

Ganz ohne Relaisrichtungen kamen diese Epochen freilich nicht aus; sie waren aber äußerst primitiv, gleichsam nur rudimentär vorhanden, und ihr Erkennen ist erst heute, wo der Begriff der Relaisschaltung schärfer herausgearbeitet wurde, möglich.

Der ursprüngliche Mensch mußte jede von ihm gewünschte Leistung selber vollbringen, und die Vorstellung des schweifenden Jägers zeigt uns, wie unsinnig bei der damaligen Tätigkeit die Indienststellung von Naturkräften gewesen wäre. Tiere konnte er auf einer höheren Stufe schon als Jagdgehilfen verwenden (wir erinnern an Hund, Falken, Jagdtiger, Pelikan usw), aber dem Ackerbauer, dem die Hochspannung und das damit verbundene Lustempfinden bei seiner tagelang gleichmäßig verlaufenden Arbeit fehlte, war die Ausnützung tierischer Kräfte in weit höherem Maße wertvoll als dem Jäger, und um diese Zeit finden wir Tiere vor Pflug und Wagen gespannt<sup>8</sup>. Hier tritt bereits eine Art von versteckter Relaisschaltung auf: der Mensch benützt die rohe Zugkraft des Tieres, er gibt dabei jedoch an, wann die Bewegung einsetzen, wann sie zum Stillstand gelangen soll. Er regelt die Geschwindigkeit und seine Geißel oder die von der Hand gelenkten Zügel bestimmen die Bewegungsrichtung.

Die Verwertung der Naturkräfte begann mit der Ausnützung des Windes, vorerst zum Antrieb von Wasserfahrzeugen. Ein besonderer Motor war hierfür nicht nötig, denn das Fahrzeug wurde vom Winde mitgenommen; es schlug je nach der Stellung des Steuers eine mehr oder weniger in der Richtung des Windes gelegene Bahn ein. Das Relais hier zu erkennen, ist, soweit es sich um das Hissen oder Reffen der Segel handelt,

nicht schwer, und die zusätzliche Verwendung großer oder kleiner Segelflächen, sowie der Einfluß des Steuerruders gestatten die Stärke der Windkraft innerhalb gegebener Grenzen zu verändern und eine Beeinflussung der von ihr ausgehenden Bewegungsrichtung zu erzielen.

Zum Antrieb von Arbeitsvorrichtungen wurde vorerst die Wasserkraft verwertet, der in späterer Zeit die Windkraft folgte. Beide Energien bieten sich dem Menschen in gleichmäßigem Fluß dahinströmend dar<sup>9</sup>. Daraus entspringt die eigenartige Tatsache, daß die bei den ersten Kraftmaschinen, das Wasser- und das Windrad, bereits Vorrichtungen mit kontinuierlicher Drehbewegung waren. Dieser Ursache ist aber auch ihre verhältnismäßig einfache Konstruktion zuzuschreiben. Sie brauchten bei den damaligen äußerst geringen Ansprüchen an Gleichförmigkeit der Bewegung und konstanter Drehzahl keinerlei steuernde Organe, und so beschränkt sich die Relaiswirkung, ähnlich wie bei Ausnützung der Zugtiere, auf die Ein- und Ausschaltung des Energiestromes und gelegentlich auf eine Regelung der Stärke, besonders beim Auftreten zu heftiger und deswegen vielleicht zerstörend einwirkender Naturkräfte. Aber die Übereinstimmung war auch äußerlich eine große, denn sowohl Wasser- als Windrad waren ja nichts anderes als ein Ersatz der am Göpel kreisenden Tiere.

#### Die Selbststeuerung

Ganz verschieden hierzu lagen die Verhältnisse beim Aufkommen der kalorischen Maschinen. Die Entwicklungsgeschichte dieser Vorrichtungen führte, wenn man von einigen, ohne jede praktische Bedeutung gebliebenen frühen Versuche zur Herstellung von Dampfkrädern absehen will, zur Kolbenmaschine, und ihre hin und her gehende Bewegung war auch beim Antrieb der Bergwerkspumpen erwünscht, deren Ingangsetzung vorerst als einziges Ziel der kalorischen Maschine ins Auge gefaßt wurde<sup>10</sup>.

