

Systembiologie als Paradigma der Technik – Technik als Paradigma der Systembiologie?

(Walther Ch. Zimmerli zum 60. Geburtstag)



Paul Klee, *Baumkultur*, 1927
© VG Bild-Kunst, Bonn 2005

1. Problemlage

Die beeindruckenden Erträge systembiologischer Forschung zu den Funktionsmechanismen biologischer Systeme, insbesondere der Zelle, erwecken berechnete Hoffnungen, ein besseres Verständnis komplexer biologischer Prozesse fruchtbar zu machen für die Beherrschung technischer Prozesse, die immer komplexer werden. Dies betrifft nicht bloß die Herstellungsverfahren im engeren Sinne (Produktions-/Verfahrenstechnik etc.), sondern auch unsere technologische Kultur insgesamt mit ihren immer komplexer werdenden Systemen der Wandlung, des Transports und der Speicherung von Stoffen, Energie und Information. Angesichts der Störanfälligkeit dieser Systeme, deren Havarien oftmals durch scheinbar „banale“ Faktoren ausgelöst werden, beeindruckt die Robustheit und Leistungsfähigkeit biologischer Systeme, die aufgrund ihrer hierarchischen Regelungsprozesse, ihrer Modularisierung, ihrer sicherheitsverbürgenden Redundanzen sowie äquifunktionaler Diversivität mit den Provokationen ihrer Umwelt fertig werden, ja diese Provokationen selbst beeinflussen und daher für viele die ge-

suchte – überfällige – Konkretisierung des allerorten befürworteten, aber eben kriteriologisch unscharfen Leitbildes „nachhaltige Entwicklung“ abgeben – soweit man sie in Ruhe lässt. Biologische Systeme also als Vorbild für die Architektur und das Management technischer Systeme?

Die menschliche Technik – sieht man sie im Kontrast zum tierischen Werkzeuggebrauch und zur „Zufallstechnik“ (José Ortega y Gasset) der Jäger und Sammler – war und ist immer Systemtechnik. Seit der agrikulturn Revolution (ein Pleonasmus, denn „cultura“ heißt ursprünglich Ackerbau, Pflege der äußeren „natürlichen“ Natur, sogleich dann der inneren Natur unseres Geistes und Handelns) dient ihre Technik nicht bloß der Optimierung des Mitteleinsatzes durch artifizielle Verstärkung, Entlastung oder des Ersatzes natürlicher Mittel (Organe), sondern zugleich auch und gerade der Absicherung und Gewährleistung gelingenden Mitteleinsatzes gegenüber den Widerfahrnissen der Natur, denen die Jäger und Sammler ausgesetzt waren. Zu diesem Zwecke wurde die natürliche Umwelt gestaltet (Ackerbau, Siedlung, Bewässerung, Straßen etc.), genauer: ein Ausschnitt der natürlichen

Umwelt wurde transformiert und in das System aufgenommen, mithin die Grenzen des Systems nach außen verschoben. Dies bedeutete zugleich eine Erhöhung der Binnenkomplexität des Systems, dessen Leistungen (Optimierung und Absicherung des Mitteleinsatzes) nur zu erbringen waren über eine Diversifizierung der Wahrnehmung der Systemfunktionen (Spezialisierung/Arbeitsteilung) sowie den Aufbau zusätzlicher Systemfunktionen zum Zwecke der Relationierung und Koordinierung (Sprache, Schrift/Fernkommunikation, Informationsaustausch) der speziellen Funktionen. Ausgedrückt in der Begrifflichkeit der Systemtheorie finden wir hier bereits die beiden Grundoperationen technischen Handelns angelegt: „Steuern“ als Erzielen von Effekten (Regelgrößen) im Ausgang von Inputs als Stellgrößen, und „Regeln“ als Operation, die den Steuerungsprozess angesichts der Störgrößen der Systemumwelt gelingen lässt, absichert, von ihnen unabhängig macht für die Realisierung der Regelgrößen als Ziele. Auch finden wir bereits in rudimentärer Form die beiden grundlegenden Typen einer solchen Regelung, nämlich die einer vorgeschalteten

„Die menschliche Technik – sieht man sie im Kontrast zum tierischen Werkzeuggebrauch und zur „Zufallstechnik“ (José Ortega y Gasset) der Jäger und Sammler – war und ist immer Systemtechnik.“

höherstufigen Steuerung (der Steuerung) im hierarchischen Aufbau der soziotechnischen Systeme sowie (sozial-institutionalisierte) Mechanismen der Rückkopplung, indem durch Abgleich der Regelgröße mit der Sollgröße der „Regler“ eingestellt wird (hierzu später). Das Führungsverhalten dieser Regelungen dient der Stabilität und der Störunterdrückung, wobei erstere bei starken Störungen, instabilen Systemen oder ungenau bekannten Systemen in der Regel versagt, während letztere aufgrund der Feed-back-Effekte bei deterministisch chaotischen Systemen an ihre Grenzen kommt.

