

W. Ross Ashby
Einführung
in die
Kybernetik

suhrkamp taschenbuch
wissenschaft

suhrkamp taschenbuch
wissenschaft 34

Die *Einführung in die Kybernetik* ist eines der Standardwerke der jungen Wissenschaft Kybernetik, nicht zuletzt durch des Autors didaktisches Geschick der Grundlagenvermittlung. Ashby vermeidet es, für den Laien unnötig verwirrende Bereiche der Elektronik und der höheren Mathematik in seine Einführung einzubeziehen und verwendet statt dessen allgemeinverständliche Beispiele aus dem Alltag. Im ersten Teil geht es um Systeme im allgemeinen, um ihre schematische Darstellung durch Transformation, um Stabilität, Unabhängigkeit und Rückkoppelung. Im zweiten Teil des Buches befaßt sich Ashby mit »Information« im Zusammenhang mit der grundlegenden Theorie Shannons. Zur Erläuterung von Information und Codierung etc. werden zahlreiche Beispiele aus dem Bereich biologischer Forschung herangezogen. Der dritte Teil zeigt Verwendungsmöglichkeiten von Mechanismen und Information für die Regelung und Kontrolle von Systemen. Dabei geht es ebenso um natürliche Systeme (wie das menschliche Hirn), die Gegenstand der Physiologie sind, wie auch um künstliche, das heißt um die Konstruktion von Maschinen, die in ihrer Funktion der des Hirns vergleichbar sind.

W. Ross Ashby
Einführung in die Kybernetik

Suhrkamp

Titel der Originalausgabe: »An Introduction to Cybernetics«. Copyright © by W. Ross Ashby 1956, 1964. Aus dem Englischen von Jörg Adrian Huber. Wissenschaftliche Bearbeitung: Dr. Ing. W. L. Bauer (Abschnitt 1-6.7); Dipl. Ing. V. Krebs (Abschnitt 6.8-9.19); Dipl. Ing. W. Heumann (Abschnitt 9.20- Ende), Institut für Regelungstechnik der Technischen Hochschule Darmstadt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

3. Auflage 2016

Erste Auflage 1974

suhrkamp taschenbuch wissenschaft 34

© Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main 1974

Suhrkamp Taschenbuch Verlag

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das der Übersetzung,
des öffentlichen Vortrags sowie der Übertragung
durch Rundfunk und Fernsehen, auch einzelner Teile.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form
(durch Fotografie, Mikrofilm oder andere Verfahren)
ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert
oder unter Verwendung elektronischer Systeme
verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany

Umschlag nach Entwürfen von
Willy Fleckhaus und Rolf Staudt

ISBN 978-3-518-27634-1

Inhalt

Vorwort des Übersetzer	7
Vorwort	11
Was ist neu?	15
I. Teil, Mechanismen	
Wandel	25
Die determinierte Maschine	46
Die Maschine mit Signaleingang	71
Stabilität	114
Der schwarze Kasten	132
II. Teil, Vielfalt	
Die Größe der Vielfalt	179
Übertragung von Vielfalt	207
Andauernde Übertragung	237
III. Teil, Regelung und Steuerung	
Regelung in biologischen Systemen	282
Erforderliche Vielfalt	293
Der durch Abweichungen gesteuerte Regler	317
Regelung des sehr umfangreichen Systems	352
Verstärkung von Regelung	381
Lösungen zu den Übungen	392
Anmerkungen zum Vorwort des Übersetzers	412
Literaturhinweise	414
Neuere deutschsprachige Literatur zur Einführung in die Kybernetik	416

Vorwort des Übersetzers

Die vorliegende Einführung in die Kybernetik hat neue Aktualität gewonnen durch die ständig sich ausweitende Diskussion über Systemtheorie, die sich von Fachaspekten immer mehr zu einer wissenschaftstheoretischen Allgemeinproblematik verschiebt; weiterhin durch die Flut von Veröffentlichungen über Kybernetik, in denen sich deutlich zeigt, wieviele Wissenschaftsgebiete sie bereits anwenden bzw. sich über ihre Anwendung Gedanken machen.