Die hin und her gehende Bewegung des Kolbens mußte aber durch eigene Steuerorgane erzielt werden, und diese Steuerorgane wurden im Anfang von der menschlichen Hand betätigt. Jeder Hingang, jeder Rückgang des Kolbens erforderte einen Eingriff des Menschen, der die Ein- und Ausschaltung der Dampf- und Kondenswasserleitung vorzunehmen hatte. Man erkennt die fortwährende unbedingte Abhängigkeit dieser primitiven kalorischen Maschine vom Menschen, man sieht, wie der Zusammenhang zwischen ihren Bewegungen und denen des menschlichen Körpers noch außerordentlich stark aufrechterhalten ist, wenn auch lange nicht mehr in dem Maße, wie bei dem einfachen Faustkeil, der in der Hand des Menschen zum Hammer wird, der aber keinesfalls etwa eine selbständige Arbeitsvorrichtung darstellt, sondern diese erst im Zusammenhang mit dem menschlichen Arm ergibt.

Es bedarf wohl keiner weiteren Auseinandersetzung mehr, um zu erläutern, daß die Eingriffe der menschlichen Hand bei Betätigung der Feuermaschine nichts anderes als ständige Relais-schaltungen bedeuten. Da war es ein ungeheurer Fortschritt, als man auf den Gedanken kam, die Steuerung der Maschine durch Schnüre mit dem Gestänge des arbeitenden Mechanismus zu verbinden, und auf diese Weise eine Selbststeuerung der intermittierend arbeitenden Vorrichtung zu erzielen<sup>11</sup>.

Was hiermit geschaffen wurde, ist nichts anderes als die Ausschaltung der das Relais betätigenden menschlichen Hand, innerhalb des Bereiches einer ständig wiederkehrenden, sich in einem bestimmten Rhythmus vollziehenden Bewegung. Wir binden demnach die Schaltbewegung, statt sie von der menschlichen Hand ausführen zu lassen, an eine materielle Schablone. Die Freiheit des Eingriffes wird dadurch freilich beschränkt, denn die Schablone arbeitet in zeitlich sich stets wiederholendem Rhythmus, aber die Tätigkeit des Menschen ist nun bei der Steuerung ganz ausgeschaltet, und die Maschine läuft vollkommen automatisch.

Noch deutlicher zeigt sich dieser Vorgang bei der Entwicklung der Arbeitsmaschine. Denken wir beispielsweise an den Webstuhl: die ihn in Tätigkeit setzende Energie wird nur an der als rotierendes Transmissionsrad ausgebildeten Aufnahmestelle eingeleitet. Diese Energie hat dann die Schützen hin und her zu schießen, die Kette allmählich weiter zu bewegen und durch geeignete Hebung der einzelnen Kettfäden das mehr oder weniger zusammengesetzte Muster zu bilden. Letztere Aufgabe war auf dem Wege zur Mechanisierung des Webstuhls die schwierigste. Wohl gelang ihre Lösung bald bei der einfachen Leinwandbindung, weil es sich hierbei um nichts anderes als um zwei auf- und abwärts gehende Schäfte und dementsprechend um zwei davon abhängige Tritte handelt, die bis dahin vom Weber abwechselnd niedergetreten werden mußten und nun maschinell durch Daumenscheiben betätigt wurden. Bei zusammengesetzteren Mustern genügten aber auch beim Handwebstuhl die beiden Schäfte nicht, und deren Vermehrung war aus konstruktiven Gründen bald ein Ziel gesetzt. Die Muster wurden jedoch stets komplizierter, der Künstler, der sie anfertigte, verlangte immer mehr Freiheit bei ihrem Entwurf, und hier versagten bald die der damaligen Technik zur Verfügung stehenden Mittel. Man verlangte, daß die Hebung oder Senkung jedes einzelnen Kettfadens gesondert von dem anderen vorgenommen werde, und der Zeitabschnitt bis zur Wiederkehr des Anfangsstadiums bei der Musterbildung (der Rapport), also der zeitliche Rhythmus, war außerordentlich groß. Man wußte sich keinen anderen Rat, als daß man einen besonderen Gehilfen oben an den Litzenzugmechanismus setzte, damit er unter Aufwand einer höchst anstrengenden und sehr viel Aufmerksamkeit erfordernden Tätigkeit stets die richtigen Kettfäden hebe<sup>12</sup>.

