

NORBERT WIENER

KYBERNETIK

Regelung und Nachrichtenübertragung
im Lebewesen und in der Maschine

Zweite, revidierte und ergänzte Ausgabe

ECON-VERLAG GMBH
DÜSSELDORF · WIEN

Übertragung aus dem Amerikanischen: E. H. Serr, unter Mitarbeit von
Dr. E. Henze

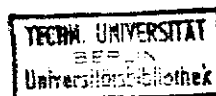
Titel der bei The Massachusetts Institute of Technology erschienenen Original-
ausgabe: *CYBERNETICS or control and communication in the animal and the
machine*

Copyright © 1948 and 1961 by the Massachusetts Institute of Technology

Arturo Rosenblueth

meinem langjährigen wissenschaftlichen Gefährten

1. bis 4. Tausend Frühjahr 1963
5. bis 7. Tausend Herbst 1963
8. bis 10. Tausend Frühjahr 1965
11. bis 13. Tausend Frühjahr 1968



Copyright © 1963 by Econ-Verlag GmbH, Düsseldorf und Wien. Alle Rechte
der Verbreitung in deutscher Sprache, auch durch Film, Funk, Fernsehen, foto-
mechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art oder auszugsweisen Nachdruck,
sind vorbehalten. Satz: H. Hagedorn, Berlin. Druck- und Bindearbeiten:
Mohndruck Reinhard Mohn OHG, Gütersloh
Printed in Germany

INHALT

Vorwort zur zweiten Auflage	9
---------------------------------------	---

I. URSPRÜNGLICHE AUSGABE 1948

Einführung	20
1. Newtonscher und Bergsonscher Zeitbegriff	53
2. Gruppen und statistische Mechanik	69
3. Zeitreihen, Information und Kommunikation	86
4. Rückkopplung und Schwingung	124
5. Rechenmaschinen und das Nervensystem	147
6. Gestalt und Universalbegriffe	167
7. Kybernetik und Psychopathologie	178
8. Information, Sprache und Gesellschaft	191

II. ERGÄNZENDE KAPITEL 1961

9. Über lernende und sich selbst reproduzierende Maschinen	204
10. Gehirnwellen und selbstorganisierende Systeme	217
Literaturhinweise	243
Sachregister	246

getragen haben, befinden sich in einer moralischen Situation, die, um es gelinde auszudrücken, nicht sehr angenehm ist. Wir haben zu der Einführung einer neuen Wissenschaft beigesteuert, die, wie wir gesehen haben, technische Entwicklungen mit großen Möglichkeiten für Gut oder Böse umschließt. Wir können sie nur in die Welt weitergeben, die um uns existiert, und das ist die Welt von Belsen und Hiroshima. Wir haben nicht einmal die Möglichkeit, diese neuen technischen Entwicklungen zu unterdrücken. Sie gehören zu diesem Zeitalter, und alles, was wir tun können, ist, zu verhindern, daß diese Entwicklungen in die Hände der verantwortungslosesten und käuflichsten unserer Techniker gelegt werden. Wir können bestenfalls dafür sorgen, daß eine breite Öffentlichkeit die Richtung und die Lage der gegenwärtigen Arbeit versteht, und unsere persönlichen Anstrengungen auf die Gebiete beschränken, die, wie z. B. Physiologie und Psychologie, am weitesten von Krieg und Unterdrückung entfernt sind. Wie wir gesehen haben, gibt es Leute, die hoffen, daß der Gewinn eines besseren Verstehens von Mensch und Gesellschaft, der sich durch dieses neue Arbeitsgebiet anbietet, die gelegentlichen Zugeständnisse, die wir an die Machtzusammenballung machen (Macht ist – entsprechend ihren eigenen Existenzbedingungen – stets in den Händen der Skrupellosesten konzentriert), voraussehbar und damit unüberwindbar machen wird. Ich schreibe im Jahre 1947, und ich muß gestehen, daß es eine sehr schwache Hoffnung ist.

Der Autor möchte WALTER PITTS, OLIVER SELFRIDGE, GEORGES DUBE und FREDERIC WEBSTER für ihre Hilfe bei der Durchsicht des Manuskripts und der Vorbereitung des Materials für die Veröffentlichung seinen Dank ausdrücken.

November 1947

*Instituto Nacional de Cardiología
Ciudad de México*

1. NEWTONSCHER UND BERGSONSCHER ZEITBEGRIFF

Es gibt ein kleines Lied, das jedem deutschen Kind vertraut ist; es lautet:

«Weißt du, wieviel Sternlein stehen
An dem blauen Himmelszelt?
Weißt du, wieviel Wolken gehen
Weithin über alle Welt?
Gott, der Herr, hat sie gezählt,
Daß ihm auch nicht eines fehlet
An der ganzen großen Zahl.»

W. Hey

Dies Liedchen ist ein interessantes Thema für den Philosophen und für den Wissenschaftshistoriker, insofern es zwei Disziplinen nebeneinanderstellt, die sich zwar beide mit der Beobachtung des Himmels über uns beschäftigen, aber beinahe in jeder anderen Beziehung von extremer Gegensätzlichkeit sind. Die Astronomie ist die älteste der Wissenschaften, während die Meteorologie zu den jüngsten zählt, die erst anfangen, diesen Namen zu verdienen. Die vertrauteren astronomischen Phänomene können für viele Jahrhunderte vorausgesagt werden, während eine Vorhersage des morgigen Wetters im allgemeinen nicht leicht zu geben und tatsächlich vielerorts oft sehr ungenau ist.

Um auf das Lied zurückzukommen: Die Antwort auf die erste Frage lautet, daß wir innerhalb gewisser Grenzen wissen, wie viele Sterne es gibt. Abgesehen von kleineren Unsicherheiten bezüglich einiger Doppelsterne und veränderlicher Sterne ist ein Stern an erster Stelle ein bestimmter Gegenstand, ausgezeichnet geeignet, gezählt und katalogisiert zu werden, und wenn eine menschliche *Durchmusterung* der Sterne – wie wir diese Kataloge nennen – bei den Sternen, die unter einer bestimmten Größe liegen, halt macht, so gibt es nichts, was einem Gedanken an eine göttliche, viel weitergehende *Durchmusterung* entgegensteht.

Wenn wir andererseits von einem Meteorologen verlangten, uns eine ähnliche *Durchmusterung* der Wolken zu geben, würde er uns ins Gesicht lachen oder nachsichtig erklären, daß es in der gesamten Sprache der Meteorologie keinen Gegenstand wie eine Wolke gibt, definiert als ein Objekt mit einer quasipermanenten Identität, und wenn es sie gäbe, er weder die Fähigkeit besäße noch tatsächlich daran interessiert wäre, sie zu zählen. Ein topografisch veranlagter Meteorologe würde eine Wolke vielleicht als einen bestimmten Raum definieren, in dem der Wasseranteil in festem oder flüssigem Zustand einen ge-

wissen Betrag überschreitet. Diese Definition hätte jedoch nicht den geringsten Wert für irgend jemand und würde höchstens einen äußerst vergänglichen Zustand darstellen. Was den Meteorologen wirklich angeht, das sind statistische Feststellungen wie: «Boston, 17. Jan. 1950, Himmel zu 38% bedeckt, Cirrocumulus.»

