

3.7 Umgebungsmaschinen

Die drei Konzepte der Homöostase, des Ökosystems sowie des Fließgleichgewichts offener Systeme orientieren in den 1940er und 1950er Jahren die Suche der entstehenden Kybernetik nach universellen Mechanismen der Regulation, die ohne Finalität oder Holismus auskommen. Verfolgt man die Rolle des Begriffs *environment* in diesem überaus breiten und inhomogenen Gebiet, erkennt man zwei Entwicklungslinien: zum einen wird *environment* für die kybernetische Fortentwicklung der systemorientierten Ökologie, die schließlich in den Umweltbewegungen der 1970er Jahre aufgeht, zum zentralen Objekt kontrollierender Maßnahmen, die im nächsten Kapitel ausführlich erläutert werden. Kontrolle ist ebenfalls der Ansatzpunkt der zweiten, vor allem von den britischen Kybernetikern vertretenen Entwicklungslinie, in der *environment* im Rahmen einer allgemeinen Formalisierung von Prozessen des Feedbacks und der Stabilität zur Voraussetzung wird, Organismen und Maschinen formalisieren und letztlich auch bauen zu können. Diese beiden Entwicklungslinien, denen die folgenden beiden Unterkapitel gewidmet sind, teilen viele Ausgangspunkte, führen aber zu unterschiedlichen historischen Konsequenzen, die zunächst anhand des Beispiels einer konkreten Umgebungsmaschine herausgearbeitet werden sollen. Ein entscheidender Unterschied der beiden Linien liegt darin, dass für die Ökologen um Raymond Lindeman, George Evelyn Hutchinson und die Odum-Brüder *environment* als Umgebung ganzer Populationen von Interesse ist, während es den britischen Kybernetikern, allen voran William Ross Ashby, dem Erfinder dieser Maschine, um den Austausch zwischen einem einzelnen Organismus und einer Umgebung geht.

In beiden Kontexten erscheint die Selbsttätigkeit des Organismus als Effekt wie als Ursache der Herstellung von Ordnung und Stabilität in einem nunmehr entropisch gedachten *environment*. Aufbauend auf den Überlegungen von Bertalanffys werden von den in der Ökologie tätigen Kybernetikern wie Hutchinson oder den Odum-Brüdern, aber auch vom Psychiater Ashby Organismen als negentropische Einheiten aufgefasst, die in beständigem Austausch mit der ungeordneten Außenwelt des *environments* stehen, aus der sie Energie und Materie ziehen. Der Faszinationskern dieser Entwicklung liegt darin, solche rückgekoppelten, mit Cannon als homöostatisch verstandenen Systeme aus *environments* und Organismen zu modellieren und zu bauen.²⁷⁸

Damit sind bereits die für die hier verfolgte Perspektive entscheidenden drei Schritte angedeutet: *environments* sind für die Kybernetik erstens zentrale Bausteine ihrer theoretischen Grundlage, weil die Beschreibung einer Organisation –

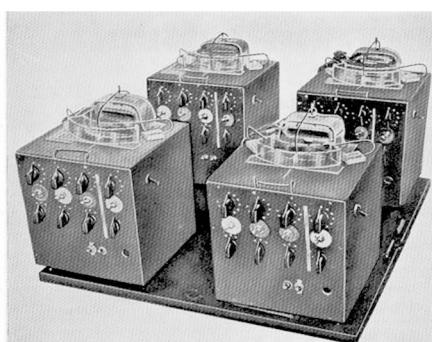
²⁷⁸ Zu Ashbys Begriff des Modells vgl. Bergermann, Ulrike (2015): *Leere Fächer. Gründungsdiskurse in Kybernetik und Medienwissenschaft*. Münster, Lit. S. 308f.

sei sie organisch oder technisch – nicht länger ohne Berücksichtigung ihres Austauschs mit dem *environment* gelingen kann; zweitens sind die *environments* der Kybernetik thermodynamisch als entropische Umgebungen der unwahrscheinlichen Entstehung von Negentropie in organischen Systemen definiert und damit dem bis dahin vorherrschenden naturalistischen Verständnis von *environment* entgegengesetzt; und drittens schließlich wird das *environment* der Kybernetik auf der Grundlage dieser theoretischen Vorannahmen in einer bis dahin ungekannten Systematik durch technische Hilfsmittel zum gestaltbaren Gegenstand regulierender Eingriffen. Die Abgrenzung der Biologie von anderen Wissenschaften durch die Betonung einer Kraft des Lebendigen, die es vom Toten unterscheidet, wird von der Beschreibung allgemeiner Rückkopplungs- und Informationsströme abgelöst, die keinen Unterschied zwischen Lebendigem und Nicht-Lebendigem macht und mit einer thermodynamisch reformulierten Epistemologie des Umgebens Systeme aller Art auf einer Ebene zu behandeln versucht.

3.7.1 William Ross Ashby und der Homöostat

All dies wird paradigmatisch in einer Maschine, deren einzige Funktion darin besteht, ohne Unterlass einen unruhigen Zustand zu erzeugen und sich dann selbst zu beruhigen – der sogenannte Homöostat (von *homoiostásis*, Gleichstand), den der britische Psychiater William Ross Ashby nach jahrelanger Bastelarbeit 1952 auf der neunten Macy-Konferenz in New York den versammelten Kybernetikern präsentierte. Diese Maschine ist nicht nur Symptom eines historischen Bruchs im Denken von Stabilität, sondern auch eine Maschine des Umgebens. Sie markiert damit zugleich die Möglichkeit, auf eine andere Art über Maschinen nachzudenken, die in der Gegenwart wichtig wird.

Abbildung 3.6 – Homöostat mit vier Säulen.



Quelle: Latil, Pierre de (1957): *Thinking by Machine. A Study of Cybernetics*. Boston, Houghton Mifflin. S. 299f.

Der in Abbildung 3.6 zu sehende Homöostat besteht aus vier boxartigen, auf einer quadratischen Platte angebrachten, zu einem elektrischen Stromkreis verbundenen Modulen, die jeweils den Wert ihrer elektrischen Spannung als die zu stabilisierende Variable mittels einer Nadel auf der Oberseite anzeigen, sowie aus einem Stufenschalter namens *uniselector*, der den Widerstand der Stromkreise auswählt.²⁷⁹ Die elektrischen Spannungen der vier Module, in denen separate Widerstände geschaltet sind, sind derart miteinander gekoppelt, dass der Eingangsstrom jedes Moduls von den drei Ausgangsströmen der anderen Module beeinflusst wird. Jede Veränderung eines Moduls wird als Output an die drei anderen Module verteilt und sorgt für Veränderungen in den anderen Modulen und dem betreffenden Modul selbst. Wird eine der Nadeln durch das Verhältnis des geschalteten Widerstands und der dynamischen, vom gesamten Ensemble abhängigen Kapazität des Stromkreises über den Grenzwert von 45 Grad abgelenkt, sorgt ein Relais dafür, dass der in der Mitte angebrachte Stufenschalter im Zufallsmodus den elektrischen Widerstand des betroffenen Moduls wechselt. Der Homöostat verfügt also in den vier Einheiten mit vier Widerständen und vier Kapazitäten über insgesamt 32 Parameter. Der *uniselector* (oder bei manueller Steuerung der Experimentator) wählt zwischen 25 von Ashby nach dem Zufallsprinzip bestimmten Widerständen aus, was bei vier Säulen 390625 Konstellationen ergibt.²⁸⁰

Von diesen Konstellationen versprechen manche ein Gleichgewicht und andere ein Chaos. In ihrer Vielfalt sollen sie trotz ihrer Beschränkung die Unvorhersagbarkeit möglicher Zustände eines Systems im Verhältnis zu seiner Umgebung darstellen.

²⁷⁹ Zum Aufbau der Maschine vgl. die ausführlichen Darstellungen Pierre de Latil, der den Homöostaten in Ashbys Labor beobachtet hat: Latil, Pierre de (1957): *Thinking by Machine. A Study of Cybernetics*. Boston, Houghton Mifflin. S. 299f. Vgl auch Cariani, Peter: »The Homeostat as Embodiment of Adaptive Control«. In: *International Journal of General Systems* 38/2 (2009), S. 139-154.

²⁸⁰ Vgl. Ashby, W. Ross (1954): *Design for a Brain*. New York, Wiley. S. 93f. Katherine Hayles, John Johnston, Peter Asaro, Geoffrey Bowker und Ray-Shyng Chou, Andrew Pickering sowie Jan Müggensburg haben das modellhafte Verhältnis dieser Maschine zum Organismus ausführlich thematisiert. Auf diese Untersuchungen stützen sich die folgenden Ausführungen, erweitern sie jedoch um eine neue Perspektive auf die Bedeutung des environments: Hayles, N. Katherine (1999): *How We Became Posthuman. Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*. Chicago, University of Chicago Press. S. 63ff; Johnston, John (2008): *The Allure of Machinic Life. Cybernetics, Artificial Life, and the New AI*. Cambridge, MIT Press; Asaro, Peter M.: »From Mechanisms of Adaptation to Intelligence Amplifiers. The Philosophy of W. Ross Ashby«. In: Husbands, Phil/Holland, Owen/Wheeler, Michael (Hg., 2008): *The Mechanical Mind in History*. Cambridge, MIT Press, S. 149-184; Bowker, Geoffrey/Chou, Ray-Shyng: »Ashby's Notion of Memory and the Ontology of Technical Evolution«. In: *International Journal of General Systems* 38/2 (2009), S. 129-137; Pickering, Andrew (2010): *The Cybernetic Brain. Sketches of Another Future*. Chicago, University of Chicago Press; Müggensburg, Jan (2018): *Lebhafte Artefakte. Heinz von Foerster und die Maschinen des Biological Computer Laboratory*. Konstanz, Konstanz University Press. S. 196f.