Den nächsten Fortschritt zur Mechanisierung erzielte Jacquards geniale Konstruktion. Die Schaltbewegung, die der Hilfsarbeiter hoch oben an der Maschine vornehmen mußte, wird nun durch eine materielle Schablone, durch die gelochten

Pappkarten, vollzogen. Sie gestatten, jeden Kettfaden gesondert von den anderen zu beeinflussen, und die Größe des Rapportes hängt nur von der Zahl der Karten ab und ist nur durch den zu ihrer Unterbringung zur Verfügung stehenden Raum beschränkt.

Einen kleinen Schritt vorwärts bedeutete es noch, die Schaltung, d. h. den Wechsel der Pappkarten, nicht von Hand aus, sondern von der Maschine selbst vornehmen zu lassen. Der eingeleitete Energiestrom verzweigt sich nun mehrfach in der Maschine; der größte Teil wird zum Vollzug der eigentlichen Arbeitsleistung verwendet, ein kleiner Teil aber läuft zum Schaltmechanismus, betätigt ihn und wirkt bei dieser Relaiskonstruktion jetzt als Primärstrom, der den die Arbeitsleistung vollbringenden Hauptstrom steuert. Man sieht, daß hier bei der Arbeitsmaschine, ebenso wie früher bei der kalorischen Maschine, der Weg zur Selbststeuerung damit vollzogen war.

Es würde zu weit führen, hier zu zeigen, wie dieses Ziel, eine automatisch wirkende Maschine zu erreichen, ein Grundzug in der Entwicklung der Technik beim Bau fast aller Kraft-, Werkzeug- und Arbeitsmaschinen ist. Natürlich eignen sich solche Automaten wegen der notwendigerweise mit der Bindung der Schaltbewegung an eine materielle Schablone im Zusammenhang stehenden zeit-rhythmischen Wiederkehr (des Rapportes) nur zur Herstellung von Massenerzeugnissen, aber auch hier wird es Aufgabe des Fortschrittes sein, ebenso wie bei der Jacquardschen Maschine, dahin zu wirken, daß die Schablone, was die Zahl der möglichen Einzelwirkungen und die Größe des Rapportes betrifft, weitestgehende Freiheit gestattet.

#### Überwachungseinrichtungen

Gerade beim mechanischen Webstuhl wurde aber auch zum erstenmal ein Fortschritt erzielt, der später prinzipiell bei ande-

ren Arbeitsmaschinen Nachahmung fand. Es sind dies Kontrollvorrichtungen, die den richtigen Gang der Maschine überwachen und sie bei einer auftretenden Störung sofort stillsetzen. Beim Webstuhl war es vor allem der Schuß- und der Schützenwächter, denen diese Aufgabe zufiel – auch wieder Relaiskonstruktionen. Ihnen kommt für gewöhnlich keine unmittelbare Beeinflussung der Maschine zu: was sie vollbringen sind Aufmerksamkeitsleistungen, die man in einem weniger technischen Zeitalter ausschließlich der Psyche des Menschen zugetraut hätte. Sie liegen auf der Lauer, wartend, ob nicht eine Störung eintritt. Dann aber setzt eine, gewöhnlich sehr kleine Energiemenge durch geeignete Relaisschaltung rasch den starken in die Maschine eingeleiteten Energiestrom außer Tätigkeit, schaltet vielleicht noch Bremsen ein, um auch die in der Vorrichtung selbst vorhandenen Massenkräfte zu vernichten und ersetzt in fast vollkommener Weise so den die Maschine in früherer Zeit stets überwachenden Menschen, ohne jemals irgendwelche Ermüdungserscheinungen oder Unlustäußerungen zu zeigen. Die kleine Energiemenge, die von der die Maschine steuernden Überwachungsvorrichtung als Primärstrom ausgesandt wird, kann in einfacher Weise durch die Schwerkraft oder durch elastische Federn erzeugt werden, bei größerem Energiebedarf ist es auch hier möglich, wieder einen Teil von unserem Hauptenergiestrom abzuzweigen und ihn dem Überwachungsrelais zuzuführen.