Es gibt natürlich einen Zweig in der Astronomie, der etwas behandelt, was man kosmische Meteorologie nennen könnte: das Studium der Galaxien, Nebel, Sternhaufen und ihre Statistik, wie es z. B. von CHANDRASEKHAR betrieben wird. Dies ist jedoch ein sehr junges Sachgebiet der Astronomie, jünger als selbst die Meteorologie und etwas außerhalb der Tradition der klassischen Astronomie stehend. Diese Tradition, abgesehen von ihren reinen Klassifizierungs- oder *Durchmusterungsaspekten*, war ursprünglich mehr am Sonnensystem als an den Fixsternen interessiert. Es ist die Astronomie des Sonnensystems, die hauptsächlich mit den Namen KOPERNIKUS, KEPLER, GALILEI und NEWTON in Beziehung steht und die die Amme der modernen Physik ist.

Sie ist tatsächlich eine ideal einfache Wissenschaft. Schon vor der Existenz irgendeiner hinreichenden dynamischen Theorie, ja schon bei den Babyloniern stellte man sich vor, daß sich Verfinsterungen in regelmäßigen, vorher bestimmbareren Zyklen ereignen, die sich rückwärts und vorwärts zeitlich fortsetzen. Man wurde sich darüber klar, daß die Zeit selbst besser mittels der Bewegung der Gestirne auf ihren Bahnen gemessen werden konnte als auf irgendeine andere Art. Das Muster aller Vorgänge im Sonnensystem bildete die Umdrehung eines Rades oder einer Reihe von Rädern, entweder in Form der Ptolemäischen Epizykeltheorie oder der Kopernikanischen Bahntheorie, und in jeder dieser Theorien wird die Vergangenheit in der Zukunft gesetzmäßig wiederholt. Die Sphärenmusik ist ein Palindrom, und das Buch der Astronomie liest sich in gleicher Weise vorwärts wie rückwärts. Zwischen der Bewegung eines Planetariums, das vorwärts, und einem, das entgegengesetzt läuft, besteht außer in den Anfangspositionen und -richtungen kein Unterschied. Als schließlich all dies durch NEWTON auf eine Anzahl von Postulaten und eine geschlossene Mechanik zurückgeführt wurde, blieben die fundamentalen Gesetze dieser Mechanik unverändert durch die Transformation der veränderlichen Zeit t in ihre Umkehrung.

Wenn wir also die Planeten filmen würden, um ein wahrnehmbares Bild ihrer Bewegung zu zeigen, und den Film rückwärts ablaufen ließen, so ergäbe sich noch, übereinstimmend mit der Newtonschen

Mechanik, ein mögliches Bild der Planeten. Wenn wir dagegen die Turbulenz der Wolken in einem Gewitter filmten und den Film rückwärts ablaufen ließen, erschiene er gänzlich verkehrt. Wo wir Aufwinde erwarteten, würden wir Abwinde sehen, die Turbulenz würde an Intensität abnehmen, das Blitzen ginge den Veränderungen der Wolke, die ihm gewöhnlich vorausgehen, voran und so beliebig weiter.

Welcher Unterschied zwischen der astronomischen und der meteorologischen Situation bewirkt nun alle diese Differenzen und insbesondere die offensichtliche Umkehrbarkeit der astronomischen und die offensichtliche Nichtumkehrbarkeit der meteorologischen Zeit? Vor allem enthält das meteorologische System eine ungeheure Zahl annähernd gleicher Partikeln, von denen einige sehr eng miteinander gekoppelt sind, während das astronomische System des solaren Universums nur eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Partikeln aufweist, die von sehr verschiedener Größe und untereinander hinreichend lose gekoppelt sind, so daß die Kopplungseffekte zweiter Ordnung das allgemeine Bild, das wir beobachten, nicht ändern, und die Kopplungseffekte höherer Ordnung vollkommen zu vernachlässigen sind. Die Planeten bewegen sich unter Bedingungen, die der Isolierung einer gewissen begrenzten Anzahl von Kräften viel günstiger sind als die irgendeines physikalischen Experiments, das wir im Labor durchführen können. Die Planeten und sogar die Sonne sind, verglichen mit den Abständen zwischen ihnen, nahezu Punkte. Verglichen mit der elastischen und plastischen Deformation, die sie erleiden, sind die Planeten entweder nahezu starre Körper, oder wo dies nicht der Fall ist, sind ihre inneren Kräfte – wenn man die relative Bewegung ihrer Zentren betrachtet – von verhältnismäßig geringer Bedeutung. Der Raum, in dem sie sich bewegen, ist beinahe vollkommen frei von hemmender Materie, und bei ihrer gegenseitigen Anziehung können ihre Massen als sehr nahe bei ihren Mittelpunkten und als konstant angesehen werden. Die Abweichung des Gravitationsgesetzes vom $1/r^2$ -Gesetz ist überaus klein. Die Lagen, Geschwindigkeiten und Massen der Körper des Sonnensystems sind zu jedem Zeitpunkt außerordentlich gut bekannt, und die Berechnung ihrer zukünftigen und ihrer vergangenen Lagen ist zwar im einzelnen nicht leicht, jedoch im Prinzip einfach und genau. Auf der anderen Seite ist in der Meteorologie die Zahl der betreffenden Partikeln so enorm, daß eine genaue Beschreibung ihrer Anfangsstellungen und Geschwindigkeiten gänzlich unmöglich ist; und würden diese Beobachtungen tatsächlich ge-

macht und würden ihre zukünftigen Lagen und Geschwindigkeiten berechnet, so hätten wir nichts als eine undurchdringliche Anhäufung von Kurven, die einer radikalen Neuinterpretation bedürften, bevor sie von irgendwelchem Nutzen für uns wären. Die Ausdrücke «Wolke», «Temperatur», «Turbulenz» usw. sind durchweg Bezeichnungen, die sich nicht auf einen einzelnen physikalischen Zustand, sondern auf eine Verteilung von möglichen Zuständen beziehen, von denen nur ein einziger Fall realisiert ist. Würden die gesamten Ablesungen aller meteorologischen Stationen der Erde zur gleichen Zeit zusammengefaßt, so würden sie nicht einen billionsten Teil der Daten ergeben, die notwendig sind, um den wirklichen Zustand der Atmosphäre unter dem Newtonschen Gesichtspunkt zu charakterisieren. Sie würden lediglich gewisse Konstanten liefern, konsistent mit einer unendlichen Anzahl verschiedener Atmosphären, und könnten höchstens zusammen mit gewissen *a-priori*-Annahmen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, ein Maß für die Menge der möglichen Atmosphärenzustände ergeben. Wenn wir die Newtonschen Gesetze oder irgendein anderes beliebiges System kausaler Gesetze benutzen, ist alles, was wir für eine zukünftige Zeit vorhersagen können, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Konstanten des Systems, und sogar diese Vorhersagemöglichkeit schwindet mit fortschreitender Zeit.