len. Der Zweck der Maschine liegt darin, ein stabiles Gleichgewicht bei wechselnden Voraussetzungen durch Rückkopplung zu finden und zu erhalten, indem die Spannung in jenem Bereich gehalten wird, der als stabil definiert ist. Ein Gleichgewicht zu suchen bedeutet, dass mit jedem Überschreiten der Grenzwerte durch den *uniselector* ein neuer Widerstand ausprobiert wird, bis keine Überschreitung mehr stattfindet. Die negative Rückkopplung mit den anderen Modulen, die beim Erreichen des Grenzwerts zum Wechsel des Widerstands führt, leitet jeweils einen erneuten Ausgleich zwischen den Modulen ein. Jeder dieser Wechsel kann zu chaotischem Ungleichgewicht oder zu einer langsam aus den Fugen geratenden Instabilität führen. Wird der Grenzwert nicht überschritten, schwanken die Spannungen zwar, doch bleiben sie innerhalb der Limits stabil. Eine Überschreitung an einer Stelle ruft ein Ungleichgewicht im ganzen System hervor, welches je nach Intensität auch die anderen Module zum Überschreiten ihres Grenzwerts treibt. Der Endzustand besteht nicht in Stillstand, sondern im beständigen Pendeln zwischen den Grenzwerten. Durch äußere Faktoren – neben den anderen Modulen auch Eingriffe des Experimentators, mechanische Fehler, Korrosionen oder Kurzschlüsse – kann das Gleichgewicht jederzeit aus der Balance geworfen werden. Stillstand könnte die Maschine allenfalls erreichen, wenn eine selbstinduzierte Rückkehr in einen stabilen Zustand so lange nicht möglich wäre, dass sie beschädigt würde und die Stromkreise durchbrennen.

So simpel der mechanische Aufbau der Maschine scheinen mag, so vielfältig sind ihre theoretischen Implikationen. Sie hält als materialisierte Theorie zahlreiche Optionen bereit, über die Verhältnisse von Gleichgewicht und Zweckgerichtetetheit oder von Organismen und Maschinen, nachzudenken. Das stabile Gleichgewicht, das die Maschine durch rekursive Feedback-Schleifen erreicht, ist nichts anderes als ein kontinuierlicher, dynamischer Ausgleich von Ungleichgewichten, die sich bis zur Auflösung der Maschine verstärken würden, wären nicht, ganz gemäß Cannons Konzept, Grenzwerte definiert, an denen der Homöostat auf seinen eigenen Befund reagiert. Er gleicht die ihn konstituierende Unruhe eigenständig aus und erzeugt im Akt der Beruhigung Unruhe in sich selbst. Der Stabilisierungsprozess läuft mit jedem Widerstandswechsel erneut, aber vom Input der anderen Module beeinflusst ab. So wird verhindert, dass die Maschine sich in Ausgleichsversuchen verläuft und in einem chaotischen und damit endgültig stabilen, weil schließlich tödlichen Zustand endet. Das System des Homöostaten ist daher nach Ashbys Definition ultrastabil, weil es durch die Dynamik der Stabilisierung immer eine Lösung für sein Problem, d.h. ein passendes Gleichgewicht im Verhältnis der Widerstände und Spannungen findet. Biologische Systeme müssen Ashby zufolge nicht nur stabil, sondern ultrastabil sein, d.h. in einer ökologischen Relation der Un/Abhängigkeit lose mit dem *environment* gekoppelt sein. Waren sie fest an das *environment* gekoppelt, würden dessen Fluktuationen ihr Fortbestehen bedrohen. Die Autonomie eines solchen Systems ist durch das Verhältnis von Abhängigkeit und

Unabhängigkeit bestimmt, die sich nicht widersprechen, sondern gegenseitige Variablen darstellen.²⁸¹ Um durch einen solchen komplexen Vorgang der Adaption zu Ultrastabilität zu gelangen, muss das System nicht nur eine Feedbackschleife mit seinem *environment* herausbilden, sondern auch seine eigene Organisation durch Feedback seiner Komponenten regulieren. Die Maschine kann sich nicht einfach nur einer gegebenen Situation, sondern einer beständig fluktuierenden Umgebung anpassen und ist damit autonom und abhängig zugleich.

Als gebautes Gedankenexperiment führt der Homöostat die Theorie vor, die er verkörpert. Er zeigt Ashby zufolge, dass ein stabiles Gleichgewicht keinesfalls mit Konstanz oder Starrheit verwechselt werden sollte: »A variable is in stable equilibrium if, when it is disturbed, reactive forces are set up which act back on the variable so as to oppose the initial disturbance. If they go with it, then the variables are in unstable equilibrium²⁸². Zwar gibt es stabile Systeme, in denen alles ruht, etwa einen Stein auf dem Boden, doch ein stabiles Gleichgewicht kann ebenfalls durch komplexe Ausgleichsvorgänge hergestellt werden: »The stable system is restricted only in that it does not show the unrestricted divergencies of instability.²⁸³ Solange keiner der vier Grenzwerte überschritten wird, verhält sich das System des Homöostaten stabil, was aber nicht heißt, dass die Nadelstellungen konstant bleiben, sondern dass alle Ungleichgewichte beständig ausgeglichen werden, ohne dass die Grenzwerte überschritten würden. Die Nadeln tanzen ununterbrochen zwischen den Grenzwerten. Auch ein schwingendes Pendel befindet sich in stabilem Gleichgewicht. Solche Ausgleichsbewegungen sind, wie Ashby in seinem am Beginn der Arbeit am Homöostaten stehenden Aufsatz »Adaptiveness and Equilibrium« von 1940 argumentiert, das zentrale Charakteristikum aller Vorgänge des Lebens und vielleicht auch bestimmter Maschinen: »Stable equilibrium is necessary for existence, and systems in instable equilibrium inevitably destroy themselves.²⁸⁴ Ashby erforscht in diesem Sinne die adaptiven Leistungen des Nervensystems: der Begriff des Systems taucht in seinem 1954 erschienenen Buch *Design for a Brain* auf nahezu jeder Seite auf. Das Konzept des Nervensystems steigt seit dem 18. Jahrhundert zum Selbstverständigungskonzept westlicher Kulturen auf, weil mit seiner Hilfe die Erregungen, Stimmungen und Spannungen der entstehenden Industriekultur erklärt und auf die inneren Zustände der umgetriebenen Menschen bezogen werden konnten. Nerven verbinden in diesem Sinne das sensible Innenleben von Indi-

²⁸¹ Vgl. Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 155.

²⁸² Ashby, W. Ross: »Adaptiveness and Equilibrium«. In: *British Journal of Psychiatry* 86/362 (1940), S. 478-483. Hier: S. 479.

²⁸³ Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 56.

²⁸⁴ Ashby: »Adaptiveness and Equilibrium«. S. 482.

viduen mit den Reizen einer zunehmend vielschichtiger werdenden Außenwelt.²⁸⁵ Adaption, für Ashby die charakteristische Leistung des Nervensystems komplexer Lebewesen, besteht im Ausgleich von Ungleichgewichten und weist darin nervöses Verhalten auf, weil der eigene Zustand wie der Zustand der Umgebung in zukünftiges Verhalten eingespeist werden.

Als elektromechanische Maschine wechselt der Homöostat sehr langsam zwischen Zuständen. Das Erreichen eines vorläufig stabilen Gleichgewichts kann Stunden oder gar Tage dauern. Ihm zuzusehen muss, wie man dem Augenzeugebericht Pierre de Latils entnehmen kann, eine durchaus anstrengende Angelegenheit gewesen sein.²⁸⁶ Ashbys britischer Kollege Grey Walter findet daher den treffenden Namen *machina sopora*, schlafende Maschine.²⁸⁷ Auch die Unterscheidung von stabilen und instabilen Zuständen ist nicht immer eindeutig, weil die Nadeln in beide Richtungen ausschlagen und selbst ein Zustand mit starken Schwankungen stabil sein kann, während Veränderungen oft für lange Zeit kaum erkennbar sind. Im Unterschied zu lebendigen Wesen soll der Homöostat jedoch als Prototyp einer ultrastabilen Maschine idealerweise immer die jeweils möglichen Endzustände erreichen, solange die Stromzufuhr gesichert ist und die Mechanik nicht ausfällt. Besonderes Augenmerk richtet Ashby auf die Möglichkeit, als Experimentator direkt in den Stromkreis einzugreifen, In- und Outputs zu vertauschen oder einzelne Module auf konstante Spannungen einzustellen, um unterschiedliche Varianten adaptiven Verhaltens zu studieren.²⁸⁸ Der Homöostat dient ihm als experimentelles Objekt wie als Vorführgegenstand. Doch er bleibt ein Einzelexemplar und zu einer Weiterentwicklung kommt es nicht. Später verwirft Ashby sein Modell als nicht komplex genug. Alternative, elektronische statt elektromagnetische Versuche eines multistabilen Systems mit weitaus mehr Variablen unter dem Namen DAMS (*Dispersive and Multistable System*) scheitern.²⁸⁹

Im Kontext der Kybernetik, die zu dieser Zeit zum Heilsversprechen der Nachkriegszeit aufsteigt, formuliert Ashby eine Theorie adaptiver Maschinen, die weniger nach deren Zweck, Verwendung oder Wesen als nach deren Organisation fragt

²⁸⁵ Vgl. Asendorf, Christoph (1984): *Batterien der Lebenskraft. Zur Geschichte der Dinge und ihrer Wahrnehmung im 19. Jahrhundert*. Berlin, Anabas sowie Sarasin/Tanner (Hg., 1998): *Physiologie und industrielle Gesellschaft*

²⁸⁶ Vgl. Latil (1957): *Thinking by Machine*. S. 299.

²⁸⁷ Walter, Grey (1963): *The Living Brain*. New York, Norton. S. 123.

²⁸⁸ Jan Müggensburg hat argumentiert, dass der Eingriff des beobachtenden Experimentators für das Verständnis des Homöostaten zentral ist, weil dieser der Maschine eine Bedeutung zuweist und sie zum wissenschaftlichen Modell macht (vgl. Müggensburg (2018): *Lebhafte Artefakte*. S. 196f.).