So erscheinen seit Mitte der sechziger Jahre Fachbücher mehr oder weniger kybernetischen Gehalts, die von Themen der Biologie über solche der Nachrichtentechnik, Elektronik und Programmierung, Datenverarbeitung, Ökonomie, Soziologie, Unterrichtstechnologie, Linguistik, Futurologie, Psychologie, Medizin bis hin zu solchen der Philosophie reichen.

Ashbys Einführung in die Kybernetik scheint uns in besonderem Maße geeignet, die laufende Diskussion durch eine klare Aufgliederung, exakte terminologische Fixierung und das Aufzeigen einer übergreifenden Perspektive zu fundieren und — besonders im deutschsprachigen Raum — neue Anstöße zu liefern.

Zum Teil befinden sich die von Ashby dargestellten Perspektiven mittlerweile im Stadium der Realisierung. So wird die Vereinheitlichung wissenschaftlicher Terminologie — deren Vorzüge er am Beispiel der Vereinbarkeit von Kleinhirn und Servomechanismus aufzeigt — betrieben und damit die gegenseitige Befruchtung von Teilbereichen der Wissenschaft in zunehmendem Maße ermöglicht. (Hier ist nur die Frage, ob nicht eine Verwechslung von Ursache und Wirkung vorliegt, wenn man den Mangel an Interdisziplinarität und die Dysfunktionalität in der bürgerlichen Wissenschaft zum Teil mit der uneinheitlichen Terminologie begründet. Dem edlen Gedanken von der »Unified Science« tritt immer wieder die Konstruktion des Dualismus von Natur- und Geisteswissen-

schaften und nicht zuletzt das Konkurrenzverhalten des in »Einsamkeit und Freiheit« arbeitend sich wählenden Wissenschaftlers entgegen.)

Vor dem Hintergrund eines unausgesprochenen visionären Bildes der Totalität menschlicher »Gesundheit« spricht Ashby von psychischen, sozialen und ökonomischen Krankheiten der Gesellschaft, deren Bekämpfung durch ihre große Komplexität erschwert werde. Diese Feststellung weist auf ein in dieser Ausprägung neues Syndrom hin, nämlich auf das der »Komplexitätsangst«, das wohl zur Zeit am deutlichsten in der Systemtheorie Luhmanns zutage tritt. Man sollte die Gelegenheit wahrnehmen, bei Ashby die ursprüngliche kybernetische Bedeutung von Komplexität, Kompliziertheit und Reduktion etc. nachzulesen. Auch ist es interessant, den Weg von Ashbys selbstregelnden Systemen bis zur Reduktion von Komplexität bei Luhmann zu verfolgen, die, wie Bubner¹ feststellt, sich bei diesem zu einem »philosophischen Prinzip« auswächst. Nach wie vor geht es hier auf den ersten Blick um die gesellschaftliche Reduktionsleistung von übermächtiger Weltkomplexität: »So finden wir heute unbehandelte Psychosen, zerfallende Gesellschaften und zusammenbrechende Wirtschaftssysteme, angesichts derer dem Wissenschaftler nur wenig mehr zu tun bleibt, als die ungeheure Komplexität der Phänomene zuzugeben, denen er sich gegenübersteht«, stellt Ashby im 1. Kapitel fest.² Aber während Ashby seine Methode in den Dienst der Reduktionsleistung stellen will (er betrachtet sie lediglich als Grundlage, auf der Mittel für den Kampf gegen die Komplexität entwickelt werden könnten), ist diese in der Theorie von Luhmann gleich einbegriffen, ist ihr geradezu konstitutiv und bestimmt sich durch eine Konstruktion von systemkonstituiertem vorsprachlichem Sinn, der mittels einer ständig fortschreitenden Vergesellschaftung von »Wahrheit« intersubjektiv zu sichern ist – Reduktionsleistung als Sinn ihrer selbst, als Damm gegen die Flut der Komplexität. Und während ausgerechnet Ashby als Vertreter der Kybernetik, über deren aus seiner Sicht zu enge Anlage in bezug auf gesellschaftliche Probleme er mit seinem »sinn-strukturierten System der Gesell-

schaft hinauswill, Reduktion von Komplexität als Transparenzmachung von ›Krankheiten‹ der Gesellschaft versteht, sammelt Luhmann im Zuge ständiger Reduktionsleistungen ›Wahrheit‹ wie eine Biene den Honig. Wofür, zu welchem Zwecke – nun, man könnte meinen, zur Anlage einer grandiosen Karthothek menschlicher Sinnhaftigkeit, wobei diese Karthothek nicht nur mit jeder Reduktionsleistung wächst, sondern auch den Horizont des noch zu Erfassenden erweitern muß³.

