**Zeitschrift:** Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 143 (1963)

**Artikel:** Die Kybernetik : Wissenschaft oder Methode?

**Autor:** Watanabe, Satosi

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-90545

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 07.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Die Kybernetik: Wissenschaft oder Methode?

Von Satosi Watanabe

## *1. Die Unpopularität der Kybernetik*

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

Es ist mir nicht nur eine grosse Ehre, sondern auch eine wirkliche Freude, die Gelegenheit zu haben, vor der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft über eine Wissenschaft zu sprechen, die so tief in der modernen Zivilisation um die Mitte des 20. Jahrhunderts verwurzelt ist. Der Name dieser Wissenschaft ist Kybernetik. Ich spreche hier von der Wissenschaft «Kybernetik». Zwar weiss ich wohl, dass viele meiner Kollegen in Amerika den Kopf schütteln werden, nicht nur, weil ich die Kybernetik als eine Wissenschaft bezeichne, sondern weil ich das Wort Kybernetik überhaupt gebrauche. In der westlichen Hemisphäre gilt der Ausdruck Kybernetik nicht als ein «OK word» in akademischen Kreisen.

Was ich damit meine, möchte ich mit folgenden Beispielen erläutern: Ein amerikanischer Staatsmann würde es nicht wagen, über den Sozialismus zu sprechen, es sei denn, er tue es in verächtlicher Weise, auch wenn er eine sozialistische Massnahme vorschlagen würde. Ein Psychologe darf keinen «mentalen» Prozess beschreiben, obgleich er ohne weiteres einen «kognitiven» beschreiben kann. Ebenso zieht ein amerikanischer Wissenschaftler, der sich mit dem Studium einer kybernetischen Frage beschäftigt, es vor, seine Forschung mit einem anderen Namen als dem der Kybernetik zu bezeichnen, zum Beispiel Theorie der Servomechanismen, Theorie der Homöostase, selbstorganisierendes System, selbstoptimisierendes System, selbstreproduzierendes System, adaptives System, künstliche Intelligenz, lernende Stromkreissynthese, Androidologie, Robotologie, Bionik, Biotonik, Semionik, Automatentheorie, Autonomik usw.

Ich möchte darauf hinweisen, dass keine dieser Bezeichnungen ein universal akzeptiertes Wort in der Wissenschaft ist, sondern dass jede dieser Bezeichnungen oft die intellektuelle Clique verrät, der der Wissenschaftler huldigen muss. Im Gegensatz zu den amerikanischen Kollegen haben Europäer – ganz gleich ob im Osten oder Westen – scheinbar weniger oder überhaupt keine Hemmungen, das Wort Kybernetik zu gebrauchen. Norbert Wiener hat bestimmt eine grössere Anzahl offener Anhänger in der östlichen als in der westlichen Hemisphäre. Es scheint auch hier, dass der Prophet in seinem eigenen Lande nicht richtig bewertet und verstanden wird.

Ich habe viele meiner amerikanischen Freunde gefragt, warum das Wort Kybernetik absichtlich von amerikanischen Wissenschaftlern vermieden wird. Die Antworten waren in ihrer Verschiedenheit belehrend. Wir können sie grob in zwei Kategorien einteilen: Da sind erstens jene, die erklären, dass der Beigeschmack, welcher dem Wort Kybernetik anhaftet, unangenehm ist, zweitens jene, die behaupten, dass die Kybernetik höchstens eine heuristische Methode, aber keineswegs eine strenge Wissenschaft ist. Zur ersten Kategorie gehören die folgenden typischen Bemerkungen: 1. Es ist höchst bedauerlich, dass die Bücher «Kybernetik»[1] und «The Human Use of Human Beings»[2] von N. Wiener «Bestsellers» wurden. Viele Nichtwissenschaftler, die sie lasen und den theoretischen Inhalt der Bücher nicht verstanden, begannen das Wort frei zu gebrauchen. Sie haben damit etwas wie einen «Science fiction»-Effekt hervorgerufen. Im hohen Grade mathematische Abschnitte wurden in die leichte und dramatische Erzählung in Wieners Buch eingestreut, die ein Gefühl schaffen – ich berufe mich hier auf einen Satz von A. Tustin[3] –, dass hohe und wirksame, wenn auch nicht völlig entschleierte Mysterien existieren. Eine andere typische Bemerkung in der ersten Kategorie der Antworten lautet: 2. «Es gab und gibt immer noch zu viele Scharlatane auf dem Gebiet der Kybernetik», und eine weitere Antwort: 3. «Das Wort Kybernetik ist gefühlsmässig überladen.» Es handelt sich ja um eine «Wissenschaft der Automation». Damit wird die hitzigste soziale und politische Streitfrage des Jahrhunderts berührt. Oder eine weitere Variante: 4. Eng verbunden mit dem Wort Kybernetik sind Wieners düstere Ansichten über die Zukunft der Welt. Sie betonen das ungelöste Problem der Arbeitslosigkeit und die Tyrannei der Maschinen, und ausserdem sind Wieners politische Ideen bei weitem zu radikal für die durchschnittlichen Amerikaner. 5. Und noch eine fünfte Antwort: Die Kybernetik ist so stark von der Persönlichkeit ihres Erfinders geprägt, dass der Gebrauch des Wortes wie ein Bekenntnis oder ein Zugeständnis der Teilnahme an einem Personenkult klingt.

Einwendungen in der zweiten Kategorie der Antwortenden, Kybernetik sei keine Wissenschaft, können durch folgende Bemerkungen illustriert werden: 1. Es gibt keine gut formulierten allgemeinen Gesetze oder einheitlichen Prinzipien, die das weite Gebiet der Kybernetik zutreffend charakterisieren und beherrschen, wie zum Beispiel Newtons Gesetze die Mechanik oder Mendels Gesetze die Genetik beherrschen. 2. Es gibt keine besondere Klasse von Objekten, die für das Gebiet der Anwendbarkeit der Kybernetik grundlegend ist, wie zum Beispiel die Klasse der Tiere für die Zoologie und die Klasse der Gesellschaften für die Soziologie. 3. Kybernetik ist keine grundsätzlich neue Disziplin. Was zuerst wie ein neuentdeckter Landteil aussah, erwies sich als die Fortsetzung eines alten Kontinentes. Die Kybernetik ist ein heterogenes Gemisch von neueren Entdeckungen verschiedener alter Wissenschaften. 4. Die Kybernetik ist eine lockere Analogie zwischen Tier und Maschine, folglich kann sie als eine heuristische Methode nützlich sein, aber einen Zweig der Wissenschaft stellt sie nicht dar.

Die Einschätzung der Kybernetik in der Sowjetunion ist durch viel dramatischere Wechsel gegangen als in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Vor 1955 wurde die Kybernetik als eine betrügerische Pseudowissenschaft betrachtet. Nach 1955 hat sie nicht nur Ansehen gewonnen, sondern wurde sogar mit Begeisterung begrüsst. Es ist höchst interessant, zwei Arbeiten aus der russischen Zeitschrift «Philosophische Fragen» zu vergleichen, eine Arbeit von einem mit «Materialist»[4] unterzeichnenden pseudonymen Autor aus dem Jahre 1953 und die andere von E. Kolman[5] aus dem Jahre 1955. Der letztere kritisierte dabei die hastige Nichtanerkennung der Kybernetik des ersteren. Wiener geriet in grosse Verlegenheit, als eine andere Arbeit[6] von Soboleev, Kitov, Lyapunov, die ebenfalls in «Philosophische Fragen» im Jahre 1955 erschien, ihn wegen seiner Kritik an der freien Ökonomie lobte. Als Wendepunkt kann man Kolmans Arbeit[5] im Jahre 1955 bezeichnen, der damals schrieb: «Es ist bestimmt sehr leicht und einfach, die Kybernetik als eine absichtliche Täuschung, eine Pseudowissenschaft zu bezeichnen. Aber es sieht so aus, als ob es falsch wäre, anzunehmen, „unsere Gegner würden (so viel Geld und Mühe für das Studium der Kybernetik opfern,) nur um Pavlovs Theorie zu schmälern und den Idealismus und die Metaphysik in Psychologie und Soziologie zu erzwingen".» Nachdem er die Arbeit von de Broglie[11] erwähnt hat, der die positive Seite der Kybernetik analysierte, erklärte Kolman: «Es ist gerade dieser positive Aspekt der Kybernetik, der besondere Aufmerksamkeit verdient, nicht nur von Ingenieuren und Mathematikern, sondern auch von Philosophen.»

Dies ist ein erstaunlicher Wechsel in der Einstellung gegenüber der blinden Nichtanerkennung des anonymen Autors «Materialist», der im Jahre 1953 schrieb: «In diesem Sinn ist die Kybernetik nur eine Abart der technokratischen Theorie, die zusammen mit dem Imperialismus gegen das Ende des 19. Jahrhunderts in den imperialistischen Ländern entstanden ist» usw, und später: «Die heutigen Technokraten-Kybernetiker – legen eine dicke wissenschaftsähnliche Nebelschicht um ihre hauptsächlich reaktionäre Theorie.» (Seite 214.) Der Verfasser «Materialist» kritisierte die Amerikaner, dass sie kybernetische Ideen in anderen Ländern verbreiteten. Er schrieb: «Sogar nach Indien brachten die amerikanischen Exporteure diesen verfaulten ideologischen Gebrauchsgegenstand.» (Seite 212.) Seine Voraussage: «Die Kybernetik ist eine von jenen Pseudowissenschaften, welche von dem heutigen Imperialismus geboren und vom Schicksal bestimmt sind, noch vor dem gänzlichen Untergang des Imperialismus zugrunde zu gehen» (Seite 218), war bestimmt ein Fehler. Wenigstens in der Sowjetunion ist die Kybernetik stärker als je zuvor. Ganz im Ernst fühlt der kommunistische Philosoph G. Klaus sich berechtigt, «Karl Marx als den ersten Kybernetiker» zu bezeichnen[65]. (Siehe auch Ref. 66.) In 1961 wurde der offizielle Triumph der Kybernetik in Russland bestätigt, als Chruschtschow selbst im Rechenschaftsbericht an den 22. Parteitag die Kybernetik zu den «vollkommensten Mitteln» zählte, «die das technische Niveau der Produktion bestimmen.»[69] [70]

Meine verehrten Damen und Herren, es ist nicht meine Absicht, im folgenden jede negative Bemerkung gegen die Kybernetik zu widerlegen. Ich beabsichtige jedoch, zu zeigen (besonders im Abschnitt 5), dass es eine Wissenschaft gibt, ob sie nun Kybernetik genannt wird oder nicht, die mehr oder weniger mit dem Gebiet von Wieners Kybernetik übereinstimmt und die ein einheitliches theoretisches System besitzt. Ich hoffe, dass ich gleichzeitig imstande sein werde, einige Hauptzüge dieser neuen Wissenschaft und ihrer Methodik zu skizzieren.

## *2. Verschiedene Definitionen der Kybernetik*

Zunächst möchte ich Ihnen einen kurzen Überblick über die Geschichte des Wortes Kybernetik geben. Es wird behauptet, dass das Wort Kybernetik dieselbe Etymologie hat wie die französischen Wörter «gouvernement» und «gouvernail» und dass es von dem Wort «*Κυβερνήτης*» abgeleitet ist, welches Pilot, Steuermann oder Lenker bedeutet. Danach kann man die Kybernetik als eine Wissenschaft des Steuerns oder Lenkens ansehen. Wiener wollte allerdings den Begriff des Steuerns in einer sehr weitgehenden Bedeutung verstanden haben. Es ist erwähnenswert, dass Plato das Wort *Κυβερνήτης* gebraucht hat, und zwar schon in der Bedeutung Steuermann nicht nur im eigentlichen Sinne (Steuern eines Bootes), sondern auch in der übertragenen Bedeutung, eine Gruppe von Menschen zu führen. Im ersten Buch der Republik fragt Sokrates Thrasydus: «Und was ist da mit dem Piloten (Kybernetes) – der Pilot rechtmässig so genannt –, ist er ein Führer der Matrosen oder ein Matrose?» Auf die Antwort seines Partners in diesem Zwiegespräch: «Ein Führer der Matrosen», antwortet Sokrates ein wenig später: «Er wird ein Pilot genannt... in bezug auf seine Geschicklichkeit und seine Führung der Matrosen[7].» Noch interessanter ist die Tatsache, dass Plato tatsächlich im Gorgias ein Wort *Κυβερνήτική* benutzt, welches auf deutsch als Kybernetik übersetzt werden könnte. Er lässt Sokrates folgendes sagen[8]: «Ich werde für dich eine andere Kunst wichtiger als diese erwähnen, nämlich die kubernetike, die nicht nur Menschen rettet, sondern ihre Körper und auch Güter von den aussergewöhnlichsten Gefahren beschützt, genau so wie die Rhetorik.» Dies ist einer der Paragraphen aus dem Gorgias, wo Sokrates versucht, die Sophisten Gorgias und Callicles zu überzeugen, dass die Rhetorik nicht die einzige Kunst sei, die uns rette und wichtig für uns sei. Aber natürlich, das Wort kubernetike ist hier streng im Sinn von «Kunst der Schiffahrtskunde» gebraucht. Wenn wir das moderne Wort Kybernetik hier an Stelle von kubernetike setzen – was ein gewisser französischer Autor getan hat –, dann werden wir wirklich ein durchaus reklamemachendes Verkaufsmotto für die Kybernetik erhalten, aber das ist natürlich auch nicht richtig. Wenn man sich diese Art freier Übersetzung gestattet und man in einem der vorhergehenden Abschnitte «Kybernetiker» für «kubernetes» einsetzt[1], würde Sokrates folgendes sagen: «Für den Kybernetiker ist es keine Art und Weise, sich zu rühmen.»