Gerade Martin Heidegger, an dessen Technikverständnis man durchaus Zweifel anmelden kann, hat dies allerdings völlig richtig gesehen. Als Grundzug abendländischen Denkens (welches er kritisiert) stellt er heraus, dass die Widerfahrnisse beim technischen Handeln dazu führen, dass uns Gegenstände ersichtlich werden, sich ein vorstellender Weltbezug etabliert, in dessen Rahmen das „rechnende Denken“ darauf aus ist, (nun bewusst) zu „steuern“ und zu „sichern“ (d.i. zu regeln). Der symptomatische Irrtum jedoch, der die gesamte abendländische Technikphilosophie – mit Ausnahme der Stoa – bis zur Aufklärung hin begleitet, tritt bei ihm auch deutlich zu Tage: Erst die „moderne Technik“ sei eine, innerhalb derer jene beiden Operationen im „Gestell“ (seine Übersetzung für „System“) stattfänden. Hier werde – in spezifischer Weise – die Natur „gestellt“, „herausgefordert“, was er insbesondere an der Energiebereitstellung verdeutlicht, und in dem „Versammelnden dieses Stellens“ werde auch der Mensch insofern herausgefordert, als der somit gegebene „Bestand“ als Inbegriff der technischen Mittel dem Menschen nicht mehr als (disponibler) „Gegenstand“ gegenüber tritt, sondern der Mensch „Teil“ dieses Bestandes ist, auf ihn angewiesen ist, sofern er die Sorge um sein Dasein nicht aufgeben will. Das ist eine Formulierung der allgemein geteilten These, dass der Mensch der „Herrschaft“ seiner Mittel unterliege (Jacques Ellul u.v.a.), Teil des Reproduktionsmechanismus des technischen Systems ist – womit wir wieder bei der Biologie, hier: einem problematischen „Biologismus“, wären. In Gang gesetzt wurde dieser Prozess – wie gesagt – durch einen technologischen Weltbezug, wie ich ihn bezeich-

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag analysiert die philosophischen Implikationen der modernen Systembiologie unter der Leitfrage, in welcher Hinsicht biologische Systeme als Vorbild für die Architektur und das Management technischer Systeme gelten können. Zunächst wird die Problemlage durch eine Skizze der Entwicklung des Systembegriffs in der philosophischen Tradition im Verhältnis zum jeweiligen Stand der Wissenschaften und der Technik entfaltet. Es zeigt sich, dass menschliche Technik und Kultur vom Prinzip her immer schon als Systemtechnik zu verstehen ist, und dass die Prozesse des Steuerns und Regels nicht nur die basalen Prozesse der Technik, sondern auch der Naturwissenschaft sind. In dieser Hinsicht ist die wissenschaftliche und philosophische Hinwendung zu den Prozessen, Verfahren und Steuerungsmöglichkeiten in der molekularen, biologischen, technischen und kulturellen Welt unverzichtbar für das Verständnis dieser Systeme. Den Gefahren eines kruden Naturalismus und Mechanismus hat sowohl die philosophische Tradition als auch die Wissenschaftstheorie mit der Theorie der offenen Systeme entgegengearbeitet. Der Autor zeigt, dass auch die moderne Systembiologie nicht unter das Verdikt des naturalistischen Fehlschlusses fällt, da sie den biologischen Systemen keine Ziele ablauschen oder unterstellen will. Ihre Intention zielt vielmehr auf die komplexen Mittel und Kriterien, mit denen die Systeme organisiert sind, um die Prozesse effektiv, effizient und stabil zu halten. Damit komme die Systembiologie sowohl dem modernen Paradigma einer nachhaltigen Technik als auch den frühen Intentionen von „Technik“ nahe.

ne, welcher alle Widerfahrnisse der Natur als technisch lösbare Probleme im Felde disponibler Gegenstände begreift.

Ein weiteres hat Heidegger – wohl auch unter dem Einfluss der Gespräche mit prominenten Physikern seiner Zeit – richtig erfasst: Die Prozesse des Steuerns und Regeln sind nicht nur die basalen Prozesse der Technik, sondern auch der Naturwissenschaft. Das naturwissenschaftliche Experiment ist ein Steuerungsprozess, einer „Praxis, die Theorie heißt“ unter „Methoden als nützlichen Maschinen“ (Edmund Husserl) – gegenständlich gestützt, algorithmisiertem gedanklichen Vorgehen.

„Die Prozesse des Steuerns und Regeln sind nicht nur die basalen Prozesse der Technik, sondern auch der Naturwissenschaft.“

Dieser Steuerungsprozess ist dahingehend reguliert, dass die Versuchsanordnung darauf aus ist, eine Unabhängigkeit von Störgrößen (durch Isolierung, Unterdrückung, Kompensation dieser Größen) zu erzielen, eben eine Stabilität der Steuerung und ihre Wiederholbarkeit – Definition des gelungenen Experiments wie gelingender Technik – zu erreichen. Technik als Wissenschaft ist nicht „angewandte Naturwissenschaft“, wie Heidegger hervorhebt, sondern beide richten sich auf das, was (wiederholbar) „sein kann“ (Ernst Cassirer): Seien es mögliche Inputs für gesetzte Outputs oder mögliche Outputs bei gesetzten Inputs. Ihre gemeinsame Wurzel ist der realtechnische Eingriff in die Natur.

Aber trifft dies nicht erst für ein Denken in Galileisches Paradigma oder einer „Leonardo-Welt“ (Jürgen Mittelstraß) zu? Ist dies nicht doch ein Spezifikum moderner Wissenschaft und moderner (System-) Technik als „Gestell“? Hatte Heidegger doch recht, und finden wir hier nicht den wahren Kern der (problematischen) kulturpessimistischen Technikphilosophie? Ja und nein – die Sachlage ist komplizierter.