Wenn wir die Überlegung v. Hentigs betrachten, »Komplexität treibt, wo sie Merkmal der Wirklichkeit ist, die Erkenntnis zu weiterer Komplexität und vermehrt, wo sie Merkmal der Erkenntnis ist, die Komplexität der Wirklichkeit; sie konstituiert . . . die Dysfunktionalität der Wissenschaft als kritischer Instanz in der Kultur«⁴, dann wird völlig klar, in welchen *circulus vitiosus* der nützliche und folgerichtige kybernetische Vorgang der Reduktion von Komplexität gerät, wenn man ihn zum *movens* menschlichen Fortschritts verallgemeinert und der Wissenschaft zum Vollzug übergibt: Zwar findet Reduktion tatsächlich erfolgreich statt, und der Wirklichkeit wird ein Stück Komplexität entrissen, aber leider taucht es als eine Art Antimaterie im Bereich der Erkenntnis wieder auf und bewirkt erneut Komplexität im Bereich der Wirklichkeit.⁵ Zwar ist diese neue Komplexität eine qualitativ andere, da, um einigermaßen immanent zu bleiben, der ›chaotischen Praxis‹ abgewonnene, menschlicher Bearbeitung unterworfen, aber das ändert nichts an der begrenzten Kapazität menschlichen Synchrondenkens, und die Praxis hat nichts gewonnen.⁶

Nun soll aber hier nicht zu weit vom Thema abgewichen werden. Allerdings ist die Systemtheorie, wie sie sich bei Luhmann und anderen darstellt, eine der Perspektiven der Kybernetik, deren Weiterentwicklung für die Anwendung auf Probleme der Gesellschaftswissenschaften unerlässlich war. Denn wenn es der Kybernetik um die Herausarbeitung des grundlegenden Zusammenhanges von Steuerung und Regelung des Systems auf der einen und Informationsaufnahme und -wertung auf der anderen Seite geht, um dadurch allgemeine

Gesetzmäßigkeiten zum Zwecke der Analogkonstruktion (Modellierung) auf verschiedenen Wissenschaftsgebieten zu erhalten, so sind ihre Methoden doch, wie Mainzer am Beispiel eines Modells feststellt, »noch behavioristisch in dem Sinne, daß (sie) nur Art und Weise des Informationsaustausches (registrieren), ohne die Systemteile ›Mensch‹ und ›Außenwelt‹ näher zu analysieren (Prinzip der ›Black Boxes‹). Insbesondere sind die Antriebsfaktoren für Aktionen noch nicht untersucht.«⁷

Eine solche Kritik, wie sie Mainzer hier artikuliert, dürfte der entscheidende Antrieb zur Entwicklung von ›sinnstrukturierten‹ Gesellschaftssystemen bei Luhmann bis hin zu einer ›dialektischen Logik‹ der Wissenschaftssprache und einer schrittweisen Rekonstruktion des Erkenntnisprozesses an der Handlungspraxis etwa bei Lorenzen gewesen sein.

Ashby denkt jedoch gar nicht speziell an eine Anwendung seiner Theorie auf den gesellschaftswissenschaftlichen Bereich. Für ihn ist Kybernetik keine Wissenschaft, sondern sie dient der Wissenschaft als fachverbindende Disziplin, u. a. indem sie von der stofflich-energetischen Beschaffenheit realer Systeme abstrahiert und indem sie ihr eigenes Begriffssystem entwickelt. Präzises Analogdenken, wie es hierdurch ermöglicht wird, *potenziert* die Möglichkeiten wissenschaftlicher Erkenntnis.⁸ Dies gilt für fast alle Wissenschaftsbereiche in irgendeiner Form.