Dies sollte für jene Scharlatane, die mit der Kybernetik prahlen, eine Warnung sein.

Wahrscheinlich wurde das Wort Kybernetik oder vielmehr «cybernétique» als der Name einer Wissenschaft zuerst von dem grossen französischen Physiker A. M. Ampère[10] eingeführt, und zwar in seinem Buch «Essai sur la philosophie des sciences», dessen Band I im Jahre 1838 und Band II im Jahre 1845 erschienen. Es war der Zweck des Buches, verschiedene bekannte oder denkbare Wissenschaften jener Zeit zu charakterisieren und zu klassifizieren. Zuerst wurden die Wissenschaften den studierten Gegenständen gemäss eingeteilt, dann wurde jede Abteilung in zwei Unterabteilungen nach zwei Gesichtspunkten eingeteilt, und jede von diesen Unterabteilungen wurde wieder in zwei weitere Unterabteilungen nach denselben zwei Gesichtspunkten unterteilt. «Die zwei Gesichtspunkte» entsprechen ungefähr dem Empirischen und dem Theoretischen oder dem Phänomen an sich und dem Phänomen, wie interpretiert. Mit Ampères eigenen Worten, «il est nécessaire, dans la détermination des caractères distinctifs d'après lesquels on doit définir et classer les sciences d'avoir égard non seulement à la nature des objets auxquels elles se rapportent, mais encore aux divers points de vue sous lesquels on considère ces objets»... «Sous le premier de ces points de vue, les objets qu'on étudie sont considérés en eux-mêmes, et le second consiste à les considérer corrélativement, c'est-à-dire, à comparer les faits pour établir des lois générales, ...[11].»

Was die Spezialabteilung Kybernetik anbetrifft, so ist es interessant, festzustellen, dass Ampères Bemerkung, die ich jetzt zitieren werde, teilweise mit den modernen Ideen von der Kybernetik übereinstimmt. Er sagt, als er die Kybernetik definiert: «Sans cesse, il (un bon gouvernement) a à choisir entre diverses mesures celle qui est la plus propre à atteindre le but[12].» Folglich ist die Kybernetik, die die Kunst der Regierung zum Gegenstand hat, gemäss Ampères Schema der Klassifikation das praktische Gegenstück der «théorie du pouvoir», die kausal die Dynamik der Einsetzungen von Regierungen, das heisst Erhaltung und revolutionärer Wechsel von Regierungen, beschreibt. So interessant es auch erscheint, Ampères Gebrauch des Wortes Kybernetik ist nichts anderes als eine zufällige Anekdote für die Geschichte der Kybernetik. Die Kybernetik im modernen Sinn fängt mit Norbert Wieners Buch vom Jahre 1948 an, das den Titel «Kybernetik» trägt. Oder genauer gesagt, sie beginnt mit den in diesem Buch beschriebenen wissenschaftlichen Entwicklungen, die ihrerseits der Veröffentlichung des Buches vorausgingen und die ihr Entstehen einer Gruppe von Forschern verdankten, welche eng mit Norbert Wiener zusammengearbeitet hatten.

Wie wohl bekannt ist, hat dieses Buch den Untertitel «Kontrolle und Kommunikation im Tier und in der Maschine». Das ist auch Wieners Definition des Wortes Kybernetik. Wiener selbst schreibt in der Encyclopedia Americana[13], dass «er sich nicht bewusst war, dass (das Wort Kybernetik) schon vor mehr als vor einem Jahrhundert von André Ampère benutzt worden war, um die ausschliesslich *regierende Seite solch einer Theorie* zu bezeichnen...[11].» (Hervorhebung vom Verfasser). Folglich be-

trachtet Wiener Ampères Kybernetik als einen Teil seines Begriffs. Die Idee, die durch Wieners originale Definition der Kybernetik ausgedrückt wurde, scheint von ganz Europa angenommen worden zu sein. Die deutsche Zeitschrift «Kybernetik» bezeichnet sich als «Zeitschrift für Nachrichtenübertragung, Steuerung und Regelung im Organismus und in Automaten»[14]. Die sowjetische Veröffentlichung «Probleme der Kybernetik»[11] beginnt mit einem Leitartikel, welcher den Gedanken so ausdrückt: «Die Aufgabe der Kybernetik besteht in der Untersuchung von Steuerungssystemen und Steuerungsprozessen oder, mit anderen Worten, in der Untersuchung von Anlagen, die mit Informationen umgehen, also Prozessen der Aufnahme, der Übermittlung, der Verarbeitung und der Speicherung von Informationen. Derartige Prozesse kommen auf den verschiedensten Gebieten menschlicher Betätigung vor: in der Technik, in der Biologie, in der Ökonomie usw. Dabei ist die Kybernetik ihren Methoden nach eine mathematische Wissenschaft.»

Ich erwähnte schon, dass der Begriff der Kybernetik mittlerweile so verwässert worden ist, dass er alle Arten von ungenauer Bedeutung erhalten hat. Als Beispiel einer äusserst ungenauen Definition des Ausdruckes möchte ich ein gewisses «Wörterbuch von neuen Wörtern» zitieren, das die Kybernetik als «Studium des menschlichen Gehirns verglichen mit Computern und anderen Maschinen, welche gewisse Funktionen, die denen des menschlichen Gehirns ähnlich sind, verrichten»[15], definiert.

Zum Vergleich werde ich einige weitere Versionen von Definitionen der Kybernetik anführen. Es kommt oft vor, dass derselbe Autor mehr als eine Definition gibt: In solchem Fall zitiert das Folgende nur eine von ihnen: Raymond Ruyer[16]: «La science des machines à information»; Georg Klaus[17]: «Die Theorie des Zusammenhanges möglicher, dynamischer, selbstregulierender Systeme mit ihren Teilsystemen»; L. Couffignal[18]: «L'art de rendre l'action efficace» (erinnern Sie sich an Ampères Definition); F. Bonsack[19]: «L'étude des moyens de corréler des systèmes de telle sorte qu'ils convergent vers un but défini... la cybernétique est la servante de la finalité.»

### *3. Kontrolle und Information*

Man kann vielleicht sagen, dass das deutsche Wort Kontrolle eine passivere Bedeutung hat als das englische Wort «control», welches vielleicht im Deutschen als «Kontrolle und Regulieren» wiedergegeben werden sollte. Aber der Einfachheit halber werde ich das deutsche Wort Kontrolle im Sinne des englischen Wortes «control» gebrauchen. Wir möchten jetzt die Aktion der Kontrolle im allgemeinen analysieren, denn der Begriff der Kontrolle ist ein Grundpfeiler, welcher die Kybernetik stützt. Lassen Sie mich mit einer selbstverständlichen Bemerkung anfangen: Um in der Lage zu sein, über Kontrolle zu sprechen, müssen wir ein kontrolliertes System A und ein kontrollierendes System B haben, die in dynamischer Wechselwirkung stehen. Wenn wir A und B als Teil eines einzigen grös-

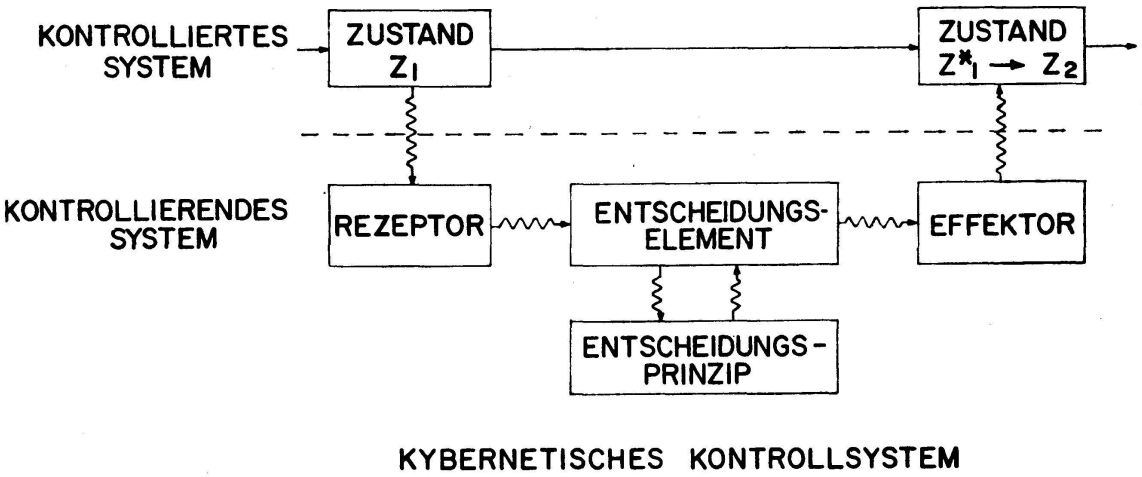


Abbildung 1
Kybernetisches Kontrollsystem

seren Systems verbinden, ist dieses grössere System ein selbstkontrollierendes System.

Das kontrollierende System B muss drei Funktionen verrichten. Erstens muss es den Zustand $Z_1$ des kontrollierten Systems A beobachten, und zweitens muss es auf Grund dieser Beobachtung zu einer Entscheidung kommen, was für ein Einfluss auf das kontrollierte System A ausgeübt werden soll, und drittens muss es auf Grund dieser Entscheidung etwas ausführen, das den Zustand $Z_1^*$ des kontrollierten Systems zu $Z_2$ ändert. Die Ausdrücke, die ich gebraucht habe, mögen ein wenig anthropomorphisch klingen, aber es ist gewöhnlich der Fall, dass, wenn kein Missverständnis möglich ist, eine anthropomorphische Redewendung viel kürzer und leichter verständlich ist als ein Ausdruck in mechanistischen Begriffen. Die erste Stufe entspricht der Funktion eines «Rezeptors» und die dritte der Funktion eines «Effektors». Die zweite hat die Funktion eines «Entscheidungselements», welches sich auf Grund der Informationen, die von dem Rezeptor gesammelt worden sind, für eine Handlung entscheidet und demgemäss einen Befehl an den Effektor aussendet. Damit eine solche Wahl möglich wird, muss das Entscheidungselement mit einem Entscheidungsprinzip versehen sein, welches direkt oder indirekt jenen Zustand darstellt, der in der Zukunft verwirklicht werden soll. Dieser Zustand kann in einer symbolischen Form in einem angeschlossenen Informationsspeicher gespeichert werden, zusammen mit einer ebenfalls gespeicherten ausführlichen Vorschrift, die es ermöglicht, jene Handlung herauszufinden, die am ehesten zu dem bestimmten zukünftigen Zustand führen wird. Das Entscheidungsprinzip kann auch einfach ein gespeichertes Programm sein, welches auf rechnerischem Weg das Ergebnis des Rezeptors auswertet und daraus einen Befehl für den Effektor herleitet.