2. Der Systembegriff im Wandel der Technikphilosophie

Wie bereits erwähnt, findet sich im technikphilosophischen Denken der älteren Tradition ein Ansatz, der erstens eine adäquate Einschätzung der realen Technik (als Material-, Intellektual- und Sozialtechnik) verhinderte (und von Heidegger u.a. aufgenommen wurde), und der zweitens Technik *neben* einer theoretisch ausgerichteten Wissenschaft verortete, so dass mit Leonardo und Galilei die neue Wissenschaft erst etwas einholen und integrieren musste, was in Gestalt realer Technik bereits durchaus entwickelt war, nur eben nicht in einer adäquaten wissenschaftlichen *Deutung* dieser Technik. Man ging vom Handeln aus, präzisiertere Handeln als Einsatz von Werkzeugen zwecks Verfertigung von Gütern des alltäglichen Gebrauchs (einschließlich der Kunst) und verfehlte damit von vorneherein denjenigen Bereich der Technik, der – s.o. – als *cultura* ein *System* der Absicherung darstellte, das bereits ganz erheblich auf die Umwelt wirkte und diese nutzte (Rodung, Züchtung, Bergbau) mit einschlägigen ökologischen Folgen (Georg Agricola). Ferner fiel nicht in den Blick, dass seit der Antike Maschinen – wenn auch quantitativ nicht repräsentativ – eingesetzt wurden (Nutzung von Wind und Wasserkraft sowie Verbrennungsenergie), so dass die Charakterisierung erst der modernen Technik als Maschinenteknik zwar ihre Berechtigung in quantitativen Sinne hat sowie bezüglich eines spezifischen Typs der Bereitstellung und Nutzung von Verbrennungsenergie in Arbeits- und Werkzeugmaschinen, nicht jedoch prinzipiell.

Die mythischen Bilder der Entstehung von Technik bei Hephaistos, Prometheus, Herakles, Athene und Odysseus sind da trefflicher und zeigen das breitere Spektrum: Athene steht für die Technik des „Webens“ (Zusammenfügen, Wortwurzel τεκ) von Rohstoffen, Zeichen (nach Pindar) und Sozialbeziehungen/Arbeitsteilung (Orestie), wobei zum einen nützliche Produkte und Zustände entstehen, sie zum anderen aber eben dadurch und darüber hinaus Sorge dafür trägt, Unabhängigkeit von den Einflüssen (Gefahren und Verlockungen) der unmittelbaren Natur zu gewährleisten. Dabei finden wir im Kleinen wie im Großen Steuerungs- und Regelungsprozesse, und wir finden regelmäßig die Klage der-

jenigen, die sich in das „Gestell“ mit seinen Herausforderungen nicht fügen wollen und dies in vergangenheits- oder zukunfts-zentrierten Utopien (letztere positiv oder negativ) oder im Hang zur arkadischen Idylle artikulierten. Weitere Pointen sollten nicht unerwähnt bleiben: Prometheus wurde nicht von den Göttern gestraft, weil er den Menschen die Kunst der Medizin, der Mathematik, der Navigation und der Weissagung gebracht, sondern auch und gerade die des Bergbaus und der Feuerkunst sowie die der Bearbeitung von Metall (Aischylos). Und sein Befreier Herakles letet den Fluss um zwecks Reinigung der Ställe der Augias. Was sich hier ausdrückt, ist die Loslösung von einer natürlichen Ordnung, die ihre Ressourcen (Holz, Wasser, Wind etc.) gemäß den „Launen der Götter“ bereitstellt – Technik als „Kontingenzmanagement“ (Niklas Luhmann). Ihren Triumph feiert diese Technik allerdings erst im Zuge der industriellen Revolution, dem Abschied von der „Holz- und Wasserwirtschaft“ (Lewis Mumford, Phyllis Deane) qua Erschließung neuer Energie- und Rohstoffvorräte, nicht mehr solchen, von deren Regenerationsmodus man abhängig war. Bergbau und Artifizialisierung von Ausgangsstoffen waren die Grundlage für die Freisetzung eines Potentials „endlos erweiterbarer“ Mittel für neue Zweckbindungen – diesen „Frevel“ haben die alten Götter erkannt. Nach Norbert Wiener ist dies die einzige technische Revolution (die zweite wäre die der Ersetzung menschlicher Intelligenz).

„Bloße Wissenschaft oder bloße Erfahrung sind nicht hinreichend für technisches Gelingen; systemtheoretisch: bloße Steuerung oder bloßes (regelndes) Feed-back laufen, jeweils für sich, ins Leere.“

In der Technikphilosophie – die ja nicht eine Disziplin darstellt, vielmehr das jeweilige philosophische Weltverständnis für die Analyse eines bestimmten Umgangs mit der Welt geltend macht – findet sich der Wandel des Technikverständnisses, das seine