²⁸⁹ Vgl. Pickering (2010): *The Cybernetic Brain*. S. 122 sowie Cariani: »The Homeostat as Embodiment of Adaptive Control«. In: *International Journal of General Systems* 38/2 (2009). Bezeichnenderweise sind in der zweiten Auflage von *Design for a Brain* von 1966 alle Verweise auf das DAMS getilgt.

und vor dem Horizont technischer Umsetzung operiert. Mit dem Selbstverständnis einer Universal- oder Metawissenschaft untersucht die Kybernetik seit den ersten Macy-Konferenzen der späten 1940er Jahre Prozesse der Steuerung und Regulierung in Maschinen, lebenden Wesen und sozialen Organisationen.²⁹⁰ Im interdisziplinären Verbund gehen die Kybernetiker davon aus, dass alle diese Bereiche von den gleichen formalen Abläufen der Regulation zur Herstellung von Ordnung im Ausgleich mit fluktuierenden Umgebungsvariablen geprägt sind. Sie ringen mit dem Gedanken der Wiedereinspeisung des Beeinflussten in das Beeinflussende und der Wechselwirkung des Umgebenden mit dem Umgebenen. Mit einem von von Bertalanffy inspirierten Systembegriff ersetzt Norbert Wiener als federführender Protagonist den Zweckbegriff, der als Teleologie oder Finalismus lange Zeit die Beschreibung von Organisationen dominiert und vitalistische, d.h. nicht aus der Organisation selbst folgende Deutungen nahegelegt hatte.

In ihrem erst mit Verspätung einflussreichen, Aufsatz »Behaviour, Purpose and Teleology« definieren Wiener, der ebenfalls in der Rüstungsforschung des Zweiten Weltkriegs tätige Julian Bigelow sowie der ehemalige Cannon-Mitarbeiter Arturo Rosenblueth 1943 auf nur knapp sieben Seiten in radikaler Abkehr von der aristotelisch-kantianischen Tradition die Zielgerichtetetheit eines Organismus als das Ausführen einer durch zirkuläre Kausalität und negatives Feedback erreichten zweckgerichteten Handlung.²⁹¹ In dieser Hinsicht untersuchen die drei Autoren den Output eines Systems unter Berücksichtigung des Inputs seines *environments*. Was dazwischen geschieht, ist nur von relativer Bedeutung. Allein anhand dessen, was von außen eingespeist wird und was am Ende messbar ist, will man, Fragen des Bewusstseins umgehend, Verhalten erklären. Organisation wird somit auf Prozesse der Regulation zurückgeführt. Die Autoren kritisieren, dass mit der notwendigen Abkehr von der Teleologie auch der Zweckbegriff verabschiedet wurde, der aber nun, mit den neuen Erkenntnissen der Kybernetik, wieder fruchtbar werden könnte.

Demnach bedeutet Feedback, so die auf der von der Macy-Foundation 1942 ausgerichteten Konferenz *Problems of Central Inhibition in the Nervous System* diskutierte These, das kontinuierliche Zirkulieren von Information, wodurch die Organisation reguliert werden kann, indem eine bestimmte Form aufrechterhalten wird oder ein Prozess stabil abläuft. Homöostase erscheint damit als Effekt von Feedback. Kontrolle muss nicht durch einen externen Beobachter oder eine bewusste Instanz vollzogen werden, sondern wird in Organismen und Maschinen dadurch gewährleis-

²⁹⁰ Vgl. die von Heinz von Foerster erstellten und von Claus Pias neu herausgegebenen Konferenzprotokolle in: Pias, Claus (Hg., 2005): *Kybernetik – Cybernetics. Band 1*. Berlin, Diaphanes.

²⁹¹ Vgl. Rosenblueth, Arturo/Wiener, Norbert/Bigelow, Julian: »Behaviour, Purpose and Teleology«. In: *Philosophy of Science* 10/1 (1943), S. 18-24. Vgl. dazu auch Seibel (2016): *Cybernetic Government*. S. 91f.

tet, dass das überlebensnotwendige bzw. funktionssichernde Verhalten mit seinen Auswirkungen rückgekoppelt ist.²⁹² Während positives Feedback für Verstärkung sorgt, erreicht negatives Feedback als Selbstbegrenzung durch den Ausgleich von Ungleichgewicht eine kontinuierlich bedrohte Stabilität. Diese dynamische Stabilität ersetzt wie die Homöostase die Linearität der klassischen Kausalität von Ursache und Wirkung durch eine zirkuläre Kausalität, die ihre eigenen Effekte in den Kreislauf einspeist. Dafür muss, wie etwa in kybernetisch gesteuerten Flugabwehrwaffensystemen, die auf diese Weise funktionieren, beständig Information über den aktuellen Zustand des Systems gesammelt werden.²⁹³ Die Organisation basiert also auf der Zirkulation von Information über Zustände, was Wiener einige Zeit später zusammenfasst: »For any machine subject to a varied external environment to act effectively it is necessary that information concerning the results of its own action be furnished to it as part of the information on which it must continue to act.«²⁹⁴

Während im biologisch gedachten Fließgleichgewicht von Bertalanffy der negentropische Organismus durch den Austausch von Energie und Materie mit der entropischen Umgebung verbunden ist, kommt in der Kybernetik die Dimension der Information hinzu. Wiener und seine Kollegen wollen alle Prozesse der Organisation auf die Ebene der Informationsübertragung zurückführen, berechnen und in konkreten Techniken implementieren, um Menschen und Maschinen miteinander zu integrieren. Vor allem die britischen Kybernetiker entwickeln in den 1950er Jahren auf der Grundlage dieses Ansatzes Maschinen oder Automaten, für die der Homöostat beispielhaft steht. Sie sollen sich selbst organisieren und damit eine Fähigkeit aufweisen, die bis dahin allein Organismen zugesprochen worden war: Sie bringen Finalität aus ihrer Organisation hervor. Weil diese Prototypen, meist in Handarbeit gefertigten Gerätschaften, ebenso in theoretische Vorannahmen über die Rolle des *environments* eingebunden wie technische Umsetzungen seiner Bedingungen sind, wird an ihnen – und ganz besonders an Ashbys Homöostaten – eine kybernetische Umformung der Dyade deutlich. Diesen Maschinen geht es um nichts weniger als um den Nachbau des verschränkten Verhältnisses von *environ-*

²⁹² Ashby hat dieses informationstheoretische Modell des Feedback 1962 ausführlich dargestellt:
Ashby, W. Ross: »Principles of the Self-Organizing System«. In: Foerster, Heinz von/Zopf, G. W. (Hg., 1962): *Principles of Self-Organization. Transactions of the University of Illinois Symposium*. London, Pergamon Press, S. 255–278.

²⁹³ Vgl. Galison, Peter: »The Ontology of the Enemy. Norbert Wiener and the Cybernetic Vision«. In: *Critical Inquiry* 21/1 (1994), S. 228–266.

²⁹⁴ Wiener, Norbert (1950): *The Human Use of Human Beings*. New York, Houghton Mifflin Harcourt. S. 24.

ment und *organism*, was impliziert, dass seine Grundlagen in Technik und damit in kybernetische Informationsübertragung und Kontrolle übersetzbare sind.²⁹⁵

Die Kybernetik Ashbys erfasst Lebewesen – oder Maschinen – nicht als isolierte Wesen, sondern in ihrem Wechselverhältnis mit dem *environment*. Daraus folgt die Notwendigkeit, die regulativen Stoff- und Energieströme zu beschreiben, die zwischen ihnen fließen, wie es etwa die Odum-Brüder in den 1950er Jahren fordern werden. Die Herausforderung besteht darin, mit der Komplexität möglicher Außenzustände umzugehen, mit denen ein Organismus – oder eine Maschine – bei der Aufrechterhaltung seiner Organisation konfrontiert sein kann. Die Kybernetik, wie sie auf den Macy-Konferenzen diskutiert wird, verbindet in diesem Kontext die zu dieser Zeit virulenten Konzepte des Gleichgewichts und der Kontrolle in offenen Systemen mit der technischen Gestaltung mechanischer oder biologischer Zusammenhänge. Sie unterläuft so die tradierte Differenz von Maschine und Organismus.

3.7.2 Katzen und Kohle – Adaption als Feedback

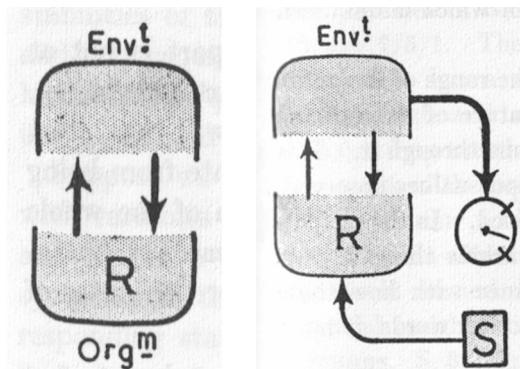
In seiner Beschreibung des Homöostaten in *Design for a Brain* verweist Ashby auf eine Reihe von Diagrammen, die er an einer anderen Stelle des Buches eingeführt hatte, um die gegenseitige Abhängigkeit eines Organismus von seinem *environment* darzustellen. Ashbys Beispiel ist das Verhalten eines Lebewesens bei Gefahr in seiner Umgebung: eine junge Katze reagiert erst bei Schmerz, wenn ein glühendes Stück Kohle aus dem Feuer in ihre Richtung fällt. Eine erfahrene Katze hat gelernt, sich schon beim ersten Anzeichen der Gefahr in eine sichere Entfernung zu begeben. Sie hat die Parameter ihres Verhaltens den instabilen Variablen der Umgebung angepasst, um zu überleben. Die junge Katze, die noch nie einem Feuer begegnet ist, kennt die physiologischen Limits ihres Körpers noch nicht. Sie kann sie nur lernen. Aus dem unadaptierten wird ein an diese Umgebungsfaktoren adaptiertes Lebewesen.