Betrachten wir zum Beispiel eine thermostatische Kontrolle der Zimmertemperatur. Der Thermostat, der aus einem Bimetall besteht, hat Eigenschaften, welche die Rolle des Rezeptors und des Entscheidungs-

elements vereinigen. Um die begriffliche Struktur klarzumachen, können wir uns ein einfacheres Kontrollsystem vorstellen, das eines Zimmerheizkörpers, der aus folgenden drei Teilen besteht: der erste ist ein thermoelektrischer Bestandteil, der eine elektromotorische Kraft V proportional der Zimmertemperatur $\Theta$ (in Grad Celsius) produziert. $V = \alpha \Theta$. Der zweite Teil ist ein Relaissystem, das den Stromkreis schliesst, wenn das Potential V niedriger wird als $V_0 = \alpha \Theta_0$ Volt, und das den Stromkreis öffnet, wenn das Potential über $V_1 = \alpha \Theta_1$ Volt ansteigt, wobei $\Theta_1$ etwas höher ist als $\Theta_0$ ($\Theta_1 = \Theta_0 + \epsilon, \epsilon > 0$). Der dritte Teil des Systems ist der Zimmerheizkörper selbst, der sich erwärmt, wenn der Stromkreis durch das Relais geschlossen wird. In diesem System ist der thermoelektrische Bestandteil der Rezeptor, das Relais spielt die Rolle des Entscheidungselementes, und der Heizkörper ist der Effektor. Mit anderen Worten gesagt, die Sollwertstellung des Relais besteht in diesem System darin, dass es zwangsweise bei einer Spannung unter $V_0$ geschlossen wird, dass es offen oder geschlossen bleibt für die Spannung zwischen $V_0$ und $V_1$, je nach dem zuletzt angenommenen Zustand, und dass es sich bei einer Spannung über $V_0$ öffnet. Diese Sollwerteinstellung ist das gespeicherte Entscheidungsprinzip.

Wenn die Temperatur sinkt, dann bewirkt das Kontrollsystem eine Erhöhung der Temperatur. Wenn wir einen automatisch kontrollierten Raumkühler mit einem automatischen Heizkörper verbinden, dann wird das Kontrollsystem auch versuchen, sich der Steigerung der Temperatur zu widersetzen. Kurz gesagt, in diesem Kontrollsystem, wie in vielen anderen Kontrollsystemen, neigt die Wirkung dahin, sich der Ursache entgegenzusetzen. Dies ist eine negative Rückkopplung. Die Wirkung einer positiven Rückkopplung würde die Ursache steigern. Das homöostatische Gleichgewicht und der Servomechanismus fordern eine negative Rückkopplung. Ashby[20] zum Beispiel hat der Homöostase ein so starkes Gewicht beigelegt, dass er den Eindruck gegeben hat, dass die Kybernetik synonym mit der negativen Rückkopplung oder der Homöostase sei. Aber die Homöostase ist nicht die einzige Wirkungsweise des Entscheidungselements, genau wie das Gesetz Le Châteliers kein universales Gesetz der Physik ist.

Ein paar zusätzliche Bemerkungen dürften hier erwähnt werden. Im Vorhergesagten benutzten wir das Wort Rückkopplung in der Bedeutung Rückkopplung durch den «Effektor» des Kontrollsystems zurück zum kontrollierten System. Aber wir können unseren Gesichtspunkt auch umkehren und die Reaktion des kontrollierten Systems betrachten und den Rezeptor als eine Rückkopplung ansehen. In einem gewissen, begrenzten Sinn sind die Rollen des kontrollierenden und kontrollierten Systems auswechselbar, und es ist am wichtigsten, zu wissen, dass ihre Wechselwirkung gewöhnlich nicht eine einmalige, sondern eine sich fortsetzende oder sich wiederholende Angelegenheit ist.

Es ist manchmal wichtig, in einer gewissen Kategorie von komplizierteren Kontrollsystemen einen «Vorhersager» im Entscheidungselement einzubauen, dessen Aufgabe es ist, den Zustand ($Z_1^*$) des kontrollierten

Systems in dem Moment zu bestimmen, in dem die Handlung des Effektors einsetzt. $Z_1^*$ soll von $Z_1$ durch eine vorhersagende Hypothese, die auf vorangegangenen Erfahrungen beruht, abgeleitet werden. Dies ist besonders für ein sich schnell änderndes kontrolliertes System notwendig, um die Kontrollhandlung wirksam zu machen. Als Schlussbemerkung möchte ich noch hinzufügen, dass jener Teil des kontrollierten Systems, der von dem kontrollierenden System mit dem Rezeptor beobachtet wird, derselbe oder auch nicht derselbe Teil sein kann, in dem der Effektor einen Wechsel verursacht. Daraus geht hervor, dass das Objekt des Rezeptors und das Objekt des Effektors vollkommen verschiedene Systeme sein können. Das aus diesen beiden kombinierte System wird dann als das kontrollierte System betrachtet.

Was dieses Drei-Komponenten-System als eine Einheit wirksam macht, ist natürlich die Verbindung zwischen den dreien. Dabei ist der Energieaufwand von untergeordneter Bedeutung; wichtig ist der Austausch von Signalen oder die Auslösung von Reaktionen. Mit anderen Worten, die Wirksamkeit beruht auf Informationsaustausch. Die Verbindung zwischen dem Rezeptor und dem Entscheidungselement überträgt die Information über den gegenwärtigen Zustand $Z_1$ des Objektes. Die Verbindung zwischen dem Entscheidungselement und dem Effektor überträgt die Information über den Inhalt der gemachten Entscheidung. Am wichtigsten dabei ist die Überlegung, dass die Information nicht die Übertragung eines physikalischen Phänomens direkt ist, sondern eine symbolische Repräsentation dieses Phänomens. Zum Beispiel das Potential V ist eine symbolische Repräsentation der Temperatur $\Theta$. Der Rezeptor ist daher ein Informationssender, der Effektor ein Informationsempfänger, das Entscheidungselement ist ein Informationsverarbeiter. Doch ist das Entscheidungselement auch ein Empfänger der Information, die von dem Rezeptor kommt, und zu gleicher Zeit der Sender einer anderen Information zum Effektor. Folglich muss sich die Kybernetik in der Hauptsache auf eine Theorie der Information stützen.

Die eben angeführte Erklärung könnte den Eindruck erweckt haben, dass die Informationstheorie ein ausgedehnteres System darstellt, in dem die Kybernetik nur ein Teilgebiet ist. Eine einfache Überlegung wird aber zeigen, dass es Information ohne einen «Rezeptor» und «Effektor» nicht gibt. Im Augenblick jedoch, wo Rezeptor und Effektor in Erscheinung treten, wird die Überlegung ein Teil der Kybernetik. Im vorangegangenen Beispiel deutet das elektrische Potential an sich keine Temperatur an. Nur wegen der bestimmten Art und Weise der Kupplung zwischen dem elektrischen Stromkreis und dem Aussensystem wird das Potential zum Informationsträger. Dasselbe trifft auch zu, wenn wir den elektrischen Strom in einem Telefonkabel betrachten. Ein Informationskanal passt in das Schema eines Kontrollsystems, wie es oben beschrieben wurde, wenn wir annehmen, dass das Entscheidungselement die treffende Information überträgt, ohne irgendeine Transformation damit vorzunehmen. Deshalb kann eine Informationstheorie wenigstens formell als ein Teil der Kontrolltheorie betrachtet werden. Es ist wohl wahr, dass der Sender

und Empfänger einer Nachricht zwei verschiedene Individuen sind, aber wir können beide in ein einziges Objektsystem einschliessen.

Gegenwärtig wird der Ausdruck Informationstheorie in den Vereinigten Staaten in einem viel engeren Sinn als in Europa benutzt, nämlich im Sinne einer statistischen Theorie der Kommunikation, wie sie etwa im Ingenieurwesen üblich ist. Die Kybernetik muss ausser der Informationstheorie im weitesten Sinne die Theorie und das «engineering know-how» über Rückkopplung und Servomechanismus einschliessen. Die Wichtigkeit der nichtlinearen Rückkopplung ist auch sehr bekannt.

Aus dieser Erklärung geht hervor, dass Wieners Definition, die «Kontrolle und Kommunikation» in einem Atemzug erwähnt, keine willkürliche Nebeneinanderstellung ist, sondern dass sie auf eine tiefgehende, gegenseitige Abhängigkeit der zwei Begriffe hinweist.

Meine Damen und Herren, es gibt viele Definitionen über das Thema, was ein Mensch ist; manche Erklärungen sind oberflächlich, manche tief, einige witzig, andere aufklärend. Der Mensch ist ein zweifüssiges Säugetier, der Mensch ist ein sprechendes Tier, der Mensch ist ein lachendes Tier usw. Eine der aufschlussreichsten Definitionen bezeichnet den Menschen als ein werkzeugmachendes Tier. Tiere benutzen Werkzeuge, aber sie erzeugen sie nicht. Es ist wohl bekannt, dass eine Kultur von dem Material, aus dem Handwerker hauptsächlich Werkzeuge machen, tief beeinflusst wird: Stein, Bronze, Eisen usw. sind Kennzeichen eines Zeitalters. Es ist deshalb ganz natürlich, dass auch die Nutzweise der Werkzeuge den Typus der Zivilisation vielleicht sogar noch lebendiger charakterisieren könnte. Nach der Nutzweise oder Funktion eingeteilt, gibt es vier Hauptkategorien von Maschinen.

Zu den einfachsten Maschinen, die ich geometrische Maschinen nennen möchte, gehören alle diejenigen Werkzeuge, die nicht in der Übertragung von Energie verwickelt sind. Ein Kasten, ein Tisch, ein Regal, ein Stativ, eine Papierklammer, eine Tasse sind geometrische Maschinen. Die nächsthöhere Klasse ist die Klasse der intensitätverwandelnden Maschinen. Der Ausdruck Intensitätverwandlung ist dabei folgendermassen zu verstehen: er bedeutet Veränderung in einem der Faktoren, die multipliziert Energie ausdrücken. In einer Maschine dieser Art bleibt die enthaltene Energie in der ursprünglichen Form erhalten, zum Beispiel als mechanische Energie, elektromagnetische Energie, chemische Energie, Kernenergie. Folglich ein Hebel, eine optische Linse, ein Zahnrad, ein Wechselstrom-Transformator sind intensitätverwandelnde Maschinen. Zum Beispiel ändert sich die Intensität der aufgewendeten Kraft mit der Länge eines Hebels, aber das Produkt Kraft mal Weg, das die mechanische Arbeit repräsentiert, bleibt unveränderlich. Das Energie-Erhaltungsgesetz innerhalb jeder Hauptklasse von Energieformen bestimmt die Grenze, innerhalb welcher die Umkehrung arbeiten kann. Die Herstellungsmethoden des Mittelalters und der Renaissance sind überwiegend durch Maschinen dieser zweiten Klasse charakterisiert.

Zur dritten Klasse gehört, was man energieumwandelnde oder Kraftmaschinen nennt. Sie wandeln Energie einer Hauptklasse in Energie einer

anderen Hauptklasse um. Eine Dampfmaschine wandelt chemische Energie in Hitze um und dann in mechanische Energie. Ein Atomreaktor wandelt Kernenergie in Hitzeenergie um. Eine Wassermaschine wandelt Gravitationsenergie in kinetische und dann in elektrische Energie um. Maschinen dieser dritten Klasse wurden sehr schnell seit dem Anfang des 19. Jahrhunderts entwickelt und wurden, wie wohl bekannt ist, die Ursache der industriellen Revolution. Die ersten und zweiten Gesetze der Thermodynamik kennzeichnen die physikalischen Begrenzungen dieser Art Maschinen.

Das 20. Jahrhundert sieht eine rasche Folge von Erfindungen ganz verschiedener Art: Telefon, Telegraphie, Grammophon, Kino, Radio, Fernsehen, Tonband, Rechenautomaten, Fabrikautomaten usw. Diese Maschinen verbrauchen einen gewissen Betrag von Energie, aber ihre Hauptfunktion ist Speicherung, Übertragung und Verarbeitung von Informationen. Man kann sie auch Informationsmaschinen nennen. Es gibt ein Gesetz, das besagt, dass die an der Ausgabe erhaltene Information über die Eingabe nie grösser ist als die eingegebene Information. Man könnte dies ein Gesetz der Zerstreuung von Informationen nennen. Verschiedene Leute mögen vielleicht gern Kodierungstheoreme als die fundamentalen Gesetze der Informationsmaschinen bezeichnen, aber ihre Wichtigkeit ist an der formalen Theorie der Kommunikation begrenzt. Auf der anderen Seite ist Brillouins «Negentropy»-Prinzip[39], welches eine versuchte Verallgemeinerung des H-Theorems ist, hier wichtig. Das umgekehrte H-Theorem, welches später erklärt werden wird, scheint das charakteristische Gesetz der Kybernetik zu sein, welches eine Informationsmaschine beherrscht. Der starke Einfluss der Informationsmaschinen auf unser modernes Leben kann nicht genug hervorgehoben werden. Der Sturz des «quatrième état» und der Aufstieg des «cinquième état» wurde schon in dem satirischen Manifesto der «atomic party»[21/22] im Jahre 1948 proklamiert, aber die politischen Probleme, die durch die Geburt von Informationsmaschinen oder Kybernetikmaschinen aufgeworfen wurden, sind immer noch weit entfernt von einer Lösung. Jedoch die Zukunft der Menschheit hängt wesentlich von einer weisen und gerechten politischen Lösung dieser Probleme ab.