Nun führen selbst in einem Newtonschen System, in dem die Zeit vollkommen reversibel ist, Fragen der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Vorhersage zu Antworten, die asymmetrisch sind wie Vergangenheit und Zukunft, weil die Fragen asymmetrisch sind, auf die sie Antwort geben. Wenn ich ein physikalisches Experiment anstelle, so bringe ich das System, das ich betrachte, auf solche Weise aus der Vergangenheit in die Gegenwart, daß ich gewisse Größen festhalte und einen vernünftigen Grund habe anzunehmen, daß gewisse andere Größen bekannte statistische Verteilungen aufweisen. Dann beobachte ich die statistische Verteilung der Resultate nach einer gegebenen Zeit. Dies ist kein Prozeß, den ich umkehren kann. Um dies zu tun, wäre es notwendig, eine geeignete Verteilung von Systemen auszusuchen, die, ohne unser Zutun, innerhalb gewisser statistischer Grenzen enden würden, und herauszufinden, welches die Anfangsbedingungen zu einer gegebenen Zeit waren. Für ein System jedoch, das von einem unbekannten Zustand ausgeht, ist die Möglichkeit, in einem genau definierten statistischen Zustand zu enden, ein so seltenes Ereignis, daß wir es als ein Wunder betrachten können; wir können jedoch unsere experimentelle Technik nicht auf das Erwarten und Zäh-

len von Wundern gründen. Kurzum, wir sind zeitlich gerichtet, und unsere Beziehungen zur Zukunft unterscheiden sich von unseren Beziehungen zur Vergangenheit. Alle unsere Fragen und alle unsere Antworten sind gleicherweise durch diese Asymmetrie bedingt.

Eine sehr interessante astronomische Frage, die die Richtung der Zeit betrifft, taucht im Zusammenhang mit der Zeit der Astrophysik auf, in der wir entfernte Himmelskörper in einer einzigen Beobachtung betrachten und bei welcher keine Vorzugsrichtung in der Natur unseres Experiments zu bestehen scheint. Warum jedoch nimmt dann die mit dieser Asymmetrie behaftete Thermodynamik, die auf experimentellen irdischen Beobachtungen beruht, eine so bevorzugte Stellung in der Astrophysik ein? Die Antwort ist interessant und nicht allzu offensichtlich. Unsere Beobachtungen der Sterne gehen durch die Vermittlung des Lichtes vonstatten, durch Strahlen oder Partikeln, die, ausgehend vom beobachteten Objekt, von uns wahrgenommen werden. Einfallendes Licht können wir wahrnehmen, nicht jedoch ausfallendes Licht, oder die Wahrnehmung von ausfallendem Licht ist wenigstens nicht durch ein so einfaches und unmittelbares Experiment zustande zu bringen wie die des einfallenden Lichtes. Die Wahrnehmung des einfallenden Lichtes endigt im Auge oder auf einer fotografischen Platte. Wir machen sie bereit für den Empfang von Bildern, indem wir sie für eine gewisse Zeit isolieren: Wir verdunkeln das Auge, um «Nachher-Bilder» zu vermeiden, und wir wickeln unsere Platten in schwarzes Papier, um Lichthofbildungen zu vermeiden. Es ist klar, daß nur solche Augen und solche Platten für uns von Nutzen sind; wären wir «Vorher-Bildern» ausgesetzt, so könnten wir ebenso gut blind sein, und wenn wir unsere Platten, nachdem wir sie benutzen, in schwarzes Papier packen und sie vor dem Gebrauch entwickeln müßten, dann wäre die Fotografie tatsächlich eine sehr schwierige Kunst. Unter der obigen Voraussetzung können wir jene Sterne sehen, die auf uns und das All strahlen, während, wenn es irgendwelche Sterne gäbe, deren Entwicklung in umgekehrter Richtung verlief, sie Strahlung vom ganzen Himmel aufnehmen würden, und gerade diese Absorption würde für uns auf keine Weise wahrnehmbar sein, aus der Tatsache heraus, daß wir unsere eigene Vergangenheit bereits kennen, jedoch nicht unsere Zukunft. So muß der Teil des Universums, den wir sehen, seine Vergangenheit-Zukunft-Relation übereinstimmend mit unserer eigenen haben, jedenfalls soweit es die Lichtemission angeht. Gerade die Tatsache, daß wir einen Stern sehen, bedeutet, daß seine Thermodynamik unserer eigenen gleich ist.

In der Tat ist es ein sehr interessantes Gedankenexperiment, sich ein intelligentes Wesen vorzustellen, dessen Zeit in anderer Richtung als unsere eigene abläuft. Einem solchen Wesen wäre jede Verständigung mit uns unmöglich. Jedes von ihm gesendete Signal würde von seinem Standpunkt aus in einem logischen Fluß von Folgerungen erreichen, von dem unseren aus aber in einem logischen Fluß von «Vorhergängen». Diese Vorhergänge wären bereits in unserer Erfahrung und hätten uns als die natürliche Erklärung seines Signals gedient, ohne vorauszusetzen, daß ein denkendes Wesen dieses sendet habe. Wenn es uns ein Quadrat zeichnen würde, sähen wir die Überbleibsel dieser Figur als ihre Vorboten, und sie selbst erschiene als die kuriose, stets vollkommen erklärbare Kristallisation dieser Reste. Seine Bedeutung würde ebenso willkürlich erscheinen wie die Gesichter, die wir in Berge und Felsen hineinsehen. Das Zeichnen des Quadrats würde uns als Katastrophe erscheinen – zwar als plötzliche, aber durch natürliche Gesetze erklärbar –, durch welche jenes Quadrat aufhören würde zu bestehen. Unser Gegenüber würde uns betreffend ganz ähnliche Gedanken haben. *Innerhalb jeder Welt, mit der wir Nachrichten austauschen können, läuft die Zeit gleichsinnig ab.*