Man glaube aber ja nicht, daß sich die Überwachungsvorrichtung, selbst nur im technischen Sinn, zu einer gewissen handelnden Selbständigkeit entwickelt hätte, und daß ihr Eingreifen auch nur bildhaft demjenigen des Menschen gleichgestellt werden darf. Wohl reagiert sie der ihr gestellten Aufgabe gemäß in feinsten und von jeder Ermüdung unabhängiger Weise auf diejenigen Einwirkungen, zu deren Überwachung sie vom Menschen ersonnen wurde, aber weitere Reaktionen auf andere, vom Menschen nicht vorher ins Auge gefaßte Geschehnisse sind ausgeschlossen. Es fehlt ihr daher

jede Ähnlichkeit mit einem lebenden Organismus, der mit seinem ganzen materiellen und energetischen System auf jede Reizung der Außenwelt antwortet, und der durch schöpferische Neugestaltung sich an neue Bedingungen der Umgebung anpassen imstande ist.

Auch die Wächtereinrichtung ist nur zu verstehen, wenn wir sie in Abhängigkeit vom Menschen betrachten, wenn wir zu der, durch ihre Gestaltung bedingten Konstruktion den organisierenden Menscheng Geist, der sie geschaffen hat, hinzufügen. Sie steht prinzipiell in genau demselben Verhältnis zum Menschen, wie der von seiner Hand ergriffene und nun als Schlagwerkzeug verwendete Stein, nur daß die Distanz zwischen ihr und dem menschlichen Körper sehr groß geworden ist, und daß die Verbindung zwischen beiden an materiellem Gehalt verloren hat.

Ist der Wächterapparat einmal vom Menschen fertiggestellt worden, so arbeitet er unter Umständen eine außerordentlich lange Zeit, nämlich bis zum Eintritt einer katastrophalen Störung, selbständig weiter. Der Mensch braucht nicht mehr zur Beobachtung des Apparates in dessen unmittelbarer Nähe anwesend zu sein, er kann sich weit weg von ihm begeben und kann auch eine außerordentlich große Zahl solcher Vorrichtungen an den verschiedensten Orten gleichzeitig im Betrieb erhalten. Diese Loslösung der selbständig gewordenen Relaischaltung vom Menschen wurde bereits bei den primitiven Fallen der Jägervölker erläutert. Der materielle Zusammenhang zwischen Mensch und Vorrichtung bleibt nur bei ihrer Inangansetzung und bei ihrer Ausschaltung aufrecht. Die Einwirkungen des primären steuernden Energiestromes sind hier auf ein Minimum reduziert, ebenso wie wir es an früherer Stelle bei dem Schalter einer elektrischen Leitung auseinandergesetzt haben.

### Zusammenfassung

Bei allen Ausführungen, die hier zur Darlegung des Relaisprinzipes gemacht wurden, ist fast immer nur von mechanischen Relaisvorrichtungen die Rede gewesen. Nur gelegentlich, z. B. bei der einleitenden Erklärung des Begriffes der Relaiskonstruktion, wurde auch auf Anlagen, die durch Einwirkung anderer Energien zur Betätigung gelangen, hingewiesen. Es ist einleuchtend, daß beim Übergang von mechanischen zu anderen, immateriellen Kräften die Relaiskonstruktionen noch viel feiner ausgestaltet werden können. Komplizierte Kupplungen, umfangreiche Konstruktionen zur Aufnahme und Weiterleitung bedeutender mechanischer Energiemengen fallen beispielsweise bei elektrischen Schaltungen vollkommen fort, wo eine gut konstruierte Kontaktvorrichtung allein genügt, um große Energiemengen ein- und ausschalten zu können. Die Möglichkeit, Relaiskonstruktionen zu den verschiedensten Zwecken anzuwenden, wächst dadurch ins Unendliche, und es gelingt in der Folge auch technische Gebilde herzustellen, die eine sehr große Zahl von Relais aufweisen. Letztere können wieder in ein gegenseitiges Abhängigkeitsverhältnis zueinander gestellt werden, so daß die Gebilde dadurch, wenn auch nur äußerlich, eine immer größere Ähnlichkeit mit dem lebenden Organismus erhalten.