Nebenbei könnte man noch erwähnen, dass ein Tierkörper alle Arten von Werkzeugen in sich selbst hat. Die Blase ist eine geometrische Maschine, die Muskeln sind Energieverwandler, die Gelenke sind Intensitätsumwandler, und das Nervensystem ist eine Informationsmaschine. Im gewissen Sinne ist die Geschichte der materiellen Zivilisation eine Geschichte der Imitation des menschlichen Körpers. Der Mensch wollte einen mechanischen Diener haben, um einen Teil seiner Körperfunktionen schmerzloser und wirksamer zu tun. Dieser Wunsch brachte alle «stage props» der modernen Welt hervor. Wenn jemand fragt, ob eine Maschine sich selbst reproduzieren kann, so würde von Neumann bejahend antworten[29]. Angenommen, dass Maschinen sich selbst reproduzieren könnten, so erhebt sich die Frage, ob es eine Evolution dieser Maschinen geben könnte. Diese Frage würde eine Reihe höchst interessanter Diskussionen entfesseln, aber ich kann leider darauf hier nicht eingehen.

## 4. *Epistemometrik*

Ich habe dargelegt, dass die Kybernetik eine Informationstheorie nötig hat und dass eine Informationstheorie nur in einer kybernetischen Interpretation Bedeutung erlangt. Jedoch ist die sogenannte Informationstheorie besonders in der in Amerika gebräuchlichen Definition so begrenzt, dass sie nicht die Bedürfnisse der Kybernetik erfüllen kann. Eine Informationstheorie im weiteren Sinne wurde versuchsweise in meinem Buch[23] Epistemometrik genannt. Ich versuchte damit klarzumachen, dass das richtige System die Kommunikationstheorie nur als kleine Komponente enthält. Die Epistemometrik ist ein quantitatives Studium der formalen Aspekte von Vorgängen, die wir allgemein als Wissen, Raten und Mitteilen bezeichnen. Die Epistemometrik betrifft den «formalen» Aspekt, weil es sich wie in der Logik um abstrakte Beziehungen unter Aussagen handelt. Die Epistemometrik ist jedoch quantitativ in dem Sinn, dass sie sich nicht mit Wahrheit und Falschheit befriedigen lässt, sondern die Beziehungen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeit und entropischen Funktionen ausdrückt. Beschränkung auf die Form führt zum Verlust eines Aspektes der Kybernetik: die Verbindung zwischen dem «Symbol» und dem wirklichen Objekt oder der Tatsache, die es repräsentiert. Die Epistemometrik kann den Grund der Wahrheit diskutieren, wie die konventionelle Epistemologie es tut, aber die empirische «Welt der Dinge» hinter wahren Behauptungen wird undiskutiert bleiben. Gewissermassen sollte man die traditionelle Logik und die Theorie der Wahrscheinlichkeit und die Epistemologie in die Epistemometrik als Bestandteile einverleiben.

Als einen ihrer Hauptzweige schliesst die Epistemometrik die quantitative Theorie der deduktiven und induktiven Inferenz ein[24/25]. Dies ist notwendig, weil deduktive und induktive Inferenz wissenschaftliche Vorhersage möglich macht. Und die wissenschaftliche Vorhersage ist eine unentbehrliche Funktion der Kybernetiksysteme. Wir haben schon gesehen, dass Vorhersage des Zustands $Z_1^*$, ausgehend von Zustand $Z_1$, ein notwendiger Bestandteil der kybernetischen Kontrolle war. Aber es gibt einen noch gewichtigeren Grund, warum die wissenschaftliche Vorhersage und die Kybernetik untrennbar sind. Der Rat, den die Wissenschaft liefert, ist immer von dem Typus: «Wenn du X tust, dann wirst du Y bekommen.» In einer kausalen Beschreibung ist X die Ursache des Effektes Y; vom Gesichtspunkt eines (erfolgreichen) Benutzers der Wissenschaft ist Y der Zweck, und X ist sein Mittel. Das Entscheidungselement eines kybernetischen Systems muss verschiedene mögliche Y im Licht des Entscheidungsprinzips abschätzen, und es wählt das besondere X, welches höchstwahrscheinlich das erwünschte Y produzieren wird. Hier kann die kausale Verbindung ($X \rightarrow Y$) nur durch Deduktion von einer gewissen Hypothese geschaffen werden. Die Aufstellung einer Hypothese und die Abschätzung ihrer Zuverlässigkeit können erst durch Induktion, die auf der vergangenen Erfahrung aufbaut, ermöglicht werden. Solch wissenschaftliche Handlungen können nicht immer von einem einzelnen kybernetischen Kontrollsystem ausgeführt werden; eine Anzahl von kontrol-

lierenden Systemen wird in vielen Fällen notwendig sein. Diese Notwendigkeit führt zu Tradition und Zusammenarbeit in den Wissenschaften.

Der Epistemometrik nahe verwandt ist die Theorie der Organisation, weil der erste Schritt in jeder kognitiven Tätigkeit die Erkennung einer gewissen Organisation, einer Struktur oder eines Musters in einer Anhäufung mannigfaltiger Elemente ist, wie sie die Welt der Erfahrung bietet. Eine Kollektion von Elementen kann als gut organisiert betrachtet werden, wenn das Funktionieren des Ganzen genau bestimmbar ist, während das Funktionieren der Elemente ungenau bestimmt ist. Der Grad der Bestimmbarkeit des Funktionierens eines Objektes kann von der Entropiefunktion gemessen werden, wenn die möglichen Handlungen des Objektes sich mit Wahrscheinlichkeitswerten ausdrücken lassen. Es ist deshalb ganz natürlich, als Massstab der Organisation die Quantität[26] einzusetzen:

Grad der Organisation =
(Summe der Entropien von Elementen) minus
(Entropie des Ganzen).

In einem gewissen Sinne kann man behaupten, dass die Informationstheorie aus der Notwendigkeit für eine mathematische Methode geboren wurde, die in der Lage war, das Problem der Organisation in einer Versammlung von Individuen mathematisch auszudrücken. Um 1930 kam Niels Bohr auf den Gedanken, Besonderheiten der Kernreaktionen so zu erklären: Der Zustand eines Kernteilchens ist viel stärker von dem Zustand seiner Nachbarn abhängig als der Zustand eines Elektrons von dem Zustand seines Nachbarn. Mit anderen Worten, die Kollektion der Nukleonen ist viel mehr organisiert als die Kollektion der Elektronen. In einer Arbeit[27] schlug ich 1939 unter der Leitung von Werner Heisenberg vor, die Entropie als Massstab der Organisation zu gebrauchen. In dieser Arbeit wurde klargemacht, dass die Entropiefunktion zwei scheinbar unabhängige Interpretationen erlaubt. Erstens drückt sie den Grad der Unbestimmtheit oder den Grad der Unwissenheit des genauen Zustandes des individuellen Systems aus. Zweitens drückt sie die Stärke der gegenseitigen Abhängigkeit der individuellen Systeme aus, folglich den Grad der Struktur. In der Informationstheorie der Kommunikation, die viel später, um 1949 herum, entwickelt wurde, entspricht die erste Interpretation der Quantität, Information genannt, mit umgekehrtem Vorzeichen, und die zweite entspricht der Quantität, die Redundanz genannt wird. Diese zwei Begriffe können durch eine einzige Quantität ausgedrückt werden, weil im Falle eines physikalischen Systems, welches als Ganzes in einem reinen Quantenzustand ist, die Entropie des ganzen Systems in der oben genannten Formel Null wird. Als Resultat wird der Grad der Organisation einfach die Summe der Entropien der individuellen Elemente[26/28]. Auf jeden Fall war diese Arbeit 1939 die erste Arbeit, welche die Entropiefunktion auf wirkliche Probleme anwandte, indem sie dieser

Funktion eine Bedeutung gab, die unabhängig von der Thermodynamik war und somit die Unabhängigkeit der Informationstheorie anzeigte. Die Informationstheorie, wie sie in dieser Arbeit 1939 angebahnt wurde, ist viel allgemeiner als die Informationstheorie, die später entwickelt wurde. Sie kann auch auf den Fall angewandt werden, wo unsere statistische Kenntnis des Systems nicht als eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, sondern als eine bestimmte positiv-definite, hermitische Matrix ausgedrückt wird.

### *5. Tier und Maschine, Einheit der Kybernetik*

So viel über die notwendige Verallgemeinerung der Informationstheorie. Unser Argument ging davon aus, zu erklären, warum N. Wiener das Wortpaar «Kontrolle und Kommunikation» in seiner Definition der Kybernetik nebeneinander gestellt hatte. Es gibt noch ein anderes Wortpaar «Tier und Maschine», in seiner Definition, das ich nun diskutieren möchte. Es ist unverkennbar, dass das Kontrollsystem, wie es in Abbildung 1 beschrieben ist, sich fast auf alle Tiere und viele Kontrollmaschinen bezieht, angefangen mit Watts Dampfmaschinenregulator bis zur komputerkontrollierten Automatenfabrik. Wir haben auch gesehen, dass alle andern Informationsmaschinen in das Schema von Abbildung 1 hineinpassen. Es ist nur nötig, eine erweiterte Interpretation den Komponenten des kybernetischen Kontrollsystems zu geben. Wenn die Grundprinzipien der Funktionen in gewisser Hinsicht zwischen Tieren und kybernetischen Maschinen dieselben sind, dann sollte es keinen Grund zur Überraschung geben, wenn wir eine fast allgegenwärtige Ähnlichkeit in den Einzelheiten der physikalischen Verwirklichung dieser Funktionen in den beiden Klassen von Objekten finden. Diese Gleichartigkeit kann jedoch nur auf einer gewissen Stufe der Abstraktion erkannt werden. Zum Beispiel sind die Neuronen in Tieren und die Stromkreise in den meisten elektronischen Rechenmaschinen ähnlich in dem Sinne, dass sie beide auf binären Zuständen beruhen. Nach McCullough-Pitt rechnen die Synapsen in dem Neuronennetz Boolesche Funktionen für ihre Eingabereize, ähnlich arithmetischen Komponenten in binären Rechenmaschinen. Es gibt eine endlose Liste von Ähnlichkeiten zwischen Tieren und kybernetischen Maschinen. Diese Liste schliesst solch interessante Ähnlichkeit ein wie die Existenz von Rhythmen der Operationen in Tieren und Maschinen, aber auch solch relativ oberflächliche Ähnlichkeit wie die Tatsache, dass der Informationsspeicher in beiden Arten von Objekten mehr eine zweidimensionale als eine dreidimensionale Ausdehnung hat.

Die parallele Erwähnung von Tier und Maschine in Wieners Definition von der Kybernetik geht über eine tatsächliche Beschreibung der Ähnlichkeit hinaus. Wiener beabsichtigt damit folgenden Rat: «Lerne mehr von Tieren, indem du ein mechanisches Modell von ihnen machst, und verbessere deine Maschine, indem du die Tiere imitierst.» Dieser Ratschlag hat sich als so fruchtbar erwiesen, dass verschiedene Leute sogar behaupten, dass der wirkliche Wert der Kybernetik nur in der heuristischen

Methodik liegt, die durch diesen Rat angedeutet wird. Meiner Meinung nach hat die Kybernetik ihren Wert jenseits dieses praktischen Ratschlages. Ausserdem hat dieser Ratschlag seine natürlichen Grenzen. Denn die Differenzen in den physikalischen Substraten der logischen Komponenten lassen sich doch dadurch fühlen, dass die wirksamste Methode, eine gegebene komplizierte Aufgabe zu lösen, nicht dieselbe sein kann. Ein gutes Beispiel ist Spracherkennung. Es gibt keinen Zweifel über die Durchführbarkeit dieser Aufgabe mit einer rechenmaschinenartigen Vorrichtung. Aber die Maschine wird unvergleichlich schwerfälliger ausfallen als jenes Meisterstück der Natur, das Ohren und Gehirn genannt wird. Sogar die einfache Informationsspeicherung in Gehirnen scheint auf einem verschiedenen Prinzip als auf dem einer elektronischen Speichervorrichtung zu beruhen. In einem menschlichen Gehirn ist eine Information durch Assoziation von Ideen wieder hergestellt, während die Information in einem elektronischen Speicher durch die eindeutige Korrespondenz zwischen Adresse und Inhalt wiederhergestellt wird. Ich bin auch nicht ganz davon überzeugt, dass die Anzahl von Neuronen und die Anzahl von möglichen Konditionen bei jeder Synapse im menschlichen Körper genügt, um die Kapazität des menschlichen Gedächtnisses zu erklären.