Um zu der Gegensätzlichkeit zwischen der Newtonschen Astronomie und der Meteorologie zurückzukehren: die meisten naturwissenschaftlichen Disziplinen befinden sich zwischen den beiden, aber die Mehrzahl eher der Meteorologie als der Astronomie nahe. Wie wir sahen, enthält sogar die Astronomie eine kosmische Meteorologie. Sie umschließt auch jenes außerordentlich interessante, von Sir G. DARWIN untersuchte Gebiet, das als die Gezeitentheorie bekannt ist. Wir haben gesagt, daß wir die relativen Bewegungen der Sonne und der Planeten als die Bewegungen starrer Körper behandeln können, was jedoch nicht ganz stimmt. Die Erde z.B. ist fast ganz von Meeren bedeckt. Das Wasser, das dem Mond näher ist als das Zentrum der Erde, wird stärker vom Mond angezogen als der feste Teil der Erde, und das Wasser auf der anderen Seite wird weniger stark angezogen. Diese relativ kleine Kraft zieht das Wasser in zwei Hügel auseinander, einen dem Mond zugekehrten und einen von ihm abgekehrten. Auf einer vollkommen flüssigen Kugel könnten diese Hügel dem Mond mit kleinem Energieverlust rund um die Erde folgen und würden folglich beinahe genau dem Mond gegenüber und entgegengesetzt bleiben. Sie hätten folglich einen Einfluß auf den Mond, der aber die Winkelposition des Mondes am Himmel nicht sehr beeinflussen würde. Die Gezeitenwelle jedoch, die sie auf der Erde

hervorbringen, wird an Küsten und in seichten Gewässern, wie in der Beringsee und der Irischen See, gestört und verzögert. Sie bleibt folglich hinter der Stellung des Mondes zurück, und die Kräfte, die dies bewirken, haben weitgehend turbulenten, dissipativen Charakter, sehr ähnlich den in der Meteorologie angetroffenen Kräften, und erfordern eine statistische Behandlung. Tatsächlich kann die Ozeanographie die Meteorologie eher der Hydrosphäre als der Atmosphäre genannt werden.

Diese Reibungskräfte hemmen den Mond bei seinem Lauf um die Erde und beschleunigen die Rotation der Erde. Sie sind darauf gerichtet, die Längen des Monats und des Tages einander immer näher zu bringen. Tatsächlich ist der Mondtag der Monat, und der Mond kehrt immer beinahe dasselbe Gesicht zur Erde. Es wird angenommen, daß dies das Ergebnis einer alten Gezeitenentwicklung ist; ausgehend von der Zeit, als der Mond irgendein flüssiges, gasförmiges oder plastisches Material enthielt, das der Erdanziehung nachgeben konnte und bei diesem Nachgeben große Mengen von Energie verbrauchte. Dies Phänomen der Gezeitenentwicklung ist nicht auf die Erde und den Mond beschränkt, sondern kann bis zu gewissem Grade bei allen Gravitationssystemen beobachtet werden. In vergangenen Zeiten hat es das Gesicht des Sonnensystems wesentlich geändert, obgleich diese Veränderung in geschichtlicher Zeit, verglichen mit der Bewegung der festen Körper der Planeten des Sonnensystems, unbedeutend ist.

So beinhaltet sogar die Gravitationsastronomie Reibungsprozesse, die abnehmen. Es gibt keine einzige Wissenschaft, die exakt mit dem strengen Newtonschen Modell übereinstimmt. Sicher haben die biologischen Wissenschaften ihren vollen Anteil an «Einweg»-Phänomenen. Geburt ist nicht das genaue Gegenteil des Todes, noch ist das Aufbauen von Geweben das genaue Gegenteil von ihrem Absterben. Weder folgt die Zellteilung einem in der Zeit symmetrischen Vorbild, noch tut dies die Vereinigung der Keimzellen, um das befruchtete Ei zu bilden. Das Individuum ist ein Zeiger, der zeitlich in eine Richtung deutet, und die Rasse ist gleichermaßen von der Vergangenheit in die Zukunft gerichtet.

Das Zeugnis der Paläontologie spricht für eine bestimmte, langzeitliche – wenn auch möglicherweise unterbrochene und erschwerte – Tendenz vom Einfachen zum Komplexen. Um die Mitte des letzten Jahrhunderts war diese Tendenz allen wirklich unvoreingenommenen Wissenschaftlern klargeworden, und es ist kein Zufall, daß das Problem der Entdeckung ihrer Mechanismen durch den gleichen großen

Schritt von zwei Männern vorangetragen wurde, die ungefähr zur gleichen Zeit arbeiteten: CHARLES DARWIN und ALFRED WALLACE. Dieser Schritt war die Einsicht, daß eine rein zufällige Variation der Individuen einer Gattung in die Form einer in einer oder wenigen Richtungen verlaufenden Entwicklung zerlegt werden kann, und zwar für jede Linie nach dem Grad der Lebensfähigkeit der verschiedenen Variationen, entweder unter dem Gesichtspunkt des Individuums oder der Rasse. Eine Hunde-Mutation ohne Beine wird sicherlich verhungern, während eine lange, dünne Eidechse, die den Mechanismus des Kriechens auf ihren Rippen entwickelt hat, eine größere Chance zum Überleben haben kann, wenn sie glatte Konturen hat und frei ist von hindernden, hervorragenden Gliedern. Ein Wassertier, ob Fisch, Echse oder Säugetier, wird besser schwimmen mit einer spindelförmigen Gestalt, kräftigen Körpermuskeln und einem hinteren Auswuchs, der das Wasser «schlagen» kann, und wenn es in seiner Nahrung vom Verfolgen flüchtender Beute abhängig ist, können seine Überlebenschancen vom Annehmen dieser Form abhängen.

Die Darwinsche Entwicklung ist also ein Mechanismus, durch den eine mehr oder weniger zufällige Variabilität zu einem nahezu endgültigen Muster zusammengefügt wird. Das Darwinsche Prinzip gilt noch heute, obgleich wir eine viel bessere Kenntnis des Mechanismus haben, von dem es abhängt. Die Arbeit MENDELS hat uns einen weit genaueren und sprunghafteren Ablauf der Vererbung gezeigt, als DARWIN ihn geschildert hatte, während der Begriff der Mutation seit der Zeit von DE VRIES unsere Anschauung von der statistischen Basis der Mutation vollkommen geändert hat. Wir haben die feine Anatomie der Chromosomen untersucht und haben in ihnen die Gene lokalisiert. Die Reihe der modernen Genetiker ist lang und hervorragend. Einige von ihnen, wie z. B. HALDANE, haben die statistische Untersuchung des Mendelismus zu einem wirkungsvollen Werkzeug für das Studium der Entwicklung gemacht.