Provokationen in der realtechnischen Entwicklung findet. Die Einsichten des Mythos waren verdrängt, überboten von einem spekulativen Philosophieren, das bis zum Humanismus und der Aufklärung der Technik nicht gerecht werden konnte. Aber selbst in der Antike mit ihrer Einschränkung auf die Technik des Werkzeuggebrauchs und des Herstellens finden wir zwei Impulse unterschiedlicher Art: Aristoteles (wer sonst?) verweist auf das menschliche Spezifikum der Hand als nicht festgelegtem Steuerungsorgan (kinesis) spezialisierter komplexer Werkzeuge (als kleinen Systemen, die die entsprechenden Gegenstände und Zustände realisieren), „ablegbaren Teilen“ unseres Körpers als höherstufigem, „anpassungsfähigem“ Organ, das zudem diese Teile adäquat bereithalten und bevorraten (Regelung) und seinerseits nur in höherstufigen Koordinationszusammenhängen (als zoon politikon) leben kann (de generatione animalium). Technik bedarf des Wissens um die Gründe ihres Tuns (Episteme/Wissenschaft), die sie aus der Kenntnis der Natur bezieht sowie der Erfahrung (Emperia), aus der sie die Informationen über die notwendige situative Anpassung erhält. Bloße Wissenschaft oder bloße Erfahrung sind nicht hinreichend für technisches Gelingen; systemtheoretisch: bloße Steuerung oder bloßes (regelndes) Feed-back laufen, jeweils für sich, ins Leere.

Ferner wurden –in anderer Hinsicht – die Überlegungen der Stoa traditionsbildend: „Technik ist das System von Unterweisungen und Fertigkeiten gemäß ihrer Nützlichkeit für das Leben insgesamt“ (Zenon, Lukian) – hier erscheint explizit der Terminus „System“, der erst später wieder im Humanismus und Rationalismus aufgenommen wurde – Lukian wurde geradezu paradigmatisch zitiert (von Petrus Ramus, Philipp Melanchthon, Bartholomäus Keckermann, Clemens Timpler, Johann Heinrich Alstedt über Gottfried Wilhelm Leibniz bis hin zu Christian Wolff). Freilich verschob sich der Akzent zunächst hin zu den Intellektualtechniken, dann über die Charakterisierung ihrer Gründe „ex physica“ in eine Auffassung der Technik als „große Maschine“ (Gottfried Wilhelm Leibniz). Gemeinsam ist die Betonung des notwendigen inneren Zusammenhangs, der das System konstituierenden verbindenden Kräfte (Johann Heinrich Lambert), der ein System von einem bloßen „Aggre-

gat“, das eines solchen Ordnungsprinzips ermangelt, unterscheidet (Keckermann, Immanuel Kant). Ein im heutigen Sinne „technisches Aggregat“ ist ein System. Die Idee eines technischen Systems als Megamaschine wurde leitend für Lewis Mumford.

Es scheint, als seien wir weit von unserem Thema abgekommen. Ist doch jetzt in einem allgemeinen Sinne von Technik die Rede oder von einem mehr oder weniger problematischen Technikverständnis, nicht aber von der Technik i.e.S. als Prozesstechnik (Verfahrenstechnik, Biosystemtechnik) mit ihrer Sensor-, Signalübertragungs- und Regeltechnik, die etwa von der Systembiologie lernen kann. Allerdings sind verfahrenstechnische Prozesse – von denen her sich übrigens der moderne Technikbegriff als spezifische Benennung historisch ableitete (nicht von „ars“ oder „techne“) – ja ihrerseits solche eines Systems, das Subsystem größerer realtechnischer Systeme ist, die ihrerseits soziotechnisch eingebettet sind. Auch mussten – und müssen – wir weiter ausholen, um die eigentümliche Karriere philosophischer Systemkonzepte und ihre Annäherung an die Biologie nachvollziehen zu können.

Für Immanuel Kant, der noch einen „Newton des Grashalms“ vermisste und glaubte, dass es einen solchen nicht geben könne, schien es nur zirkulär begründbar, der Natur entweder die „technica intentionalis“ eines organisierenden Wesens beizulegen (einer auf Zweckmäßigkeit ausgerichteten „Weltseele“) oder eine „technica rationalis“ als Notwendigkeit der Naturscheinungen, deduziert aus einem „hyperphysischen“ Grund (wie Baruch de Spinoza). Gleichwohl war die Annahme einer „Technik der Natur“ für ihn ein notwendiges heuristisches Prinzip, eine als-ob-Vorstellung einer ökonomisch rational handelnden Instanz, welche unverzichtbar ist, wenn wir (in mathematischer Modellierung) ihre Mechanismen erforschen wollen. Denn andernfalls – wenn wir der Natur spielerische Ausreißer und Willkür konzedierte – hätten wir keinerlei Kriterien, die uns veranlassen, unsere Erkenntnisse in einem System zusammenzuführen, Theorien unter das Ideal einer Einheit zu stellen, ja nicht einmal eine simple Fehlerrechnung wäre möglich. Nur unter der Idee eines „Technizismus“ und des Mechanismus als dessen „Mittel“ (man ist an Albert Einsteins „Gott würfelt nicht“ erin-

ner) sei Naturwissenschaft möglich.

Ansonsten erhielten wir ein bloßes Aggregat von Regelmäßigkeiten auf induktivem Wege nach Maßgabe beliebig möglicher Abstraktionen (wie es ja manchen Typ „alternativer Wissenschaft“ auszeichnet). Dieses Konzept einer Einbettung des Mechanismus in einen Technizismus leitete die Systembegriffe des Idealismus bis hin zu Hegel, wobei „Notwendigkeit“ und „Vollständigkeit“ aller Elemente und ihrer internen Relationen letztlich das „absolute“, unbedingte System definieren. Dieser Anspruch als Idee von Wissenschaft überhaupt bedingt, wie wir die Welt als uns gegebene erschließen, bestimmen und gestalten und uns in dieser Gestaltung als Subjekt/„Geist“ entfalten.