Wir müssen uns allen Ernstes die Frage stellen, ob nicht gerade die Kybernetik daran mitwirken könnte, der Philosophie wieder zu ihrem angestammten Führungsplatz unter den Wissenschaften zu verhelfen und so gerade zur Überwindung der menschlichen Misere beitragen könnte, die sie momentan eher zu fördern scheint.

Marburg, im Oktober 1973

Jörg Adrian Huber

Vorwort

Viele Wissenschaftler — wie z. B. Physiologen, Psychologen, Soziologen — haben ein großes Interesse an Kybernetik und an der Anwendung der Methoden und Arbeitsweisen auf ihrem Fachgebiet. Viele von ihnen sind jedoch hiervon durch den Eindruck abgehalten worden, der Anwendung der Kybernetik müsse ein langes Studium der Elektronik und der höheren Mathematik vorausgehen, da sie meinen, diese Fächer und Kybernetik seien untrennbar miteinander verbunden.

Nach der Überzeugung des Autors ist dies unzutreffend. Die grundlegenden Gedanken der Kybernetik sind klar und einfach und bedürfen keines Rückgriffes auf Elektronik; gerade in den Naturwissenschaften erreicht man sehr viel durch die Verwendung einfacher kybernetischer Modellvorstellungen — vorausgesetzt, ein klares Verständnis der ihnen zugrundeliegenden Prinzipien ist gegeben —, wenn auch selbstverständlich für komplizierte Anwendungsbereiche komplizierte Verfahren erforderlich sein können. Es gibt keinen Grund dafür, so glaubt der Autor, daß ein Wissenschaftler nicht in der Lage sein sollte, zu einem umfassenden Verständnis der Grundprinzipien des Faches Kybernetik zu gelangen, wenn es an den Dingen des täglichen Lebens begründet, verstanden und dann sorgfältig Schritt für Schritt weiter ausgebaut wird. Er benötigt dazu lediglich einige mathematische Grundkenntnisse. Dieses Verständnis wird ihm dann helfen, zu beurteilen, welche zusätzlichen Fertigkeiten er für weitere Fortschritte zu erlernen hat. Dabei wird besonders nützlich sein, daß er auf diese Weise die Fähigkeit erhält, solche Vorgehensweisen unbeachtet zu lassen, die für sein Vorhaben bedeutungslos sind.

Eine solche Einführung will das Buch geben. Es beginnt mit alltäglichen Dingen und leichtverständlichen Begriffsbildungen und geht dann schrittweise dazu über, darzulegen, wie sich diese Begriffe spezifizieren lassen und wie sich daraus schließlich solche Themen wie Rückkoppelung, Stabilität, Regelung,

Ultrastabilität, Information, Code und andere Problemstellungen der Kybernetik ergeben. Der Stoff erfordert außer elementarer Algebra keine Kenntnisse der Mathematik. Genauer gesagt basiert die Argumentation an keiner Stelle auf komplizierten Rechnungen wie z. B. Differential- oder Integralrechnung (die wenigen Rückgriffe darauf brauchen nicht beachtet zu werden, da sie lediglich zeigen sollen, wie diese Rechenarten sich zu den behandelten Themen verhalten, falls sie einmal benötigt werden). Abbildungen und Beispiele sind häufiger der Biologie als der Physik entnommen. Überschneidungen zwischen den Büchern *Einführung in die Kybernetik* und *Design for a Brain* [noch nicht ins Deutsche übersetzt, der Übers.] des Verfassers sind geringfügig, so daß die beiden Bücher so gut wie unabhängig voneinander sind. Sie stehen dennoch in enger Beziehung zueinander und können als komplementär aufgefaßt werden; jedes kann zum Verständnis des anderen eine Hilfe sein.