Die Funktion des menschlichen Gehirns mit einer Turingschen Maschine zu vergleichen, ist doch eine recht zweifelhafte These. Die Theorie der rekursiven Funktionen und das Prädikatkalkül sind viel zu einfache Abstraktionen, um die rationellen Funktionen des menschlichen Gehirns zu beschreiben. Dieser Verdacht kommt uns schon, wenn wir introspektiv unsere natürlichen Erkennungs- und Folgerungsverfahren untersuchen. Eine unerwartete, kürzlich entdeckte Tatsache scheint diesen Verdacht weiter zu bestärken: Neuere elektrophysiologische Experimente beweisen, dass der alles-oder-nichts binäre Zustand der Neuronen nur in der Fernübertragung der Neuronensignale wichtig ist. Andere Arten von allmählich oder kontinuierlich variierenden elektrischen Zuständen der Nervenzellen scheinen in komplizierteren Nervenzentren viel wichtiger zu sein.[62] Spitzenförmige binäre Potentiale pflanzen sich fort, ohne ihre Stärke während des Durchlaufs zu vermindern, während allmähliche Potentiale der zweiten Art schwächer werden, während sie sich fortpflanzen. Die Gehirnwellen oder Elektroenzephalogramme, die den elektrischen Zustand des Gehirns aufzeichnen, sind keine Überlagerungen einer grossen Anzahl von Potentialspitzen, sondern sehr wahrscheinlich eine Überlagerung der langsam sich ändernden abgestuften Potentiale. Der Vergleich eines menschlichen Gehirns mit einer binären digitalen Rechenmaschine (die eine Turing-Maschine ist) war ein der früheren Kybernetik zugrunde liegendes Bild. Natürlich ist es möglich, die elektroenzephalographischen Rhythmen mit den Auslösungsrhythmen der Rechenmaschinen zu vergleichen[63]. Andererseits deuten die allmählich sich ändernden Potentiale wahrscheinlich auf einen viel elastischeren und komplizierteren Denkungsprozess hin, als die Boolesche Logik und die Turingsche Maschine sie formulieren.

Ausserdem muss man sich auch daran erinnern, dass die Existenz von Alles-oder-nichts-Spitzenpotentialen gar nicht bedeutet, dass die Infor-

mation im Nervensystem binär kodiert ist. Im Gegenteil, die Information ist im Nervensystem mit Hilfe der Anzahl der Spitzen je Zeiteinheit kodiert. Demnach ist das Nervensystem keine binäre Maschine, sondern eine «analoge» Maschine.

Alle diese neuen Entdeckungen würden jedoch nicht irgendein Versagen der leitenden Idee der Kybernetik bedeuten. Vielmehr würden sie uns ermutigen, eine fortgeschrittenere Logik zu untersuchen und eine Rechenmaschine zu entwerfen, die das Prinzip der Turing-Maschine übertrifft. Solch ein Bestreben würde durchaus im Rahmen von Wieners Ratschlag bleiben. Was ich betonen möchte, ist, dass man, um die Funktionen des Menschen vollkommen mit einer Maschine nachahmen zu können, wahrscheinlich die Maschine aus denselben Proteinen nachbilden müsste, aus denen sich der menschliche Körper zusammensetzt. Trotz der unvermeidlichen Schranken, die teilweise von den Unterschieden der Komponenten herrühren, ist es jedoch höchst bedeutungsvoll, dass das Modell eines kybernetischen Kontrollmechanismus einen beträchtlichen Grad von Ähnlichkeit zwischen Maschinen und Tieren beschreiben kann.

Jetzt müssen wir uns folgendes fragen: Ist die Kybernetik eine Wissenschaft oder eine Methode? Wiener selbst schreibt in Colliers Encyclopedia[30], dass er das Wort Kybernetik brauchte, um die verschiedenen Wissenschaften, die mit Kommunikation und Kontrolle zu tun haben, mit einem Wort zu bezeichnen, das ihre methodologische Einheit ausdrückt. Diese Einheit liegt in dem statistischen Begriff der Information, als etwas, das von dem Wahrscheinlichkeitsbegriff hergeleitet worden ist. Dieser gemeinsame Wahrscheinlichkeitsgesichtspunkt ist es, den er im Gegensatz zu dem Newtonschen deterministischen Gesichtspunkt als «die Gibbs-Lebesguesche Denkweise»[31] bezeichnet.

Die Gibbs-Lebesguesche Denkweise gipfelt in den Ergodensätzen, von denen eine Version auf Wiener selbst zurückgeht. Birkoff[32] und von Neumann[33] sind unter den vielen anderen, die zu der Ergodentheorie beigetragen haben. Der Begriff der Ergodizität ist im hohen Grade technisch. Obgleich eine unmathematische Beschreibung des mathematischen Theorems die Gefahr in sich trägt, missverstanden zu werden, lässt sich die Idee etwa so ausdrücken: Betrachten wir eine Anzahl von Individuen, deren Verhalten von demselben statistischen Gesetz beherrscht wird, und nehmen wir an, dass die Zahl der Individuen in jedem Zustand proportional der Wahrscheinlichkeit des Zustandes ist. Folgt man den Zuständen eines einzigen Individuums, wie es sich mit der Zeit verändert, so ist im allgemeinen sein Lauf deterministisch nicht vorauszusehen, nichtsdestoweniger durchläuft er jedoch auf die Dauer alle die Zustände, die zum gleichen Zeitpunkt von verschiedenen Individuen der Population gleichzeitig eingenommen werden. Dabei ist die Zeitlänge, die ein Individuum in jedem Zustand verbringt, proportional der Anzahl der Vertreter, die diesen besonderen Zustand in jedem Moment einnehmen, das heisst proportional der Wahrscheinlichkeit des Zustandes. Diese Eigenschaft eines Individuums, die im Laufe der Zeit die gleichzeitige Verschiedenheit des Zustandes der Mitglieder der Gesamtheit widerspiegelt, heisst Ergodizität.

Diese Eigenschaft rechtfertigt die Anwendung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes, auch wenn nur ein Einzelwesen zur Beobachtung vorhanden ist. Die Ergodizität ist im übrigen erforderlich, um die Informationstheorie der Mitteilungen wirksam zu machen, denn der Informationsinhalt einer einzigen Kette von Symbolen wird mit Hilfe der Wahrscheinlichkeiten gemessen. Und diese sind im wesentlichen Eigenschaften einer Sammlung von solchen Ketten. Ausserdem kann man dem thermodynamischen Theorem der Entropienzunahme eine richtige Interpretation nur im Licht der Ergodizität des physikalischen Systems verleihen. Auf jeden Fall gibt es keinen Zweifel über die zentrale Rolle, die von der Idee der statistischen Gesamtheit und der Idee des Masses in der kybernetischen Methodologie gespielt wird.

Nun ist es bemerkenswert, dass Norbert Wiener im allgemeinen die Kybernetik nicht als Wissenschaft, sondern als eine gemeinsame Methode betrachtet, die auf eine Vielheit von Phänomenen anwendbar ist,die traditionsgemäss zu verschiedenen Disziplinen gehören. Er schreibt im Vorwort der zweiten Auflage (1962) seiner «Kybernetik» wie folgt: «Nun glaube ich, dass die Zeit gekommen ist, wo die Kybernetik nicht nur als ein Programm, sondern als eine existierende Wissenschaft von neuem in Erwägung gezogen werden muss.» Soll man die Kybernetik tatsächlich als Wissenschaft betrachten ? Meine Antwort ist «ja». Der Grund ist, dass das Wesen der gemeinsamen Züge, die in verschiedenen Gebieten durch die kybernetische Methode entdeckt worden sind, nicht zufällig und von der formalen und mathematischen Natur, sondern gesetzmässig und von der empirischen und wissenschaftlichen Natur ist.

Was ich mit dem letzten Kriterium meine, mag klarer werden, wenn wir ein anderes Beispiel betrachten. Es gibt einen Zweig der angewandten Mathematik, Theorie der Schwingung genannt. Wir fangen mit der Tatsache an, dass verschiedene physikalische Systeme, wie zum Beispiel ein einfaches mechanisches Pendel und ein elektrischer Stromkreis mit Induktionsspule und Kondensator, durch dieselbe Differentialgleichung beschrieben werden können. Weiterhin folgt eine ganze Reihe von Ähnlichkeiten, darunter ein mathematisches Theorem über eine Integrationskonstante, die dem physikalischen Gesetz der Energieerhaltung entspricht, sowohl mechanisch wie auch elektromagnetisch. Jedoch bleibt im Rahmen der angewandten Mathematik die Ähnlichkeit rein formal. Es wird in diesem Fall kein gemeinsames Grundgesetz geben, von dem die Gleichung des einfachen Pendels und die des elektrischen Oszillators gleichzeitig abgeleitet werden. Die Situation ist ganz anders, wenn wir die Theorie der Wellenfelder von elementaren Teilchen betrachten. Wir haben einen Energieerhaltungssatz des elektromagnetischen Feldes und einen Energieerhaltungssatz des Elektronenfeldes. Diese beiden sind nicht zufällig ähnlich gesetzt. Tatsache ist, dass alle diese Energieerhaltungsgesetze der verschiedenen Felder von einem einzigen physikalischen Gesetz herkommen, nämlich dem, dass die Dichte der Lagrangeschen Funktionen invariant für die Verschiebung in der Zeit sein muss. Dieses letzte Gesetz ist genau so grundlegend wie das Gesetz der Invarianz für

die Lorentz-Transformation. Die Theorie der Wellenfelder der Elementarteilchen, die auf dem physikalischen Gesetz der vierdimensionalen Invarianz beruht, ist ohne Zweifel eine echte Wissenschaft. Die Kybernetik fusst auf der empirischen Tatsache, dass alle Kontroll- und Informationssysteme die Struktur, wie in Abbildung 1 beschrieben, aufweisen, ganz gleich, ob das System ein belebter oder unbelebter Gegenstand ist, ob es ein elektrisches oder mechanisches oder neurales System ist. Die Allgemeingültigkeit dieser Struktur ist kein Zufall, sie ist von derselben Funktion bedingt. Folglich kommt die Ähnlichkeit, die in vielen kybernetischen Systemen existiert, von einem empirischen gesetzartigen Sachverhalt her. Ausserdem hat die formale Seite der Kybernetik, das heisst die Epistemometrik, einen einzigen abstrakten Forschungsgegenstand: die Information. Wir können sie als dasselbe Forschungsobjekt höherer Abstraktion erkennen, ganz gleich, ob sie durch ein Neuron oder einen Kupferdraht geleitet wird. Darum vertrete ich den Standpunkt, dass die Kybernetik nicht nur eine Methode, sondern eine Wissenschaft ist. Der Grund dafür ist, wie gesagt, dass die Einheitlichkeit der Methode in diesem Fall nicht zufällig ist, sondern von einer gesetzgleichen Einheit herrührt, die eben in den Forschungsobjekten existiert.

Erinnern wir uns daran, was Ampère vor mehr als einem Jahrhundert gesagt hat. Die Wissenschaften müssten nicht nur nach der Art ihrer Gegenstände, sondern nach ihren Gesichtspunkten eingeteilt werden. In der Physik können wir die Natur in Elektronen, Photonen, Nukleonen, und so weiter einteilen, und wir können die Phänomene in mechanische, elektrische und so weiter einteilen. Wir wissen aber auch, dass kein physikalisches System den Gesetzen der Thermodynamik entrinnen kann. Die Thermodynamik repräsentiert einen bestimmten Gesichtspunkt und ist eine Wissenschaft, die alle anderen Fächer der Physik kreuzt. Der Gesichtspunkt der Kybernetik wiederum ist eine Verallgemeinerung des Gesichtspunktes der Thermodynamik. Im gewissen Sinn ist die Kybernetik ein natürlicher Auswuchs der Thermodynamik und ist anwendbar auf physikalische sowie auch nichtphysikalische Systeme. Genau so, wie man der Thermodynamik den Rang einer Wissenschaft nicht abstreiten kann, muss man ihn auch der Kybernetik zubilligen.