295 Auf vergleichbare Weise erzeugt das *Soft Control Material*, ein flexibler, sich dem Umgebenen anpassender, als taktiles Medium gedachter Schaumstoff ein *environment* und nimmt damit eine ähnliche Position ein wie der Homöostat. Von den Kybernetikern Avery R. Johnson und Warren M. Brodey gut zehn Jahre später entwickelt, soll sich dieser Stoff ohne programmierbare Algorithmen oder zentrale Steuereinheit an äußere Faktoren anpassen. Auch *Soft Control Material* hat keine weitere Funktion als die Manifestation eines Umgebungsverhältnisses. Larry Busbea hat dieses Material entsprechend als Indiz für die unter Kybernetikern verbreitete Suche nach gestaltbaren, programmierbaren *environments* gedeutet: »SCM was less a design object than a machine for making environments tangible. [...] It is object, environment, and organism simultaneously, it is both inside and outside, micro- and macrocosm, something to be grasped that might yet grasp and encircle the user.« Busbea, Larry D.: »Soft Control Material. Environment and Design c. 1970«. In: *Journal of Design History* 30/2 (2016), S. 139–156. Hier: S. 151.

Abbildung 3.7 zeigt das direkte Verhältnis der Katze zu ihrer Umgebung. Die Pfeile markieren die sinnlichen und motorischen Kanäle, die beides miteinander verbinden. R ist als das System definiert »that acts when the kitten reacts to the fire – the part responsible for the overt behaviour«.²⁹⁶ Dieses Diagramm reicht Ashby aber noch nicht aus, um die Vorgänge adäquat zu beschreiben, denn es fehlt eine Spezifizierung der beeinflussenden und beeinflussten Faktoren, deren Kenntnis eine Bestimmung der Adoptionsvorgänge erst möglich macht. Ashby fährt daher fort, das Diagramm in Abbildung 3.8 schrittweise zu verfeinern. Die Katze wird von bestimmten Parametern beeinflusst, die sich auf ihr Verhalten, aber nicht direkt auf das *environment* auswirken, so etwa die Schmerzgrenze. Diese Parameter laufen als S auf den Organismus zu. Im nächsten Schritt fügt Ashby die Variablen ein, die über das Überleben entscheiden, also im genannten Beispiel die lebensgefährliche Hitze der Kohle. Die Katze kann ihre Organisation nicht direkt an diese Variable anpassen, weil sie nicht zu einem unbrennbaren Wesen werden kann, weshalb diese Variable im Diagramm nur mit dem *environment* verbunden ist. Der Ort der Variablen wird mit einer Skalenscheibe mit Zeiger gekennzeichnet, denn entscheidend ist, dass die Variablen innerhalb der physiologischen Grenzwerte bleiben, die für das jeweilige Verhältnis zum Organismus wichtig sind. All dies führt schließlich im letzten Schritt zu einem Diagramm, in dem der Organismus und das *environment* durch zwei Feedback-Schleifen verbunden sind: die direkten, motorischen und sinnlichen Verbindungen aus der ersten Zeichnung einerseits, die jedoch nicht das Verhalten der Katze erklären. Deshalb muss es andererseits eine Verbindung von den Variablen zu den Parametern geben, etwa durch die Schmerzempfindung. Dieser indirekte und langsame Feedbackkanal verschränkt die Fluktuationen der Umgebung mit den Überlebensbedingungen des Organismus. Der Pfeil zwischen der Skalenscheibe und S kennzeichnet in diesem Sinne mögliche Überschreitungen der Grenzwerte und damit das Auftreten eines bestimmten, auf diese Überschreitung reagierenden Verhaltens. S kann somit, wie Ashby unterstreicht, zwei Zustände annehmen und in einem angemessenen und einem unangemessenen Verhalten resultieren. Von den Eigenschaften und Qualitäten der Umgebung oder des Organismus muss dafür nichts bekannt sein: Es handelt sich um Black Boxes.

²⁹⁶ Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 80.

Abbildung 3.7 und 3.8 – Regelkreis zwischen Organismus und environment.



Quelle: Ashby, W. Ross (1954): *Design for a Brain*. New York, Wiley. S. 80 und 81.

Adaption besteht also darin, so fasst Ashby seine Erkenntnisse zusammen, dass der Organismus anhand der Einflüsse des *environments* seine lebenswichtigen Variablen so kontrolliert, dass sie innerhalb der Grenzwerte bleiben. Dies gelingt, indem er seine Umgebung derart gestaltet, dass sie seinen Parametern angemessen ist. Exakt dieses Schema versucht Ashby mit dem Homöostaten zu modellieren. Die Module agieren je nach Beobachtungsperspektive als Umgebung der anderen Module oder als in Frage stehende Lebewesen. Die Nadeln zeigen die Grenzwerte der Spannungsvariable, deren dauerhaftes Überschreiten der Organismus nicht verkraften würde.

In seinen theoretischen Überlegungen stellt Ashby sogenannte *step-functions* in den Vordergrund und begründet damit die These, dass in einem System eine Überschreitung des Grenzwerts zu einem Sprung in einen anderen Zustand führe.²⁹⁷ Der *uniselector* funktioniert also diskret, während der Strom analog ist. Dieser Punkt wird von den Konferenzteilnehmern und Teilnehmerinnen, denen Ashby 1952 den Homöostaten vorführt, streng debattiert, denn im Gegensatz zu den bis dahin prominenten Annahmen über Stabilität integriert Ashbys Modell mit dem *uniselector* einen *trial-and-error*-Prozess, in dessen Verlauf ein Zustand prozessiert wird, in dem der Grenzwert nicht mehr überschritten wird. Die Voraussetzung dafür ist, dass das *environment* für den Organismus, wie von Ashby am Beispiel der Katze durchgespielt, eine Black Box darstellt, er also keine Information über dessen Zustand hat, sondern ihn lediglich variable Energieflüsse erreichen. Dies ist beim Homöostaten der Fall: einzige die übertragenen Spannungen verbinden die

²⁹⁷ Ebd., S. 87.

Module, während der *uniselector* nach dem Zufallsprinzip verschiedene Zustände durchgeht.

Die theoretische Grundlage seiner Maschine beschreibt Ashby vor den TeilnehmerInnen der Macy-Konferenz als Ausgleich mit dem *environment* durch Prozesse der Regulation. Der Organismus ist damit eine abhängige Variable: »Consider the environment as a transducer, as an operator that converts whatever action comes from the organism into some effect that goes back to the organism. Let the environment be represented by the operator, E. The organism's problem is to convert its brain into an operator, which might be represented by E^{-1} . It must be the inverse operator, in a sense, to E, because if a disturbance, starting at some point, throws the essential variables off their proper values, by the time the disturbance has been around the circuit the effect must be negative so as to get the inverse change coming back to the essential variables.«²⁹⁸ Das Nervensystem des Organismus muss also auf einen Zustand des *environments* so reagieren, dass sein eigener Zustand sich invers dazu verhält und durch Feedback an den Variablen des *environments* orientiert bleibt. Das Produkt von E und E^{-1} soll ein stabiler Zustand sein: »The instructions of what is appropriate must come, ultimately, from the environment, for what is right for one environment might be wrong for another.«²⁹⁹ Ashby definiert *environment* entsprechend als »those variables whose changes affect the organism, and those variables which are changed by the organism's behavior«³⁰⁰. Sein Homöostat befindet sich genau dazwischen und erlaubt es, mit dem Verhältnis beider Seiten zu experimentieren.

Mit E konfrontiert, muss der Organismus eine Lösung für E^{-1} finden, um zu überleben. Eben diesen Prozess bildet Ashby mit dem Homöostaten technisch nach, ohne aber spezifische Einweg-Lösungen zu implementieren, die immer nur für eine Art von E gültig sind. Denn dann wäre aus der Anpassung an die Offenheit des *environments* ein simpler Reflex geworden. Entscheidend ist also, dass es mehrere gültige Lösungen geben kann. Es ist ebenso möglich, dass das System keine Lösung findet. Adaption ist kein beliebig offener Vorgang, sondern hängt, so Ashby im Sinne Cannons, an den Grenzwerten einzelner Variablen bzw. ihrer Abstimmung zwischen *environment* und *organism*. Diese Beobachtung ermöglicht es, von der Mannigfaltigkeit möglicher *environments* oder gar dem großen Ganzen des *environments* im Singular abzusehen und sie auf eine handhabbare Größe zu reduzieren. »What I am suggesting is that there is a form intermediate between the environment in which everything upsets everything else and the environment which is cut into parts. This intermediate type of environment is common and is of

²⁹⁸ Ashby, W. Ross: »Homeostasis (1956)«. In: Pias, Claus (Hg., 2005): *Kybernetik – Cybernetics. Band 1*. Berlin, Diaphanes, S. 593–619. Hier: S. 594.

²⁹⁹ Ebd., S. 595.

³⁰⁰ Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 36.

real significance here; it is an environment that consists of parts that are temporarily separable, and yet by no means permanently separable.«³⁰¹ Was als *environment* gilt, hängt also von den jeweiligen Relationen ab. »What I want to consider is the problem that faces learning organisms, the mammals particularly, the ones that have the power of developing an adaptive reaction to any one of an almost unlimited number of environments.«³⁰² Die Lösung vermutet Ashby auf der Ebene der Information über die Bedingungen der Anpassung an *environments*, also in den Grenzwerten des Überlebens. Zwischen einem lebendigen Organismus und seinem *environment* herrschen auf zahlreichen Ebenen Abhängigkeiten. Eine zentrale Herausforderung besteht daher in der Identifizierung der entscheidenden Faktoren, mit denen sich das Verhältnis modellieren lässt.