Wir haben bereits von der Gezeitenevolution von Sir GEORGE DARWIN, CHARLES DARWINS Sohn, gesprochen. Weder der Zusammenhang der Idee des Sohnes mit der des Vaters noch die Wahl des Namens «Evolution» ist zufällig. In der Gezeitenevolution ebenso wie in der Entstehung der Arten haben wir einen Mechanismus, durch den eine zufällige Mannigfaltigkeit – jene der zufälligen Bewegungen der Wellen in einer den Gezeiten unterworfenen See und der Moleküle des Wassers – durch einen dynamischen Prozeß in ein Beispiel der Entwicklung verwandelt wird, die in einer Richtung verläuft. Die Theorie

der Gezeitenevolution ist ganz eindeutig eine Anwendung der Ideen des älteren DARWIN auf dem Gebiet der Astronomie.

Der dritte der Dynastie der DARWINS, Sir CHARLES, ist eine der Autoritäten der modernen Quantenmechanik. Diese Tatsache kann zufällig sein, stellt aber desungeachtet eine noch weitergehende Invasion von statistischen Ideen in die Newtonschen Gedanken dar. Die Reihenfolge der Namen MAXWELL-BOLTZMANN-GIBBS repräsentiert eine progressive Zurückführung der Thermodynamik auf die statistische Mechanik, d. h. eine Zurückführung der Phänomene, die Wärme und Temperatur betreffen, auf Phänomene, in denen die Newtonsche Mechanik auf eine Situation angewendet wird, in der wir uns nicht mit einem einzelnen dynamischen System befassen, sondern mit einer statistischen Verteilung dynamischer Systeme, und in der unsere Schlußfolgerungen nicht sämtliche derartigen Systeme betreffen, aber die überwältigende Mehrheit von ihnen. Um das Jahr 1900 wurde es klar, daß irgend etwas in der Thermodynamik ernstlich nicht stimmte, besonders was die Strahlung anbetrifft. Der Äther konnte – wie durch das Plancksche Gesetz gezeigt wird – viel weniger Strahlung hoher Frequenzen absorbieren, als irgendeine bestehende Theorie der Strahlungsmechanik erlaubt hätte. PLANCK stellte eine quasi-atomistische Theorie der Strahlung auf – die Quantentheorie –, die zufriedenstellend genug diese Phänomene erklärte, aber mit der gesamten übrigen Physik nicht übereinstimmte; und NIELS BOHR ergänzte sie durch eine ähnliche *ad hoc*-Theorie des Atoms. So formten NEWTON und PLANCK/BOHR der Reihe nach die Thesis und Antithesis eines Hegelschen Widerspruchs. Die Synthese ist die statistische Theorie, von HEISENBERG 1925 entdeckt, in der die statistische Newtonsche Dynamik von GIBBS durch eine statistische Theorie ersetzt wird, die jener von NEWTON und GIBBS für Makrovorgänge sehr ähnelt, aber in der die vollständige Angabe von Daten für Gegenwart und Vergangenheit nicht ausreichend ist, die Zukunft mehr als statistisch vorherzubestimmen. Es wird also nicht zuviel gesagt, wenn man behauptet, daß nicht nur die Newtonsche Astronomie, sondern sogar die Newtonsche Physik ein Bild aus mittleren Resultaten einer statistischen Situation und deshalb eine Darstellung eines Entwicklungsprozesses geworden ist.

Dieser Übergang von einer Newtonschen reversiblen Zeit zu einer Gibbsschen irreversiblen Zeit hat seine philosophischen Echos gehabt. BERGSON betonte nachdrücklich den Unterschied zwischen der reversiblen Zeit der Physik, in der sich nichts Neues ereignet, und der

irreversiblen Zeit der Evolution und Biologie, in der immer irgend etwas neu ist. Die Erkenntnis, daß die Newtonsche Physik nicht den geeigneten Rahmen für die Biologie bot, war vielleicht der Kernpunkt in der alten Kontroverse zwischen Vitalismus und mechanistischer Auffassung, obgleich dies sehr erschwert wurde durch den Wunsch, wenigstens eine schattenhafte Vorstellung von Seele und Gottesbegriff gegen das Eindringen des Materialismus zu bewahren. Schließlich bewies, wie wir gesehen haben, der Vitalist zu viel. Anstatt eine Mauer zu bauen zwischen den Forderungen des Lebens und denen der Physik, wurde die Mauer zu dem Zweck errichtet, einen so weiten Bereich zu umgeben, daß beide, Materie und Leben, in ihr umschlossen lagen. Es ist wahr, daß die Materie der neueren Physik nicht der Materie von NEWTON entspricht, aber sie ist genauso weit von den anthropomorphen Wünschen der Vitalisten entfernt. Der Zufall des Quantentheoretikers ist nicht die ethische Freiheit des AUGUSTINUS, und Tyche ist eine ebenso unnachsichtige Herrin wie Ananke.

Das Denken jedes Zeitalters spiegelt sich in seiner Technik wider. Die Ingenieure vergangener Zeiten waren Landmesser, Astronomen und Seefahrer; jene des siebzehnten und des frühen achtzehnten Jahrhunderts waren Uhrmacher und Linsenschleifer. Wie in alten Zeiten machten sich die Handwerker ihre Werkzeuge nach den Vorbildern des Himmels. Eine Taschenuhr ist nichts anderes als ein Taschenplanetarium, das sich, wie die himmlischen Sphären, mit Notwendigkeit bewegt; und wenn Reibung und Energieverlust in ihr eine Rolle spielen, müssen ihre Auswirkungen beseitigt werden, so daß die Bewegung der Zeiger so periodisch und regelmäßig wie möglich ist. Das hauptsächlichste technische Ergebnis dieser Ingenieur Tätigkeit nach dem Modell von HUYGHENS und NEWTON war das Zeitalter der Navigation, in dem es zum erstenmal möglich war, Längen mit einer beachtlichen Genauigkeit zu berechnen und dem Handel über die Ozeane das Abenteuerliche zu nehmen und ihn zu einem regulären Gewerbe zu machen. Es ist die Technik der Merkantilisten.

Dem Kaufmann folgte der Fabrikant und dem Chronometer die Dampfmaschine. Von NEWCOMENS Dampfmaschine (1711) beinahe bis zur heutigen Zeit ist das zentrale Gebiet des Ingenieurwesens das Studium der Antriebsmaschinen gewesen. Wärme wurde in brauchbare Rotations- und Translationsenergie verwandelt, und die Physik NEWTONS wurde durch jene von RUMFORD, CARNOT und JOULE ergänzt. Die Thermodynamik kommt auf, eine Wissenschaft, in der die Zeit überwiegend irreversibel ist; und obgleich die früheren Stadien

dieser Wissenschaft ein Gebiet des Denkens darzustellen schienen, das beinahe ohne Kontakt mit der Newtonschen Dynamik war, lassen der Satz von der Erhaltung der Energie und die spätere statistische Auslegung des Carnotschen Prinzips oder der zweite Hauptsatz der Thermodynamik oder das Gesetz der Abnahme der Energie – jener Satz, der den maximalen, durch eine Dampfmaschine erreichbaren Wirkungsgrad abhängig von der Arbeitstemperatur des Kessels und des Kondensators macht – die Thermodynamik und die Newtonsche Dynamik zu den statistischen und den nicht statistischen Aspekten der gleichen Wissenschaft verschmelzen.