## *6. Kybernetik und Zeitbegriff*

Ich möchte zum Schluss noch ein Problem diskutieren, das auch in den beiden Büchern Wieners behandelt wird, das aber von den meisten Autoren über Kybernetik ignoriert wird, nämlich den Begriff der Zeit. Das erste Kapitel von Wieners erstem Buche trägt den Titel «Die Newtonsche und Bergsonsche Zeit». In seinem zweiten Buch «The Human Use of Human Beings» spricht Wiener häufig von der Einbahncharakteristik der Zeit, die durch die Entropiezunahme bedingt ist. Wie ist denn die Beziehung zwischen der Kybernetik und dem Begriff der Zeit zu verstehen? Es gibt keine fertige Antwort auf diese Frage.

Wiener erwähnt in dem Buch «Cybernetics»[1] mindestens drei Berührungspunkte zwischen der Kybernetik und der Einbahncharakteristik der Zeit. 1. Die Kybernetik ist eine Wissenschaft, die nach dem Gibbsschen Gesichtspunkt aufgebaut ist, und dieser Gesichtspunkt muss als der einzige theoretische Gesichtspunkt, der fähig ist, eine stichhaltige Erklärung des Entropiesatzes zu geben, betrachtet werden, weil er die mathematische Grundlage für das H-Theorem und die Ergodensätze liefert. 2. Der Begriff der Information hängt von Symbolen ab, die in einer bestimmten Reihenfolge in der Zeit dargestellt werden. Daher setzt die Möglichkeit des Nachrichtenaustausches die Übereinstimmung der Zeitrichtung voraus, wie Wiener es ausdrückt: «Innerhalb irgendeiner Welt, mit welcher wir Mitteilungen austauschen können, ist die Richtung der Zeit einheitlich[34].» 3. Woanders schreibt Wiener[35]: «Die Beziehung Eingabe–Ausgabe ist eine zeitlich geordnete Beziehung und setzt eine bestimmte Vergangenheit-Zukunft-Richtung voraus.»

Es ist interessant, zu bemerken, dass ein sowjetischer Philosoph, I.B. Novik, in seiner letzten Arbeit die Kybernetik in zwei Hauptbestandteile zerlegt[36]: der eine ist der formalisierte funktionale Aspekt, der andere Eindringen in verschiedene Gedankenkreise der Idee der Information, insbesondere im Zusammenhang mit den *antientropischen* Prozessen.

Seit dem Anfang der Thermodynamik war es eine weitverbreitete Vermutung unter Wissenschaftlern und Philosophen, dass belebte Organismen Prozessen unterworfen sind, die mindestens dem Anschein nach den zweiten Satz der Thermodynamik, das heisst den Satz der zeitlichen Entartung der Energie, verletzen. Während die unbelebte Welt die Neigung hat, wie der Entropiesatz besagt, Differenzen auszugleichen und die universelle Gleichmässigkeit zu erreichen, scheinen belebte Objekte die Neigung zu haben, Differenzen zu schaffen und freie Energie in sich anzuhäufen. Es ist wohl bekannt, dass Henri Bergson ein beredter Förderer dieser Idee war. Zum Beispiel sagt er[37]: «Toutes nos analyses nous montrent en effet dans la vie un effort pour remonter la pente que la matière descend.» Zwar gebraucht Wiener den Namen Bergsons in dem Titel des ersten Kapitels seines Buches «Cybernetics», aber erst in seinem zweiten Buch «The Human Use of Human Beings» erwähnt er ausdrücklich die Tendenz des Lebens, sich gegen den Strom des Entropiezuwachses zu sträuben. Er schreibt[38]: «Während das Universum als Ganzes die Tendenz hat, abzulaufen, gibt es lokale Enklaven, deren Richtung der Richtung des Universums, als Ganzes, entgegengesetzt zu laufen scheint und in denen eine beschränkte und zeitweilige Tendenz für den Zuwachs der Organisation herrscht. In einigen dieser Enklaven findet das Leben Unterkunft. Dieser Gesichtspunkt ist im Grunde genommen der Ausgangspunkt, aus dem sich die neue Wissenschaft der Kybernetik entwickelte.»

Unabhängig von Wiener begann Léon Brillouin – der ebenfalls einer der Begründer der Informationstheorie ist – eine Reihe von Untersuchungen. Der Gegenstand seiner Untersuchungen war das Problem des antientropischen Verhaltens des Lebens im Licht der Informationstheorie. Brillouins Ansichten sind in seinem Buch «Vie, Matière et Observation»

zusammengefasst[39/40]. Ein Ergebnis seiner Untersuchungen nennt er das Prinzip der Negentropie. Darin wird behauptet, dass die Summe von Information und Negentropie im Verlaufe der Zeit nicht zunehmen könne. Das aber ist eine Verallgemeinerung des zweiten Satzes der Thermodynamik.

Zu Beginn der dreissiger Jahre stand ich unter starkem Einfluss von Prof. S. Fujiwhara[41], einem Meteorologen, der später Direktor des zentralen meteorologischen Observatoriums von Japan wurde. Er beschrieb viele interessante Beobachtungen über die anti-H-theoremische Tendenz in Lebensphänomenen und manchmal sogar in leblosen physikalischen Phänomenen offener Systeme. Das Interesse, das Fujiwhara in mir erweckte, wurde beim Lesen der Schriften Bergsons weiter verstärkt. Ich fand einige Berührungspunkte zwischen Bergsons Idee der «durée pure» und der Auffassung der Zeit in der modernen Physik[42]. Aber erst im Jahre 1960 veröffentlichte ich, was ich das inverse H-Theorem in der induktiven Inferenz nenne[43]. Dieses inverse H-Theorem hat nur einen engen Anwendungsbereich und hat nicht die Aufgabe, alle Anti-H-Theorem-Tendenzen in Lebewesen zu berücksichtigen. Es ist jedoch von Bedeutung, weil es das erste Theorem überhaupt ist, das mathematisch bewiesen werden kann und auch gewisse Anti-H-Tendenzen repräsentiert.

Die grundsätzliche Idee des inversen H-Theorems ist einfach. Solange unsere Erfahrung über eine bestimmte Gattung von Phänomenen noch nicht sehr gross ist, haben wir viele miteinander wettstreitende Hypothesen über die Phänomene. Unser Zutrauen ist auf manche Hypothesen verteilt. Aber in dem Masse, in dem unsere Erfahrungen wachsen, konzentriert sich unser Vertrauen auf immer weniger Hypothesen. Da der Grad des Vertrauens in einer Hypothese als die persönliche Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit dieser Hypothese betrachtet werden kann, erhalten wir eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, die mit der Zeit immer schärfer und enger wird. Wenn wir nun eine Entropie mit den Begriffen dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung definieren, wird die vorher beschriebene Verschärfung als Entropieverminderung ausgedrückt – eben das inverse H-Theorem.

1962 dehnte ich das Anwendungsgebiet des inversen H-Theorems auf gewisse Phänomene des Lernens aus[44]. Definieren wir die Entropie mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit, mit der gewisse Antworten erscheinen, dann ist das Wesentliche am Lernen eine Entropieverminderung. Ich habe eine einfache empirische Formel eingeführt, die verschiedene Fälle von Antworts-Entropieverminderung beschreibt (Abbildung 2). Diese inversen H-Theoreme können als eine der Grundlagen der Kybernetik angesehen werden, weil – nach Wiener – die Anti-H-Tendenz des Lebens von Beginn an eines der Leitmotive der Kybernetik war.

Vor einigen Jahren warf Raymond Ruyer[45] in seinem Buch «La cybernétique et l'origine de l'information» eine interessante Frage auf. Wenn Information bei der Übertragung in einer Informationsmaschine nur abnehmen kann und wenn das menschliche Gehirn als Informationsmaschine anzusehen ist, dann müsste das gesamte Wissen der Welt mit der Zeit

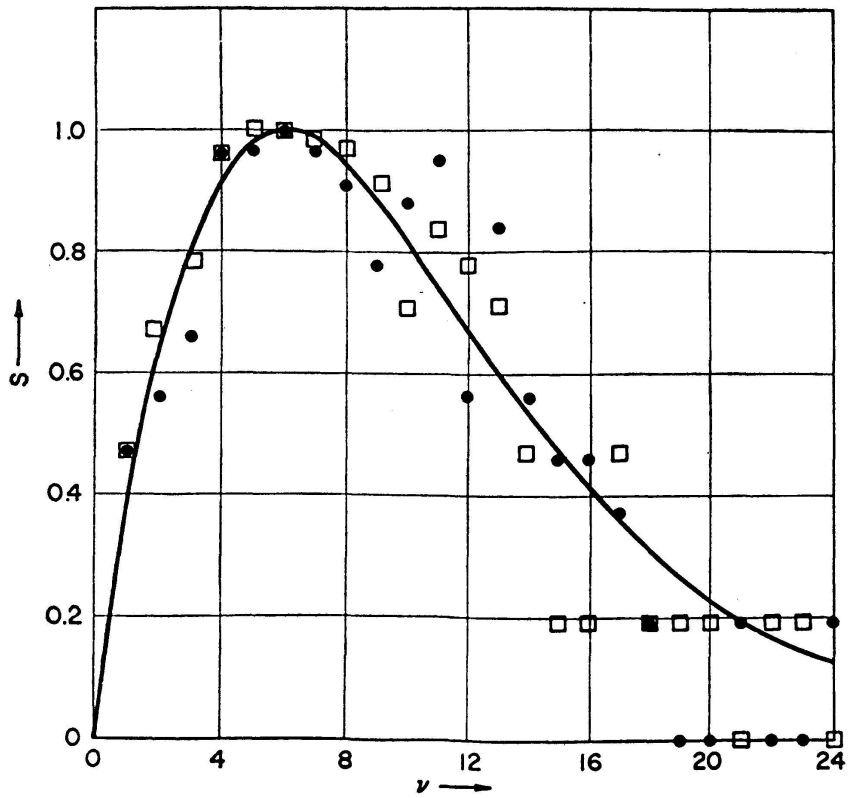


Abbildung 2

Ein typisches Verhalten der Reaktionsentropie, S als eine Funktion der Zeit, $\nu$ (Anzahl der Versuche). Die schwarzen Punkte sind Versuchsergebnisse aus einem Vermeidungsexperiment mit Hunden (Solomon-Wynn). Die Entropiefunktion wächst am Anfang an, da der Hund sich von einer bestehenden Gewohnheit lösen muss, bevor er die neue Gewohnheit lernt. Nach einiger Zeit jedoch fängt die Funktion an, in Übereinstimmung mit dem inversen H-Theorem zurückzugehen, bis ein Gleichgewichtswert erreicht wird. Für eine ausführliche Beschreibung des Experiments siehe Ref. 44.

ständig abnehmen, was offensichtlich nicht der Fall ist. «Muss dann nicht», so fragt er, «ein Ort in der Welt bestehen, wo Information laufend erzeugt wird ?» Da alle unbeseelten Gegenstände und alle anderen Personen Informationsumwandler sind, kann der einzige Platz, wo Information geschaffen wird, nur das «Ich» sein, meint Ruyer.