War somit zwar ein „technomorpher“ Weltbezug radikal zu Ende gedacht, so war doch diese erkenntnistheoretisch plausible Pointe für die an der Biologie orientierten Philosophien unbefriedigend. Ihre Probleme gründeten gerade im Festhalten am Mechanismus, der eben dadurch seine Defizienzen erwies: Einen Organismus als rein materielles System zu begreifen, maschinenanalog, könne nicht die „prospektive Potenz“ der Formbildung erklären, wie sie in den „komplex äquipotentiellen Systemen“ angelegt sei (d.h. nach Zerstückelung, Umstellung oder Neukombination der Teile wieder komplette Systeme zu bilden) und das lernfähige Agieren der Systeme sei nur über „harmonisch äquipotentielles“ Zusammenwirken der Signalflüsse erklärbar. Beides verweise auf eine systemkonstitutive „Lebenskraft“ als „organischer Kausalität“, eine „ganzmachende Kraft“ – hologen (aus der Ganzheit), nicht mero-gen (aus den Teilen resultierend) – als „Insertion“, wie die Vitalisten (Hermann Diersch, Wilhelm Ostwald) postulieren zu müssen glaubten. Diese Kraft ist sozusagen die oberste Regelung (Ostwald), die oberste Ausgleichsinstanz für systemgefährdende „Intensitätsdifferenzen“ jeder Art.

Die Antworten auf diese philosophische Verzweiflungstat kamen aus der Biologie, der Kybernetik sowie physikalischen Untersuchungen zur Entstehung geordneter Strukturen (Synergetik) selbst: Nicht ein Festhalten am Mechanismus, sondern am Organismus als geschlossenem System bedingt diese Probleme. Eine Theorie offener Systeme, die mit ihrer Umgebung nicht nur Energie, sondern auch Stoffe austauschen und von einer Thermodynamik

nicht modelliert werden können, die nur Übergänge von einem Gleichgewichtszustand in einen anderen thematisiert, analysiert biologische Prozesse (Stoffwechsel, Regeneration) unter dem zeitunabhängigen und nur durch Transport- und Produktionsgrößen bestimmten „Fließgleichgewicht“ mit Entropieänderung 0 (so zunächst Ludwig von Bertalanffy). Fließgleichgewichte als „primäre Regulative“ werden ihrerseits von sekundären „homöostatischen“ Regulationen überlagert, die den stationären Zustand des Organismus – qua Rückkopplung – aufrecht erhalten, aber Regenerations- und Adaptionsfähigkeit zugunsten besserer „Systemleistung“ einschränken. Wir finden hier bei Bertalanffy bereits den Befund, der später von manchen soziologischen Systemtheoretikern aufgegriffen wurde: die Schere zwischen Optimierung der Systemfunktionen und Adaptionsfähigkeit (Beispiel Bürokratie!). Doch was heißt „Systemleistung“? Jedenfalls war gezeigt – trotz mancher Irrtümer –, dass Organismen begriffen als offene Systeme qua Aufnahme der Negentropie (Erwin Schrödinger) nicht, wie die Vitalisten unterstellten, unter physikalischen Gesetzen nicht verstehbar seien. Zugleich wurde – manche Philosophie korrigierend – ersichtlich, dass eine Einteilung nach geschlossenen oder offenen Systemen davon abhängt, wie weit ein geeigneter Umweltausschnitt einbezogen wird oder nicht. Systeme existieren also nicht absolut, sondern qua Festlegung der Systemgrenzen und sind überdies, was die Modellierung unter stationären oder Fließgleichgewichtsgesichtspunkten betrifft, von der beobachteten Geschwindigkeit der Systemprozesse relativ zur Beobachtungsdauer und -geschwindigkeit abhängig (schnelle molekulare Prozesse → stationäre Zustände, langsame höherstufige Prozesse → dynamische Zustände).

Die Analyse von Gleichgewichtszuständen und stabilen, instabilen oder neutralen Zustandsfolgen („Zyklen“) wurde zum Thema der Kybernetik (W. Ross Ashby u.a.), die Kopplungs- und Rückkopplungsprozesse zwischen Systemen und ihren Subsystemen modelliert und in einer Fülle von Ansätzen ausdifferenziert ist. Generell geht es um die Abbildungsfunktionen von Variablen (Größen zur Beschreibung eines Systemzustandes) eines (Sub-)Systems A auf die Parameter (Größen zur Beschreibung des Systemverhaltens) eines (Sub-)

Systems B und umgekehrt in der Hoffnung, durch die angemessene Auswahl der Variablen prognosefähige Modelle zu erhalten. Philosophisch interessant ist hierbei die Untersuchung verschiedener Konzepte von Regelung in ihrem Verhältnis zur Steuerung, denn der Sprachgebrauch ist keineswegs einheitlich. Mit Gesetzmäßigkeiten der Entstehung und Erhaltung geordneter Strukturen in physikalischen, chemischen und biologischen Systemen, die daran gehindert werden, sich auf den Gleichgewichtszustand hinzubewegen, befasst sich die Synergetik (Hermann Haken). Nichtgleichgewichte können zur Quelle von Ordnung werden (was von einem Boltzmannschen Standpunkt aus nicht zu verstehen ist, da dort die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer korrelierten Bewegung einer großen Zahl von Molekülen als gegen Null tendierend erachtet wird). Je nach Randbedingungen werden Selektionen nach Maßgabe des optimalen Energieaustauschs der konkurrierenden Ordnungsparameter realisiert, und