3.7.3 System und *environment*

Diese rein funktionale Definition von *environment* hat zwei Folgen: erstens ist die Unterscheidung von *environment* und Organismus »partly conceptual, and to that extent arbitrary«.³⁰³ Ihre Grenze hängt vom Beobachter ab. Was im Kontext einer Beobachtung zum *environment* gehört, kann im Kontext einer anderen Beobachtung zum Organismus gehören. Auch die zweite Folge desubstantialisiert das *environment*: Es besteht aus dem, was eine Funktion auf den Organismus hat bzw. von ihm affiziert werden kann. »Given an organism, its environment is defined as those variables whose changes affect the organism, and those variables which are changed by the organism's behaviour.«³⁰⁴ Es gibt also kein *environment* an sich, sondern nur Umgebungsverhältnisse, deren unterschiedliche Seiten situativ bestimmt werden können.

Mit Hilfe dieser Formulierungen strebt Ashby eine mathematisch klare Bestimmung der Dyade an und fordert eine symbolische – und damit technisch reproduzierbare – Definition des Verhältnisses von Organismus und *environment*, wie er sie in *Design for a Brain* bereits in Grundzügen entwirft. Auf diesem Weg kann eine mechanistische, deterministische Erklärung des Gehirns mit adaptiven, rückgekoppelten Prozessen vereinbart werden, die bis dahin auf eine zugrundeliegende Teleologie oder auf Bewusstsein zurückgeführt wurden. Auf die Frage des Physikers James Z. Young, ob er mit seiner Präsentation den Mathematiker oder den Biologen adressiert, antwortet Ashby in New York deutlich: »The mathematician.«³⁰⁵ Organisation und die Anpassung an ein *environment* sind zu Fragen der Modellierung und Formalisierung geworden.

³⁰¹ Ashby: »Homeostasis (1956)«, S. 600.

³⁰² Ebd., S. 595.

³⁰³ Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 40.

³⁰⁴ Ebd., S. 36.

³⁰⁵ Ashby: »Homeostasis (1956)«, S. 595.

Bereits 1947, also fünf Jahre vor der Präsentation des Homöostaten, versucht Ashby in seinem Aufsatz »Principles of the Self-Organizing Dynamic System« zu zeigen, dass eine Maschine zugleich in ihren Aktionen strikt determiniert sein und eine selbstinduzierte Anpassung ihrer Organisation einleiten kann. Bei diesem für die Ökologie zentralen Verhältnis von Autonomie und Determination handelt es sich, so Ashby, um »a fundamental problem in the theory of nervous systems«³⁰⁶. Indem sie sich selbst in Abhängigkeit von ihrer Umgebung organisiert, soll die Maschine, der Ashbys Interesse gilt, als »determinate physico-chemical system [...] that can undergo ›self-induced‹ internal reorganisations resulting in changes of behaviour«³⁰⁷ auf die unvorhersagbaren Schwankungen des Außen reagieren, indem sie nervös wird, ohne ihr Gleichgewicht zu verlieren. Innere Harmonie und Ausgeglichenheit können keine Lösung sein, denn die Herausforderungen der Umgebung erfordern ständige Anpassung.

Am Homöostaten zeigt sich, wie weit sich die Kybernetik vom klassischen Streit zwischen Vitalismus und Materialismus entfernt hat. Der Mechanismus, von dem Ashby spricht, ist also nicht mit dem des 19. Jahrhunderts identisch, für den alle kausalen Verknüpfungen determiniert sind, sondern basiert auf den Erkenntnissen der probabilistischen Mechanik. Ashbys Konzept der Maschine will mechanistisch, aber nicht reduktionistisch sein, insofern die Zustände des Systems aus dem Zusammenwirken seiner Bestandteile erklärt werden sollen, ohne ihre Kausalitäten zu simplifizieren. Ein gänzlich mechanisches System soll in diesem Sinne zweckgerichtetes Verhalten hervorbringen. Solche Relationen drückt Ashby vor allem in seiner 1956 erschienenen *Introduction to Cybernetics* mathematisch aus, was konzeptionell einen Ausgangspunkt für die daran anschließende Robotik und die Erforschung künstlicher Intelligenz darstellt.³⁰⁸ Dazu entwickelt er die mathematischen und logischen Grundlagen eines Verfahrens, das nicht auf jener Rechenkraft beruht, um die es den intelligenten Maschinen dieser Zeit geht, d.h. auf John von Neumanns Ansatz der Informationsverarbeitung durch Symbolmanipulation. Vielmehr wird das Verhältnis des Systems zu seiner Umgebung operationalisiert, um die Potentiale der selbsttätigen Adaption an komplexe Zustände zu erforschen. Ashbys Homöostat ist daher nicht als Nachbau des Nervensystems zu verstehen, sondern als Modell eines Systems für adaptives Lernen. Als selbstregulierendes und rückgekoppeltes Netzwerk kann sich der Homöostat an wandelbare Umgebungen

³⁰⁶ Ashby, W. Ross: »Principles of the Self-Organizing Dynamic System«. In: *The Journal of General Psychology* 37/2 (1947), S. 125-128. Hier: S. 125. Dieser Aufsatz wird 1962 in einem von Heinz von Foerster herausgegebenen Tagungsband ohne das ›dynamic‹ im Titel aktualisiert (vgl. zu diesem Kontext Müggenburg (2018): *Lebhafte Artefakte*. S. 185f.).

³⁰⁷ Ashby: »Principles of the Self-Organizing Dynamic System«. S. 128.

³⁰⁸ Vgl. Ashby, W. Ross (1956): *An Introduction to Cybernetics*. London, Chapman & Hall.

anpassen und Lösungen für komplexe Situationen finden. Unter Selbstorganisation versteht Ashby eine homöostatische Anpassung der Funktionen eines Systems an die Bedingungen seines *environments*.

In *Design for a Brain* beschäftigt sich Ashby unter diesen Vorzeichen mit Prozessen des Lernens, die er als Adaptionen des Gehirns an wechselnde Umgebungsbedingungen versteht. Auch in seiner Praxis als klinischer Psychiater, die in diesem Buch allerdings nicht zur Sprache kommt, ist Ashby mit der neuroanatomischen Bedeutung mentaler Störungen und den Adoptionsleistungen des Nervensystems bzw. ihrem Versagen beschäftigt. Wenn nun, gemäß dem kybernetischen Diktum der Analogie zwischen *man, animal and machine*, das Gehirn so funktioniert wie eine Maschine, dann können, so Ashbys Intuition, diese Adoptionsprozesse modelliert und nachgebildet werden. Adaption ist diesem Modell zufolge keine bewusste, zielgerichtete Anpassung an die Erfordernisse der Außenwelt, sondern ein auf mechanischen, aber nicht-linearen und dynamischen Prinzipien beruhender automatischer Vorgang, der im Modell nachgebaut und studiert werden kann.

Wie die Wissenschaftshistorikerin Evelyn Fox-Keller gezeigt hat, versteht die Kybernetik das Verhältnis von Maschine und Organismus nicht als Analogie, sondern als Homologie: »Organisms were machines, and at least some machines could be organisms.«³⁰⁹ Entsprechend beginnt Ashby *Design for a Brain* mit folgendem Satz: »The book is not a treatise on all cerebral mechanisms but an attempt to solve a specific problem: the origin of the nervous system's unique ability to produce adaptive behaviour.«³¹⁰ Zu diesem Zweck will Ashby mit dem Homöostaten theoretisch wie praktisch zeigen, dass ein mechanisches System sich dynamisch an veränderliche Bedingungen anpassen kann.

Der Ausgangspunkt von Ashbys in den frühen 40er Jahren begonnenen Basatelei, deren Ergebnis er bis nach New York verschifft, besteht, zusammenfassend gesagt, in einer Formalisierung der Abhängigkeit eines Systems von seiner Umgebung. Die vier Module repräsentieren demnach vier innere Zustände, die voneinander abhängen und jeweils die Umgebung der anderen Module bilden. Der Homöostat umfasst Umgebenes wie Umgebendes: »The homeostat is the whole thing, organism and environment«.³¹¹ Er integriert sowohl die Grenzwerte möglicher Reaktionen des Systems als auch die Fluktuationen der aus den anderen Modulen gebildeten Umgebung und integriert so Autonomie mit Determination.

³⁰⁹ Fox-Keller, Evelyn: »Organisms, Machines, and Thunderstorms. A History of Self-Organization. Part One«. In: *Historical Studies in the Natural Sciences* 38/1 (2008), S. 45–75. Hier: S. 47.

³¹⁰ Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. V.

³¹¹ Ashby: »Homeostasis (1956)«. S. 608. Die Rolle der äußeren Umgebung des Homöostaten ist hingegen bei Ashby uneindeutig. Einerseits gibt es eine Reihe von Interventionsmöglichkeiten für den Experimentator, andererseits präsentiert Ashbys Rhetorik die Maschine als geschlossenes System, das auch ohne Experimentator und äußere Umgebung funktioniert, weil es selber Umgebung und Umgebendes umfasst.

Wie dieser Zustand eines stabilen Gleichgewichts erreicht werden kann, welcher Widerstand also nötig ist, um die Rückkopplung der Module untereinander temporär in einen stabilen Zustand zu überführen, muss in einem dynamischen Adaptionsprozess mit Hilfe des *uniselectors* immer wieder neu erprobt werden.³¹² Unter Umständen ist mit den vorhandenen Widerständen keinen Zustand des stabilen Gleichgewichts erreichbar, so dass der Homöostat unabschließbar, aber unbeirrbar weitersucht. Auch dieses Verhalten kann eine Form des Überlebens sein. In anderen Worten: Für den Homöostaten ist der Weg das Ziel. Er lernt, sich selbst zu kontrollieren, indem er sich an Umgebungszustände reguliert. Er muss seine inneren Werte beständig anpassen, um im Gleichgewicht zu bleiben, auch wenn dieser Prozess jederzeit durch äußere Eingriffe oder mechanische Fehler unterbrochen werden kann. Mit dem Homöostaten präsentiert Ashby eine Maschine, die Möglichkeiten ausprobiert und zufällige Kombinationen durchspielt. Er verfügt über keine innere Repräsentation einer Lösung seiner Probleme, sondern kennt nur die beständige Anpassung an Unruhe. Mehr als diese Evidenz produzieren und damit Ashbys theoretischen Ansatz modellieren soll der Homöostat nicht.