Fassen wir die durch die Anwendung des Relaisprinzipes in der Technik erzielten Fortschritte an Hand eines Beispielles (der Arbeitsmaschine) noch einmal zusammen, so ergeben sich folgende Stufen:

1. Der Mensch arbeitet ohne jedes Werkzeug; sein lebender Organismus ist die einzige Materie, die von seiner Psyche beeinflußt auf die Außenwelt einwirkt und darin Änderungen nach Raum und Zeit vornimmt.
2. (Transformatorschaltung.) Der Mensch arbeitet mit einem Werkzeug, das von seiner Hand gehalten wird. Die Form des Werkzeuges gestattet, die Kraftäußerung in bestimmten

Punkten zu konzentrieren, ihr auch eine besonders gewünschte Richtung zu erteilen oder sie, wie bei den einfachen Maschinen in ihrer Stärke zu verändern. Diese Transformatorschaltung, die, außer beim Gebrauch der Werkzeuge, auch sonst noch häufig in der Technik Verwendung findet, ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Eine Vergrößerung der Energiemenge des Sekundärstromes im Vergleich zu der des Primärstromes kann mit dieser Einrichtung nicht erzielt werden.

3. (Relaisschaltung.) Der Mensch benützt eine Arbeitsmaschine; für die Arbeitsleistung steht hier eine zusätzliche Kraft in einem Energiespeicher zur Verfügung (Abb. 2). Die Vorrichtung gestattet die Ausnützung leibfremder Energie und dadurch wird die Indienststellung von Tier- und Naturkräften möglich. Der Sekundärstrom ist hinsichtlich seiner Zeit-Intensitätskurve eine Funktion des Primärstromes; ein Verhältnis zwischen Primär- und Sekundärstrom nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie besteht jedoch keineswegs.

4. Bindung des steuernden Energiestromes an eine materielle Schablone (Abb. 3). Die durch diese Schaltung erzielte Vorrichtung ergibt die automatisch arbeitende Maschine. Die Einwirkung des Menschen beschränkt sich meistens nur noch auf wenige Handgriffe beim Anlassen und Abschalten der Anlage, sowie beim Zurichten und Einstellen vor ihrer Inbetriebsetzung.

5. Schaltung wie bei 4., jedoch unter Hinzufügung einer oder mehrerer Überwachungseinrichtungen (Abb. 4). Im Gegensatz zu den Energieströmen, die die Arbeitsleistung und die Relaissteuerung der Anlage nach Schaltung 4 bewirken, fließt die Energieströmung in den Überwachungsleitungen gewöhnlich rückläufig. Die unmittelbare Einwirkung des Menschen wird auf ein noch geringeres Maß herabgedrückt. Sie ist nun selbst bei Katastrophen nicht notwendig, soweit diese vorhergesehen und in den Bereich der Konstruktion mit einbezogen wurden.

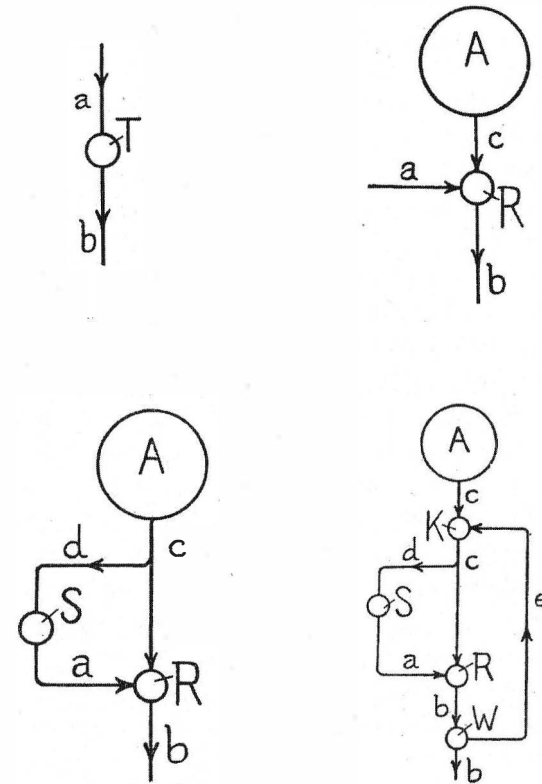


Abb. 1-4

Erklärung der Buchstaben auf den Abbildungen: a Primärstrom, b Sekundärstrom, T Transformator, R Relais, A Akkumulator, c motorische Leitung, S steuernde Schablone, d motorische Leitung zum Antrieb von S, W Wächterapparat, K Kupplung (Stromschalter), e Überwachungsleitung.