„Dabei ist eben nicht mehr erforderlich, die Entstehung von Ordnungsstrukturen als Folge externer unwahrscheinlicher Anfangsbedingungen anzunehmen

...“

der daraus hervorgehende dominante Ordnungsparameter prägt dem anderen ein bestimmtes Verhalten auf. Solche Selbstorganisationsprozesse in offenen Systemen unter gleichgewichtsfernen Bedingungen finden sich im chemischen und biologischen Bereich, sofern dort autokatalyti-

SUMMARY

The article analyzes the philosophical implications of modern system biology: can biological systems be a valid example for the architecture and the management of technical systems? At first the author outlined the concept of system in the philosophical tradition in relation to the respective development of science and technology. He shows that human technology and culture from the principle is already systems engineering, and that the processes of control and regulation are not only the basic processes of technology but also of natural sciences. This scientific and philosophical turn is inalienable in regard to the processes, methods and controls in the molecular, biological, technical and cultural world for the understanding of these systems. The philosophical tradition and the sciences developed a theory of open systems against the dangers of a crude naturalism and mechanism. The author shows that modern system biology doesn't fall under the verdict of the naturalistic false conclusion because it is not looking for hidden aims in biology. The intention aimed rather at the complex means and criteria which the systems used to keep the processes effective, efficient and stable. System biology therefore gets close to both the modern paradigm of a sustainable technology and the early intentions of „technology“ with that.

sche Reaktionsschritte existieren. An bestimmten Punkten der kinetischen Gleichungen sind mikrophysikalische Schwankungen nicht mehr vernachlässigbar; sie werden für das „Wahlverhalten“ des Systems an solchen Verzweigungspunkten (Bifurkationen) maßgeblich und lassen nur noch eine probabilistische Beschreibung zu, die bedeutsame Abweichungen von einer probabilistischen Theorie des Gleichgewichtszustandes aufweist. Die Übergangswahrscheinlichkeiten werden zu nicht-linearen Funktionen der stochastischen Variablen und sind nicht mehr durch deterministische Bewegungsgleichungen für makroskopische Variablen beschreibbar. Schwankungen können verstärkt werden und das System in einen neuen Zustand treiben. Solche Oszillationsprozesse finden wir in der Populationsdynamik (Raubtier-Beute) und in der Evolution qua Verstärkung oder Abschwächung von Mutationen je nach Randbedingungen, ja auch in präbiotischen evolutionären Prozessen (Manfred Eigen), wo konkurrierende Hyperzyklen der wechselseitig katalytischen Verbindung von Protein- und Nukleinsäuremolekülen nach Maßgabe der Randbedingungen selektiert werden. Der Anspruch dieses Ansatzes ist, auch die Herausbildung geographischer, wirtschaftlicher und sozialer Strukturen auf dieser Basis zu verstehen. Dabei ist eben nicht mehr erforderlich, die Entstehung von Ordnungsstrukturen als Folge externer unwahrscheinlicher Anfangsbedingungen anzunehmen (Jacques Monod), sondern die Physik der Selbstorganisation vermag den Gegensatz „Boltzmann – Darwin“ aufzuheben und unter Nachweis „dissipativer Strukturen“ (Ilya Prigogine) die Herausbildung komplexer Ordnungsstrukturen des Lebens unter neuen Gesichtspunkten zu betrachten. Diese Erträge sind nicht nur naturphilosophisch, sondern auch technik- und kulturphilosophisch relevant.

3. Naturalismus – Eine Begründungsbasis oder Herausforderung der Philosophie?

Angesichts der in aller Kürze beschriebenen Problemtradition ist nun derjenige, der in der Systembiologie orientierungsstiftende Anhaltspunkte für die Technikgestaltung sucht, einem irritierenden Befund ausgesetzt: Zeigte eine Hauptlinie des klassi-

schen philosophischen Nachdenkens über Technik, dass „System“ Resultat eines modellierenden Zugriffs auf die Welt in technischer Absicht ist, der Systemgrenzen „festsetzt“, Parameter „auswählt“ und deren Adäquatheit operativ testet an der Validität der Prognostizierbarkeit des Systemverhaltens unter *pragmatischen* Kriterien, so verweist eine philosophierende Biologie und Physik auf *objektive* Befunde, aus denen Technik und Handeln überhaupt ein neues Selbstverständnis und gegebenenfalls die Basis ihrer normativen Ausrichtung gewinnen sollten. Das hat ihr seitens der Philosophie den Vorwurf des „Naturalismus“ bzw. eines naturalistischen „Reduktionismus“ eingetragen und zu den erbitterten Abwehrschlachten geführt, wie wir sie gegenwärtig auch auf dem Felde der Neurophysiologie (Gerhard Roth, Wolf Singer) und der Evolutionsbiologie (Ernst Mayr) beobachten können. Denn die Verfechter jenes naturwissenschaftlich orientierten Philosophierens fordern ja gerade mit Blick auf ihre molekularbiologischen Befunde, die unstrittig sind, dass wir unser Verständnis von bewusstem Handeln, Technik und Kultur auf eine neue Basis zu stellen hätten. Auf den ersten – und als falsch erweisbaren – Blick scheint der Vorschlag, die Leittechnik großer technischer Systeme an Regulationskonzepten biologischer Systeme zu orientieren, in dieselbe Richtung zu gehen. Dem ist aber mitnichten so, und das spricht für den systembiologischen Vorschlag.