Obgleich diese Frage eine suggestive und lohnende Bemerkung ist, so ist sie doch, streng genommen, falsch gestellt. Erstens gibt es so etwas wie einen einheitlich definierten Informationsinhalt eines physikalischen Systems nicht, und zweitens sagt die Informationstheorie nicht, dass die ausgehende Information kleiner sei als die eingegebene. Deshalb scheint Ruyers Art der Fragestellung nicht zutreffend. Ruyers Aussage ist jedoch

zutreffend in dem Sinne einer Kritik der Informationstheorie, die in den üblichen Darstellungen nicht einen einzigen Mechanismus erwähnt, der Information erzeugt. Wir wissen jedoch, dass der Vorgang des induktiven Lernens in einem gewissen Sinne uns mit neuen Informationen versieht. Es trifft zu, dass der Prozess der Induktion ein besonders grosses Mass an Erfahrung nötig macht, das heisst, dass eine grosse Informationsmenge in den Menschen «geschüttet» wird. Aber die gesamte Information ist doch endlich. Ein Ansatz, der eine allgemeine Regel über etwas darstellt, enthält dagegen eine unendlich grosse Menge von Informationen, denn sie bezieht sich auf unbegrenzt viele verschiedene Fälle eines Experimentes oder auf empirische Beobachtungen. Folglich lässt sich sagen: Wenn der menschliche Geist eine sehr plausible These als Gesetz in Betracht zieht, muss der Induktionsprozess als Schaffung von Information angesehen werden. Denn die eingegebenen Informationen, die auf experimentellen Daten beruhen, sind immer endlich, unabhängig davon, wie zahlreich sie auch sein mögen.

Es handelt sich in dem inversen H-Theorem nicht um die Unbestimmtheit im Hinblick auf das Resultat von Experimenten, sondern um die Unbestimmtheit der korrekten Hypothese. Die Annäherung der Entropie durch das inverse H-Theorem an Null bedeutet die Auswahl einer Hypothese als die einzige, die im Hinblick auf die Resultate der Experimente eine unbegrenzte Menge von Informationen einschliesst.

In seiner hochinteressanten Arbeit «Second Cybernetics» behauptet M. Maruyama[46], dass eine ganze Kategorie von Phänomenen vor allem in der Soziologie durch einen Abweichungs-Verstärkungs-Effekt oder eine positive Rückkoppelung charakterisiert sei, währenddem sich die gewöhnliche Kybernetik vor allem mit der negativen Rückkoppelung befasst. Diese Kritik kann wohl auf die vulgarisierte Idee von Kybernetik als Theorie der Homöostase angewendet werden. Aber Ashby selbst wusste schon die Wichtigkeit von der «Amplifikation»[20], und Wiener spricht dauernd von dem positiven Feedback. So kritisiert zum Beispiel Wiener die sogenannte zivilisierte Gesellschaft, die einige wenige Mächtige beschützt, und schreibt[47]: «Von all diesen antihomöostatischen Faktoren der Gesellschaft ist die Kontrolle der Kommunikationsmittel die wichtigste und erfolgreichste.» Und wenn Maruyama von der Anti-H-Theorem-Tendenz der lebenden Dinge spricht, sagt er[48]: «Im Licht des Abweichungs-Verstärkungs-Prozesses ist das Wunder (des Anti-H-Theorem-Vorganges des Lebens) gelöst.» Hier habe ich jedoch zu sagen, dass biologische und soziale Systeme nicht jede willkürliche Abweichung verstärken. Es sind strenge Regeln der Auswahl vorhanden, und der Endzustand, der durch diese selektiven Verstärkungen erreicht wird, wird durch eine Art von negativer Rückkoppelung stabilisiert. Das wirkliche inverse H-Theorem kann nicht durch einen blinden Abweichungs-Verstärkungs-Mechanismus realisiert werden, sondern nur durch eine selektive Verstärkung und einen Entwicklungs-Stabilisierungs-Mechanismus. Die Anti-H-Theorem-Tendenz war immer eines der Hauptmotive der «ersten» Kybernetik seit ihrem Beginn.

## 7. *Kybernetik und Bewusstsein*

Die allgemeine Tendenz der philosophischen und wissenschaftlichen Untersuchungen über die Lebenserscheinungen in englischsprechenden Ländern im zwanzigsten Jahrhundert ist überwiegend «behavioristisch». Hinter A.M.Turings[49] Idee von der Mann-imitierenden Maschine steht ebenfalls dieselbe Tendenz. Er behauptet, dass es möglich sei, eine mannnachahmende Maschine zu bauen, so dass ein menschlicher Fragesteller, solange er seinen Gesprächspartner nicht zu Gesicht bekommt, nicht unterscheiden kann, ob er mit einer Maschine oder mit einem Menschen spricht. Diese Behauptung mag zutreffen, aber die philosophische Einstellung hinter dieser Behauptung ist gewagt. Zwei Objekte sollen identisch sein, wenn ihr Verhalten dasselbe ist. Dies ist eine gefährliche Philosophie. Als eine wissenschaftliche Methode ist die behavioristische Stellungnahme oft fruchtbar. Aber man darf nicht vergessen, dass Objekte, die sich unter gewissen Umständen ähnlich verhalten, sich unter anderen Umständen ganz anders verhalten können. Als eine philosophische Doktrin fehlt es dem Behaviorismus an Tiefe und Umfang. Das Bewusstsein kann nicht zu Verhalten reduziert werden, und die Existenz des Bewusstseins ist unleugbar.

Die Arglosen, die glauben, dass Kommunisten Materialisten und Nichtkommunisten Idealisten sind, werden erstaunt sein, wenn sie hören, was westliche und kommunistische Philosophen über das Bewusstsein sagen. Zum Beispiel die Mehrzahl der Philosophen, die sich im Sommer 1959 an der New-York-Universität versammelt hatten, um den Zusammenhang zwischen Körper und Seele zu diskutieren, vermieden entweder, das Bewusstsein zu erwähnen, oder sprachen darüber, als ob es etwas Peinliches sei. Sie vertraten die Ansicht, dass der geistige Zustand einer Person und der logische Zustand einer Turing-Maschine gleichwertig sind. Der Denkprozess ist nichts anderes als die Operation einer solchen Maschine. Im scharfen Gegensatz zu dem mechanischen Materialismus dieser Philosophen ging ein ostdeutscher, marxistischer Philosoph[51] nahezu zum entgegengesetzten Extrem, indem er schrieb: «Nicht nur manche Idealisten, sondern auch die Anhänger des dialektischen Materialismus bestreiten ..., dass Maschinen denken können.» Derselbe deutsche Philosoph schreibt weiter[52], dass «die physikalischen Gesetze der Entropie nur die Träger der Informationen, das heisst physikalische Grössen, betreffen, während die Semantik einer Information selbst eine Bewusstseinstatsache ist». Erst kürzlich schrieb der sowjetische Philosoph Novik[53], dem Sinne nach: Man muss sich darüber klar sein, will man das Problem des Bewusstseins mit Hilfe der Kybernetik auflösen, dass es unmöglich ist, den ganzen Reichtum der Sachverhalte mit der kybernetischen Methode theoretisch und praktisch zu erschöpfen. Wir dürfen nicht vergessen, fährt er fort, dass sich die Welt nicht auf funktionelle Zusammenhänge reduziert. Mit funktionellen Zusammenhängen meint er die formalen Beziehungen, beraubt aller pragmatischen und empirischen Bedeutungen. Wenn wir den Ausdruck «funktioneller Zusammenhang» durch «behaviorale Relation»

ersetzen, werden wir vielleicht nicht wesentlich von dem, was er damit meint, abweichen. Für eine weitere interessante russische Ansicht über den unverkennbaren Unterschied zwischen der kybernetischen und der menschlichen Intelligenz siehe Kerimovs Arbeit[67]. T. Pavlov[68] jedoch behandelt das Problem des Bewusstseins von einem etwas anderen Gesichtspunkt.

In marxistischen Ländern spricht man frei von dem Bewusstsein, in westlichen Ländern dagegen haben sich bei den Philosophen Hemmungen entwickelt, die den Gebrauch des Wortes Bewusstsein einengen. Ihr Bewusstsein ist in einen behavioristischen «schwarzen Kasten» eingesperrt und wird für lange Zeit weder das Sonnenlicht sehen noch frische Luft atmen. Ich habe einmal diese selbsttäuschende Einstellung des philosophischen Behaviorismus als «Trisimianismus» bezeichnet[54], weil seine Anhänger, wie die berühmten japanischen Affen, sich weigern, die offensichtlichste Realität zu sehen, zu hören oder darüber zu sprechen. Was unbestreitbar vorhanden ist, muss von einem aufrichtigen Philosophen gesehen, gehört und diskutiert werden und in begriffliche Zusammenhänge mit den anderen existierenden Realitäten gebracht werden.

Diese Meinung, die ich im letzten Jahr in einem Artikel in der Zeitschrift «Synthese» zum Ausdruck gebracht habe, sieht das Bewusstsein nicht als einen schweigenden, passiven Schatten des neurophysiologischen Zustandes einer Person an, sondern als aktiven, mit dem neurophysiologischen Zustand reagierenden Prozess. Die Wechselwirkung ist derartig, dass, wenn das Benehmen einer Person von aussen beobachtet wird, die Wechselwirkung als bedeutungslose, unerklärte statistische Schwankungen um das durchschnittliche Benehmen erscheint, das die behavioristischen Gesetze bestimmt. Diese Schwankungen, die den Behaviorismus für bedeutungslos ansieht und unerklärt lässt, entsprechen gerade dem bedeutungsvollsten Inhalt des Bewusstseins. Sie sind die Manifestation der persönlichsten, der individuellsten und der realen Aspekte der Existenz. Dieser Standpunkt kann weder mit dem dialektischen Materialismus noch mit dem philosophischen Behaviorismus in Einklang gebracht werden. Vom dialektischen Materialismus aus gesehen, ist das Bewusstsein, dessen wichtige Rolle zwar anerkannt wird, doch nur ein Epiphänomen der materiellen Substanz. Von unserem Standpunkt aus ist das Bewusstsein genau so wichtig und primär wie die Materie. Mit den Anhängern des Behaviorismus können wir nur zurechtkommen, wenn wir das Bewusstsein gar nicht erwähnen, und uns dabei an das alte Sprichwort halten, das besagt: «Musik sollte man nicht mit Schwerhörigen diskutieren.»

Sein oder Nichtsein des Bewusstseins ist, meines Erachtens, eng mit verschiedenen Funktionsweisen verbunden, die ähnlich wirken wie das Entscheidungsprinzip im kybernetischen Kontrollsystem, das ich oben erwähnte. Siehe Abbildung 1. In der Maschine wird eine Entscheidung oder Wahl deterministisch und logisch von der Struktur, das heisst dem augenblicklichen Zustand der Maschine abgeleitet. Die Struktur hängt von dem gespeicherten Programm und von der Information ab, die in der ganzen Vergangenheit durch die Eingabestation der Maschine gelaufen

ist. Nehmen wir als Beispiel einen Roboter, wie man ihn in den Schaufenstern zur Weihnachtszeit findet. Seine Bewegungen sind vollkommen und eindeutig von dem gespeicherten Programm vorgeschrieben. In komplizierten Fällen muss das mechanische Gehirn die Folgen jeder möglichen alternativen Handlung erwägen und sie mit dem im Programm gespeicherten «Ziel» vergleichen. Dieses Ziel ist jedoch meistens eine festgelegte Situation, und die ausgewählte Handlung daher eigentlich für jede gegebene Eingabe vorherbestimmt. Auch wenn das gespeicherte Ziel sich ändern kann, wird der Weg, auf dem diese Änderung stattfindet, vorherbestimmt. Dasselbe gilt auch für die «lernenden» Maschinen. Bei solchen Maschinen ändert sich die Antwort auf einen gegebenen Reiz, aber diese Änderung ist für eine gegebene Reihe von Reizen vorgeschrieben, denn die «Verstärkung», die die Änderung verursacht, ist wiederum vom Reiz und der Antwort bestimmt. Es ist auch möglich, einen Roboter zu bauen, dessen Betragen ein zufälliges Element enthält, so dass seine Handlungen nur von statistischen Gesetzen bestimmt werden. Wir müssen aber darauf hinweisen, dass jede zufällige Abweichung von dem durchschnittlichen Betragen in einem solchen System nur negativ definiert ist, das heisst, den Schwankungen wird keine Bedeutung zugeschrieben. Bei Menschen dagegen haben gerade die Schwankungen Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist es interessant, festzustellen, dass die sogenannten Programme, die Zufallszahlen erzeugen sollen, in Wirklichkeit Zahlen nach einer ganz fest bestimmten Vorschrift produzieren.