Wir sehen, daß durch den dargelegten Entwicklungsgang der Einfluß des Menschen ins ungeahnte gesteigert wurde, sowohl hinsichtlich der Energiemenge, die ihm nun zur Verfügung

steht, als auch hinsichtlich der Vervielfältigung von deren Wirkungsmöglichkeit, so daß die von ihm beherrschten und gelenkten Kräfte gleichzeitig und unabhängig von seiner Anwesenheit an vielen voneinander getrennten Orten zweckmäßig ausgenützt werden können.

Dieser ganze, für den Menschen von ungeheurer Bedeutung gewordene Entwicklungsgang, vollzog sich jedoch auf Kosten der Freiheit. Dem ohne Werkzeug tätigen Menschen waren hinsichtlich seiner Leistungen nur durch die kinematischen und dynamischen Befähigungen seiner Organe Grenzen gezogen. Schon das einfache, von der Hand geführte Werkzeug ist einem Sonderfall angepaßt, leistet für diesen weit mehr, als die unbewaffnete Hand, ist aber in seiner Benützungsmöglichkeit auch auf diesen einen Sonderfall allein beschränkt. Jede weitere Ausgestaltung der Maschine nach der oben dargelegten Richtung, engt aber ihr Verwendungsgebiet immer mehr ein. Für den Sonderfall bleibt sie freilich ein wunderbares Instrument, weil sie den Menschen, wie wir sahen, sogar vom Überwachungsdienst enthebt und beim Eintritt von Katastrophen geeignete, folgerichtige Maßnahmen zur Verhinderung umfangreicher Schäden trifft. Sie versagt jedoch natürlich bei jeder unvorhergesehenen Katastrophe gänzlich, und hier bleibt ihr der vollkommen unbewaffnete lebende Organismus unendlich überlegen.

#### Parallelen beim lebenden Organismus

Die eben angestellte Betrachtung führt zum Vergleich lebender Organismen mit den technischen Gebilden auch in anderer Hinsicht. Wie früher dargelegt, dürfen wir diese Gebilde in ihrer Funktion niemals selbständig und vom Menschen losgelöst, sondern nur im Zusammenhang mit ihm und vor allem mit seinem Zentraldenkorgan betrachten. So erscheinen die Technismen als Erweiterungen der menschlichen Physis, als abhängige Organe des menschlichen Energiesystems<sup>13</sup>, auch

dann, wenn sie sich vom menschlichen Körper längst losgelöst und wenn sie in ihrem Aufbau fast selbständige Wirkungsmöglichkeiten errungen haben. Und die Aufrechterhaltung der Abhängigkeit des technischen Gebildes vom menschlichen Zentraldenkorgan, die mit Hilfe des Relaisprinzipes bis zu den beinahe vollständig selbsttätigen Maschinen möglich bleibt, ergibt eine befriedigendere Eingliederung der Technismen in die gesamten Erscheinungsformen der Erde, als ihre Betrachtung als selbständige Vorrichtungen.

Bei einem eingehenden Vergleich des Aufbaues und der Arbeitsweise höherer technischer Gebilde mit lebenden Organismen zeigt sich nämlich eine gewisse Ähnlichkeit, die allerdings nicht in sämtlichen Funktionen besteht und auch nicht etwa zu einer vollständigen Wesensgleichheit hinführt, die aber in vielen Fällen den unbefangenen Beobachter äußerst überraschen mag und dann zu Ratlosigkeit in wissenschaftlicher Beziehung oder zu mystischen Erklärungsversuchen Veranlassung geben kann. Die eben berührte Tatsache, daß gewisse Funktionen des technischen Gebildes und des menschlichen Körpers einander sehr ähneln, bewogen Ernst Kapp in seiner »Philosophie der Technik« seine Lehre von der Organprojektion zu formulieren, nämlich die Behauptung aufzustellen, daß der Mensch nur fähig wäre, Gebilde zu ersinnen, die ganz analog dem Bau seines Körpers gestaltet sind. Tatsächlich ist ja die Ähnlichkeit bei manchen Erscheinungen überraschend, aber es wurden bei technischen Gebilden doch Formen und Funktionen ersonnen, die in der organischen Welt kein Analogon finden.