Betrachten wir aber zunächst die erwähnten, öffentlichkeitswirksam ausgetragenen Kontroversen und ihre Erträge: Von einem Beobachterstandpunkt aus (Naturalismus) ist gezeigt, dass im molekularbiologischen Bereich bestimmte Determinationen nachweisbar sind, die wirksam werden, bevor ein Handeln uns als solches bewusst wird (Neurophysiologie). Oder es wird seitens der Evolutionsbiologie darauf verwiesen, dass die Möglichkeiten des Gelingens/Misslingens individueller oder kollektiver Vollzüge in der natürlichen Verfasstheit des Evolutionsgeschehens vorgeben sind. Unser – kulturkonstitutives – Selbstbewusstsein und die hiermit verbundene Selbstzuschreibung von Verantwortung wären dann bloße Ideologie. Freilich wird hier – aufgrund zweier Denkfehler (denen die Systembiologie nicht unterliegt, s.u.) – das Kind mit dem Bade ausgeschüttet: Der erste besteht in der Verwechslung des Be-

obachterstandpunktes mit dem subjektiven Standpunkt („Ich-Perspektive“), unter dem wir uns zu bestimmten Sachverhalten in einen Bezug setzen. Dass wir, wie bereits

„Die ‚Deterministen‘ können nicht aufweisen, was sie dazu determiniert, die kulturell entstandene Komplexität unserer Handlungsmodellierung auf diejenigen unmittelbaren (molekularen) Determinationsketten zu reduzieren, die eine Aktion auslösen.“

Georg Wilhelm Friedrich Hegel bemerkte, „eine Handlung erst aus der Tat kennen lernen“, ist ja gerade dadurch bedingt, dass wir „irgendwie anfangen“ und dann sehen müssen, was unter materiellen Bedingungen aus unserem Plan geworden ist. Entsprechend nehmen wir unsere Verantwortungszuschreibungen vor, ex post, gerade indem wir dem Subjekt zugute halten beziehungsweise anlasten, was im Vorfeld der Handlung vorlag und dazu geführt hat, dass in diesem Subjekt sich die entsprechende Handlungsdisposition etablieren konnte.

Die Arbeit eines Bewusstseins an ihm selbst als komplexer Prozess der Herausbildung von Präsentationen und Repräsentationen ist gerade die Kulturleistung, die Systeme herausgebildet hat, innerhalb derer Determinationsprozesse ihrerseits reguliert werden. Sie ist also zunächst einmal Voraussetzung dafür, dass individuelle Aktionen determiniert sein können. Zu dieser Kulturleistung gehört aber auch und gerade, dass wir individuelle Aktionen, deren determinierender Hintergrund nicht völlig offen liegt, einer Kausalität „aus Freiheit“ (Kant) des handelnden Subjekts zuschreiben. Auf diese Weise nämlich wird die Nötigung ausgesprochen, diejenigen höherstufigen Gründe geltend zu machen, die als Regulative des Handelns (Ideen, Werte, Normen) in der Kultur repräsentiert sind und gegebenenfalls beim handelnden Subjekt nur „unzureichend“ repräsentiert

waren, was zur moralischen Kritik führt. Dass wir so tun „müssen, *als ob* wir frei sind“, ist darin begründet, dass „selbst der hartnäckigste Skeptiker oder entschlossene Fatalist, wenn es zum Handeln kömmt“, gestehen müsse, dass er nicht weiterkommt, wenn er sich auf die These der Determiniertheit des Handelns beruft, eben weil er eine (mögliche) Determination der determinierenden Gründe seines Handelns nicht kennen kann (Kant). Er kann sie nur anerkennen (oder nicht), und das ist ein Akt subjektiver Freiheit, zu dem wir „von der Kultur“ verurteilt sind. Weitergedacht: Die „Deterministen“ können nicht aufweisen, was sie dazu determiniert, die kulturell entstandene Komplexität unserer Handlungsmodellierung auf diejenigen unmittelbaren (molekularen) Determinationsketten zu reduzieren, die eine Aktion auslösen. Ein graduelles Unabhängigwerden von der Natur – die technische Systemleistung – hat uns in einen Zustand der „Mittelbarkeit“ (Helmuth Plessner) versetzt, die uns zwingt, mittels Repräsentationen mit Repräsentationen umzugehen. Kein System von Repräsentationen kann sich mit eigenen Mitteln vollständig beschreiben (Kurt Gödel) – geschweige denn begründen.