Mit dem *uniselector* integriert Ashbys Maschine einen *trial-and-error*-Prozess, in dessen Verlauf ein Zustand prozessiert wird, der den Grenzwert nicht mehr überschreitet. Stabilität ist entsprechend, im Widerspruch zu den bis dahin prominenten Annahmen, kein Ergebnis eines zweckgerichteten oder zielgeleiteten Prozesses. Die Maschine lernt, wie Ashby zufolge auch das Gehirn, nicht durch symbolische Repräsentationen oder vorgegebene Ziele, sondern durch das adaptive Verhältnis ihrer Organisation zum *environment*. Der Homöostat hat als Information über den Zustand seiner Umgebung lediglich die variablen Energieflüsse, die ihn erreichen. Einzig die übertragenen Spannungen verbinden die Module, während der *uniselector* nach dem Zufallsprinzip verschiedene Zustände durchgeht.³¹³ Vergleichbar mit dem einschlägigen Schiffskapitän, dem von Ashby angeführten *kybernetes*, werden im Homöostaten ohne Bewusstsein oder höhere Instanz Grenzwerte überwacht und reguliert.³¹⁴ Ashbys Maschine findet aus ihrer Organisation heraus Antworten auf Zustände ihrer korrespondierenden Umgebung.³¹⁵ Sie produziert

³¹² Um ein Kontrollsysteem zu etablieren, das kontinuierliche, analoge Umgebungs faktoren wie die beständig wechselnden Spannungen der anderen Module oder Temperaturwechsel eines Lebewesens operationalisiert, ist es nötig, diskrete Zustände als Grenzwerte zu definieren, bei deren Überschreitung der Kontrollmechanismus einschreiten soll. Ein adaptives System braucht jedoch in seinen Parametern einen Spielraum im Umgang mit den äußeren Variablen: Es muss sich selbst verändern können, um sich anzupassen.

³¹³ Andrew Pickering hat aus dem Fehlen von Wissen um die Umgebung auf die performative Qualität des Homöostaten als Black Box geschlossen und ihn als Manifestation einer der Kybernetik zugrundeliegenden Ontologie der Agency interpretiert (vgl. Pickering (2010): *The Cybernetic Brain*. S. 125f.).

³¹⁴ Vgl. Ashby: »Homeostasis (1956)«. S. 593.

³¹⁵ Vgl. Johnston (2008): *The Allure of Machinic Life*. S. 40.

die Störung, die sie als System ausgleicht. Es handelt sich um eine Maschine zur Erprobung von Möglichkeiten und zur Lösung von Problemen, die sie selbst stellt. In diesem Sinne ist sie nervös: sie ist einerseits nicht isoliert von den Schwankungen, die sie umgeben und reagiert andererseits auf die eigenen Schwankungen durch neue Ausgleichsschwankungen, obwohl ihr Verhalten keiner höheren Ordnung folgt, sondern rein situativ abläuft.

Als paradigmatische technische Umsetzung des Prinzips der Selbstregulation und als Modell für das adaptive Lernen des Gehirns entfacht der Homöostat bei Ashbys Vortrag auf der Macy-Konferenz eine wilde Diskussion zwischen den Tagungsgästen.³¹⁶ Viele Kollegen wehren sich vehement gegen die von Ashby vertretene Ansicht, der in seine Maschine implementierte Zufall bei der Auswahl der Widerstände sei geeignet, Lernprozesse zu modellieren. Ashby betont ausdrücklich, dass die durch ihn vorgenommene Auswahl nach dem *Table of Random Numbers* von Fisher und Yates getroffen worden sei und er damit als Experimentator nicht eingegriffen habe.³¹⁷ Der Elektroingenieur Julian Bigelow moniert dennoch, dass zufälliges Verhalten nicht mit intelligenter Adaption gleichgesetzt werden dürfe: »It may be a beautiful replica of something, but heaven only knows what.«³¹⁸ Die Zuhörer beeindruckt trotz dieser Einwände die nicht-lineare Offenheit der adaptiven Maschine. Auch Norbert Wiener, der zum ersten Mal bei einer Macy-Konferenz fehlt, zeigt sich in *The Human Use of Human Beings* begeistert: »I believe that Ashby's brilliant idea of the unpurposeful random mechanism which seeks for its own purpose through a process of learning is not only one of the greatest philosophical contributions of the present day, but will lead to highly useful technical developments in the task of automatization.«³¹⁹ Der Homöostat ist demnach eine Maschine, deren zielgerichtetes Verhalten nicht durch einen äußeren Zweck, sondern durch innere, der Adaption fähige Organisation definiert ist. Die Brisanz von Wieners Lob liegt im Begriff *purpose*: Die Eigenschaft der Zweckgerichtetetheit wird traditionellerweise angeführt, um Lebewesen von Maschinen zu unterscheiden. Eine Maschine, die ihre Ziele selbst bestimmt und als Ursache wie als Wirkung ihrer selbst fungiert³²⁰, unterläuft diese kategoriale Differenz. Die Verfügung über die eigenen Zwecke ist laut Wiener ein Effekt des dyadischen Verhältnisses der Maschine zu ihrem *environment*:

³¹⁶ Vgl. Ashby: »Homeostasis (1956)«. Erstmals berichtet Ashby vom Homöostaten 1948 bezeichnenderweise in einem Text in der Zeitschrift *Electronic Engineering*: Ashby, W. Ross: »The Homeostat«. In: *Electronic engineering* 20/12 (1948), S. 379-383.

³¹⁷ Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 103 sowie Ashby: »Homeostasis (1956)«. S. 608.

³¹⁸ Ebd., S. 609.

³¹⁹ Wiener (1950): *The Human Use of Human Beings*. S. 54.

³²⁰ So Kants Definition des Organismus: Kant, Immanuel (1963): *Kritik der Urteilskraft*. Hamburg, Meiner. § 64.

Ashbys Bastelei eines nervösen Systems ist nur ein Schritt in seinem Bemühen um eine exakte Formulierung der Rahmenbedingungen stabiler Zustände, der Homöostase und des Gleichgewichts. Stabilität ist demnach als Systemeigenschaft definiert, in der bestimmte Variablen nach der Überschreitung vorgegebener Grenzwerte (etwa der Körpertemperatur oder der elektrischen Spannung) in einen Normbereich zurückkehren. Wenn die Überschreitung der Limits den Prozess auslöst, der dafür sorgt, dass die störenden Einflüsse ausgeglichen werden, wenn also die Grenzwerte der Nadel mit dem *uniselector* oder, um ein weiteres Beispiel einzuführen, die Körpertemperatur mit der Schweißproduktion gekoppelt sind, spricht Ashby mit Bezug auf den Physiologen Walter B. Cannon von Homöostase.³²¹ Im Normbereich herrscht ein temporärer Zustand des stabilen Gleichgewichts (*stable equilibrium*). Stabilität ist also keineswegs mit Konstanz gleichzusetzen, sondern ein dynamischer Prozess. Dieses Gleichgewicht ist dann stabil, wenn der Organismus oder die Maschine bei kleineren Fluktuationen des *environments* im Normbereich bleiben. Ist die Rückkehr in den stabilen Zustand dauerhaft nicht möglich, löst sich das instabile System auf. Ein stabiles Gleichgewicht entsteht also durch die selbsttätige Anpassung des Organismus an seine Umgebung und bildet keine naturgegebene oder gar harmonische Konstanz, die unabhängig von den Wechselwirkungen und Abhängigkeiten wäre. Nervosität erscheint in diesem Kontext als Voraussetzung von Stabilität. Einen stabilen Organismus gibt es nur, wenn er in einem seinen individuellen Grenzwerten dauerhaft entsprechenden, wenn auch fluktuierenden Verhältnis mit den äußeren Einflüssen steht und dabei seine Organisation aufrechterhält.³²² Auch ein toter Organismus befindet sich im Gleichgewicht, allerdings nicht in einem dynamischen, sondern in einem statischen. Organisation bedeutet Ordnung gegen die anschwellende Unordnung der Welt und ist entsprechend ein unabsließbarer Prozess.

321 Ashby (1954): *Design for a Brain*. S. 60. Fox-Keller hat argumentiert, dass Ashby Cannons Begriff zu einer Selbstorganisation erweitert, die bei diesem nicht angelegt war. Vgl. Fox-Keller: »Organisms, Machines, and Thunderstorms«, S. 67f.

322 Vgl. Ashby, W. Ross: »The Physical Origin of Adaptation by Trial and Error«. In: *Journal of General Psychology* 32/1 (1945), S. 13-25. Ashby führt, wie Fox-Keller und Müggenburg in unterschiedlichen Kontexten gezeigt haben, Kants Begriff der Selbstorganisation, ursprünglich zur Abgrenzung von Lebewesen und Maschine gedacht, in die Diskussion ein (vgl. Fox-Keller: »Organisms, Machines, and Thunderstorms« sowie Müggenburg (2018): *Lebhafte Artefakte*. S. 192). Müggenburg ist der Spur dieses Denkens der Selbstorganisation durch die Geschichte der Kybernetik gefolgt und hat gezeigt, dass »kybernetische Maschinen als Medien der Selbstorganisation eine epistemische Eigendynamik entfalten, die das Nachdenken über ein biologisch-physikalisches Phänomen in ein Nachdenken über maschinelles Systemverhalten überführte.« (ebd., S. 207). Vor allem an den von Müggenburg untersuchten Prototypen, die Ashby als Professor for Biophysics and Electrical Engineering am Biological Computer Laboratory in Illinois unter der Ägide Heinz von Foersters seit 1961 entwickelt, wird dies evident.