Wenn das 17. und das frühe 18. Jahrhundert das Zeitalter der Uhren war und das späte 18. und das 19. Jahrhundert das Zeitalter der Dampfmaschinen, so ist die gegenwärtige Zeit das Zeitalter der Kommunikation und der Regelung. Es gibt in der Elektrotechnik eine Teilung, die in Deutschland als die Teilung in die Starkstromtechnik und Schwachstromtechnik bekannt ist und die wir als Unterscheidung zwischen Antriebs- und Nachrichtentechnik kennen. Diese Teilung trennt das gerade vergangene Zeitalter vollkommen von dem, in welchem wir jetzt leben. In Wirklichkeit kann sich die Nachrichtentechnik mit Strömen jeder beliebigen Stromstärke und mit der Bewegung von Maschinen, die kräftig genug sind, massive Geschütztürme zu drehen, beschäftigen. Was sie von der Starkstromtechnik unterscheidet, ist, daß ihr Hauptinteresse nicht die Wirtschaftlichkeit von Energieproblemen, sondern die genaue Reproduktion eines Signals ist. Dieses Signal kann der Anschlag eines Handtasters sein, der als Anschlag eines Telegrafempfängers am anderen Ende reproduziert werden soll; oder es kann ein Ton sein, der durch ein Telefon übertragen und empfangen wird; oder es kann die Umdrehung eines Schiffssteuerrades sein, die in die Winkelposition des Ruders umgesetzt wird. Diese Nachrichtentechnik begann mit GAUSS, WHEATSTONE und den ersten Telegrafisten. Sie erhielt ihre erste vernünftige wissenschaftliche Behandlung durch Lord KELVIN, nach dem Fehlschlag des ersten Transatlantikkabels in der Mitte des letzten Jahrhunderts, und von den achtziger Jahren an war es wohl HEAVISIDE, der am meisten dafür tat, sie in eine moderne Form zu bringen. Die Erfindung des Radars und seine Verwendung im Zweiten Weltkrieg, zusammen mit den dringenden Problemen der Leitung des Flugabwehrfeuers, haben dem Gebiet eine große Anzahl gutgeschulter Mathematiker und Physiker zugeführt. Die Wunder der automatischen Rechenmaschinen gehören zum selben Gedankenbereich, der in der Vergangenheit bestimmt nie so aktiv

verfolgt wurde wie heutzutage.

In jedem Stadium der Technik seit Dädalus oder HERO VON ALEXANDRIEN hat die Fähigkeit der Erfinder, ein arbeitendes Abbild eines lebenden Organismus anzufertigen, die Menschen gefesselt. Dieser Wunsch, Automaten herzustellen und zu untersuchen, ist immer in der Sprache der lebendigen Technik des Zeitalters zum Ausdruck gekommen. In den Tagen der Magie haben wir den bizarren und dunklen Begriff des Golem, jener Figur aus Ton, in die der Rabbi von Prag als Blasphemie des unaussprechlichen Namens Gottes Leben hauchte. In der Zeit NEWTONS war der Automat die Spieluhr mit den kleinen Figuren, die sich steif auf ihr drehten. Im 19. Jahrhundert ist der Automat eine glorifizierte Wärmemaschine, die irgendeinen brennbaren Stoff verbraucht anstatt des Glykogens der menschlichen Muskeln. Der Automat der Gegenwart schließlich öffnet die Türen mittels Fotozellen oder richtet Geschütze auf die Stelle, an welcher ein Radarstrahl ein Flugzeug erfaßt, oder errechnet die Lösung einer Differentialgleichung.

Weder der griechische noch der magische Automat liegen auf den Hauptentwicklungslinien der modernen Maschine, noch scheinen sie viel Einfluß auf ernstes philosophisches Denken gehabt zu haben. Ganz anders ist es mit dem Uhrwerkautomaten. Dieser Gedanke hat eine sehr tiefe und bedeutende Rolle in der frühen Geschichte der modernen Philosophie gespielt, obgleich wir sie sehr gern ignorieren.

DESCARTES, um mit ihm zu beginnen, betrachtete die niederen Tiere als Automaten. Dies tat er, um das Infragestellen der orthodoxen christlichen Auffassung zu umgehen, daß Tiere keine Seele haben, die gerettet oder verdammt werden könnte. Gerade das Funktionieren dieser lebenden Automaten hat, soweit ich weiß, DESCARTES nie erörtert. Jedoch die wichtige und damit zusammenhängende Frage der Art der Kopplung zwischen der menschlichen Seele in Empfindung und im Willen und ihrer materiellen Umgebung wird von DESCARTES erörtert, wenn auch auf eine sehr unbefriedigende Weise. Er plazierte diese Kopplung in den einzigen ihm bekannten mittleren Teil des Gehirns, die Zirbeldrüse. Über die Art dieser Kopplung – ob sie ein direktes Einwirken des Geistes auf die Materie und der Materie auf den Geist darstellt oder nicht – äußert er sich nicht allzu klar. Er betrachtet sie wahrscheinlich als eine direkte Aktion in beiden Richtungen, aber er schreibt den Wert der menschlichen Erfahrung in ihrer Aktion auf die äußerliche Welt der Güte und Redlichkeit Gottes zu.

Die Rolle, die Gott in dieser Angelegenheit zugeschrieben wird, ist

unsicher. Entweder ist Gott vollkommen passiv, in diesem Fall ist es schwer, einzusehen, wie DESCARTES' Erklärung überhaupt etwas erklärt, oder er ist ein aktiver Teilnehmer, in welchem Fall es schwer zu verstehen ist, wie die Garantie, die durch seine Güte gegeben wird, etwas anderes sein kann als eine aktive Teilnahme an der Sinneswahrnehmung. So hat die kausale Kette der materiellen Phänomene ihre Parallele in einer kausalen Kette, die mit dem Akt Gottes beginnt, durch den er in uns die Erfahrung, die einer gegebenen materiellen Situation entspricht, erzeugt. Dies einmal vorausgesetzt, ist es vollkommen natürlich, die Verbindung zwischen unserem Willen und den Wirkungen, die er in der äußerlichen Welt zu erzeugen scheint, einer ähnlichen göttlichen Vermittlung zuzuschreiben. Dies ist der Weg, dem die Okkasionalisten, GEULINX und MALEBRANCHE, folgen. In SPINOZA, der in vieler Hinsicht diese Schule fortsetzt, nimmt die Lehre des Okkasionalismus die vernünftige Form der Behauptung an, daß die Korrespondenz zwischen Geist und Materie die von zwei sich selbst genügenden Eigenschaften Gottes ist; aber SPINOZA denkt nicht dynamisch und schenkt dem Mechanismus dieser Korrespondenz wenig oder gar keine Aufmerksamkeit.