In dieser Beziehung braucht bloß an das Aufkommen und die Ausgestaltung der technischen Drehbewegung erinnert zu werden, die nicht nur die in festen Lagern rotierende Achse hervorbrachte, sondern der es sogar gelang, das zu überwinden, was bei ihrer Einführung als unangenehme Beigabe mit in Kauf genommen werden mußte, nämlich das Auftreten gleitender Reibung. Die Kugel- und Walzenlager ermöglichen eine feste

Lagerung der Achse und trotzdem tritt, praktisch genommen, keine gleitende, sondern nur wälzende Reibung auf.

Auch die Verwendung des Feuers, einer Errungenschaft verhältnismäßig primitiver Technik, die Benützung einer Menge chemischer Reaktionen, die Verwendung magnetischer und elektrischer Kräfte zeigen, daß die Kappsche Theorie nur auf sehr schwankenden Füßen steht, und wenn sich der Techniker, hier wohl mit Recht, mit seiner ganzen Skepsis gegen die Anerkennung dieser Anschauung wendet, so mag nur an die von Duprell ersonnene Fortführung der Kappschen Hypothese erinnert werden, um zu erkennen, wo solche Spekulationen zu enden imstande sind.

Unabhängig von allen Erklärungsversuchen obliegt aber dem wissenschaftlich nüchternen Beobachter die Feststellung der Tatsache, daß Relaisschaltungen nicht nur bei technischen Gebilden, sondern auch im lebenden Organismus häufig vorkommen. Die zur Bewegung eines Gliedes des menschlichen Körpers notwendige Energie ist in den Muskeln gespeichert und wird durch nervöse Beeinflussung vom Gehirn ein- oder ausgeschaltet und in ihrer Stärke gesteuert. Solche Akkumulierungen von Energievorräten in Form elastischer Spannungszustände treffen wir aber auch schon bei ganz einfachen organischen Gebilden z. B. bei Pflanzen an, wo sie dann durch gewisse innere oder äußere Reize, z. B. bei Erreichung einer bestimmten Höhe des Turgordruckes oder durch Berührung zur Auslösung gelangen.

Aber nicht nur die einfache Relaisschaltung findet sich bei organischen Gebilden, sondern es kommt auch eine Einrichtung, die sehr ähnlich derjenigen ist, die wir das Binden einer Schaltbewegung an eine materielle Schablone nannten, beim Menschen vor. Ein Arbeiter, der fortwährend sich wiederholende Bewegungen zu vollführen hat, wird diese erst unter Zuhilfenahme aller seiner psycho-physischen Fähigkeiten vollbringen. Die Folge davon zeigt sich in baldiger Ermüdung, in Unlusterscheinungen und wohl auch im Nachlassen der

Genauigkeit seiner Leistung. Eine Hilfe bietet ihm, wie früher erläutert wurde, die rhythmische Ausgestaltung seiner Tätigkeit, die aber in der modernen Technik, z. B. bei Bedienung einer Maschine, nicht mehr zugänglich ist, weil hier die Bewegungen häufig in anderen Zeitintervallen als sie dem menschlichen Körper entsprechen, ausgeführt werden müssen, und weil das Tempo der Bewegung nicht vom Arbeiter, sondern von der Maschine diktiert wird.

Eine merkwürdige Erscheinung gewährt jedoch dem Arbeitenden in dieser verzweifelten Lage Hilfe. Die Bewegungen und Verrichtungen, die er anfangs nur mit größter Anspannung seiner Sinne und seines Denkkapparates vollführen konnte, werden ihm stets leichter und geläufiger, die Aufmerksamkeitsleistungen, die hierzu nötig sind, vermindern sich fortwährend, und endlich führt er die von ihm verlangte Aufgabe ganz »mechanisch« aus: er hat sich hier gleichsam eine Schablone von sinnlichen Reizungen geschaffen, die die Ausschaltung anderenfalls fortwährend aufzuwendender geistiger Energie gestattet.

#### Anmerkungen

- 1 Der Verfasser hofft, in einiger Zeit eine ausführliche methodologische Untersuchung der Technohistorie veröffentlichen zu können.
- 2 Zum ersten Male in einem Vortrag des Sächsischen Ingenieur- und Architektenvereins 1872 veröffentlicht.
- 3 Der Verfasser beabsichtigt, in nächster Zeit auch eine heute fast fertiggestellte eingehende Untersuchung über das Hartigsche Gesetz zu veröffentlichen.
- 4 Vergl. Horwitz: »Die Entwicklung der Drehbewegung« Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, Jahrbuch des Vereins deutscher Ingenieure 10 (1920), 187.
- 5 wenigstens soweit der Arbeitsweg, nicht allerdings, soweit die dazu aufgewandte Muskelenergie in Betracht gezogen wird.