Das Buch besteht aus drei Teilen. Der I. Teil befaßt sich mit den Prinzipien von »Mechanismen« wie z. B. mit der Darstellung der prinzipiellen Zusammenhänge durch eine Transformation, mit der Bedeutung der Begriffe Stabilität und Rückkoppelung, mit den verschiedenen Formen der Unabhängigkeit, die es in einem Mechanismus geben kann, und damit, wie Mechanismen zu einem System gekoppelt werden können. Es werden die Regeln eingeführt, die zu befolgen sind, wenn das System so umfangreich und komplex (wie z. B. Gesellschaft oder Gehirn) ist, daß es nur statistisch erfaßt werden kann. Es wird weiterhin der Fall geschildert, daß das Innere eines Systems nicht vollständig direkter Untersuchung zugänglich ist — die sogenannte Theorie des »schwarzen Kastens«.

(Dabei wird der Begriff »Mechanismus« und später »Maschine« ganz allgemein gebraucht und von der Mechanik losgelöst. Diese Begriffe werden hier auch zur Darstellung des Verhaltens biologischer und soziologischer Systeme verwendet. Anmerkung der Übersetzer.)

Der II. Teil verwendet die in I. entwickelten Methoden, um festzustellen, was unter Information zu verstehen ist und wie sie beim Durchlaufen eines Systems verschlüsselt wird. Diese

Methoden werden auf verschiedene biologische Probleme angewandt. Ferner wird etwas von der Fülle möglicher Anwendungen gezeigt. Es erfolgt auch eine Einführung in die Theorie Shannons, so daß der Leser anschließend ohne Schwierigkeiten zu der Lektüre von Shannons Werk übergehen kann.

Der III. Teil zeigt, wie Mechanismus und Information in biologischen Systemen für Regelung und Steuerung benötigt werden; sowohl in von Anfang an vorhandenen Systemen, mit denen sich die Physiologie befaßt, als auch in den von der Psychologie untersuchten durch Lernvorgänge entstandenen Systemen, und weiterhin, wie Hierarchien solcher Regler- und Steuerungsorgane aufgebaut werden können und wie hierdurch eine Verbesserung der Regeleigenschaften möglich wird. Es wird ein neuer und alles in allem einfacher Überblick über das Prinzip der Ultrastabilität gegeben. Indem die Ansätze aus *Design for a Brain* weiterentwickelt werden, wird die Grundlage für eine allgemeine Theorie komplexer selbstregelnder Systeme geschaffen. So gibt der III. Teil auf der einen Seite eine Erklärung für die enormen Regelfähigkeiten des Gehirns und liefert auf der anderen Seite die Grundsätze für die Konstruktion von Maschinen mit vergleichbaren Fähigkeiten.

Wenn dieses Buch auch als einfache Einführung gedacht ist, so soll es doch nicht nur eine Plauderei über Kybernetik sein — es ist für diejenigen, die sich auf diesem Gebiet einarbeiten wollen und es soweit in den Griff bekommen wollen, daß sie eigenständig weitermachen können. Darum enthält es auch sehr viele leichte, sorgfältig abgestufte Übungen mit Hinweisen und erläuternden Antworten, so daß der Leser während der Lektüre des Buches ständig kontrollieren kann, bis zu welchem Punkt er das Gelesene verstanden hat, und ihm die Möglichkeit gegeben wird, seine neu erworbenen Fähigkeiten anzuwenden. Einige Übungen, die besondere Vorkenntnisse erfordern, sind mit einem Sternchen gekennzeichnet. Wenn man diese Übungen ausläßt, wird dies das Weiterkommen nicht beeinträchtigen.

Um die Bezugnahme zu erleichtern, wurde der Stoff in Abschnitte unterteilt; ich beziehe mich immer auf den jeweiligen Abschnitt. Der Abschnitt wird folgendermaßen angegeben: Ab. 9/14 bedeutet vierzehnter Abschnitt in Kapitel 9. Abbildungen, Tabellen und Übungen wurden innerhalb ihres jeweiligen Abschnittes durchnummeriert; demnach ist Abb.9/14/2 die zweite Abbildung in Ab. 9/14. Bei der einfachen Bezugnahme, z. B. Übg. 4, innerhalb eines bestimmten Abschnitts werden keine weiteren Angaben gemacht. Sobald ein Wort formal definiert wird, erscheint es **fett gedruckt**.