Dies ist die Situation, von der LEIBNIZ ausgeht, aber LEIBNIZ denkt ebenso dynamisch, wie SPINOZA geometrisch denkt. Zuerst ersetzt er das Paar der korrespondierenden Elemente, Geist und Materie, durch ein Kontinuum von korrespondierenden Elementen: die Monaden. Obwohl diese nach dem Vorbild der Seele aufgefaßt werden, schließen sie viele Fälle ein, die sich nicht zu dem Grad des Selbstbewußtseins der echten Seelen erheben und die einen Teil jener Welt bilden, die DESCARTES der Materie zugeschrieben haben würde. Jede von ihnen lebt in ihrem eigenen, abgeschlossenen Universum, mit einer vollständigen kausalen Kette von der Schöpfung oder von minus unendlich in der Zeit in die unendlich fortgesetzte Zukunft; aber obgleich sie abgeschlossen sind, korrespondieren sie miteinander durch die prästabilisierte Harmonie Gottes. LEIBNIZ vergleicht sie mit Uhren, die so aufgezogen sind, daß sie von der Schöpfung an für alle Ewigkeit die richtige Zeit zeigen. Ungleich von Menschen hergestellten Uhren werden sie nicht asynchron; aber dies ist der wunderbar vollkommenen Arbeit des Schöpfers zuzuschreiben.

So erwägt LEIBNIZ eine Welt von Automaten, die er, wie es bei einem Schüler von HUYGHENS natürlich ist, nach dem Vorbild des Uhrwerks konstruiert. Obgleich die Monaden sich beeinflussen, besteht die Beeinflussung nicht in einem Übertragen der kausalen Kette von

einer zur anderen. Sie sind wirklich ebenso in sich abgeschlossen oder sogar mehr in sich abgeschlossen als die passiv tanzenden Figuren oben auf einer Spieluhr. Sie haben keinen wirklichen Einfluß auf die äußerliche Welt, noch sind sie effektiv durch sie beeinflusst. Wie er sagt, haben sie keine Fenster. Die wahrnehmbare Organisation der Welt, die wir sehen, ist irgend etwas zwischen einer Erdichtung und einem Wunder. Die Monade ist ein verkleinertes Newtonsches Sonnensystem.

Im 19. Jahrhundert werden die von Menschen konstruierten Automaten und jene anderen natürlichen Automaten des Materialisten, die Tiere und Pflanzen, unter einem sehr andersartigen Aspekt untersucht. Die Erhaltung und die Abnahme der Energie sind die beherrschenden Prinzipien. Der lebende Organismus ist vor allem eine Wärmekraftmaschine, die Glukose, Glykogen oder Stärke, Fette und Proteine zu Kohlendioxyd, Wasser und Harnstoff verbrennt. Es ist das Stoffwechselgleichgewicht, das im Mittelpunkt des Interesses steht, und wenn die niedrigen Arbeitstemperaturen des tierischen Muskels im Gegensatz zu den hohen Arbeitstemperaturen einer Wärmemaschine von ähnlicher Leistungsfähigkeit Aufmerksamkeit erregen, wird diese Tatsache beiseite geschoben und oberflächlich durch einen Kontrast zwischen der chemischen Energie des lebenden Organismus und der thermischen Energie der Wärmemaschine erklärt. Alle fundamentalen Begriffe sind mit dem Begriff der Energie assoziiert, und der hauptsächlichste davon ist der des Potentials. Die Technik des Körpers ist ein Zweig der Energietechnik. Sogar heute noch ist dies der vorherrschende Gesichtspunkt der mehr klassisch denkenden, konservativen Physiologen; die gesamte Denkrichtung solcher Biophysiker wie RASCHEWSKI und seiner Schule legt Zeugnis ab von seiner fortwährenden Macht.

Heute sind wir dabei, uns klarzumachen, daß der Körper weit von einem konservativen System entfernt ist und daß seine Komponenten in einer Umgebung arbeiten, in der die verfügbare Kraft viel weniger begrenzt ist, als wir angenommen haben. Die Elektronenröhre hat uns gezeigt, daß ein System mit einer äußeren Energiequelle, deren meiste Energie verschwendet wird, eine sehr wirkungsvolle Tätigkeit ausüben kann, um gewünschte Operationen durchzuführen, besonders wenn bei einem niedrigen Energieverlust gearbeitet wird. Wir beginnen einzusehen, daß solche wichtigen Elemente wie die Neuronen, die Atome des Nervenkomplexes unseres Körpers, ihre Arbeit unter fast den gleichen Bedingungen wie Vakuumröhren verrichten, mit ihrer relativ kleinen Energie, die von außen durch die Zirkulation ergänzt

wird, und daß die Buchhaltung, die sehr wesentlich ist für die Beschreibung ihrer Funktion, keine Energiebuchhaltung ist. Kurz, die neuere Untersuchung der Automaten, ob aus Metall oder aus Fleisch, ist ein Zweig der Nachrichtentechnik, und ihre Hauptbegriffe sind jene der Nachricht, Betrag der Störung oder «Rauschen» – ein Ausdruck, übernommen vom Telefoningenieur –, Größe der Information, Kodierverfahren und so fort.

In einer solchen Theorie befassen wir uns mit Automaten, die tatsächlich mit der Welt außerhalb nicht nur durch ihren Energiefluß, ihren Stoffwechsel verbunden sind, sondern auch durch einen Strom von Eindrücken, von hereinkommenden Nachrichten und durch Aktionen hinausgehender Nachrichten. Die Organe, durch die Eindrücke empfangen werden, sind die Äquivalente der menschlichen und tierischen Sinnesorgane. Sie schließen fotoelektrische Zellen und andere Empfänger für Licht, Radarsysteme, die ihre eigenen kurzen Hertzischen Wellen empfangen, *pH*-Wertmesser, von denen man sagen kann, sie «schmecken», Thermometer, Druckmesser verschiedener Arten, Mikrofone und so fort, ein. Die Geber können Elektromotore, Elektromagnete, Heizspiralen oder andere Instrumente von sehr verschiedener Art sein. Zwischen dem Empfänger oder dem Sinnesorgan und dem Geber steht ein Zwischensatz von Elementen, dessen Funktion es ist, die hereinkommenden Eindrücke so umzuformen, daß eine gewünschte Art von Antwort durch die Geber hervorgerufen wird. Die Information, die in dieses zentrale Regelsystem eingegeben wird, wird sehr oft Information enthalten, die das Funktionieren der Geber selbst betrifft. Diese korrespondieren u. a. mit den kinästhetischen Organen und anderen Aufnahmeorganen des menschlichen Systems, denn wir haben auch Organe, die die Lage eines Gelenkes oder den Kontraktionszustand eines Muskels usw. aufzeichnen. Überdies muß die Information, die durch den Automaten empfangen wird, nicht sofort benutzt werden, sondern kann verzögert oder gespeichert werden, um zu irgendeiner künftigen Zeit verfügbar zu sein. Dies ist das Analogon zum Gedächtnis. Schließlich sind, solange der Automat in Gang ist, seine Operationsregeln selbst empfänglich für gewisse Änderungen auf Grund der Daten, die durch die Empfänger in der Vergangenheit hereingekommen sind; dies ist dem Prozeß des Lernens nicht unähnlich.