Der zweite Denkfehler liegt in der Hoffnung, aus der Erklärung und Analyse von Systemen irgendwelche normativen Kriterien für die Ausrichtung der erwähnten „Anerkennung“ (aus Freiheit) zu gewinnen. Das ist der „naturalistische Fehlschluss“, wie ihn David Hume oder George E. Moore kritisiert haben. Umgekehrt würde eine Suche nach Normen, die Normen begründen sollen, warum wir etwas für gut halten *sollen*, in einen unendlichen Regress führen. Oder wir landen bei inkonsisten-

„Angesichts dieser Problemlage ist nun der Impetus der Systembiologie aus zwei Gründen völlig unverdächtig, ja vielmehr zielführend und aussichtsreich.“

ten Forderungen nach einer „Hebammenkunst“ bzw. -technik (polemisch hierzu Karl Raimund Popper), die nur kunstvoll fördert bzw. sich dem anpasst, was sowieso

geschieht. Ausgeprägt findet sich diese Haltung bei Evolutionsethikern, die über eine humanistisch geprägte Lenkungsstrategie von Evolutionsprozessen nachdenken, die doch ihrerseits als dissipative Strukturen erhellt sind (Erwin Lazlo). Angesichts dieser Problemlage ist nun der Impetus der Systembiologie aus zwei Gründen völlig unverdächtig, ja vielmehr zielführend und aussichtsreich. Denn die Systembiologie debattiert nicht über irgendwie der Biologie des Verhaltens oder biologischer Evolution unterstellte und abgelauchte Ziele, sondern über (komplexe) *Mittel* bzw. *Kriterien*, denen die *Mittelgestaltung* unterliegt, sofern die Prozesse effektiv, effizient und eben abgesichert (stabil, reproduktiv etc.) ablaufen sollen – die Ur-Intentionen von „Technik“.

Dass wir uns, was die Gestaltung von Mitteln betrifft, an den von uns modellierten Naturgesetzmäßigkeiten zu orientieren haben, ist von Aristoteles über Francis Bacon (*natura non nisi parendo vincitur*) bis zu Hegel („wir unterliegen der Macht äußerer Mittel“) klar. Der Horizont wird freilich dahingehend erweitert, dass nicht molekular determinierte Prozesse *per se*, sondern ihre Einbettung in die regulatorischen Prozesse auf den verschiedenen Ebenen der Signalverarbeitung und des Stoffwechsels offener Systeme untersucht wird. Die Validität von Mitteln kann somit relativ zu Funktionen besser verstanden und bewertet werden.

Zugleich entspricht die modernste systembiologische Forschung der Einsicht, dass Technik nicht systembiologischen Forschungsergebnissen nachgeordnet, sondern in einem wechselseitigen Konstitutionszusammenhang aufgrund ihrer analogen Ausrichtung (s.o.) verbunden ist: Wenn in „virtuellen biologischen Laboren“ experimentiert wird, wird gerade der Horizont rein molekularbiologischer Sicht überschritten und die Leistungsfähigkeit derjenigen Regelungsparameter eruiert und getestet, die verhindern, dass das Zusammenwirken der Vielzahl kaum zu überschauender reaktionskinetischer und thermodynamischer Parameter mit ihren Veränderungen im Chaos endet. Jene höherstufigen „Schlüsselparameter“, die für die ganzheitlichen Verhaltensmechanismen der Systeme maßgebend sind, können in der Tat die technische Gestaltung anderer komplexer Systeme orientieren bis hin zur Diskussion einer „nachhaltigen Entwicklung“, ohne dass hier ein „Naturalismus“ oder ein „Reduktionismus“ vorzuwerfen wäre. Genauso wären aus den Erträgen der Neurophysiologie und der Evolutionsbiologie – die ihrerseits aus der Systembiologie viel lernen könnten – Orientierungen für die Gestaltung von technischen *Mitteln*, ihrer Leistungsfähigkeit und den Voraussetzungen der Zumutbarkeit ihres Einsatzes zu gewinnen.

Christoph Hubig

DER AUTOR



PROF. DR. CHRISTOPH HUBIG

Geboren 1952, Studium der Philosophie in Saarbrücken und an der TU Berlin, 1976 Promotion (*Dialektik und Wissenschaftslogik*, Berlin 1978), 1983 Habilitation (*Handlung – Identität – Verstehen*, Weinheim 1985). Professuren für Praktische Philosophie/Technikphilosophie in Berlin, Karlsruhe und Leipzig. Seit 1997 Professor für Wissenschaftstheorie und Technikphilosophie an der Universität Stuttgart, dort Prorektor von 2000–2003. Vorsitzender des Bereichs „Mensch und Technik“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 1996–2002, Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Philosophie; Kurator und Leiter des Studienzentrums Deutschland der Alcatel SEL-Stiftung und Honorarprofessor an der University of Technology Dalian/China. Neuere Veröffentlichungen u.a.: *Technik- und Wissenschaftsethik* (2. Aufl. 1995), *Technologische Kultur* (1997), *Mittel* (2000); (Hg. u.a.): *Ethik institutionellen Handelns* (1983), *Funkkolleg Technik: Einschätzen – Beurteilen – Bewerten* (1996), *Dynamik des Wissens und der Werte* (1996), *Nachdenken über Technik* (2000), *Unterwegs in die Wissensgesellschaft* (2000), *Ethische Ingenieurverantwortung* (2002).

Kontakt

Universität Stuttgart, Institut für Philosophie, Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart
Tel. 0711/121 2491, Fax 0711/121 3657

E-Mail: sekretariat@philo.uni-stuttgart.de, Internet: www.uni-stuttgart.de/philo