Meine Dankbarkeit möchte ich gegenüber Michael B. Sporn, der die Lösungen überprüfte, zum Ausdruck bringen. Ebenfalls möchte ich diese Gelegenheit benutzen, mich bei den Governors of Barnwood House und bei Dr. G. W. T. H. Fleming für die großzügige Unterstützung zu bedanken, die diese Arbeit erst ermöglicht hat. Wenn sich das Buch auch mit einer Vielzahl von Themen befaßt, so dienen diese doch nur der Erläuterung; das eigentliche Ziel bleibt ständig, darzulegen, welche Regeln bei dem Versuch zu befolgen sind, einem kranken Organismus, der gleich einem menschlichen Kranken von nahezu entmutigender Komplexität ist, seine normalen Funktionen zurückzugeben.

Ich hoffe sehr, daß die hier vermittelten neuen Erkenntnisse zu neuen, wirkungsvolleren Methoden führen; denn diese sind dringend notwendig.

Barnwood House, Gloucester

W. Ross Ashby

1. Kapitel

Was ist neu?

1/1. Wiener hat Kybernetik als »die Wissenschaft von Steuerung und Kommunikation in Lebewesen und Maschine« definiert – mit einem Wort, als die *Kunst des Lotsens*, wie sie ein Steuermann auf dem Schiff ausübt – und von dieser Kunst handelt das Buch. Koordinierung, Regelung und Steuerung sind seine Hauptthemen, denn sie sind von größtem biologischem und praktischem Interesse.

Wir haben es also mit Mechanismen zu tun; es ist jedoch ratsam, dies näher zu erläutern, denn Kybernetik befaßt sich mit diesem Gebiet unter einem neuen und ungewöhnlichen Aspekt. Gäbe es keine Einführung, dann könnte man auf den Gedanken kommen, im 2. Kapitel seien gravierende Fehler unterlaufen. Daher sollten zunächst die neuen Gesichtspunkte ganz klar erfaßt werden, denn jedes unbewußte Schwanken zwischen dem Herkömmlichen und dem Neuen muß Verwirrung stiften.

1/2. Besonderheiten der Kybernetik. Schon so manches Buch erschien unter dem Titel *Theorie der Maschinen*, aber solche Bücher enthalten in der Regel Informationen über *mechanische Belange*, über Hebel und Zahnräder. Kybernetik ist nun ebenfalls eine Theorie der Maschinen; ihr geht es jedoch nicht um Gegenstände, sondern um *Verhaltensweisen*. Sie fragt nicht »Was ist dieses Ding?«, sondern »Was tut es?«. Demgemäß ist der Kybernetiker viel mehr interessiert an einer Aussage wie »Diese Variable befindet sich in einfacher harmonischer Schwingung«, als an der Frage, ob diese Variable die Position eines Punktes auf einem Rad oder ein Potential in einem Stromkreis ist. Er geht somit grundlegend funktional und behaviouristisch vor.

Kybernetik war ursprünglich in mancher Hinsicht eng mit Physik verknüpft, ist aber in keiner Hinsicht abhängig von deren Eigenschaften und Gesetzen. Kybernetik untersucht alle Formen des Verhaltens, die in irgendeiner Weise organisiert,

determiniert oder reproduzierbar sind. Die Art der Materie ist hierfür irrelevant, ebenso wie die Einhaltung von Gesetzen der Physik. (Das Beispiel in Ab. 4/15 wird dies verdeutlichen.) *Die Gesetze der Kybernetik sind nicht von ihrer Ableitung aus anderen Gebieten der Wissenschaft abhängig.* Kybernetik hat ihre eigenen Grundlagen, und teilweise ist es das Ziel dieses Buches, sie zu erläutern.

1/3. Kybernetik verhält sich zur realen Maschine – ob elektronisch, mechanisch, neural, ökonomisch – weitgehend so, wie sich Geometrie zu einem realen Gegenstand auf unserem Planeten verhält. Früher verstand man unter ‚Geometrie‘ Verhältnisse, die man an dreidimensionalen Gegenständen oder zweidimensionalen Diagrammen nachweisen konnte. Die Formen, die die Erde aufweist – tierische, pflanzliche und mineralische – waren viel zahlreicher und vielfältiger als die, welche die Geometrie hervorbringen konnte. Eine Form, die von der Geometrie geschaffen, im normalen Raum jedoch nicht nachweisbar war, galt damals als verdächtig oder wurde zumindest nicht anerkannt: Der normale Raum *beherrschte* die Geometrie.