Die Maschinen, von denen wir jetzt sprechen, sind nicht der Traum des Sensationslüsternen noch die Hoffnung irgendeiner zukünftigen Zeit. Sie existieren bereits als Thermostate, automatische Gyrokompaß-

Schiffssteuersysteme, Geschosse mit Eigenantrieb – besonders solche, die ihr Ziel suchen –, Luftabwehrfeuerleitsysteme, automatisch geregelte Ölraffinerien, ultraschnelle Rechenmaschinen und ähnliches. Es wurde lange vor dem Krieg damit begonnen, sie zu benutzen – tatsächlich gehört der sehr alte Dampfmaschinenfliehkraftregler zu ihnen –, aber erst die große Mechanisierung des Zweiten Weltkrieges brachte sie zu voller Geltung, und die Notwendigkeit, die extrem gefährliche Energie des Atoms zu handhaben, wird sie vielleicht auf einen noch höheren Entwicklungsstand bringen. Kaum ein Monat vergeht, in dem nicht ein neues Buch über diese sogenannten Regelmanismen oder Servomechanismen erscheint; und das gegenwärtige Zeitalter ist wahrlich ebenso das Zeitalter der Servomechanismen, wie das 19. Jahrhundert das Zeitalter der Dampfmaschinen oder das 18. Jahrhundert das Zeitalter der Uhren war.

Um zusammenzufassen: Die vielen Automaten des gegenwärtigen Zeitalters sind mit der äußeren Welt für den Empfang von Eindrücken und für die Verrichtung von Handlungen verbunden. Sie enthalten Sinnesorgane, Geber und das Äquivalent eines Nervensystems, um das Übertragen der Information vom einen zum anderen zu gewährleisten. Sie lassen sich selbst sehr gut in physiologischen Ausdrücken beschreiben. Es ist kaum ein Wunder, daß sie mit den Mechanismen der Physiologie in einer Theorie zusammengefaßt werden können.

Die Beziehung dieser Mechanismen zur Zeit verlangt eine sorgfältige Untersuchung. Es ist natürlich klar, daß die Beziehung Eingang-Ausgang in der Zeit konsekutiv ist und eine Vergangenheits-Zukunfts-Ordnung einschließt. Vielleicht nicht so klar ist, daß die Theorie des sensiblen Automaten eine statistische ist. Wir sind kaum an der Tätigkeit eines nachrichtentechnischen Gerätes für eine einzelne Eingabe interessiert. Um angemessen zu funktionieren, muß es eine befriedigende Verarbeitung für eine ganze Klasse von Eingaben liefern, und dies bedeutet ein statistisch befriedigendes Arbeiten für die Klasse von Eingaben, die statistisch erwartet werden. So gehört ihre Theorie eher zur Gibbsschen statistischen Mechanik als zur klassischen Newtonschen Mechanik; wir werden dies viel eingehender in dem Kapitel untersuchen, das der Theorie der Kommunikation gewidmet ist.

So lebt der moderne Automat in der gleichen Bergsonschen Zeit wie der lebende Organismus, und daher gibt es keinen Grund in BERGSONS Betrachtungen, warum das wesentliche Funktionieren des lebenden Organismus nicht das gleiche wie jenes des Automaten dieses

Typs sein sollte. Der Vitalismus hat bis zu dem Ausmaß gewonnen, daß sogar Mechanismen mit der Zeitstruktur des Vitalismus korrespondieren, aber wie wir gesagt haben, ist dieser Sieg eine vollkommene Niederlage, denn von jedem Gesichtspunkt aus, der die entfernteste Beziehung zur Moral oder Religion hat, ist die neue Mechanik genauso mechanistisch wie die alte. Ob wir den neuen Standpunkt materialistisch nennen sollten, ist weitgehend eine Frage der Worte: der Einfluß der Materie charakterisiert eine Phase der Physik des 19. Jahrhunderts weit mehr als das gegenwärtige Zeitalter, und «Materialismus» ist heute kaum mehr als nur ein schwaches Synonym für «Mechanismus». Tatsächlich wurde die ganze Kontroverse zwischen Mechanismus und Vitalismus in die Rumpelkammer schlecht gestellter Fragen verwiesen.

2. GRUPPEN UND STATISTISCHE MECHANIK

Ungefähr zu Beginn des jetzigen Jahrhunderts schlugen zwei Wissenschaftler, der eine in den Vereinigten Staaten und der andere in Frankreich, mit ihren Arbeiten Wege ein, die jedem von ihnen – wenn einer auch nur die entfernteste Ahnung von der Existenz des anderen gehabt hätte – doch vollkommen beziehungslos erschienen wären. In New Haven entwickelte WILLIARD GIBBS seinen neuen Standpunkt in der statistischen Mechanik. In Paris machte HENRI LEBESGUE seinem Lehrer EMILE BOREL den Ruhm streitig durch die Entwicklung einer geänderten und leistungsfähigeren Theorie der Integration zum Zwecke der Untersuchung trigonometrischer Reihen. Die beiden Forscher waren sich darin gleich, daß jeder eher ein Mann des Studierzimmers als des Labors war, aber außer in diesem Punkt waren ihre Einstellungen zur Wissenschaft einander diametral entgegengesetzt.

GIBBS betrachtete, obwohl er Mathematiker war, die Mathematik immer als Hilfsmittel der Physik. LEBESGUE war ein Analytiker reiner Prägung, ein begabter Exponent des außerordentlich anspruchsvollen Scharfsinns modernen mathematischen Denkens und ein Autor, dessen Arbeiten, soweit ich unterrichtet bin, nicht ein einziges Beispiel eines Problems oder einer Methode enthalten, das direkt von der Physik herkommt. Und doch bildet die Arbeit dieser beiden Männer ein einziges Ganzes, in dem die von GIBBS gestellten Fragen ihre Antworten finden, nicht in seiner eigenen, sondern in der Arbeit LEBESGUES.

Die Grundgedanken von GIBBS sind folgende: In der Newtonschen