Im biologischen Bereich dagegen vergleicht das Entschlusselement des Menschen nicht die Folgung jeder möglichen Handlung mit einem fest gegebenen «Ziel», sondern es schätzt die Folgen im Licht seines Wertsystems ab. Das Wertsystem ist nicht einfach eine Liste von erstrebenswerten Zielen. Es hat eine flüssige Struktur, dauernd und weitgehend von Gefühlen begleitet, die trotz ihrer scheinbaren Unzuverlässigkeit das Fortdauern des individuellen und kollektiven Lebens sichern. Ein Mensch entscheidet sich nicht für eine Handlung, weil die Nutzfunktion dieser Handlung ein gewisses quantitatives Kriterium befriedigt, sondern weil die Assoziation, die sie verursacht, sein Gefühl anspricht. Der kognitive Prozess ist für die Entscheidung unbedingt notwendig, aber er spricht nicht das letzte Wort. Sogar Entschlüsse einer höchst berechneten Person hängen letzten Endes von ihrem Gefühlsdiktat ab. Menschliche Entschlussfähigkeit kann sich in der Tat erstaunlich schnell für eine einzige Handlung entscheiden, obgleich viele entgegenwirkende Interessen dabei im Spiele sind. Eine Rechenmaschine oder «Fungusfresser»[55] braucht dagegen vielleicht ein Jahrhundert, bevor die logisch und rechnerisch beste Wahl getroffen ist. Kurz, was beim Menschen die Handlung endgültig bestimmt, kann nicht mit rationalen Symbolen repräsentiert werden. Der Roboter und die Rechenmaschine sind allein von diesen Symbolen abhängig. Dieser Unterschied hat nichts mit der Frage zu tun, ob das physikalische Substratum des menschlichen Körpers und das der Rechenmaschinen durch physikalische Gesetze deterministisch und kausal vorherbestimmt sind oder nicht.

Für eine interessante Analyse des Missbrauchs des Begriffes «Zweck» ist Schefflers Arbeit[56] höchst empfehlenswert. Für eine strenge Unterscheidung des Begriffes «Ziel» (der bei Menschen sowie bei Maschinen existiert) und des Begriffes «Wert» (der nur bei Menschen existiert) siehe eine frühere Arbeit vom Verfasser[57].

Ich möchte meine Übersicht über die Kybernetik mit einer These beenden, die ich zwar nicht beweisen kann, aber die, meines Erachtens, der Kybernetik eine endgültige Begrenzung auferlegt. Es ist ein gesundes Zeichen für eine Wissenschaft, wenn man ihre Grenzen festlegen kann, denn eine Wissenschaft ohne Begrenzung ist nicht mehr Wissenschaft, sondern Glaube. Ich vertrete die Meinung, dass Bewusstsein durch die Existenz der Freiheit erweckt wird. Die «Freiheit» der Handlung ist eine Beschreibung vom Standpunkt des Handelnden, die «Unbestimmtheit» der Handlung ist eine Beschreibung vom Standpunkt des Zuschauers. Obgleich Freiheit und Unbestimmtheit nicht dasselbe sind, sind sie nichtsdestoweniger verwandt. Es gibt weder Freiheit noch Unbestimmtheit, wenn die Umstände allein die Handlung bestimmen. Wenn die Handlung nicht eindeutig durch die Umstände bestimmt wird, jedoch Konjunktion der Umstände, der Vorgeschichte und der Struktur des Entscheidenden eine eindeutige Bestimmung erlaubt, dann besteht Freiheit, aber es gibt keine Unbestimmtheit. Wenn eine Handlung nicht durch die Konjunktion der Umstände, der Vorgeschichte und der Struktur des Entscheidenden bestimmbar ist, dann haben wir einen Fall, bei dem Freiheit und Unbestimmtheit beide erhalten sind. In diesem letzten Fall kann man rationell nur mit dem Wahrscheinlichkeitsbegriff an die Handlungen herankommen. Ich neige dazu, zu glauben, dass menschliche Handlungen zu dieser letzten Kategorie gehören. Die Kybernetik befasst sich mit diesen Wahrscheinlichkeitsgesetzen, aber eine Deutung jeder einzelnen Schwankung kann sie nicht erbringen. Jedoch in diesen Schwankungen besteht gerade die subjektive Bedeutung des Lebens und die Würde des freien Menschen.

## BIBLIOGRAPHIE


1. Wiener N.: Cybernetics, 2. Aufl. (MIT-Press, Cambridge, Mass., 1962).
2. — The Human Use of Human Beings, 2. Aufl. (Doubleday, New York, 1956).
3. Tustin A.: Cybernetics and all that, Journ. IEE, Okt. 1955, S. 634.
4. Materialist: Wem dient die Kybernetik? Материалист, Вопросы философии, 5. Band, 1953, S. 148.
5. Kolman E.: Was ist die Kybernetik? З. Кольман, Вопросы философии, 4. Band, 1955, S. 148.
6. Sobolyev et alia: Das Wesen der Kybernetik. С. Л. Соболев, А. И. Китов, А. А. Ляпунов, Вопросы философии, 4. Band, 1955, S. 136.
7. Plato: The Republic, übersetzt von P. Shorey (Harvard University Press, 1943), S. 59.
8. — Gorgias, Verfasser Gonzalez Lodge (Ginn & Co., Boston und London, 1891), S. 224. Siehe auch die Übersetzung von E. M. Cope (Bell and Sons, London, 1883), S. 108.
9. — Gorgias, Auflage Lodges, siehe 8 oben, S. 226. Die Übersetzung von Cope, siehe 8 oben, S. 109.
10. Ampère André-Marie: Essai sur la philosophie des sciences, ou exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines, Première Partie (Bachelier, Paris, 1938), p. vj.
11. — loc. cit., p. vij.
12. — Essai sur la philosophie des sciences, Seconde Partie (Bachelier, Paris, 1843), p. 141.
13. The Encyclopedia Americana (Americana Corporation, New York, 1960), 8. Band, S. 351.
14. Zeitschrift «Kybernetik» (Springer Verlag, Heidelberg und Berlin, 1960).
15. Reifer Mary: Dictionary of New Words (Philosophical Library, New York, 1955).
16. Ruyer Raymond: La cybernétique et l'origine de l'information (Flammarion, Paris, 1954), p. 5.
17. Klaus Georg: Kybernetik in philosophischer Sicht (Dietz Verlag, Berlin, 1961).
18. Couffignal L.: Information et Cybernétique, les notions de bases (Gauthier-Villars, Paris, 1958).
19. Bonsack F.: Information, thermodynamique, vie et pensée (Gauthier-Villars, Paris, 1961), p. 148.
20. Ashby W. R.: Introduction to Cybernetics (London, 1956), Design for a Brain (New York, 1952).
21. Watanabe S.: Manifesto of Fifth Class, 1948, in "He who Points to the Future" (Tokyo, Chuo-Koron Publishing Co., 1949).

22. — Watanabe S.: Comments on Key Issues, in "Dimensions of Mind", Verfasser: Sidney Hook (New York University Press, 1959).
23. — A Quantitative Study of Certain Formal Aspects of Knowing and Guessing (in Vorbereitung) (John Wiley and Sons, New York, 1964).
24. — Information Theoretical Aspects of Inductive and Deductive Inference, IBM J. Research and Develop. 4, No. 2, 208 (1960).
25. — A Quantitative Explication of Inductive Inference, Proceedings of the International Conference on Foundation of Mathematics, Tihany, 1962 (in Vorbereitung) (Gauthier-Villars, Paris).
26. — 1954 Symposium, IRE PGIT Trans. 4, 85 (1954).
— Nuovo Cimento, Supplemento, Vol. 13, Serie X, S. 576 (1959).
— IBM J. Research Develop. 4, 66 (1960).
— Information and Control 4, 291 (1961).
— Proceedings of Section L of AAAS Annual Meetings 1962 (in Vorbereitung).
— Proceedings of Brussels Symposium 1962 of International Academy of Philosophy of Science (in Vorbereitung).
27. — Z. Physik 113, 482 (1939).
28. — Une explication mathématique du classement d'objets, in "Proceedings of the International Academy of Philosophy of Science", 1962 (in Vorbereitung) (Academic Press, 1963).
29. von Neumann J.: Artikel in "The Hixon Symposium": Cerebral Mechanisms in Behavior, Verfasser: L. A. Jeffres (John Wiley and Sons, New York, 1951), p. 1. Shannon C. E.: Proc. IRE 41, 1235 (1953).
30. Collier's Encyclopedia (P. F. Collier and Sons, New York, 1959), Bd. 6, S. 196.
31. Wiener N.: The Human Use of Human Beings, siehe oben Referenz 2, S. 11.
32. Birkoff G. D.: Proc. Nat. Acad. Sci. 18, 650 (1932).
33. von Neumann J.: Quasi Ergodic Theorem, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 18, 70–82 (1932).
34. Wiener N.: Cybernetics (siehe Referenz 1), S. 35.
35. Wiener N.: Cybernetics (siehe Referenz 1), S. 43.
36. Novik E. B.: Kybernetik und Zusammenhang der Wissenschaften, И. Б. Новик, Вестник Академии Наук, СССР, April 1963, S. 54.
37. Bergson H.: Evolution Créatrice (Felix Alcan, Paris) S. 267.
38. Wiener N.: The Human Use of Human Beings (siehe oben Referenz 2), S. 12.
39. Brillouin L.: La Vie, Matière et Observation (Albin Michel, Paris, 1959).
40. Watanabe S.: (Book review) Information and Control 4, 233 (1961).
41. Fujiwhara S.: Jap. J. Astr. Geoph., Vol. 5, S. 143 (1923).
— J. Roy. Met. Soc., Vol. 49, S. 89 (1923).
42. Watanabe S.: Le concept de temps en physique moderne et la durée pure de Bergson, Rev. Metaphys. et Morale, juin 1951, S. 128.
43. — Siehe Referenz 24, insbesondere S. 222.
44. — Learning Process and Inverse H-Theorem, in IRE PGIT Trans. IT-8, No. 5, S. 246 (1962).
45. Ruyer Raymond: La cybernétique et l'origine de l'information, siehe Referenz 16, S. 12, 13.
46. Maruyama M.: The Second Cybernetics: Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes, in "American Scientist", Juni 1963, S. 164.
47. Wiener N.: Cybernetics, siehe Referenz 1, S. 160.
48. Maruyama M.: loc. cit., S. 168.

49. Turing A.M.: Mind, Vol. 59, Oct. 1950, S. 433.
50. Dimensions of Mind, Verfasser: Sidney Hook (New York University Press, 1960).
51. Klaus Georg: loc. cit., S. 45.
52. Klaus Georg: (siehe Referenz 17), S. 92.
53. Novik I.B.: (siehe Referenz 36), S. 60.
54. Synthese, Band XIII, Nr. 4, 261 (1961).
55. Toda M.: Behavioral Science 7, S. 164 (1962).
56. Scheffler I.: Thoughts on Teleology, Brit. J. Phil. of Science, Bd. IX, Nr. 36, S. 265 (1954).
57. Watanabe S.: Man and Machine, Annals of Japan Assoc. for Philosophy of Science, I, 4, S. 12.
58. Probleme der Kybernetik (Übersetzung von Проблемы Кибернетики) (Akademie Verlag, Berlin, 1962).
59. Brillouin L.: Science and Information Theory (Academic Press, New York, 1962), 2. Aufl.
60. de Broglie L.: La cybernétique, etc., Revue d'Optique, Paris, 1950.
61. Wiener N.: Ergodic Theorem, Duke Math. Journal, Bd. 5, S. 1 (1939).
62. Bullock T.H.: Science, Bd. 129, S. 997 (1959).
63. Wiener N.: Cybernetics (siehe Referenz 1), das letzte Kapitel.
64. Tugarinov V.P., Maistrov L.E.: В. П. Тугаринов, Л. Е. Майстров, Вопросы философии, 1950, Nr. 3, S. 331.
65. Klaus G.: loc. cit., S. 219.
66. Kybernetik und Praxis – Neue Beiträge, mit einem Vorwort von Gerda Schnauss, Berlin, 1963. (Die hier gesammelten Artikel sind aus dem sowjetischen Sammelwerk.)
67. Kerimov A.: Kybernetische Intelligenz und Mensch, А. Керимов, Вестник, Серия Экономики, Философии и Права, Leningrad Universität, Bd. 18, Nr. 5, 1963, S. 138.
68. Pavlov T.: Automatische Maschine, Leben und Bewusstsein, Т. Павлов, Научные Доклады Высшей Школы, Философские Науки, Bd. 6, Nr. 1, 1963, S. 49.
69. Paloczi-Horvath G.: Elektronenhirne besiegten das Dogma, Zeitschrift «Der Spiegel», 13. Nov. 1963, S. 88.
70. Poletajew I.A.: Kybernetik, 2. Auflage, übersetzt vom russischen Original. Berlin, 1963.