Heute liegen die Dinge ganz anders. Die Geometrie beansprucht ihre eigenen Rechte, existiert aus eigener Kraft. Jetzt, da sie auf Entsprechungen in der Realität nicht mehr angewiesen ist, befindet sie sich in der Lage, präzise und konsequent einen Bereich von Formen und Räumen auszuloten, der bei weitem über alles hinausgeht, was irdischer Raum hervorbringen kann.

Heute ist es die Geometrie, in der die Formen irdischer Realität enthalten sind, und nicht umgekehrt, denn diese irdischen Formen sind nichts weiter als Sonderfälle in einer allumfassenden Geometrie. Der Gewinn, den diese Entwicklung gebracht hat, braucht hier wohl kaum näher ausgeführt zu werden. Der Geometrie kommt heute die Rolle eines Rahmens zu, in dem alle irdischen Formen ihren natürlichen Platz finden und in dem die Beziehungen der verschiedenen Formen untereinander leicht erfaßbar sind. Diese fortgeschrittene Erkennt-

nis wird begleitet von entsprechend fortgeschrittenen Möglichkeiten des Experimentierens und Forschens.

Ebenso ist es mit dem Verhältnis der Kybernetik zu realen Systemen, nennen wir diese einmal »Maschinen«. Die Kybernetik macht zum Gegenstand ihrer Forschung das Feld aller möglichen Maschinen und ist erst in zweiter Linie an der Tatsache interessiert, daß einige dieser Maschinen noch gar nicht – sei es durch den Menschen oder von der Natur – hergestellt wurden. Kybernetik bildet den Rahmen, in den jede einzelne Maschine eingeordnet, in Relation zu anderen Vertretern ihrer Gattung gesetzt und verstandesmäßig kategorisiert werden kann.

1/4. Kybernetik fühlt sich also von der Kritik, manche Maschinen, mit denen sie sich befaße, seien in unserer Realität nicht vorhanden, gar nicht betroffen. Hierin folgt sie dem Weg, den die theoretische Physik bereits erfolgreich beschritten hat. Diese Wissenschaft hat lange Zeit der Untersuchung von Systemen Vorrang gegeben, die ganz offensichtlich nicht existieren – Federn ohne Masse, Partikel mit Masse, aber ohne Volumen, Gase mit idealen Eigenschaften etc. Die Behauptung, diese Gebilde seien real nicht existent, ist natürlich zutreffend, aber ihre Nichtexistenz bedeutet weder, daß die mathematische Physik pure Phantasie ist, noch veranlaßt sie den Physiker, seine Arbeit über die Theorie der masselosen Feder fortzuwerfen, denn für seine praktische Arbeit ist diese Theorie von unschätzbarem Wert.

Tatsache ist, daß die masselose Feder, wenn auch in der Realität nicht möglich, gewisse Eigenschaften hat, die für den Physiker von höchster Wichtigkeit sind, selbst wenn er nur ein so einfaches System wie das einer Uhr erfassen will. Nach demselben Prinzip handelt der Biologe, wenn er dem *Amphioxus* (Lanzettfisch, der Übers.) oder einer ausgestorbenen Tiergattung nachspürt und ihnen eine Wichtigkeit beimißt, die in völligem Mißverhältnis zu deren heutiger ökologischer und ökonomischer Bedeutung steht.

Auf dieselbe Weise zeichnet die Kybernetik bestimmte Typen

von Mechanismen als von besonderer Bedeutung in der allgemeinen Theorie aus, ohne überhaupt darauf zu achten, ob irdische Maschinen damit etwas gemein haben oder nicht. Erst nachdem die Forschung einen adäquaten Überblick über die *möglichen* Relationen zwischen Maschine und Maschine gewonnen hat, geht sie dazu über, einen kleinen Teil ihrer Bemühungen der Frage zu widmen, welche Formen in der Realität auffindbar sind.