- 6 Aber auch dies wird bei komplizierter gestalteten Fallen, die den selbsttätigen Fang mehrerer Tiere hintereinander vollbringen, überflüssig, und der Besuch braucht nur nach einer gewissen Anzahl von Tagen zu erfolgen, sofern nicht das Verderben des getöteten Wildes oder ein Kampf der lebend gefangenen Tiere untereinander zu befürchten ist.
- 7 Horwitz: »Zur Entwicklungsgeschichte der Armbrust«. Zeitschrift für historische Waffenkunde 8 (1920), 313.
- 8 Etwas später wohl werden Tiere auch zum Antrieb von Wasserschöpfeinrichtungen verwendet, wogegen ihre Benutzung zum Drehen von Mühlen sicher in eine vorgeschrittenere Epoche fällt.
- 9 Von dem An- und Abflauen der Luftströmung und von Windstößen kann füglich abgesehen werden: der gleichmäßige Fluß wird hier besonders im Gegensatz zu einer intermittierenden, hin und her gehenden Bewegung betont.
- 10 Beim Antrieb von Pumpen durch ein Wasserrad mußte die rotierende Bewegung stets durch ein Kurbelgetriebe erst in eine hin und her gehende verwandelt werden, denn Wasserhebevorrichtungen mit rotierender Bewegung waren damals im Prinzip wohl bekannt, praktisch aber ohne jede Bedeutung.
- 11 Ob es, wie die Sage will, der zur Bedienung der Feuermaschine angestellte kleine Junge Potter war, dem die fortwährende Arbeits- und Aufmerksamkeitsleistung zu langweilig wurde, und der deswegen die Schnursteuerung ersann, konnte bisher historisch nicht einwandfrei nachgewiesen werden.
- 12 Es mag die besondere Beachtung verdienen, daß die Entwicklung des Webstuhles bis zu diesem Punkt sowohl im europäischen, als auch im ostasiatischen Kulturkreis in ähnlicher Weise vor sich gegangen ist.
- 13 nicht aber als Organprojektionen.

## Über die Konstruktion von Fallen und Selbstschüssen

[Erstabbruck in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 14  
(1924), S. 85-100.]

Von den von Menschen verfertigten Gebilden, die schon ziemlich früh im Laufe der Entwicklung der Technik ersonnen wurden, gehören die Fallen zu den eigenartigsten. Ein großer Teil ihrer Ausführungsformen stellt die Anfänge der mechanischen Technik, vielleicht auch die des Maschinenbaues dar<sup>1</sup>, und zwar hat man in ihnen besonders den Ursprung der Automaten zu erblicken. Freilich darf man hierbei nicht an diejenigen Automaten denken, die der spielerische Menscheng Geist, angefangen von Griechen und Römern bis in die Rokokozeit hinein, erdacht hat. Bei ihrer Erfindung sah man es als höchstes Ziel an, menschliche und tierische Gestalten in Bewegungen und Tätigkeiten, die diesen Lebewesen eigen sind, vorzuführen, und noch im 18. Jahrhundert hielten manche solche wohl oft sehr sinnreich konstruierte, im Grunde aber völlig nutzlose Vorrichtungen, die nur zum Vergnügen dienten, ohne irgend welchen praktischen Wert zu besitzen, für den höchsten Triumph der Technik.

Die Fallen aber bedeuten nicht die ursprünglichen Anfänge solcher Automaten und ebenso wenig die unserer heutigen selbsttätigen Verkaufsvorrichtungen, sondern sie sind die Vorläufer der automatisch arbeitenden Werkzeugmaschinen. Geradeso wie diese führen sie praktisch wertvolle, sonst vom Menschen zu verrichtende Arbeit selbsttätig aus. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden mechanischen Gebilden besteht darin, daß sie die Ergebnisse zweier in technischer und wirtschaftlicher Beziehung weit voneinander getrennten Perioden darstellen: hier ein technisch hochentwickeltes Zeitalter mit großen Fabrikanlagen, in denen auf engstem Raume riesige