3.7.4 Technologien des Umgebens

Die implizit bleibende Herausforderung, die hinter Ashbys Modellierungsversuch steht, betrifft das Management instabiler Zustände: Organisation als Herstellung von Ordnung läuft, wenn man sie als Adaption zur Eigenschaft komplexer Nervensysteme erklärt, in der Anpassung an die Umgebung automatisch und selbsttätig ab. Sein eigenes Management kann in einem nervösen System mit den entsprechenden kybernetischen Techniken der Rückkopplung und der Selbstbeobachtung integriert sein. Gleichgewicht ist daher, wie Ashbys Maschine vorführt, keineswegs ein unproblematischer Gegenstand: Es handelt sich um keinen harmonischen Nullpunkt, von dem aus jede Abweichung eine Störung darstellen würde, sondern um ein komplexes Konglomerat heterogener Faktoren, die jedoch kontrolliert werden können. Der Homöostat ist Teil einer langen Tradition der Auseinandersetzung mit Gleichgewichtszuständen, in der es darum geht, Stabilität, also ein über einen definierten Zeitraum hinweg konstantes Gleichgewicht, gleichermaßen für organische wie für anorganische Systeme zu beschreiben.

Während das modellhafte Verhältnis von Ashbys Maschine zum Organismus in der bestehenden Literatur ausführlich thematisiert wurde, soll hier abschließend ein anderer Aspekt herausgehoben werden.³²³ Am Homöostaten sieht man, welche technischen Lösungen der Konstruktion autonomer Maschinen die von der Kybernetik durchdachten Umgebungsrelationen durch die Einführung von Rekursionen ermöglichen. Vor diesem Hintergrund, der im Schlusskapitel erneut aufgenommen wird, wird die Spannung zwischen dem *environment* als Summe aller Umgebungen und einzelnen *environments* verhandelt, die nur im Bezug auf einen Organismus gelten. Die dokumentierte Diskussion der Macy-TagungsteilnehmerInnen zeigt die Schwierigkeit, die Wechselwirkung zwischen *environment* und Organismus zu erfassen. Schritt für Schritt werden alle Ebenen durchgegangen: die Menge und Auswahl der relevanten Faktoren, die Rückkopplung zwischen Innen und Außen, die Dynamik des *environments* und die Definition von Grenzwerten. Ashbys Ansatz besteht darin, die zirkuläre Verknüpfung beider Seiten zur Grundlage seiner Theorie der Kybernetik und ihrer Operationalisierung im Homöostaten zu machen. Die Irreduzibilität der Dyade ist damit kein metaphysisches Prinzip,

³²³ Vgl. Johnston (2008): *The Allure of Machinic Life*; Asaro: »From Mechanisms of Adaptation to Intelligence Amplifiers«; Bowker/Chou: »Ashby's Notion of Memory and the Ontology of Technical Evolution«; Pickering (2010): *The Cybernetic Brain*. Andrew Pickering hat die kybernetische Welt Ashbys als eine beschrieben, »in which fluid and dynamic entities evolve together in a de-centered fashion, exploring each other's properties in a performative back-and-forth dance of agency.« (ebd., S. 106.) Für Pickering manifestiert Ashbys Kybernetik eine Wissensordnung, in der allen Akteuren ein handelnder Status zukommt und keine Hierarchie zwischen Menschen und Dingen herrscht.

sondern mechanistisch erklärbar, auf Regelungsprozesse zurückführbar und technisch modellierbar. So zeigt sich am Homöostaten zugleich der Kontrollanspruch der Kybernetik und seine Gestaltung in konkreten Techniken.

Liest man den Homöostaten in dieser Hinsicht als Beitrag zur Geschichte der Gegenwart, ist dreierlei bemerkenswert: Es handelt sich *erstens* um eine Maschine, die eine geschlossene Organisation nicht nur von ihrer fluktuierenden Umgebung her definiert, sondern durch die Herausbildung neuer Zustände des Umgebenden das *environment* beeinflusst und so Kontrolle nicht als direkten Eingriff, sondern als rückgekoppelte Kausalität von Umgebungsrelationen zu begreifen hilft. Im ökologischen Sinne sind im Homöostaten heterogene Faktoren so verschaltet, dass jede Veränderungen eine Kette weiterer Veränderungen nach sich zieht, da die Maschine sich selbst reguliert, indem sie ihr Verhalten an das *environment* und den eigenen Zustand adaptiert. Innerhalb dieser Verschränkung wird *zweitens* ein Gleichgewichtszustand durch beständigen Ausgleich produziert, indem beim Überschreiten der Grenzwerte ein neuer Adoptionsprozess eingeleitet wird. Stabiles Gleichgewicht ist demnach ein Effekt der technischen Kontrolle von Energie-, Materie- und Informationsströmen durch Rückkopplungen und Regulationen. Daraus folgt schließlich *drittens*, dass der Homöostat einen alternativen Maschinenbegriff auf den Punkt bringt: eine solche Maschine ist ein System, das auf den eigenen Befund reagiert und ihn in die Fortexistenz des Systems der Maschine einspeist. Seine eigene Unruhe beruhigt den Homöostaten, indem die Schwankungen, die er produziert, den Ausgleich mit sich bringen, der sie im Limit hält. Die Besonderheit liegt nicht nur darin, dass der Output des Systems zum Input desselben Systems wird – dies versucht die Kybernetik von Beginn an umzusetzen³²⁴ –, sondern darin, dass die Umgebung des Systems in diesen inneren Zustand integriert wird.

In diesem Sinne markiert Ashbys Maschine drei historische Übergänge, die im Herzen der Kybernetik liegen: *erstens* werden *environments* in der Mitte des 20. Jahrhunderts zu modifizierbaren Objekten technischer Eingriffe, *zweitens* erscheint Stabilität damit als Gegenstand technischer Kontrolle, und *drittens* wird die Maschine so als nervöses System denkbar: »A machine is that which behaves in a machine-like way, namely, that its internal state, and the state of its surroundings, defines uniquely the next state it will go to.«³²⁵

Der Homöostat Ashbys, die davon inspirierten lernenden mechanischen Schildkröten Grey Walters, die Installationen Gordon Pasks oder die aus einem Labyrinth herausfindenden Mäuse, welche Claude Shannon einige Jahre vor Ashby bei einer Macy-Konferenz vorgestellt hatte, reagieren in der von Cannon vorgedachten Weise auf Einflüsse des *environments* durch Regulation ihrer Organisation

³²⁴ Vgl. zu dieser Vorgeschichte Vogl, Joseph: »Regierung und Regelkreis. Historisches Vorspiel.«

In: Pias, Claus (Hg., 2005): *Kybernetik - Cybernetics. Band 2*. Berlin, Diaphanes. S. 67-79.

³²⁵ Ashby: »Principles of the Self-Organizing System«. S. 261.

und durch Anpassung ihrer Variablen.³²⁶ Allerdings sind diese Maschinen ihrem *environment* gegenüber indifferent und wirken nicht auf dieses zurück: Wenn Walters oder Shannons Automaten gegen einen Gegenstand fahren, wechseln sie die Richtung und lernen für weitere Begegnungen.³²⁷ Ohne den Einfluss des *environments* können sie sich nicht verhalten, doch das *environment* steht ihnen als Black Box gegenüber. Die künstlerischen *Environments* Pasks hingegen reagieren auf die Handlungen der Betrachter und überschreiten damit beständig ihren Status als Umgebungen.³²⁸ Norbert Wiener folgend kann man davon sprechen, dass diese Maschinen den Zweck und das Ziel ihrer Prozesse nicht aus einer äußeren Instanz nehmen, sondern aus dem Ausgleich ihrer inneren Variablen mit denen des *environments*. Sie kommen dabei gänzlich ohne Bewusstsein oder ein vorgegebenes Ziel aus und sind darin komplexe Maschinen gänzlich neuer Art. »The result is that in Ashby's machine, as in Darwin's nature, we have the appearance of a purposefulness in a system which is not purposefully constructed simply because purposelessness is in its very nature transitory.«³²⁹ Eine solche Technik, die sich radikal vom klassischen Werkzeug-Verständnis abwendet, zeigt in diesen wenigen Prototypen eine andere, von der binären Rechenmaschine, wie sie John von Neumann entwickelt, deutlich unterschiedene Art, Maschinen zu denken – als adaptive Systeme aus Organismen und *environments*.

Mit dem der Kybernetik der ersten Phase zugrundeliegenden Maschinenbegriff und den daraus entwickelten Automaten geht es, in den programmatischen Worten Wieners, zugleich darum, »the whole mechanist-vitalist controversy [...] to the limbo of badly posed questions«³³⁰ zu verweisen. Die kybernetische Maschine kann, so zeigt sein Buch *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, zugleich offen operieren und mit der Umgebung in geregeltem Austausch stehen, statt mechanistisch geschlossen oder vitalistisch beseelt zu sein. Ihre Freiheit wäre nicht möglich ohne ihre Abhängigkeit vom *environment*. Ashbys Homöostat gilt Wiener als paradigmatische Verkörperung dieser Theorie, schöpft er doch die Regeln der Organisation aus der Organisation selbst. Dieser Automat ist der technische Beleg für Wieners Zurückweisung der tradierten Positionen von

³²⁶ Vgl. Walter, Grey: »An Imitation of Life«. In: *Scientific American* 182/5 (1950), S. 42-45.

³²⁷ Vgl. dazu ausführlicher Roch, Axel (2009): *Claude E. Shannon. Spielzeug, Leben und die geheime Geschichte seiner Theorie der Information*. Berlin, Gegenstalt.

³²⁸ Zu Pask vgl. Glanville, Randolph/Müller, Albert (Hg., 2008): *Pask Present. An Exhibition of Art and Design inspired by the Work of Gordon Pask*. Wien, Edition Echoraum.

³²⁹ Wiener (1950): *The Human Use of Human Beings*. S. 54.

³³⁰ Wiener, Norbert (1948): *Cybernetics. Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, Technology Press. S. 56. Besonders hier, aber auch generell in den Schriften Wieners ist bemerkenswert, dass der offensichtliche Einfluss von Bertalanffys kaum thematisiert wird, was vermutlich damit zusammenhängt, dass für von Bertalanffy die Kybernetik nur eine Unterkategorie der Systemtheorie darstellt.

Vitalismus und Mechanismus sowie für die Möglichkeit der Anwendung kybernetischer Maschinen.