1/5. Nach der gleichen Methode, die in erster Linie mit dem Allgemeinen, Umfassenden arbeitet, behandelt die Kybernetik irgendeine besondere gegebene Maschine nicht, indem sie fragt »Was für eine individuelle Leistung kann sie hier und jetzt vollbringen?«, sondern »Welches sind *alle* möglichen Verhaltensweisen, die sie beherrscht?«.

Hier liegt der Grund dafür, warum in diesem Zusammenhang der Informationstheorie eine wichtige Rolle zukommt, denn sie ist besonders dadurch bestimmt, daß sie sich immer mit einer *Menge* von Möglichkeiten befaßt; sowohl die Daten, die sie zunächst berücksichtigt, als auch ihre abschließenden Stellungnahmen beziehen sich fast immer auf die Menge als solche und nicht auf ein einzelnes Element darin.

Dieser Gesichtspunkt erfordert die Berücksichtigung neuer Arten von Problemen. Unter den alten Gesichtspunkten sah man beispielsweise aus einer Eizelle ein Kaninchen entstehen und fragte sich, wie es zu dieser Entwicklung kommen konnte und warum es nicht einfach eine Eizelle blieb. Die Versuche, diese Frage zu beantworten, führten schließlich zum Studium der Energie und zur Entdeckung mannigfaltiger Gründe dafür, warum diese Eizelle sich verändern konnte und mußte – sie oxidiert ihr Fett und setzt dadurch Energie frei; sie hat phosphorylierende Enzyme und kann so ihre Stoffwechselprodukte dem Krebs-Martius'schen Zyklus aussetzen usw. Für diese Untersuchungen war der Begriff der Energie maßgebend.

Ganz anders und doch ebenso bedeutsam ist der Standpunkt der Kybernetik. Sie setzt als sicher voraus, daß die Eizelle überflüssige freie Energie hat und somit vom Stoffwechsel her

so labil ist, daß sie gewissermaßen explosiv ist. Daraus muß irgendeine Form von Wachstum resultieren; die Kybernetik fragt nun, warum sich die Eizelle ausgerechnet zur Form eines Kaninchens und nicht zu der eines Hundes, eines Fisches oder gar eines Tumors entwickeln soll. Sie faßt eine Menge von Möglichkeiten ins Auge, die viel größer ist als diejenige der tatsächlichen Möglichkeiten und fragt dann, warum in jedem einzelnen Fall die Eizelle sich immer wieder zu derselben üblichen Form entwickelt. In dieser Untersuchung spielt das Problem der Energie so gut wie gar keine Rolle. Die Existenz von Energie wird einfach vorausgesetzt. Sogar die Frage, ob das jeweilige System gegen Energie von außen abgeschlossen ist, ist dabei oft irrelevant; das einzig wichtige ist der Umfang, in dem das System Gegenstand determinierender und steuernder Faktoren ist. Deshalb wird jede Information, jedes Signal, das von einem Teil zu einem anderen gelangt, sorgfältig als bedeutsamer Vorgang registriert. Tatsächlich könnte man Kybernetik definieren als *Erforschung von Systemen, die offen für Energie, aber geschlossen für Information, Regelung und Steuerung sind*, – von Systemen, die ›informationsdicht‹ sind (Ab. 9/19).

1/6. Die Anwendungsbereiche der Kybernetik. Nach dieser kurzen Übersicht über die Kybernetik können wir darangehen, einige Situationen oder Sachverhalte zu betrachten, in denen sie von Nutzen sein könnte. Dabei werden wir unsere Aufmerksamkeit auf diejenigen Anwendungsbereiche richten, die in der Biologie am meisten Erfolg versprechen. Der Überblick kann nur kurz und sehr allgemein sein. Viele Anwendungsmöglichkeiten sind bereits hinreichend erprobt und zu bekannt, als daß sie hier noch erwähnt zu werden brauchten. Viele weitere werden zweifellos noch entwickelt werden. Zwei spezielle wissenschaftliche Eigenschaften der Kybernetik sind es jedoch wert, hier behandelt zu werden. Eine davon ist, daß sie ein einheitliches Vokabular und einen festen Stamm von Begriffen besitzt, die geeignet sind, die verschiedensten Typen von Systemen zu erfassen. Bis vor kurzem wurde jeder Ver-