Um zu verstehen, welche neuen Potentiale die von Ashby und Wiener vorangetriebene Beschreibung kybernetischer Regelungsvorgänge eröffnet, braucht es eine Alternative zu klassischen Denkweisen. Vom Mechanismus nimmt Wiener Abstand, weil dieser die Wiedereinspeisung der Vorgänge in die Organisation nicht konzeptualisieren kann und seine Kausalitäten der neuen Komplexität nicht gewachsen sind. Vom Vitalismus und vom Holismus wendet er sich insofern ab, als die Kybernetik Organisation nicht mehr vom Verhältnis der Teile zum Ganzen her denkt, sondern die Verbindungen, Informationsflüsse und Kommunikationen zwischen Systemen und ihren Umgebungen in den Blick nimmt.³³¹ Indem die Kybernetik, in den Worten Gilbert Simondons, »bewusst die Finalität organisiert«³³², kann sie zu einem neuen und von der Zweckgerichtetetheit befreiten Verhältnis von Mensch und Maschine anleiten, weil Zwecke nun im Bereich des Machbaren liegen bzw. von Maschinen wie dem Homöostaten selbst gemacht werden.

Diese neue Position im alten Streit ist noch in einer anderen, für die hier verfolgte Geschichte entscheidenden Hinsicht begründet. Die Identität eines Organismus oder einer Maschine wird in Wieners Verständnis der Kybernetik nicht durch eine zugrundeliegende Seele oder die Grenzen eines Körpers definiert, sondern thermodynamisch durch die materielle Verteilung von Information und Energie, d.h. durch den Widerstand gegen umgebende Entropie. »In control and communication we are always fighting nature's tendency to degrade the organized and to destroy the meaningful: the tendency [...] for entropy to increase.«³³³ Wiener gelangt zu diesem Ansatz durch die Beschäftigung mit dem Kontrast zwischen dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und der Evolution: wie können, so fragt er, angesichts universaler Entropie Ordnungen wie Organisationen entstehen, wenn Ordnung unwahrscheinlich ist? Beantwortet werden soll diese Frage durch die kybernetische Synthese von Biologie und Physik sowie von Evolutionstheorie und Thermodynamik mit Hilfe der über von Bertalanffy hinausgehenden

³³¹ Reinhold Martin hat verfolgt, wie die Kybernetik mit solchen Konzepten der Organisation in Gestalt des von Norbert Wiener, Karl Deutsch und Giorgio de Santillana verfassten *Time-Artikels* »How US-Cities can prepare for Atomic War« in die Stadtplanung interveniert und sie unter der Prämisse eines drohenden Atomschlags auf radikal vernetzte Infrastrukturen ausrichtet. Diese sollen redundant sein, damit der Ausfall einzelner Städte nicht das ganze Land blockiert. Ihr organischer Aufbau unterwirft also einzelne Teile weniger einem übergeordneten Ganzen, sondern versucht, durch Dezentralisierung und Redundanz keinen Faktor so wichtig werden zu lassen, dass der Organismus nicht auch nach einer teilweisen Zerstörung weiterexistieren könnte (vgl. Martin (2005): *The Organizational Complex*).

³³² Simondon, Gilbert (1958/2012): *Die Existenzweise technischer Objekte*. Berlin, Diaphanes. S. 95.

³³³ Wiener (1950): *The Human Use of Human Beings*. S. 17.

Informationstheorie.³³⁴ Der Ursprungsmythos der Kybernetik lautet in den Worten Dieter Merschs, aus dem Chaos »mittels infiniter Regelkreise [...] das spontane Auftauchen von Ordnung aus lauter iterativen Schleifen zu bewerkstelligen«³³⁵, also auf eine vergleichbare Weise Ordnung zu erschaffen, wie sich die Organisation von Organismen gegen die Entropie der äußeren Welt durchsetzt.

Wie schon bei Bernard, Haldane, Henderson, Whitehead und vor allem Cannon gilt die selbstgeschaffene innere Organisation eines Systems in dieser Hinsicht als Puffer gegen die Außenwelt. Sie stellt sicher, dass die Grenzen des organisierten Systems zwar für die notwendige Zufuhr von Energie und Materie sowie vor allem die Verteilung von Information durchlässig sind, grenzt es jedoch durch die von Morin benannte ›ökologische Relation‹ zwischen Organismus und Umgebung zugleich von den äußeren Vorgängen ab. Das »internal environment«³³⁶, von dem Cannon als Übersetzung von Bernards *milieu intérieur* spricht, meint die Flüssigkeiten und Stoffe, die in einem Körper, aber außerhalb seiner einzelnen Organe zirkulieren. Indem die hier wirksame Wissensordnung des Umgebens im Inneren eines Organismus geschachtelt und auf verschiedenen Maßstabsebenen wiederholt wird, wird auch in der Kybernetik die Offenheit des *environment* ausgespielt.

Bernard versucht, so wurde bereits gezeigt, die Idee von Lebenskräften durch Regulationsprozesse zu ersetzen. Auf Cannon Bezug nehmend erweitert Wiener diesen Ansatz mit Hilfe der Informationstheorie auf Maschinen und errichtet damit die Grundlage für eine Gleichbehandlung von Organismen und Maschinen, die Vitalismus ebenso wie Mechanismus als obsolete Philosophien erscheinen lässt. Organismus und Maschine sind gemäß in der neuen, über Bernard, Henderson und Cannon hinausweisenden und an von Bertalanffy anschließenden Formulierung negentropische Einheiten, die wie der Homöostat gegen die Entropie des *environments* arbeiten, indem sie Information prozessieren, so Ordnung im Rauschen erzeugen und damit ihre Organisation aufrecht erhalten. Organisation bedeutet Ordnung gegen die anschwellende Unordnung der Welt und ist entsprechend ein unabschließbarer Prozess. In den Worten Gotthard Günthers, der die Kybernetik auf ihre metaphysischen Wurzeln bezieht: »Information und Entropie werden nämlich als gegenseitiges Umtauschverhältnis interpretiert.«³³⁷ Für die informationstheoretisch gefasste Thermodynamik und ihren Zweiten Hauptsatz verringern sich ständig die möglichen Ordnungen im Universum, d.h. die geringe Wahrscheinlichkeit der geordneten Verteilung von Molekülen wird durch die große Wahrscheinlichkeit des Rauschens der Unordnung ersetzt. Dieser Prozess

³³⁴ Für Wiener ist, wie Katherine Hayles gezeigt hat, Entropie das Gegenteil von Information, während für Shannon Information gleich Entropie ist (vgl. Hayles (1999): *How We Became Posthuman*. S. 102).

³³⁵ Mersch, Dieter (2013): *Ordo ab chao - Order from Noise*. Berlin, Diaphanes. S. 7.

³³⁶ Cannon (1932): *The Wisdom of the Body*. S. 38.

³³⁷ Günther, Gotthard (1962): *Das Bewusstsein der Maschinen*. Baden-Baden, Agis. S. 31.

ist irreversibel, weil er nicht spontan ohne Hilfe, d.h. ohne Kraftaufwand in umgekehrter Richtung geschehen kann. Daraus wiederum schließt Wiener auf die Richtung der Zeit, die im Newtonschen Universum noch (idealtypisch) umkehrbar war, weil etwa die Bewegung der Sterne oder die Mechanik einer Uhr als in beide Richtungen ablaufend konsistent erklärbar waren. In einem thermodynamischen Universum hingegen ist die Zeit unumkehrbar, weil sich aus Rauschen nur durch Energieaufwand Ordnung erschaffen lässt, Energieverbrauch aber neue Unordnung schafft und sich somit die Ausgangsbedingungen nicht wiederherstellen lassen. Wieners Schlussfolgerung lautet, dass Informationsprozessierung unumkehrbar ist und eine unidirektionale Zeit voraussetzt, weil sie gerichtet ist und ihre Schritte aufeinander aufbauen, und eben dies gilt gleichermaßen für Organismen und für kybernetische Maschinen, für tote und für lebende Vorgänge, für komplexe Systeme also, die weder nach den alten Mustern des Vitalismus noch nach denen des Mechanismus beschreibbar sind.³³⁸ Letztlich verwandelt sich, so könnte man sagen, jeder Organismus, dessen Organisation gegen die Entropie der Außenwelt operiert, in eine Umgebung.

3.8 Kontrollierte Umgebungen

Wie an den Beispielen von Bertalanffys sowie Ashbys und Wieners deutlich wird, versucht die Kybernetik seit den 1940er Jahren, zu erklären, mit welchen Rückkopplungen, Organisationsformen und Informationsübertragungen ein System in einem entropischen *environment* so viel Stabilität und damit Autonomie von der Umgebung aufrecht erhalten kann, dass es nicht seiner Abhängigkeit von der Außenwelt beraubt wird. Um ökologische Relationen der Un/Abhängigkeit zu erklären, wird die Grenze zwischen Innen und Außen nicht ontologisch definiert, sondern operativ in der Wechselwirkung fundiert. Sie muss durchlässig für Informations-, Energie- und Materieströme sein und doch eine stabile Hülle bilden, um die Reziprozität von *environment* und Organismus zu gewährleisten. Diese kybernetische Abgrenzung des *environments* vom Organismus durch ein Gefälle der Entropie stellt insofern einen Bruch mit bisherigen Umgebungskonzepten dar, als sie Umgebungen allein durch diese Ströme definiert und damit die Frage nach deren Gestaltbarkeit radikal verschiebt. Mit diesem Verständnis ist eine Transformation der Dyade von Organismus und *environment* verbunden, die sich nun durch eine Grenze der Ordnung gegenüberstehen, zugleich aber energetisch verschränkt sind. Dieser Ansatz wird für die Ökosystem-Ökologie der Nachkriegszeit zum theoretischen Ausgangspunkt und eröffnet die Möglichkeit neuer Methoden der künstlichen Gestaltung von Umgebungen durch die Modifikation von Zirkulationen. Folgerichtig

³³⁸ Wiener (1948): *Cybernetics*. S. 44.